

# **Modifikace zařízení pro testování dvouosé napjatosti elastomerů**

Pavel Nevrlka

---

Bakalářská práce  
2011



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Pavel NEVRLKA**  
Osobní číslo: **T08566**  
Studijní program: **B 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Technologická zařízení**

Téma práce: **Modifikace zařízení pro testování dvouosé  
napjatosti elastomerů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární přehled.
2. Analyzujte současný stav.
3. Navrhněte úpravu zařízení.
4. Vyhodnoťte vhodnost návrhu.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

**Dle zadání vedoucího BP.**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Javořík, Ph.D.**  
Ústav výrobního inženýrství

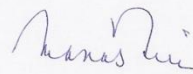
Datum zadání bakalářské práce: **14. února 2011**

Termín odevzdání bakalářské práce: **3. června 2011**

Ve Zlíně dne 11. ledna 2011



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



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*ředitel ústavu*

Příjmení a jméno: NEVRLKA PAVEL


Obor: TECHNOLOGICKÁ  
ZAŘÍZENÍ

## 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<sup>1)</sup>;
- 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<sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60<sup>3)</sup> 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<sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užit 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, považuji 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 13.7.2011

  
.....

<sup>11</sup> 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 nevýdělečně 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 nahlázení 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.

<sup>12</sup> 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).

<sup>13</sup> 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). Odpirá-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 výdělku 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 přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Práce má za úkol vylepšit zařízení pro testování dvouosé napjatosti elastomerů. Toto zařízení je určeno pro zkoušení pryžových výrobků na dvouosou pevnost v tahu. Je realizováno pneumatickým obvodem, který byl zdokumentován a byla navržena jeho možná zlepšení. Zlepšení se týkají snadnějšího ustavení testovaného vzorku a změny současného umístění čidla tlaku, z důvodu přehlednější dokumentace testů. Tato vylepšení by měla být realizovatelná v dílnách Univerzity Tomáše Bati.

Klíčová slova: elastomer, kaučuk, hyperelastické materiály, dvouosá napjatost

## **ABSTRACT**

The main goal of the bachelor thesis is focused to improve facilities for testing biaxial tension of elastomers. The device is dedicated for testing of rubber products in the biaxial tensile strength. The tested device is created by pneumatic circuit which has been documented and proposed for possible upgrading. The improvement is related to the easier establishment of the tested sample and changes of the current location of pressure sensor for reason of clear test documentation. These improvements should be realized in the laboratories of Tomas Bata University.

Keywords: elastomer, rubber, hyperelastics materials, biaxial tension

Rád bych poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Jakubu Javoříkovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytnuté připomínky a rady, které mi při vypracování mé práce poskytoval.

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



# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ELASTOMER</b> .....	<b>12</b>
1.1 KAUČUK.....	12
1.1.1 Historie přírodního kaučuku.....	12
1.1.2 Syntetický kaučuk .....	12
<b>2 SLOŽKY KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ</b> .....	<b>13</b>
2.1 PLNIVA.....	13
2.2 ZMĚKČOVADLA.....	13
2.3 PLASTIKAČNÍ ČINIDLA.....	14
2.4 ANTIDEGRADANTY.....	14
2.5 FYZIKÁLNÍ POVRCHOVÁ OCHRANA.....	14
2.6 ZPRACOVATELSKÉ PŘÍSADY .....	14
2.7 VULKANIZAČNÍ ČINIDLA .....	14
2.8 AKTIVÁTORY.....	15
2.9 RETARDÉRY VULKANIZACE.....	15
2.10 URYCHLOVAČE .....	15
<b>3 HYPERELASTICKÉ MATERIÁLY</b> .....	<b>16</b>
3.1 POPIS VLASTNOSTÍ ZÁKLADNÍCH HYPERELASTICKÝCH MATERIÁLŮ .....	17
3.1.1 Butadienakrylonitrilový kaučuk (NBR) .....	18
3.1.2 Polyisopren (IR) .....	18
3.1.3 Butadienový kaučuk (BR).....	18
3.1.4 Chloroprenový kaučuk (CR).....	18
3.1.5 Butadienstyrenový kaučuk (SBR).....	18
<b>4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY</b> .....	<b>19</b>
4.1 STATICKÉ ZKOUŠKY .....	19
4.1.1 Zkouška tahem .....	19
4.1.2 Víceosá tahová zkouška .....	21
4.1.3 Zkouška tlakem .....	23
4.1.4 Zkouška rovinným smykem .....	24
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>25</b>
<b>5 CÍLE BP</b> .....	<b>26</b>
5.1 POPIS ZKUŠEBNÍ METODY .....	26
5.2 ANALÝZA NYNĚJŠÍHO STAVU .....	28
<b>6 PŘÍPRAVEK PRO SPRÁVNÉ USTAVENÍ ZKUŠEBNÍHO VZORKU</b> .....	<b>34</b>
6.1 NÁVRH PŘÍPRAVKU PRO SPRÁVNÉ USTAVENÍ ZKUŠEBNÍHO VZORKU.....	34
6.1.1 Návrh č.1 .....	34
6.1.2 Návrh č.2 .....	35
6.1.3 Návrh č.3 .....	36
6.2 NÁVRH PŘÍPRAVKU PRO UPNUTÍ A ZAJIŠTĚNÍ POLOHY MANOMETRU .....	38
6.2.1 Návrh č.1 .....	39
6.2.2 Návrh č.2 .....	40



<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>48</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</b>	<b>49</b>
<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>50</b>
<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>51</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>52</b>

## ÚVOD

Pryž, jakožto nepostradatelný a nezaměnitelný technický materiál, je dnes v oblastech strojírenského - především automobilového - průmyslu velmi váženým artiklem. Jeho originálních vlastností je už přes sto let využíváno v technických odvětvích.

Jako nejočividnější a nejdůležitější vlastnosti pryže bychom vyjmenovali měkkost a pružnost. V souhrnném označení použijeme slovo elasticita.

Zmínil jsem důležitost elastomerů v moderní době. Jako příklad postačí uvést vyztužený pryžový výrobek známý jako pneumatika. V době neustálého cestování nám vlastnost pneumatiky mnohdy pomůže předejít problémům, zachránit život nebo jen včas zastavit. Velmi důležitou, ne-li nejdůležitější vlastností je pevnost.

Stejně jako u kovů a nerostných materiálů je pro jejich další zpracování důležité znát spektrum vlastností. Víme, že pro ten či ten výrobek je vhodná ta či ona vlastnost polotovaru, a proto zjišťujeme mezní možnosti daných polotovarů. U kovů při namáhání platí Hookův zákon, jakožto lineární vztah. U elastomerů tuto linearitu nenajdeme. Testování proto v některých případech probíhá rozdílnými formami a dříve netradičními prostředky. O realizaci jednoho z těchto testů a jeho modifikaci pojednává tato práce.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 ELASTOMER

Elastomer je každý lineární nebo rozvětvený polymer, který je při malé teplotě značně deformovatelný bez porušení. [3]

### 1.1 Kaučuk

Je to elastomer, který má schopnost vulkanizovat.

#### 1.1.1 Historie přírodního kaučuku

Proti klasickému průmyslu, jako je sklářství, hutnictví a další, je zpracování kaučuku obor velmi mladý. Jeho stáří je datováno asi na 170 let. S kaučukem se Evropané seznámili však před více jak 500 léty, brzy po objevení Ameriky. [3]

V letech 1493 až 1496, kdy Kryštof Kolumbus podnikl cestu do Jižní Ameriky, zpozorovali jeho námořníci indiány, hrající si s pružnou koulí. Tu si zhotovovali z vyschlé tekutiny, vytékající z poraněných stromů, které rostly v subtropickém pásmu. Tehdy je nazývali „Hheve“ nebo „Cau-Uchu“, z čehož vzniklo české pojmenování kaučuk. Obě indiánská pojmenování znamenají „plačící dřevo“.

Do Evropy se přírodní kaučuk dostal již r. 1736. K jejich prvnímu použití došlo v r. 1791. Byla to výroba nepromokavých plachet a pytlů na přepravu pošty. Skutečný základ gumárenství však položil až v roce 1839 Charles Goodyear. Výrobu kaučukového zboží v USA zahájil v roce 1833. Tím, čím byl v USA pro gumárenský průmysl Goodyear, byl pro průmysl ve Velké Británii Thomas Hancock. A ten, stejně jako Goodyear, objevil vulkanizaci. Hlavní rozvoj gumárenství nastal až po vynálezu pneumatiky. První ji patentoval v r. 1845 Robert Thompson. Thompsnův vynález však našel praktické uplatnění v r. 1888, kdy obdobnou pneumatiku, určenou pro jízdní kola, patentoval John Dunlop. [3]

#### 1.1.2 Syntetický kaučuk

Vyrábí se polymerací nebo kopolymerací některých nenasycených uhlovodíků, může mít různé složení. Mezi nejběžnější typy patří polybutadienové kaučuky, kopolymerní butadien-styrenové kaučuky, ethylen-propylenové kaučuky a isoprenové kaučuky (jejich monomerem je isopren, tedy jsou chemickou obdobou přírodního kaučuku). Mezi syntetické kaučuky patří i silikonové kaučuky, což jsou zesíťované polysiloxany, ale také polychloropren a další halogenované kaučuky. [10]

## 2 SLOŽKY KAUČUKOVÝCH SMĚSÍ

Tyto látky jsou nedílnou součástí kaučukových směsí, které díky nim mohou nabídnout větší spektrum požadovaných vlastností, jež jsou kladeny na tyto materiály. Do těchto vlastností patří zpracovatelnost, mechanické a vzhledové vlastnosti a též ekonomická náročnost. Pod pojmem zpracovatelnost si u kaučuků představíme souhrn zpracovatelských operací (míchání, vytlačování, válcování atd.), které se snažíme optimalizovat vhodnou volbou parametrů, jež souvisejí s náročnou výrobou kaučuků. [9]

### 2.1 Plniva

Materiály, které se používají z důvodu možnosti zlepšení vlastností, se v závěrečné fázi ekonomicky promítnou na ceně gumárenské směsi. V případě, že plniva použijeme, dostaneme elastomer, který má menší podíl kaučukových látek a je vyplněn tzv. plnivem. Z tohoto pohledu by se mohlo zdát, že požadovaný produkt bude ztrácet svoji nejcennější vlastnost, a to elasticitu. Naopak přidáním vhodných plniv v požadovaném množství se vlastnosti elastomerulepší. Tato plniva jsou nejčastěji přidávána ve formě prášků z důvodu jednoduššího promísení s elastomerem. Nejčastější jsou saze. [7]

Nejedná se o klasické saze, jež se nacházejí v kotelním a komínovém prostoru. Jde o úzce specifikované produkty, na které jsou kladeny určité parametry. Základní složkou sazí je uhlík. Procentuálně je zastoupen 98%, dalšími složkami je kyslík, dusík a síra. Tato plniva se převážně používají při výrobě gumárenských směsí, u nichž se neklade důraz na barvy. [7]

V druhém případě se používají světlá plniva.

Používají se k dosažení světlého odstínu kaučuku a z ekonomického hlediska k zlevnění produktu. Nejčastějším světlým plnivem je křída. Dále kaoliny, uhličitan vápenatý a přírodní oxidy křemičitanů. [7,9]

### 2.2 Změkčovadla

Změkčovadla jsou přísady, které zvyšují plasticitu kaučuků a mají zásadní vliv na zpracovatelské vlastnosti. V gumárenské praxi se používá velké množství různých druhů látek, které slouží jako urychlovače a to převážně na bázi ropných, dřevinných a dehtových bází. Změkčovadla, jako mnoho přísad do gumárenských směsí, ovlivňují směs ještě jinými vlastnostmi, než pro jaké byly určeny. Například mrazuvzdornost, odolnost proti ozonu. [7,9]

### 2.3 Plastikační činidla

Přidávají se do směsí z důvodů zvýšení plastikace a možnosti použití jiných přísad, které mají vést k levnější výrobě, popřípadě k zlepšení vlastností. [7,9]

### 2.4 Antidegradanty

Kaučuky mají vlastnost stárnutí, jež s sebou nese změnu vlastností. U kaučuků jsou to většinou změny pevnostní, tažnostní, povrchové a také vzhledové. Těmto změnám nejde zcela zabránit, ale jde tyto nežádoucí vlastnosti pozastavit nebo zmírnit následky stárnutí. Z tohoto důvodu se do kaučukových směsí přidávají antidegradanty, jež jsou na bázi buď antioxidantů nebo antoozonitů. Na degradaci těchto směsí mají velmi podstatný vliv vnější faktory, jako sluneční záření, teplo, namáhání výrobku a mnoho dalších, které musíme zohlednit při volbě směsi. U nevulkanizovaných přírodních kaučuků nevzniká tak hrubá degradace, jelikož obsahují přírodní antioxidanty. [7,9]

### 2.5 Fyzikální povrchová ochrana

Ochrana spočívá ve vytvoření ochranné vrstvy na povrchu. Ochranná vrstva vzniká promísením mikrokryсталických vosků se směsí. Dosáhneme-li optimálních podmínek, podaří se nám efekt, při kterém na povrch výrobku vystoupá ochranná vrstva. Tato vrstva chrání převážně před přírodními nežádoucími vlivy na výrobek, jež způsobují degradaci. [7]

### 2.6 Zpracovatelské přísady

Jejich úkolem je zlepšení tokové křivky, zkrácení časové jednotky při míchání. Mezi hlavní druhy zpracovatelských přísad patří mazací činidla, dispergační činidla, lepicí činidla, homogenizační činidla... Ve směsích se vyskytují v malém měřítku, negativně nemění fyzikální a mechanické vlastnosti. [9]

### 2.7 Vulkanizační činidla

Vulkanizační činidla mají za úkol podílet se na procesu vulkanizace. Tato činidla vytvářejí mezi molekulami kaučukových uhlovodíků, mezi jejich lineární nebo rozvětvené řetězce, příčné vazby. Děje se tak ovšem jen za určitých podmínek. Vulkanizační podmínky jsou teplota a tlak, je důležité, aby jejich hodnoty byly optimální. Při této chemické reakci dochází také k podstatné změně materiálových vlastností, jako je zmenšení oblasti

trvalé deformace, zvětšení tvrdosti, pevnosti, pružnosti a zvýšení odolnost proti teplotám. Zvulkanizovaný eleastomer nese název pryž. Tento vzniklý materiál je díky spojeným vazbám nerozpustný. Vystavíme-li zvulkanizovanou pryž vysokým teplotám, bobtná. Mezi nejpoužívanější vulkanizační činidla řadíme síru, selen, telur, oxidy kovů a peroxidy. [9]

## 2.8 Aktivátory

Tyto látky aktivují vulkanizační činidla a zvyšují jejich účinnost při vulkanizaci. Jsou nezbytné pro vnik vulkanizace. Nejznámějším aktivátorem je oxid zinečnatý, který se používá pro nejvíce používané vulkanizační činidlo, kterým není nic jiného, než síra. Další jsou oxid vápenatý, olovnatý a kademnatý. [9]

## 2.9 Retardéry vulkanizace

Přísady při vulkanizaci, díky nimž lze vulkanizační proces zcela zastavit. V případě potřeby průběžně regulovat. Tyto retardéry se rozdělují na dvě významné skupiny. Jsou to retardéry snižující rychlost vulkanizace a retardéry, které vulkanizaci nebrzdí, ale zvyšují bezpečnost při vulkanizaci. [9]

## 2.10 Urychlovače

Jsou látky, které využíváme pro urychlení vulkanizace. V praxi se využívá velké množství těchto chemických sloučenin. Mohou se v určitých případech mísit a pomoci tak optimalizaci vulkanizačního času. Nejčastěji využívané urychlovače jsou trikrotonylidéntetramín, hexametyléntetramín. [7,9]



### 3 HYPERELASTICKÉ MATERIÁLY

Elastomerní materiály vytváří amorfni strukturu s dlouhými molekulovými řetězci, které jsou v nedeformovaném stavu značně pokřivené, stočené a nahodile orientované. Při působení tahového zatížení se řetězce částečně narovnají a způsobí tak elastické protažení zatíženého materiálu. Jakmile tahová síla přestane působit, řetězce se vrátí do původního stavu. Toto chování materiálu se nazývá jako hyperelastické a je způsobeno formou příčné vazby mezi molekulovými řetězci, která se vytváří při vulkanizačním procesu. [2]

Vlastnosti pryží jsou ovlivněny především jejich chemickou kompozicí. Pryž je uhlovodík obsahující dlouhé řetězce molekul s volným střídavým spojením. Tyto molekuly jsou spojeny v pevný počet vnitřních vazeb, takže se nemohou hýbat nezávisle jako v tekutině. Vnitřní vazby mezi řetězci jsou v pryžích zavedeny pomocí chemické reakce přírodní pryže se sírou. Tento proces je obecně znám jako vulkanizace sírou. [2]

Na makroskopické úrovni proto vykazuje mechanické chování pryží určité charakteristiky. Pryžové materiály mohou prodělat velké elastické (vratné) deformace v rozmezí 100 až 700%, přitom dojde k srovnání vnitřních molekulových řetězců, jak již bylo řečeno. Přičemž změna objemu zatíženého materiálu při napětí, vyvolaném deformací, je minimální. Z toho plyne, že elastomery jsou materiály téměř nestlačitelné. Jejich závislost mezi tahem a tlakem je značně nelineární, takže pro její aproximaci nemůžeme aplikovat Hookeův zákon, tudíž není možné určit definitivní hodnotu Youngova modulu, kromě oblasti malých deformací. Při napětí materiál obvykle změkne a potom opět ztuhne. V opačném případě, při stlačení, odpovídá materiál tuhému stavu. Hyperelastické materiály jsou isotropní, isothermální a elastické, což znamená, že teplotní roztažení materiálu je isotropní a deformace jsou zcela vratné. [2]

## 3.1 Popis vlastností základních hyperelastických materiálů

Zkratka	Název	Spotřeba [ % ]	Určení
NR	přírodní kaučuk	31	pro všeobecné použití
IR	izoprenový kaučuk	2	
SBR XSBR YSBR	butadien-styrenový kaučuk karboxylovaný SBR termoplastický SBR	36	
BR XBR	butadienový kaučuk karboxylovaný BR	16	
EPM EPDM	ethylen-propylenový kaučuk ethylen-propylen-dienový kaučuk	7	
IIR CIIR BIIR	butylkaučuk chlorbutylkaučuk brombutylkaučuk	3	
NBR XNBR	butadien-akrylonitrilový kaučuk karboxylovaný NBR	2	
CR XCR CSM	chloroprenový kaučuk karboxylovaný CR chlorsulfonovaný polyetylen	1	
AU (polyester) EU (polyether)	uretanový kaučuk	1	
ACM	akrylátový kaučuk	0,5	
OT	polysulfidový kaučuk	0,1	
MQ MVQ MPVQ	silikonový kaučuk	0,1	teplovzdorné
FPM, FKM FFKM, CFM	fluoruhlíkový kaučuk	0,1	
CO ECO	epichlorhydrinový kaučuk etylenoxidchlorhydrinový kaučuk	0,01	
GPO	propylenoxidový kaučuk		

Obr.1. Přehled hlavních kaučuků, jejich relativní spotřeba

### 3.1.1 Butadienakrylonitrilový kaučuk (NBR)

Připravuje se radikálovou polymerací s 18-49% akrylonitrilu. Při vyšším obsahu akrylonitrilu stoupá jeho tvrdost a klesá elasticita a bobtnavost. Vyniká dobrou odolností vůči povětrnosti. Používá se především pro výrobu benzinových hadic, těsnění, klínových řemenů, dopravních pásů. Hodnota pevnosti v tahu je u čisté pryže přibližně 70 – 130 kPa a tažnost je přibližně 300 – 700%. [3]

### 3.1.2 Polyisopren (IR)

Připravuje se synteticky, polymerací isoprenu. Vyniká vyšší tažností než přírodní kaučuk a má nižší odolnost proti oděru. Používá se rovněž pro směsi na výrobu pneumatik. Hodnota pevnosti v tahu je u čisté pryže přibližně 360 - 500 kPa. [3]

### 3.1.3 Butadienový kaučuk (BR)

Připravuje se stereoregulární polymerací butadienu. Vyniká vysokou odolností proti oděru a je stabilnější při vyšších teplotách. Používá se hlavně pro výrobu směsí na běhouny pneumatik a podlahovin. Hodnota pevnosti v tahu je přibližně 360 kPa a tažnost je přibližně 500%. [3]

### 3.1.4 Chloroprenový kaučuk (CR)

Připravuje se polymerací chloroprenu. Jeho obchodní název je NEOPREN. Vyniká nízkou plynopropustností, je málo hořlavý, samozhášivý. Používá se jako technická pryž s vysokou odolností pro dopravní pásy, hadice, těsnění, pogumování textilu. Hodnota pevnosti v tahu je u čisté pryže přibližně 430 - 580 kPa a tažnost je přibližně 800 – 900%. [3]

### 3.1.5 Butadienstyrenový kaučuk (SBR)

Jedná se o nejdůležitější druh syntetických kaučuků. Připravuje se radikálovou nebo aniontovou polymerací. Vyniká dobrou zpracovatelností a větší odolností proti oděru. Používá se jako technická pryž, pro výrobu pneumatik, nebo pro impregnaci kordů a textilu. Hodnota pevnosti v tahu je u čisté pryže přibližně 30 - 43 kPa a tažnost je přibližně 400 – 600%. [3]

## 4 MECHANICKÉ ZKOUŠKY

Jedná se o zkoušky, kterými zjišťujeme vlastnosti materiálů, důležité pro správné navrhnutí a dimenzování budoucího výrobku. Mechanické zkoušky se dělí na dvě následující skupiny:

- **STATICKÉ** – síla na zkušební těleso působí pozvolna
- **DYNAMICKÉ** – jsou rázové a cyklické, rázové působí na těleso ve zlomku sekundy. U cyklické zkoušky se ráz opakuje po tzv. cyklech.

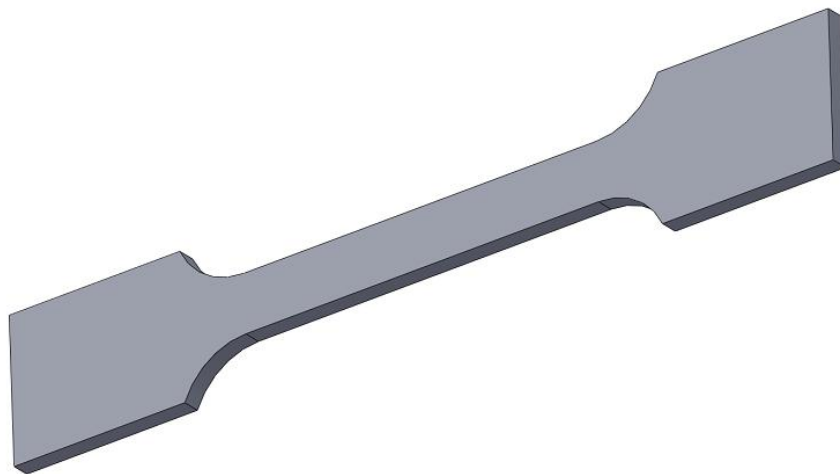
### 4.1 Statické zkoušky

#### 4.1.1 Zkouška tahem

Tato zkouška je nejrozšířenější a je jednou z prvních zkoušek, při které se hodnotí pevnost materiálu. Na zkušební těleso působí stále se zvětšující síla až do té chvíle, než dojde k určité trvalé deformaci - destrukci zkušebního materiálového vzorku. (Zkoušení pol.)

Tahová zkouška je normalizována ČSN ISO 37 (621436). Celý název normy zní **PRYŽ, VULKANIZOVANÝ NEBO TERMOPLASTICKÝ ELASTOMER – STANOVENÍ TAHOVÝCH VLASTNOSTÍ**.

Zkouška se provádí za teploty okolí. Normou je standardizován velikost i tvar zkušebního tělesa. Nejvyužívanější jsou zkušební vzorky tvaru oboustranné lopatky. Dále testovací kroužky.



Obr.2. Zkušební vzorek tvaru oboustranné lopatky

Je možné používat šest typů zkušebních těles, tj. tělesa tvaru oboustranných lopatek typu 1,2,3 a 4 a tvaru kroužků typu A (normální) a B (malý). Výsledky, získané u daného materiálu, budou pravděpodobně kolísat v závislosti na použitém typu zkušebního tělesa. Výsledky, získané u různých materiálů, nemohou proto být považovány za srovnatelné, pokud není použit stejný typ zkušebních těles. [1]

Samotná zkouška se provádí na univerzálních zkušebních strojích, které přímo zobrazí nebo zaznamenají do grafu průběh napětí ku prodloužení. Na internetu lze snadno nalézt stránky výrobců těchto zařízení. Např: <http://www.igitur.cz/index.php> a <http://www.labortech.cz/>

Při tahové zkoušce se samozřejmě mění jeho původní délka  $l_0$  na délku  $l$ . Tato změna je nazývána poměrné prodloužení:

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \quad (1)$$

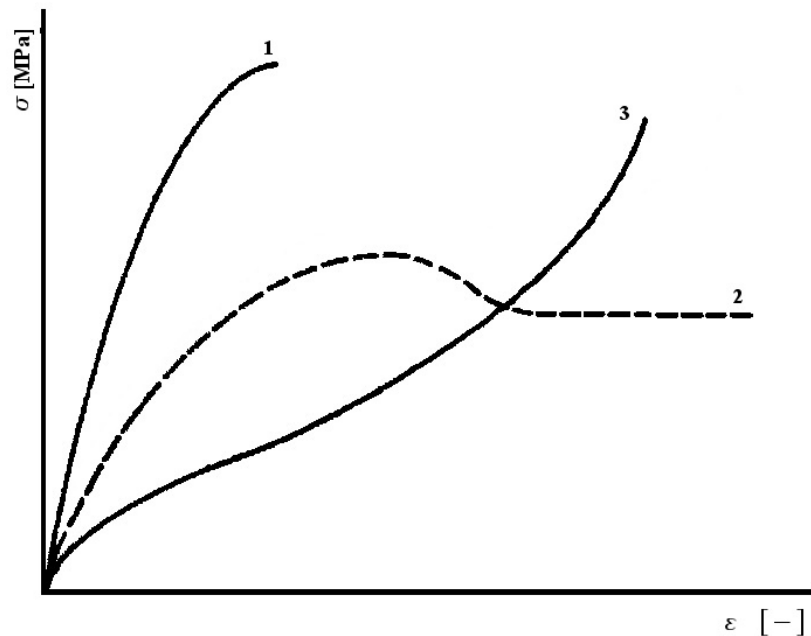
Z hlediska deformačního chování nás především zajímá změna délky zkoušeného tělesa, uskutečněná během tahové zkoušky. Jedná se o poměrné prodloužení vyjádřené v procentech. Dříve nazýváno protažení. Dnes se více užívá pojem tažnost: [11]

$$\varepsilon = \frac{l-l_0}{l_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2)$$

U pryže, jako elastického materiálu, se prověřuje ještě její schopnost vratné deformace. Tento proces je nazýván průtažnost. [11]

Jak již bylo zmíněno, univerzální trhací stroje při zkoušce zapisují její průběh, vzniká tedy jakýsi pracovní diagram. Diagram zaznamenává poměr napětí ku prodloužení.

$$\Sigma = E \cdot \varepsilon \quad [Mpa] \quad (3)$$



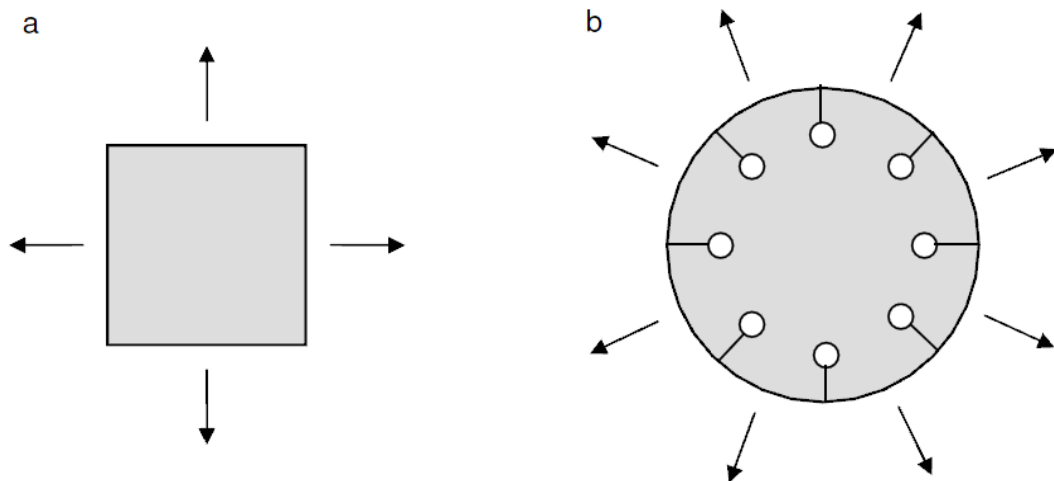
Obr.3. Diagramy u polymerních materiálů

:

Na výše uvedeném obr.3. jsou zobrazeny tři tahové křivky pro různé polymerní materiály. Křivka číslo 1 reprezentuje materiály, které dosahují vysoké pevnosti. Nejsou ovšem houževnaté a možnost jejich prodloužení je velmi malá. Jsou to například polystyren a polymethylmetakrylát. Druhá křivka se týká elastickým materiálů. Oblast plastických deformací je zde velmi výrazná i s mezí kluzu. K roztrhnutí zkušebního tělesa dochází po mnohonásobném protažení. Křivka s číslem 3 zastupuje elastomery. Pozorujeme nelinearitě. Velké deformace při relativně malém napětí jsou velmi zřetelné.

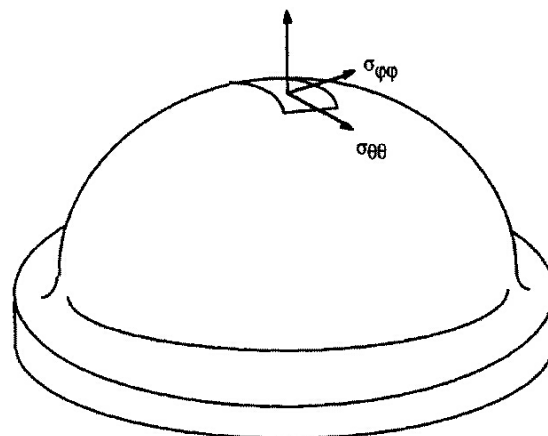
#### 4.1.2 Víceosá tahová zkouška

U elastomerů je též využívána víceosá tahová zkouška. Při dvouosém zatížení je nutno plochý vzorek materiálu napínat ve všech směrech jeho roviny (dohází k tomu např. při nafukování míče). Tohoto stavu lze dosáhnout několika způsoby, vydutím plochého vzorku stlačeným vzduchem (obr.5.), roztahováním čtvercového vzorku do dvou navzájem kolmých směrů (obr.4.a) nebo roztahováním kruhového vzorku radiálně ve směru od středu (obr.5.b). [5]



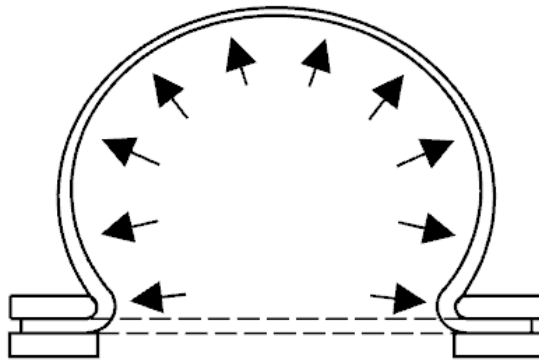
Obr.4. Schémata roztahování čtvercového a kruhového vzorku

Poslední dvě varianty, tedy roztahování čtvercového vzorku a roztahování kruhového vzorku jsou funkční, avšak z hlediska uskutečnitelnosti podstatně složitější. Především z hlediska konstrukce zkušebního zařízení. U nadouvání membrány je konstrukce testovacího zařízení jednodušší. Náročnější je zde způsob snímání deformace vzorku v průběhu testu.



Obr.5. Víceosý tah – vydutí zkušebního vzorku





Obr.6. Řez vydutým zkušebním vzorkem

Jelikož jde o tenkou membránu a poměr mezi tloušťkou membrány a poloměrem zakřivení vrcholu bubliny je dostatečně malý, je napětí  $\sigma$  dáno vztahem:

$$\sigma = \frac{pr}{2t} \text{ [MPa]} \quad (4)$$

kde  $p$  je zatěžující tlak,  $r$  je poloměr zaoblení vrcholové části bubliny a  $t$  je tloušťka ve vrcholové části zdeformovaného vzorku.

Jak již bylo zmíněno, sledování skutečné tloušťky ve vrcholu deformovaného vzorku je velmi obtížné. Pokud ovšem známe poměrné protažení  $\lambda$  dané oblasti vzorku, je možno vypočítat tloušťku na základě předpokladu objemové nestlačitelnosti materiálu. [5]

$$t = \frac{t_0}{\lambda^2} \text{ [mm]} \quad (5)$$

Kde  $t_0$  je původní tloušťka nezatíženého vzorku. Poměrné protažení  $\lambda$  je dáno vztahem:

$$\lambda = \frac{1}{l_0} \quad (6)$$

Poměrné protažení  $\lambda$  a poloměr zaoblení na povrchu vzorku lze měřit přímo (optickými metodami). Po dosazení můžeme určit napětí  $\sigma$  jako: [5]

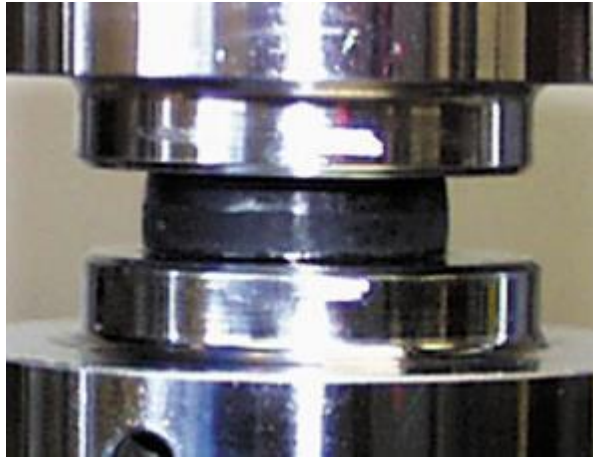
$$\sigma = \frac{pr\lambda^2}{2t_0} \text{ [Mpa]} \quad (7)$$

#### 4.1.3 Zkouška tlakem

Je velmi složité experimentálně dosáhnout rovnoměrné deformace při stlačení. Existují dva základní důvody proč jsou testy tlaku složité.

- zvolení tvaru vzorku tak, aby měl dostatečnou tloušťku na měření (optimální zvolení tloušťky vzorku).
- z důvodu tření mezi testovaným vzorkem a čelistmi stroje se vzorek nemůže úplně

roztáhnout do boku během stlačování. I velmi malý koeficient tření, např. 0,1 mezi vzorkem a pláty může způsobit podstatné smykové napětí, které změní napětí na deformaci, často maximální smykové napětí přesahuje maximální napětí při tlaku. [8 ]



Obr.7. Zkouška jednoosého tlaku

#### 4.1.4 Zkouška rovinným smykem

Test je podobný zkoušení v tahu velmi širokého vzorku. Protože materiál je skoro nestlačitelný, stav čistého smyku se vyskytuje ve vzorku pod úhlem  $45^\circ$  k směru protažení. Nejdůležitější vlastností vzorku je, aby byl mnohem kratší ve směru protažení než je jeho šířka. Cílem je vytvořit pokus, kde je vzorek namáhán v bočním směru tak, aby ztenčení vzorku se vyskytlo ve směru tloušťky. To vyžaduje, aby vzorek byl alespoň 10x širší než delší ve směru protažení. Tento test je velmi citlivý na poměr délky a šířky. [8]

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 5 CÍLE BP

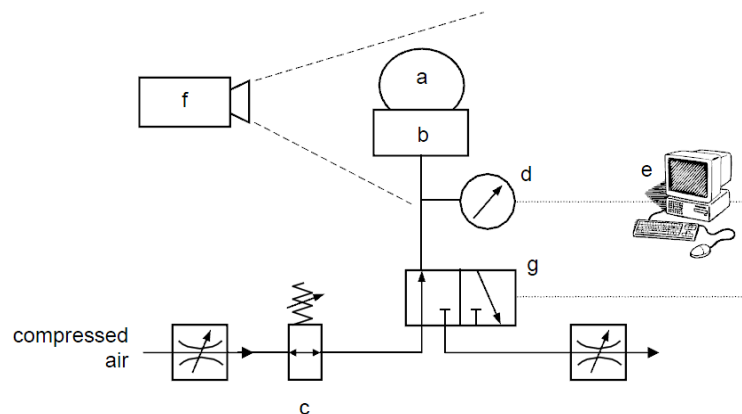
Úkolem této bakalářské práce je, jak již z názvu vyplývá, modifikace zkušebního zařízení pro testování 3D napjatosti elastomerů. Jedná se o návrh zařízení (pomůcky) pro správné ustavení zkušebního vzorku do zkušebního ústrojí a návrh držáku pro manometr.

Podmínkou je celková jednoduchost, využití co nejvíce normalizovaných součástí, dostupných materiálů a možnost výroby nenormalizovaných součástí v dílnách univerzity.

### 5.1 Popis zkušební metody

Zkušební zařízení se skládá z následujících komponent (viz obr. 8):

- A) Zkušební vzorek.
- B) Příruba s přívodem stlačeného vzduchu pod vzorek.
- C) Škrťací ventil.
- D) Manometr.
- E) PC pro zpracování dat.
- F) Zařízení pro snímání experimentu. (videokamera, digitální fotoaparát)
- G) Přepouštěcí ventil.
- H) Pojistný ventil.



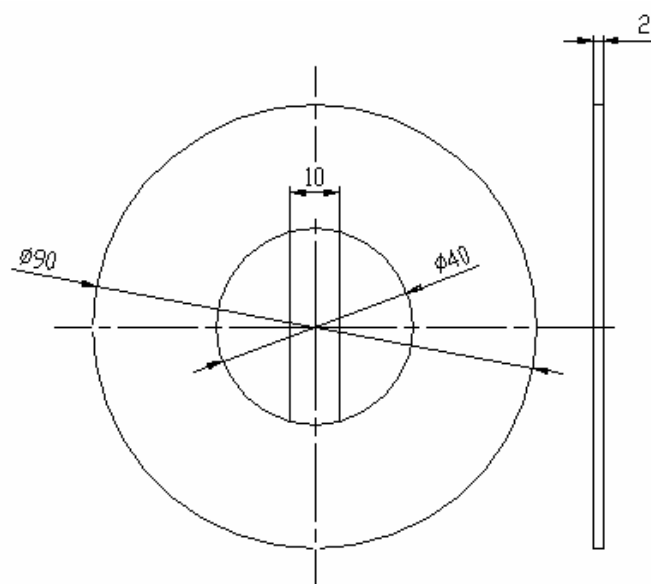
Obr.8. Schéma zkušebního zařízení pro testování 3D napjatosti elastomerů

Zkušební vzorek viz obr.9. má tloušťku 2 mm (bílé čáry slouží k porovnání vzorku před a v průběhu zkoušky – původní délka středové oblasti vzorku je 10mm) a po obvodu je při testování upnut mezi upínací kroužky o průměru 40mm. Upínací kroužky jsou vloženy do příruby a utaženy šesti šroubů. Do příruby je vedeno tlakové médium, v našem

případě stlačený vzduch. Ten působí na jednu stranu vzorku a deformuje jej. U vstupu media do přírubového přípravku je umístěn manometr, sloužící ke snímání hodnot tlaku působících na testovaný elastomer. Deformaci a údaje na manometru snímá zařízení pro snímání obrazu, v našem případě se jedná o digitální videokameru. Zbylými komponenty regulujeme tlak v systému, množství přiváděného tlakového vzduchu. Jsou to škrtkící a prepouštěcí ventil. Posledním prvkem je pojistný ventil, který zamezí nadměrnému zatížení okruhu vysokými hodnotami tlaku.



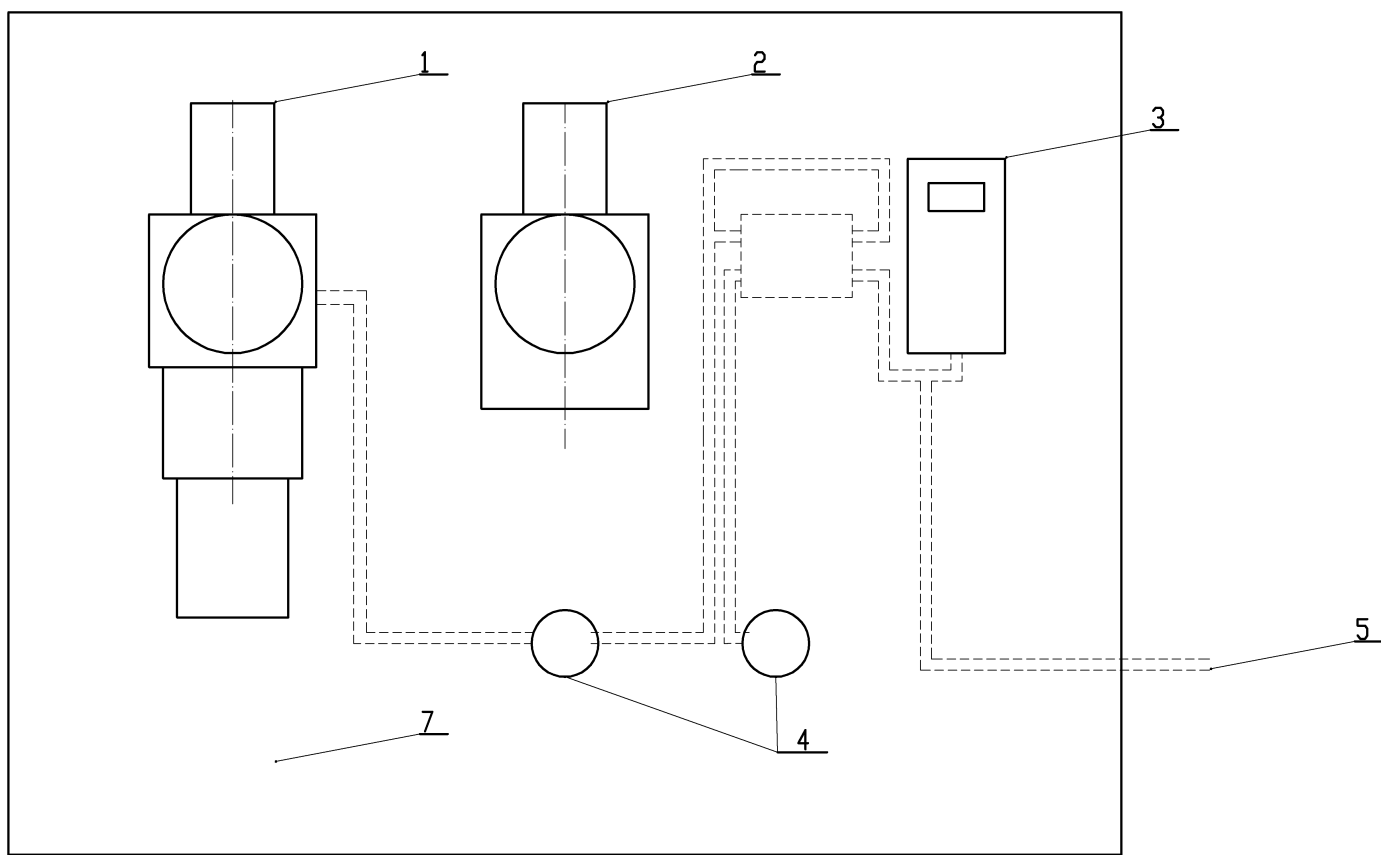
Obr.9. Zkušební vzorek



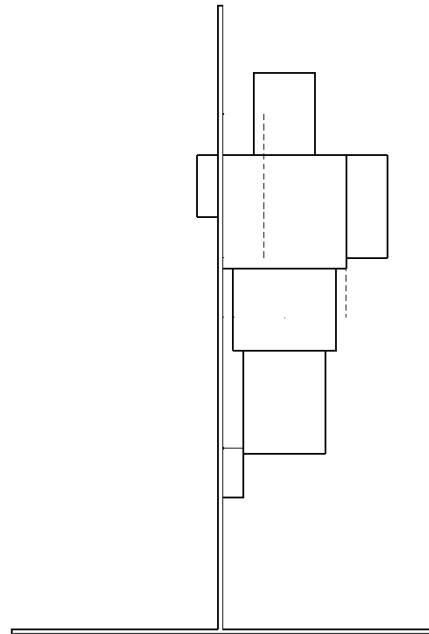
Obr.10. Rozmístění pomocných čar na vzorku

## 5.2 Analýza nynějšího stavu

Všechny součástky pneumatického obvodu testovacího zařízení jsou upevněny na konzole z 2 mm silného plechu o rozměrech podstavy 205x400 mm a rozměru čelní plochy 305x400 mm. Povrchová úprava je řešena hnědým nátěrem.

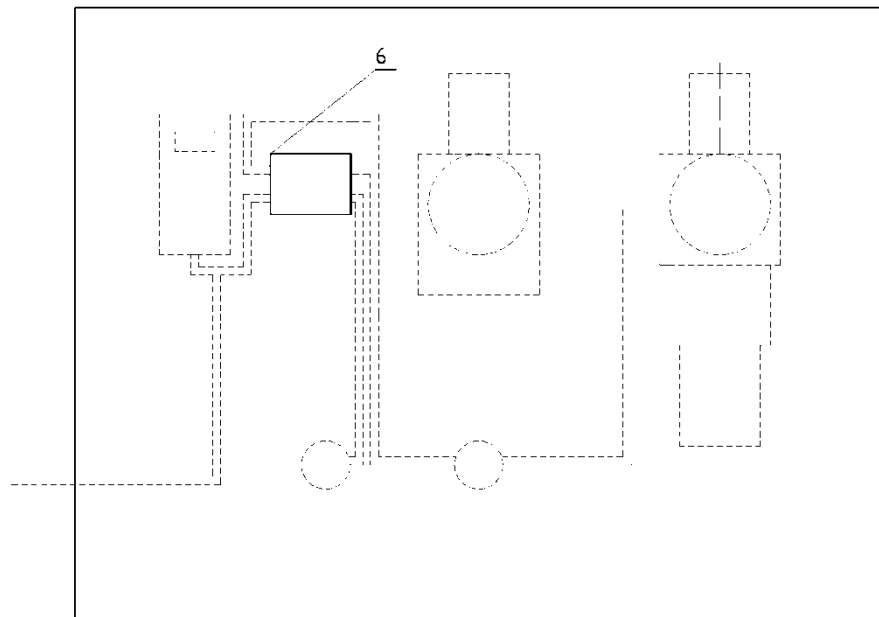


Obr.11. Schematické zobrazení konzoly se součástkami (nárys)



Obr.2. Konzola (bokorys)





Obr.13. Konzola (pohled zezadu)

1. Redukční ventil s filtrem Festo LFR-D-7-MINI – pneumatická součástka o průtoku 1700 l/min s maximálním možným tlakem 16 barů. Tato verze opatřena manometrem. Nádobka na kondenzát vyrobená z PC. Použitá verze nemá oproti verzi na obrázku č.14. integrovaný zámek.



Obr.14. Redukční ventil

2. Přesný redukční ventil Festo LRP-1/4-10 - přesný redukční ventil reguluje pracovní tlak (sekundární strana) membránovým řídicím obvodem. Pracuje v rozmezí 0,1 až 10 barů. Maximální tlak 12 barů. V řešeném pneumatickém obvodu figuruje tento ventil jako záložní. Na obr.15 není zobrazen s manometrem.



Obr.15. Přesný red. Ventil

3. Čidlo tlaku Festo SDE1-D6-G2-H18-L-PU-M8 – jedná se o čidlo tlaku s displejem měřící piezorezistivní metodou. Rozsah měření 0-10 barů.



Obr.16. Čidlo tlaku

4. Přesný škrtící ventil Festo GRPO-10-PK-3 – v obvodu slouží k regulaci průtoku media. Namontovány jsou dva kusy (jeden řídí rychlost napouštění druhý rychlost vypouštění). Pro tento typ ventilů je uveden pracovní tlak 0-8 barů. Normální průtok ve směru škrcení 1,65 l/min.



Obr.17. Škrtící ventil

5. Výstup stlačeného vzduchu z pneumatického obvodu do tlakové nádoby zkušebního zařízení.
6. Rozvaděč stlačeného vzduchu Festo CPE10-M1BH-3GLS-M7 – s elektromagnetickým ventilem, průtokem až 400 l/min a řídicím tlakem 2,5 až 8 barů.



Obr.18. Rozvaděč

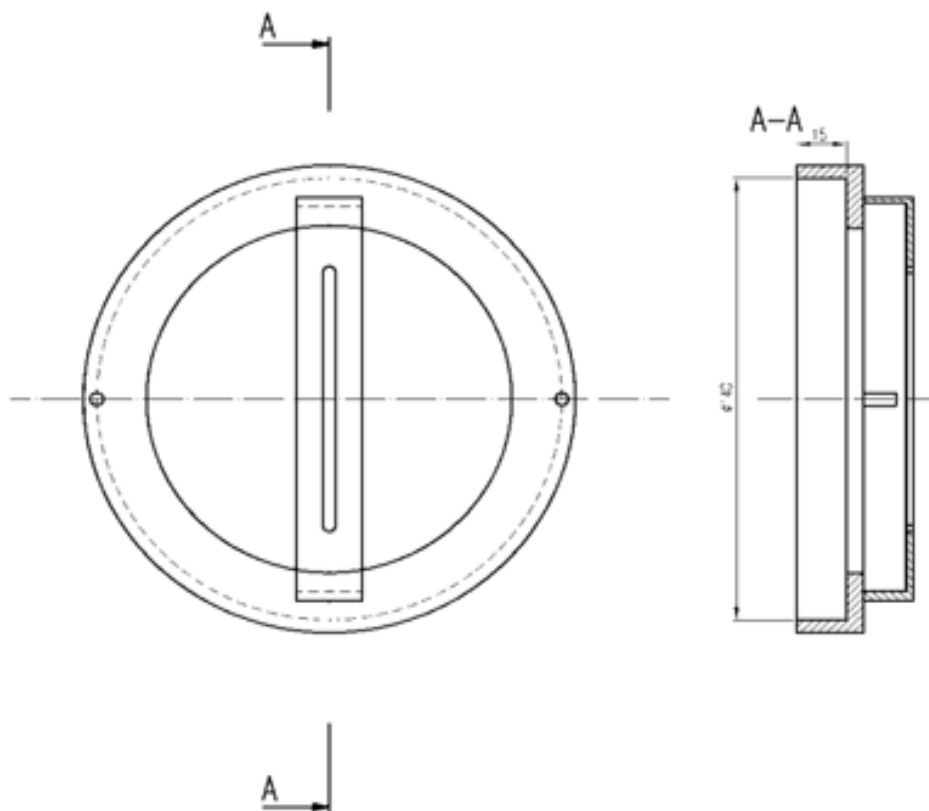
7. Konzola

## 6 PŘÍPRAVEK PRO SPRÁVNÉ USTAVENÍ ZKUŠEBNÍHO VZORKU

### 6.1 Návrh přípravku pro správné ustavení zkušební vzorku

Jak již bylo uvedeno výše, při testování je nutno optimálně ustavit vzorek, aby na záznamu z kamery byly zřejmé pomocné čáry – zejména vodorovné rysky vzdálené 10mm. Je tedy nutné, aby tyto rysky směřovaly k objektivu kamery. Jelikož při ustavení vzorku nebudou z pozice kamery vidět, je nutné si nejprve srovnat ustavující přípravek pohledem kamery a poté dle přípravku upravit polohu zkušební vzorku, případně pootočit i se zkušebním zařízením.

#### 6.1.1 Návrh č.1

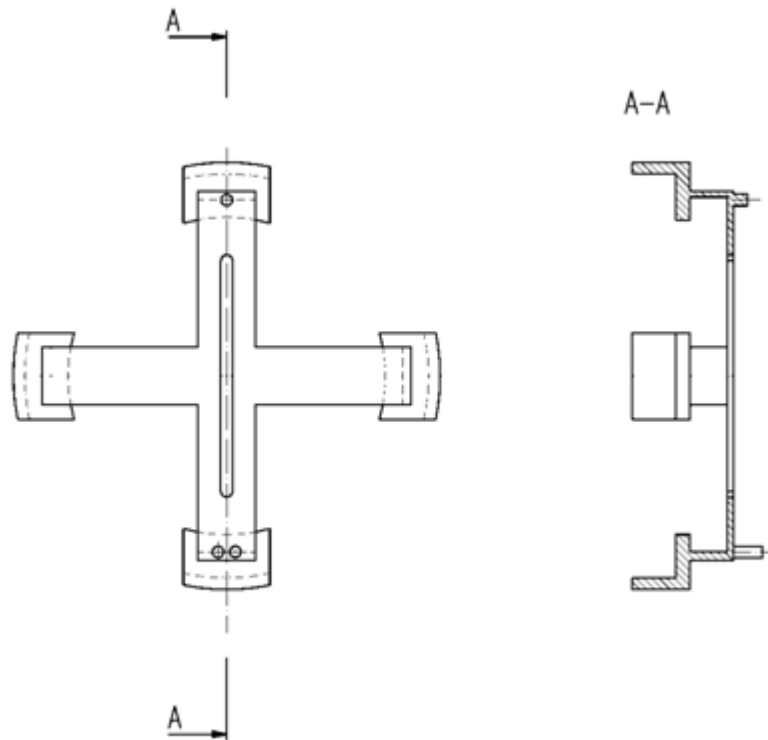


Obr.19. Návrh č. 1

Návrh číslo 1 se skládá z válce s částečně ponechaným víkem, profilu tvaru U s vyfrézovanou drážkou pro optickou kontrolu polohy zkušební tělesa. Po stranách jsou umístěny tyčinky  $\text{Ø}6\text{mm}$ . Měly sloužit k ustavení z pohledu kamery. Dílce jsou spojeny svarovými spoji. Toto řešení však není vhodné z několika důvodů:

- Nevhodně umístěné tyčinky pro ustavení z pohledu kamery.
- Obtížná a ekonomicky nevýhodná případná výroba (válcový díl nutno soustružit z plného polotovaru).
- Při ustavení nemožnost povolit či dotáhnout přírubu nad zkoušeným vzorkem.

### 6.1.2 Návrh č.2



Obr.20. Návrh č.2

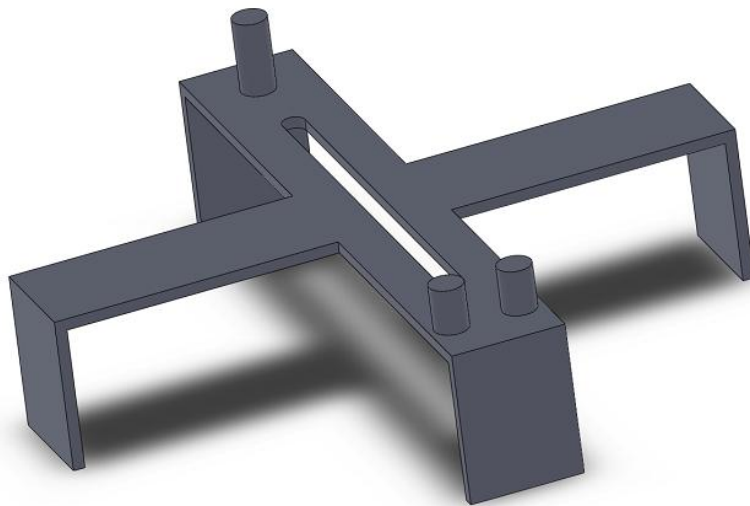
V návrhu číslo dvě jsou proti první variantě vylepšeny tyto prvky:

- Řešení tyčinek je vhodně umístěno a zamíření pomocí zákrytu je řešeno zaměřováním pomocí mezery mezi dvěma tyčinkami na straně jedné a jedním kusem na straně druhé. Tzn. při ustavování musíme vidět v mezeře mezi tyčinkami tyčinku protější.
- Díky čtyřem odstraněným částem spodního dílce je možno částečně operovat s utažením příruby.

Stále však zůstává problém s obtížnější výrobou a ekonomickou nákladností.

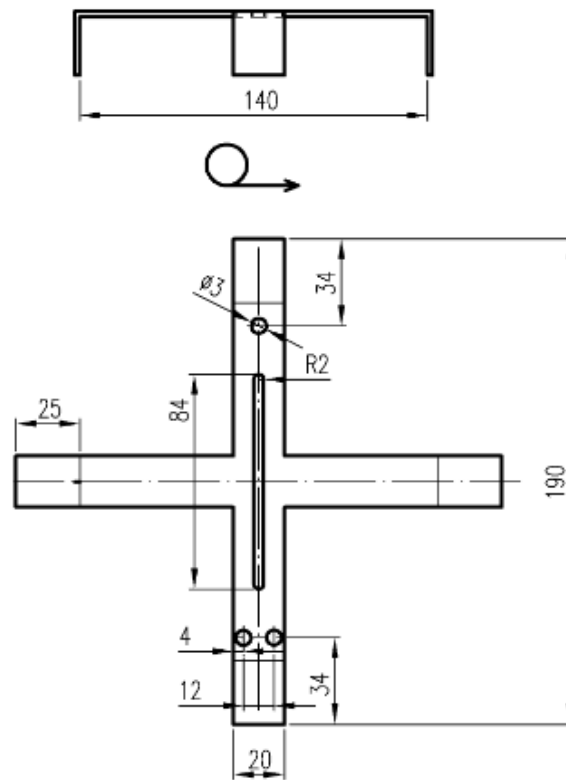
### 6.1.3 Návrh č.3

Poslední návrh se snaží minimalizovat negativa předešlých navržených přípravků. Přípravek je vyroben z plechu, rohy ohnuty do pravého úhlu. Drážka je vyfrézována, tyčinky vloženy do předvrtaných otvorů a spojeny svářením.



Obr.21. Návrh č.3 (3D)

Při případné výrobě je návrh č.3 nejvhodnější. Je vyrobitelný ve školních dílnách a splňuje ostatní požadavky zadané vedoucím bakalářské práce. Níže umístíuji výkresy a technologický postup výroby.



Obr.22. Nákres přípravek



Po sváření doporučeno povrchově upravit. Z estetických důvodu buď zinkovat, nebo použít nátěr odstínu hnědé.

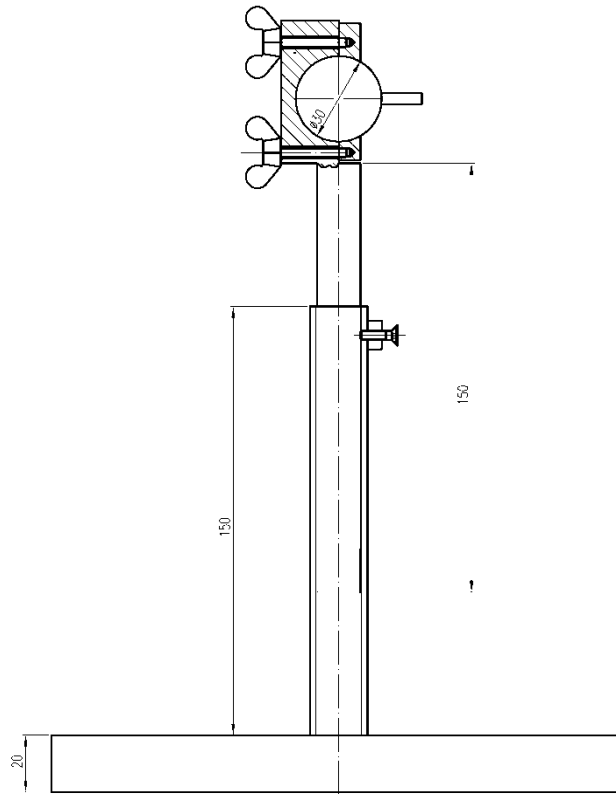
Tab.1. Postup - kříž

<b>Technologický postup</b>		
Název: KŘÍŽ		
Číslo výkresu: BP-01-01		
Materiál: 11 373		
Polotovar: P2 190X190		
Číslo operace	Stroj (pracoviště)	Popis:
010	Pákové nůžky	Stříhat na rozměr 190X190  Vystříhnou kříž  Odjehlit
020	Frézka	Frézovat středovou drážku R2 a délce 84mm
030	Vrtačka	Vrtat otvor Ø6 (3X)
040	Ohýbačka	Ohnout na vnitřní rozměr 140mm
050	Svárna	Vložit Váleček 10mm a Váleček 15mm a svařit ke kříži

## 6.2 Návrh přípravku pro upnutí a zajištění polohy manometru

Opět již bylo pojednáno o nutnosti snímání hodnot manometru přímo s pohledem na testovaný vzorek. Proto je nutno navrhnout samostatný stojan pro upevnění manometru.

## 6.2.1 Návrh č.1

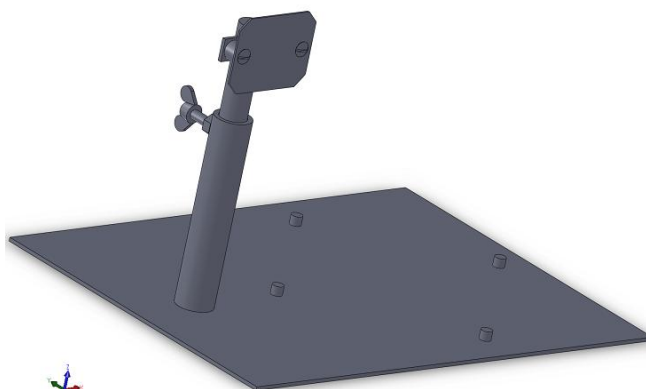


Obr.23. Návrh stojanu č.1

První varianta se skládá z válcové, 20mm vysoké podstavy, k ní je svařena trubka. Vně trubky je vložena kulatina o průměru menším, než je vnitřní průměr trubky. Vysunutí kulatiny je aretováno šroubem. Ke kulatině je přivařeno levé sedlo kulového čepu. Do něj vložen kulový čep a zajištěn protikusem. Polohu čepu lze nastavit po povolení křídlových šroubů (nejlépe 4 kusy).

- V prvním návrhu jsem myslel i na nastavení manometru na kulovém čepu. Toto řešení je však zbytečně složité a takové natočení není vůbec požadováno. Proto zde už není dořešen systém uchycení manometru.
- Později padl návrh vedoucího bakalářské práce na jiné řešení podstavy.

## 6.2.2 Návrh č.2

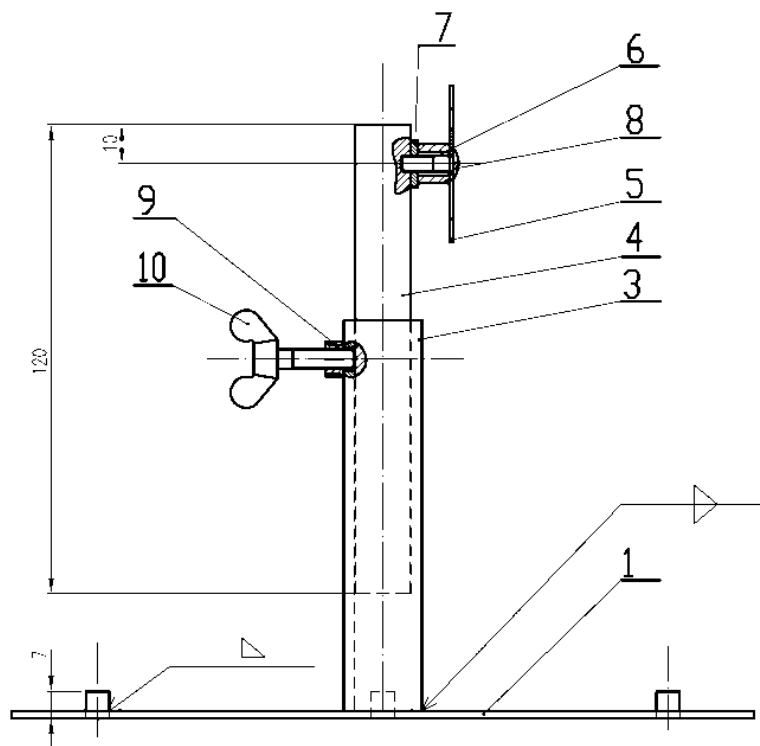


Obr.24. Stojan s podstavou



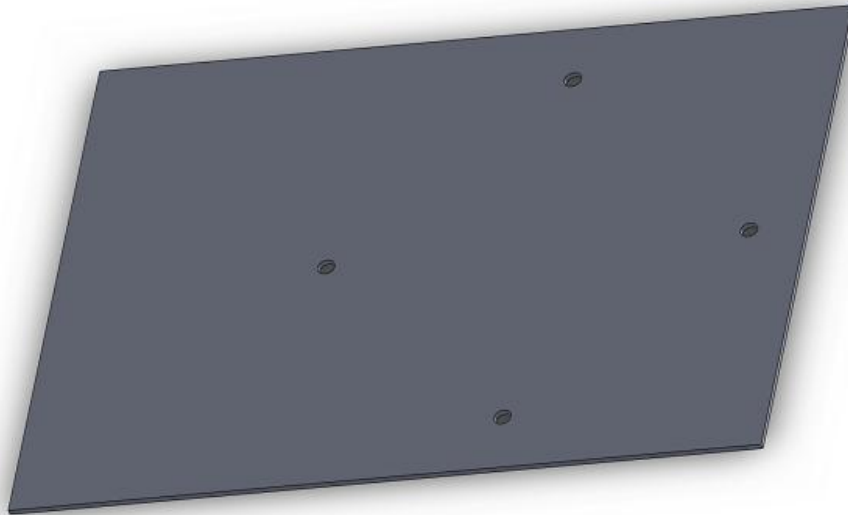
Obr.25. Stojan – detail

V druhém návrhu je vypuštěno naklápění samotného držáku manometru. Podstava je v tomto případě navržena z 2mm silného plechu a bude sloužit rovněž i jako podstava tlakové nádoby. Nádobě je zabráněno v posuvu mimo podstavu pomocí čtyř válečků  $\varnothing 6\text{mm}$  ve čtyřech bodech na kružnici  $\varnothing 146\text{ mm}$ . Držák manometru je výškově nastavitelný pomocí stejného způsobu jako v předchozím případě. Šroub byl zvolen křídlový.



Obr.26. Sestava – pohled z boku

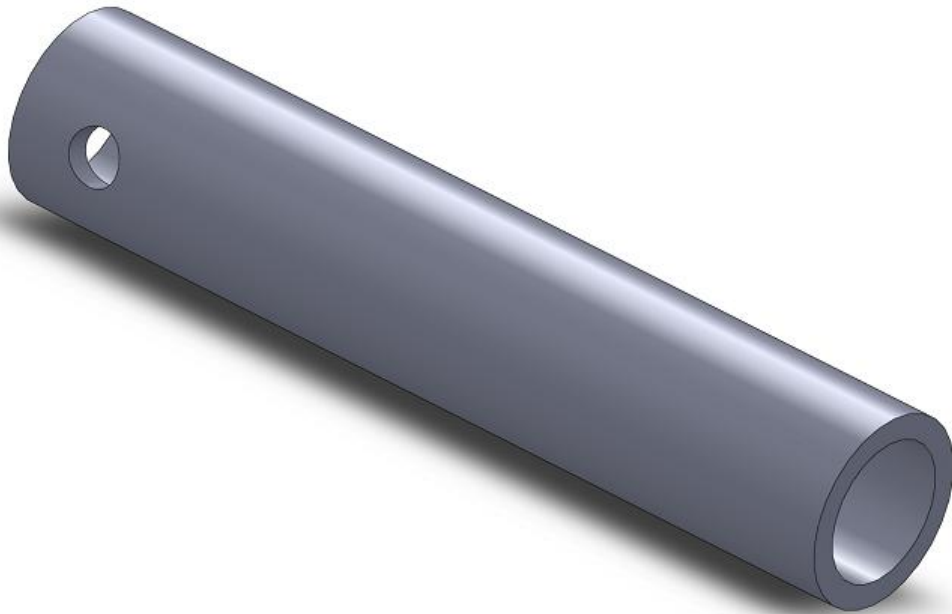
Níže uvádím 3D pohledy a technologické postupy nenormalizovaných součástí a součástí, které nejsou přesně zakotované na výkrese sestavy stojanu (v příloze).



Obr.27. Podstava

Tab.2. Postup - plotna

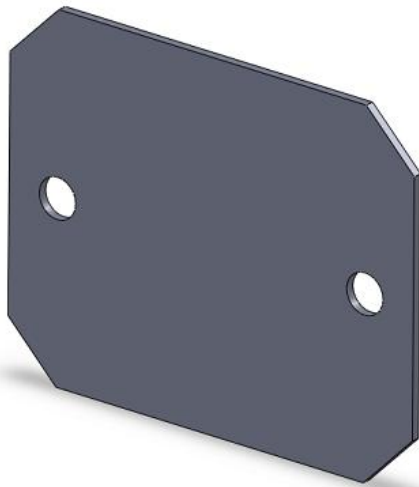
<b>Technologický postup</b>		
Název:Plotna		
Číslo výkresu:BP-02-01		
Materiál:11 373		
Polotovar: P2 261X190		
Číslo operace	Stroj (pracoviště)	Popis:
010	Pákové nůžky	Stříhat na rozměr 261X190 Odjehlit
020	Vrtačka	Vrtat 4X Ø6mm



Obr.28. Trubka

Tab.3. Postup - trubka

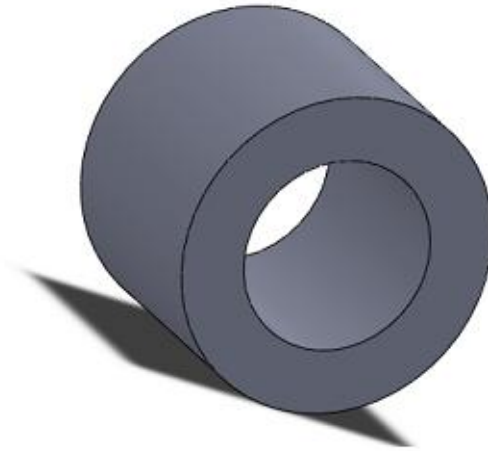
<b>Technologický postup</b>		
Název: Trubka		
Číslo výkresu: BP-02-02		
Materiál: 11 353		
Polotovar: Tr Ø20 X 2,6		
Číslo operace	Stroj (pracoviště)	Popis:
010	Strojní pila	Řezat na rozměr 102mm
020	Soustruh	Zarovnat čelo – otočit – Soustružit na 100mm
030	Vrtačka	Vrtat Ø6mm



Obr.29. Držák

Tab.4. Postup - držák

<b>Technologický postup</b>		
Název: Držák		
Číslo výkresu: BP-02-03		
Materiál: 11 373		
Polotovar: P1 50X40		
Číslo operace	Stroj (praco- viště)	Popis:
010	Nůžky na plech	Stříhat na rozměr 50X40  Zastříhnout rohy 6X45°  Odjehlit
020	Vrtačka	Vrtat 2 X Ø4,5mm

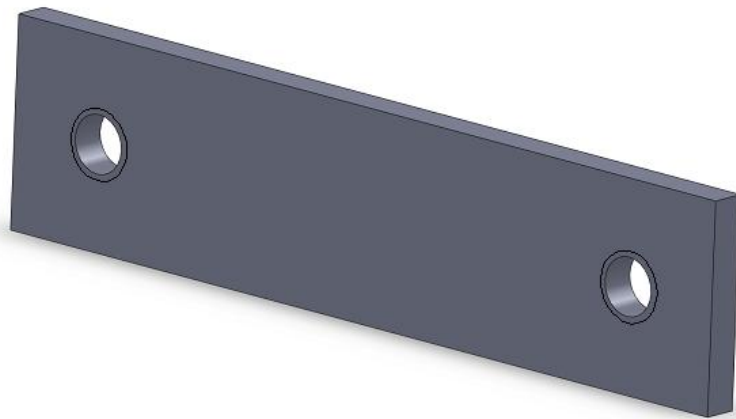


Obr.30. Distanční vložka

Tab.5. Postup –distanční vložka

<b>Technologický postup</b>		
Název: Distanční vložka		
Číslo výkresu: BP-02-04		
Materiál: 11 373		
Polotovar: Ø 10		
Číslo operace	Stroj (pracoviště)	Popis:
010	Soustruh	Navrtat Vrtat Ø 6mm, na délce 22mm Upíchnout 8mm (2 ks) Srazit hrany





Obr.31. Držák se závit

Tab.6. Postup – držák se závit

<b>Technologický postup</b>		
Název: Držák se závit		
Číslo výkresu: BP-02-05		
Materiál: 11 373		
Polotovar: P2		
Číslo operace	Stroj (pracoviště)	Popis:
010	Pákové nůžky	Stříhat na rozměr 50X12
020	Vrtačka	Vrtat 2 x Ø3,2 mm Srazit hrany
030	Ruční dílna	Řezat 2X závit M4

Následuje operace sváření dílců sestavy.

Trubka je podle výkresu svařena k plotně podstavy. K trubce - osově souměrně s dírou - bude přivařena matice M5. Dále dle výkresu patří k trubce držák se závity, opět umístít dle výkresové dokumentace umístěné v příloze. Po dokončení sváření je doporučena povrchová úprava pro svařené dílce sestavy. Nejlépe v hnědém odstínu, použitým již na konzole pneumatických součástí.

## ZÁVĚR

Modifikace a celková vylepšení zařízení pro testování 2D napjatosti byla navržena s co možná nejvyšším ohledem na ekonomickou nenáročnost, celkovou jednoduchost a především možnost vyrobit je v prostorách univerzity. Počáteční návrhy myslely i na možnosti, které ovšem z hlediska prosté funkčnosti nebyly pro chod celého zařízení důležité. Prvotní návrhy zastřely ty následující, jimž dominovala jednoduchost a cenová nenáročnost výroby. Navrhnutá vylepšení jsou zdokumentována tak, aby nebyla problémem jejich pozdější výroba. Jejich návrhy berou ohled na ulehčení a celkové zpřesnění zkoušení pryží na testovacím zařízení.

Přínosem této bakalářské práce pro autora je možnost navrhnout vlastní vylepšení již stávajícího zařízení, konzultace nad klady a zápory použitých řešení a hlubší nahlédnutí do dané problematiky.

Vylepšené komponenty je možno vyrobit dle zpracované dokumentace a ověřit tak jejich inovativnost a funkčnost.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] ČSN ISO 37: 37: *Přez z vulkanizovaných nebo termoplastických kaučuků Stanovení tahových vlastností*, Český normalizační institut, 1996
- [2] Dlouhý, O., *Konstrukce přípravku pro analýzu smykové napjatosti elastomerů*, UTB ve Zlíně, 2008, [Bakalářská práce]
- [3] Ducháček, V., Hrdlička, Z., *Gumárenské suroviny a jejich zpracování*, VŠCHT v Praze, 2009
- [4] Hájek, T., *Návrh zkušebního zařízení pro určení materiálových charakteristik elastomerů*, UTB ve Zlíně, 2005, [Diplomová práce]
- [5] Javořík, J., *Zkoušení rovnoměrné rovinné napjatosti elastomerů*, UTB ve Zlíně, 2005, [učební text]
- [6] Leinveber, J., Vávra, P., *Strojnické tabulky*, Úvaly, pedagogické nakladatelství Albra, 2008
- [7] Mleziva J., Šňupárek J., *Polymery- výroba, struktura, vlastnosti a použití*, Brno: nakladatelství Sobotáles, 2000,
- [8] MSC.SOFTWARE CORPORATION: *Nonlinear finite element analysis of elastomers*. [online]. [cit. 2005-02-05]. Dostupný z URL:  
< [http://www.mscsoftware.com/assets/103\\_elast\\_paper.pdf](http://www.mscsoftware.com/assets/103_elast_paper.pdf) Text.
- [9] Prekop, Š., Várkony, L., Kučna, A., Duriš, Š., Fedorová, E., Matuščinová, A., Michálek, J., *Gumarská technologia I*, Žilina, Žilinská univerzita, 1998
- [10] Prokopová, I., *Makromolekulární chemie*, VŠCHT v Praze, 2007
- [11] Schatz, M., *Zkoušení polymerů*, VŠCHT v Praze, 1979

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

$\varepsilon$	poměrné prodloužení
$l$	původní délka [mm]
$l_0$	původní délka [mm]
$\Delta l$	změna délky [mm]
$\sigma$	napětí [MPa]
$E$	modul pružnosti [MPa]
$P$	tlak [Pa]
$r$	poloměr [mm]
$t$	tloušťka [mm]
$t_0$	původní tloušťka [mm]
$\lambda$	poměrné protažení
$m$	hmotnost [kg]
$e$	Vzdálenost vlákna od osy [mm]
$F_1$	Reakce [N]
$F_2$	Reakce [N]
$F_{max}$	Síla při porušení [N]
$J_z$	Kvadratický moment [mm <sup>4</sup> ]
$y$	Průhyb [mm]

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1: Přehled hlavních kaučuků, jejich relativní spotřeba .....	17
Obrázek 2: Zkušební vzorek tvaru oboustranné lopatky .....	19
Obrázek 3: Diagramy u polymerních materiálů .....	21
Obrázek 4: Schémata roztahování čtvercového a kruhového vzorku .....	22
Obrázek 5: Víceosý tah – vydutí zkušební vzorku .....	22
Obrázek 6: Řez vydutým zkušebním vzorkem .....	23
Obrázek 7: Zkouška jednoosého tlaku.....	24
Obrázek 8: Schéma zkušebního zařízení pro testování 3D.....	26
Obrázek 9: Zkušební vzorek .....	27
Obrázek 10: Rozmístění pomocných čar na vzorku .....	27
Obrázek 11: Schematické zobrazení konzoly se součástkami (nárys).....	28
Obrázek 12: Konzola (bokorys).....	29
Obrázek 13: Konzola (pohled zezadu).....	30
Obrázek 14: Redukční ventil .....	31
Obrázek 15: Přesný red. Ventil.....	31
Obrázek 16: Čidlo tlaku .....	32
Obrázek 17: Škrťící ventil .....	32
Obrázek 18: Rozvaděč .....	33
Obrázek 19: Návrh č 1 .....	34
Obrázek 20: Návrh č.2 .....	35
Obrázek 21: Návrh č.3 (3D) .....	36
Obrázek 22: Nákres přípravek .....	37
Obrázek 23: Návrh stojanu č.1 .....	39
Obrázek 24: Stojan s podstavou.....	40
Obrázek 25: Stojan – detail.....	40
Obrázek 26: Obr.26. Sestava – pohled z boku.....	41
Obrázek 27: Podstava .....	42
Obrázek 28: Trubka .....	43
Obrázek 29: Držák .....	44
Obrázek 30: Distanční vložka .....	45
Obrázek 31: Držák se závity .....	46

**SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: Postup - kříž.....	17
Tabulka 2: Postup - plotna .....	41
Tabulka 3: Postup - trubka.....	43
Tabulka 4: Postup - držák .....	44
Tabulka 5: Postup – distanční vložka .....	45
Tabulka 6: Postup – držák se závity .....	46

## **PŘÍLOHA P I: VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE**

BP 01 – 00 KŘÍŽ – SESTAVA

BP 01 – 01 KŘÍŽ

BP 02 – 00 SESTAVA

BP 02 – 01 PLOTNA

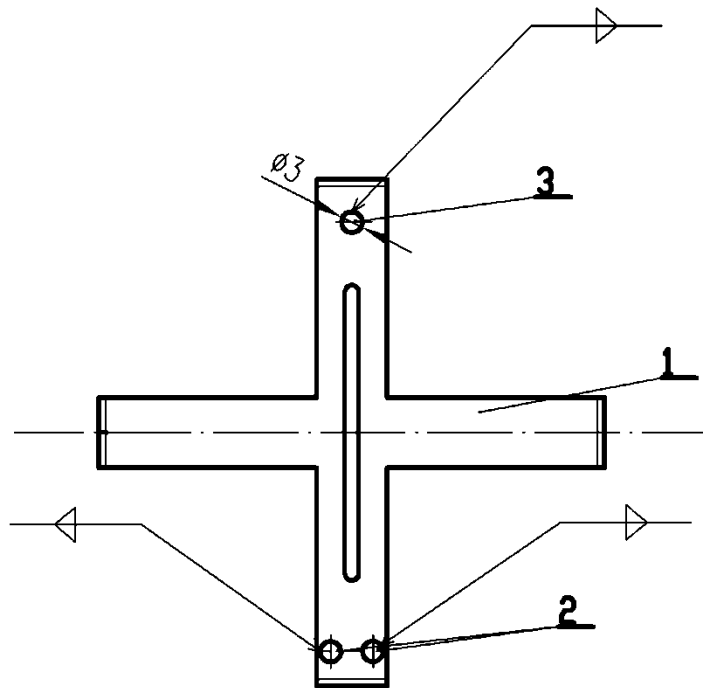
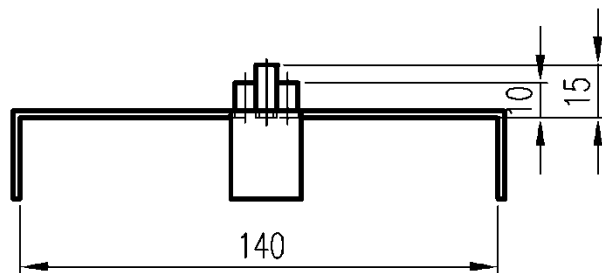
BP 02 -02 TRUBKA

BP 02 – 03 DRŽÁK

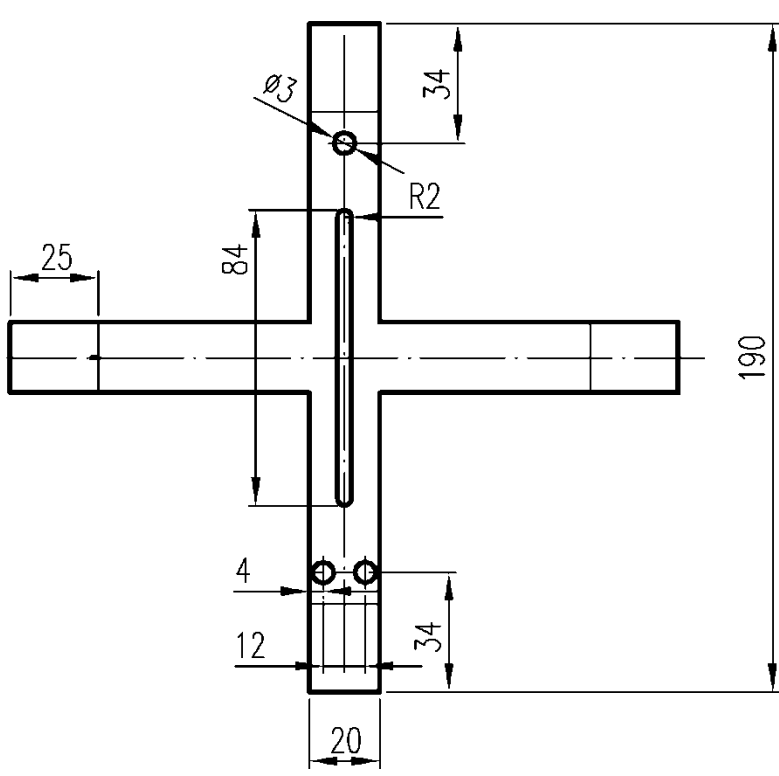
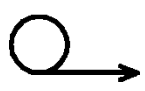
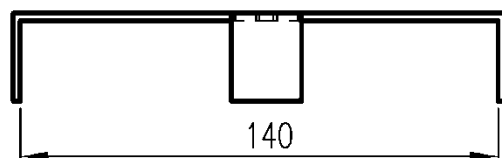
BP 02 – 04 DISTANČNÍ VLOŽKA

BP 02 – 05 DRŽÁK SE ZÁVITY

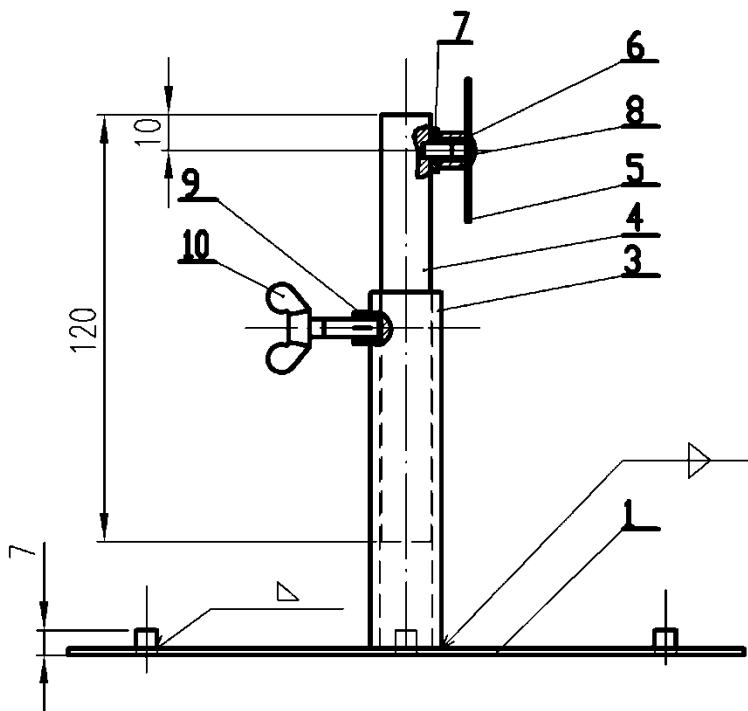




POZ.	NÁZEV	MATERIÁL	VÝKRES-NORMA	POČET	
1	KŘÍŽ	P 2-11 373	BP-01-01	1	
2	VÁLEČEK 10mm	ø6 11 373		2	
3	VÁLEČEK 15mm	ø6 11 373		1	
PŘESNOST ISO 2768-mk		Materiál	<b>UTB ZLÍN</b> Třída		
TOLEROVÁNÍ ISO 8015		Polotovary			
PROMÍTÁNÍ $\frac{1}{2}$		Hmotnost			kg
Měřítko	Poznámka	Navrhl	Název <b>KŘÍŽ-SESTAVA</b> Čís.výkresu <b>BP-01-00</b>		
<b>1:2</b>		Kreslil			Nevrlika
		Přezkoušel			
Č.sestavy		Technolog	List 1/1		
Starý výkr.		Schválil			
Nový výkr.		Datum			15.6.2011



PŘESNOST ISO 2768-mK	Materiál	11 373	<div style="text-align: center; font-size: 24px; font-weight: bold;">UTB ZLÍN</div> <div style="text-align: center; font-size: 36px; font-weight: bold;">KŘÍŽ</div>	Třída	
TOLEROVÁNÍ ISO 8015	Polotovary	P2 500x2000			
PROMÍTÁNÍ	≡ ⊕	Hmotnost			kg
Měřítko	Poznámka	Navrhl		Název	
1:2		Kreslil	Nevrka		
		Přezkoušel			
Č.sestavy	Technolog		Čís.výkresu		
Starý výkr.	Schválil				
Nový výkr.	Datum	15.6.2011			
				BP-01-01	List 1/1

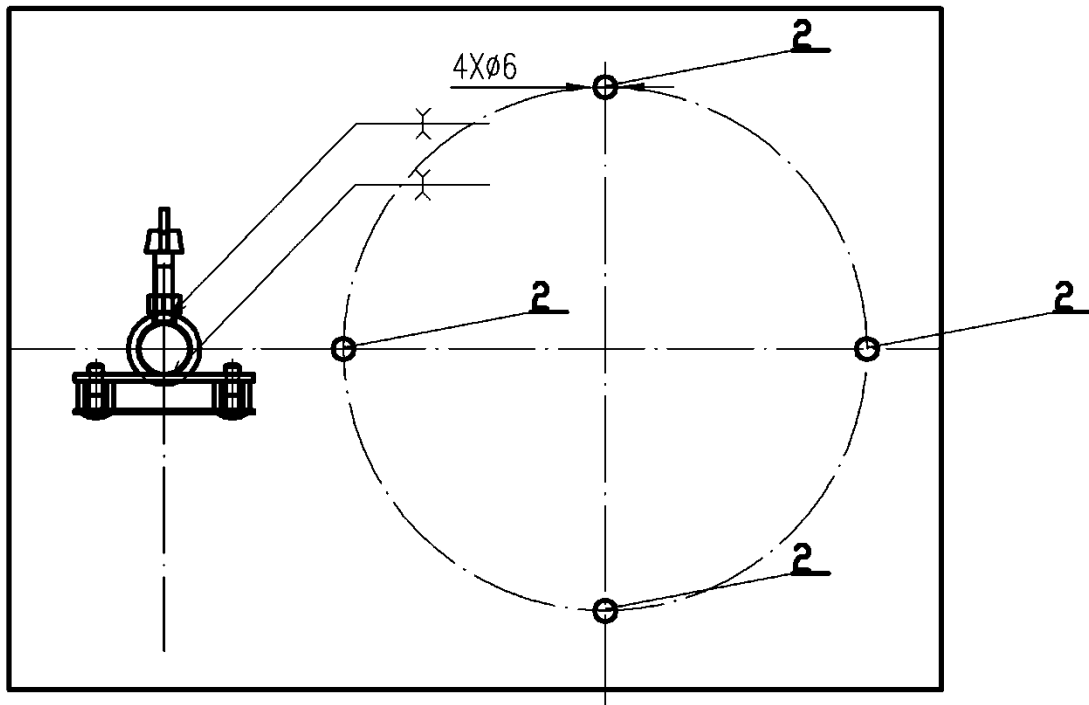


POZ.	NÁZEV	MATERIÁL	VÝKRES-NORMA	POČET
1	PLOTNA	P2-11 373	BP-02-01	1
2	VÁLEČEK 7mm	Ø6-11 373		4
3	TRUBKA	TR Ø20 x 2,8 - 11 373	BP-02-02	1
4	TYČ	Ø14 ČSN 42 5510,12 11 373		1
5	DRŽÁK	P2-11 373	BP-02-03	1
6	DISTANČNÍ VLOŽKA	Ø10-11 373	BP-02-04	2
7	DRŽÁK SE ZÁVITY	P2-11 373	BP-02-05	1
8	ŠROUB M4		M4X14 ČSN 02 1318	2
9	MATICE M5		M5 ČSN EN ISO 4032	1
10	KŘÍDLATÝ ŠROUB		M5X20 ČSN 02 1365	1

PŘESNOST ISO 2768-mK	Materiál	
TOLEROVÁNÍ ISO 8015	Polotovary	
PROMÍTÁNÍ	☉	Hmotnost kg

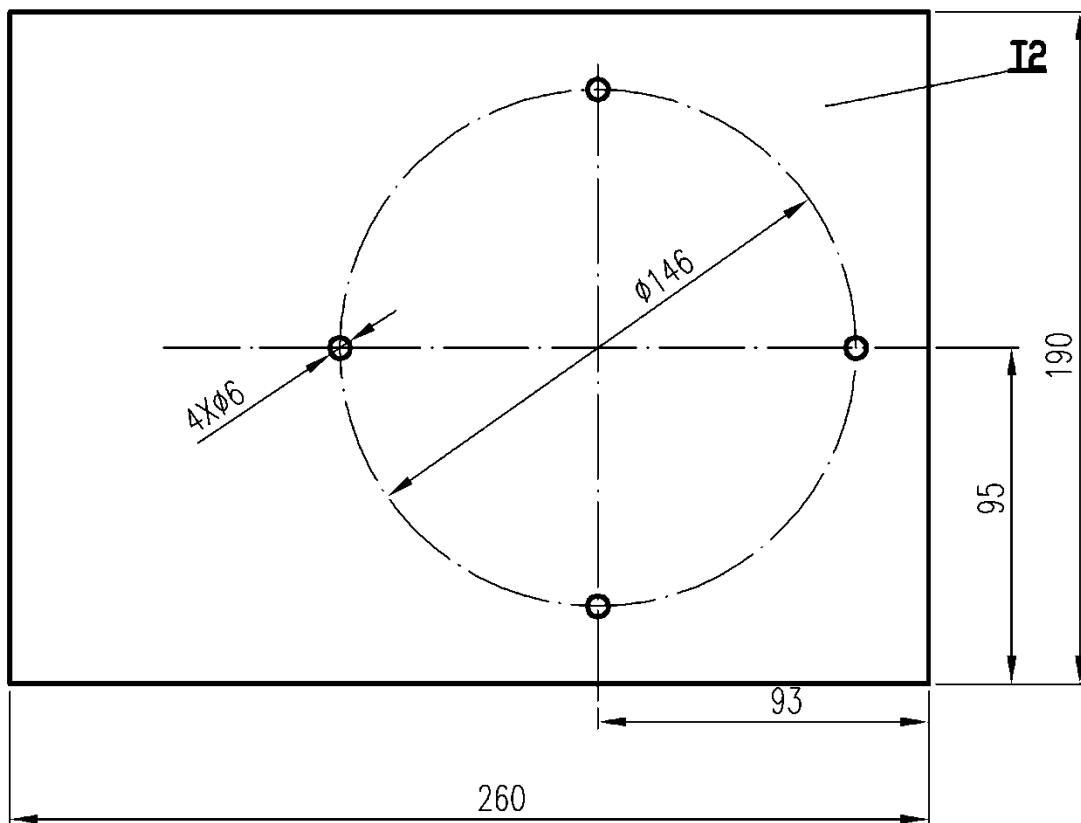
Měřítko	Poznámka	Navrhl	
1:2		Kreslil	Nevrka
		Přezkoušel	
Č.sestavy	Technolog		
Starý výkr.	Schválil		
Nový výkr.	Datum	17.6.2011	

<b>UTB ZLÍN</b>		Třída
<b>SESTAVA -BOKORYS</b>		
Čís.výkresu		<b>BP-02-00</b>
		List 1/2



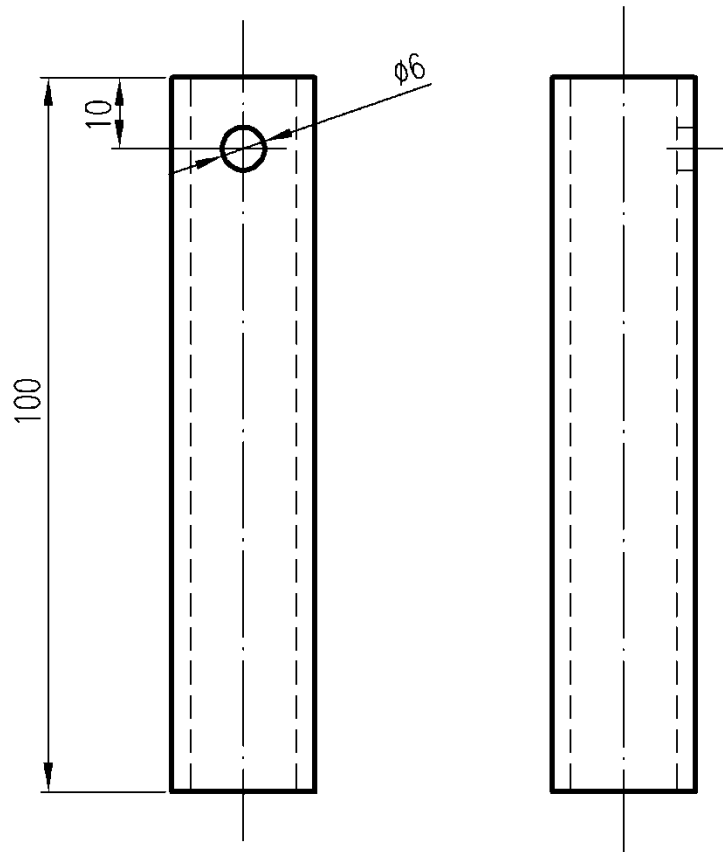
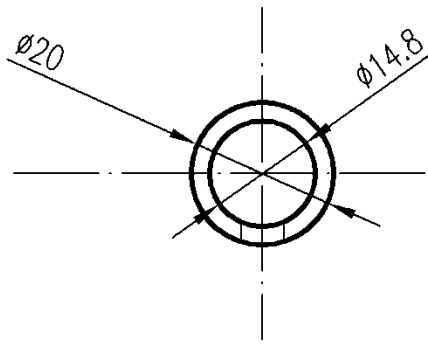
PŘESNOST ISO 2768-mK	Materiál		
TOLEROVÁNÍ ISO 8015	Polotovar		
PROMĚTÁNÍ $\ominus$	Hmotnost	kg	
Měřítka	Poznámka	Navrhl	
1:2		Kreslil	Nevrka
		Přezkoušel	
		Technolog	
Č.sestavy		Schválil	
Starý výkr.		Datum	17.6.2011
Nový výkr.			

UTB ZLÍN		Třída
SESTAVA-PŮDORYS		
Čís.výkresu	BP-02-00	
List 2/2		

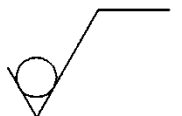


PŘESNOST ISO 2768-mK	Materiál	11 373
TOLEROVÁNÍ ISO 8015	Polotovar	P2 500X2000
PROMÍTÁNÍ	Hmotnost	kg
Měřítko	Poznámka	Navrhl
<b>1:2</b>		Kreslil
		Přezkoušel
		Technolog
Č.sestavy		Schválil
Starý výkr.		Datum
Nový výkr.		17.6.2011

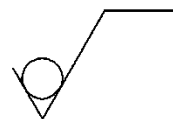
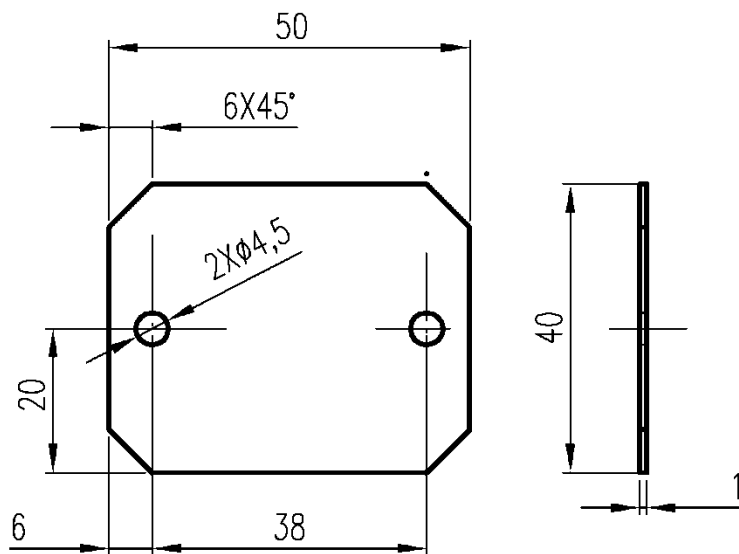
UTB ZLÍN		Třída
PLOTNA		
Čís.výkresu	BP-02-01	
	List 1/1	



SRAZIT HRANY 0,3X45°

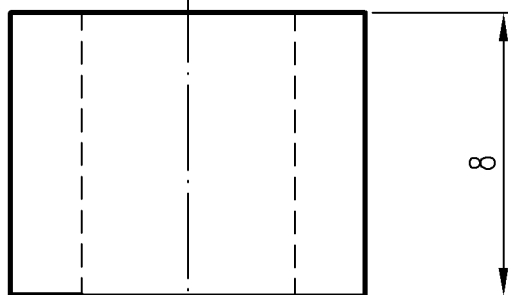
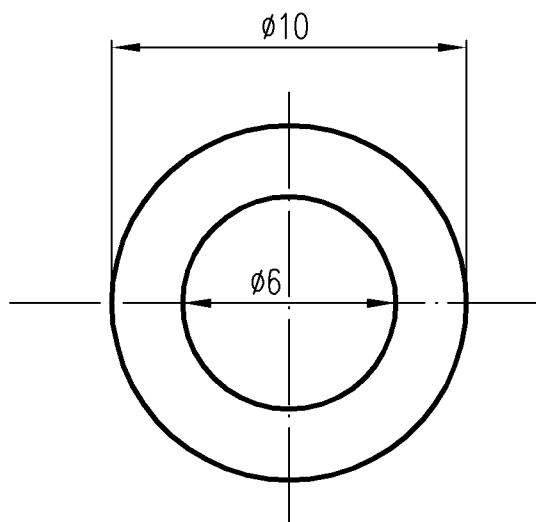


PŘESNOST ISO 2768-mK	Materiál	11353	UTB ZLÍN	Třída	
TOLEROVÁNÍ ISO 8015	Polotovar	TR $\varnothing 20 \times 2,6$			
PROMÍTÁNÍ $\leftarrow \oplus$	Hmotnost	kg			
Měřítko <b>1:1</b>	Poznámka	Navrhl	Název <b>TRUBKA</b>	Čís.výkresu <b>BP-02-02</b>	
Č.sestavy		Kreslil			Nevrlka
		Starý výkr.			Přezkoušel
Nový výkr.	Technolog				
	Schválil				
	Datum	17.6.2011			

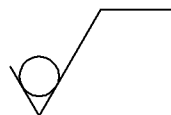


NEKOTOVANÉ HRANY SRAZIT HRANY 0,3X45°

PŘESNOST ISO 2768-mK	Materiál	11 373	UTB ZLÍN DRŽÁK BP-02-03	Třída	
TOLEROVÁNÍ ISO 8015	Polotovar	P1-500X2000			
PROMÍTÁNÍ	Hmotnost	kg			
Měřítko	Poznámka	Navrhl	Název	Čís.výkresu	
1:1		Kreslil			Nevrlka
		Přezkoušel			
Č.sestavy	Technolog				
Starý výkr.	Schválil				
Nový výkr.	Datum	17.6.2011			

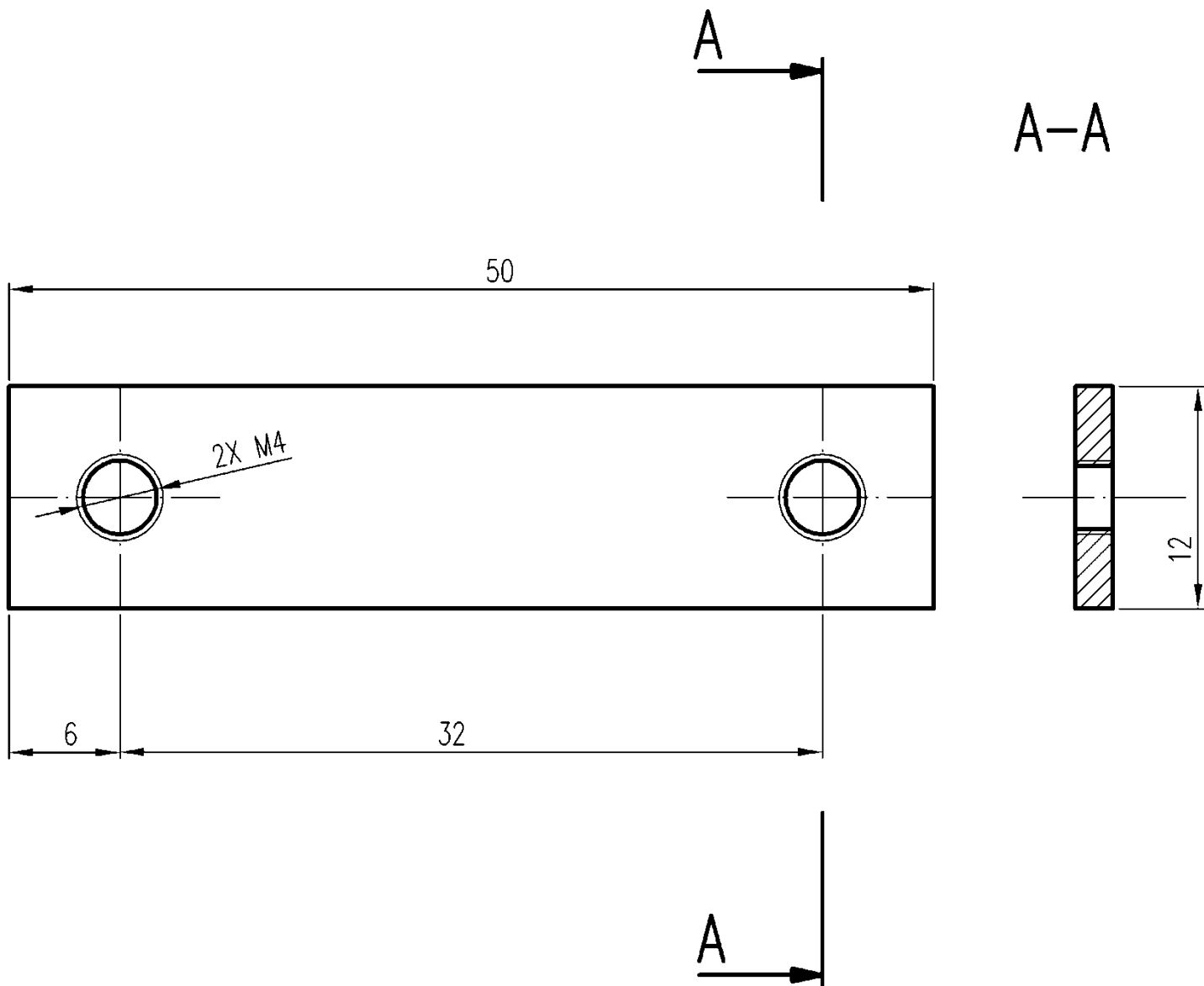


SRAZIT HRANY 0,3X45°



PŘESNOST ISO 2768-mK	Materiál	11 373	Třída
TOLEROVÁNÍ ISO 8015	Polotovar	$\varnothing 10$ ČSN 42 5510,12	
PROMÍTÁNÍ $\nabla$	Hmotnost	kg	Název
Měřítko <b>5:1</b>	Poznámka	Navrhl Kreslil Přezkoušel	
Č.sestavy		Technolog	Čís.výkresu <b>BP-02-04</b>
Starý výkr.		Schválil	
Nový výkr.		Datum	





SRAZIT HRANY 0,3X45°

PŘESNOST ISO 2768-mK	Materiál	11 373	Třída	
TOLEROVÁNÍ ISO 8015	Polotovar	P2		
PROMÍTÁNÍ	☉	Hmotnost		kg
Měřítko	Poznámka	Navrhl	Název	
2:1		Kreslil		Nevrlka
		Přezkoušel		
Č.sestavy	Technolog		Čís.výkresu	
Starý výkr.	Schválil			
Nový výkr.	Datum	17.6.2011		
			UTB ZLÍN	
			DRŽÁK SE ZÁVITY	
			BP-02-05	
			List 1/1	