

Zařízení pro dvouosý tah

Michal Doležel

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: Michal DOLEŽEL
Osobní číslo: T06778
Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení
Téma práce: Zařízení pro dvouosý tah

Zásady pro vypracování:

- literární rešerže**
- návrh konstrukce**
- návrh technologie výroby**
- zhodnocení funkčnosti**

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce

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 7. ledna 2011



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

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

Ve Zlíně

.....

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z 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 přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce byla vypracována na téma: „Zařízení pro dvouosý tah.“

Cílem této práce bylo navrhnout zařízení (přípravek) pro zkoušení elastomerních materiálů.

V první části teorie nás práce obeznámí s pojmem „elastomery“, seznámí nás s jejich historií a vysvětlí zákonitosti jejich mechanického chování. V další části se práce věnuje zkoušení elastomerů, typům zkušebních čelistí a zařízení, druhům zkoušek a jejich podstatě.

V praktické části tedy navrhuji Zařízení pro dvouosý tah (Equibiaxial tension testing device), do kterého se budou upínat zkušební vzorky pryže tvaru krychle, zkoušené na dvouosý tah.

Tvar a rozměry navrženého zařízení jsou zdokumentovány na výrobních výkresech, které se nachází v příloze.

Dále je zde kontrola navrženého zařízení a popis průběhu zkoušky, při které bude otestována funkčnost navrženého zařízení.

Klíčová slova: elastomery, kaučuky, zkoušky, návrh zařízení, technologický postup

ABSTRACT

This work theme is: "The biaxial tension. "

The aim of this work was to design and device for testing of elastomeric materials and evaluate its performance.

In the first part of our work there is theory about the term "elastomers", we learn about their history and explain the laws governing their mechanical behavior. The next part deals with the testing of elastomers, the types of test dies and equipment, types of tests and their nature.

The practical part of it I suggest equipment for biaxial tension (Equibiaxial tension testing device) in which to test samples of rubber clamped cubic biaxial test on the move.

The shape and dimensions of proposed facilities are documented on the production drawings, which are located in the appendixes.

Then there is the control of the proposed facility and a description of the tests, which will be tested at the design's facilities.

Keywords: elastomers, rubbers, test equipment design, technological process

Poděkování

Velmi rád bych poděkoval všem, kteří přispěli ke vzniku mé bakalářské práce.

Zvláště vedoucímu bakalářské práce Ing. Jakubovi Javoříkovi, Ph.D. za odpovědné vedení, trpělivost, za poskytnuté materiály, cenné rady a připomínky věnované mé bakalářské práci.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářská práce a elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné. Dále prohlašuji, že jsem na bakalářské 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 studenta

OBSAH

ÚVOD	12
I TEORETICKÁ ČÁST	14
1 ELASTOMERY	15
1.1 Z HISTORIE KAUKČUKŮ	15
1.1.1 Přírodní kaučuk z plantáže.....	16
1.1.2 Syntetický kaučuk	16
1.2 KAUKČUKY	17
1.3 PŘÍRODNÍ KAUKČUK (PK).....	17
1.3.1 Uzený kaučuk – Ribbed smoked sheet (RSS).....	19
1.3.2 Světlá krepa – pale latex crepe.....	20
1.3.3 Hnědá krepa – brown crepe.....	20
1.3.4 Kaučuk sušený na vzduchu – Air Dried Sheets	20
1.4 SYNTETICKÝ KAUKČUK	20
1.4.1 Kaučuky pro všeobecné použití	21
1.4.2 Izoprenové – polyizoprenové kaučuky (IR).....	22
1.4.3 Butadienstyrenové kaučuky (SBR).....	23
1.4.4 Butadienové – polybutadienové kaučuky (BR)	23
1.4.5 Ethylenpropylenové kaučuky (EPM, EPDM).....	24
1.4.6 Butylkaučuky (IIP, BIIR, CIIR).....	24
1.4.7 Olejovzdorné kaučuky	24
1.4.8 Chloroprenové kaučuky (CR)	25
1.4.9 Butadienakrilonitrilové kaučuky (NBR).....	25
1.4.10 Akrylátové kaučuky (ACM)	25
1.4.11 Polysulfidové kaučuky (OT).....	25
1.4.12 Teplovzdorné kaučuky	26
1.4.13 Silikonové kaučuky (MQ, MVQ, MPVQ, MPQ).....	26
1.4.14 Fluorovodíkové kaučuky (FPM, FKM, FFKM, CFM).....	26
1.5 ZPRACOVATELSKÉ PŘÍSADY	26
1.5.1 Plastikační činidla	27
1.5.2 Maziva.....	27
1.5.3 Pomocné zpracovatelské prostředky.....	27
1.5.4 Změkčovadla	27
1.6 ANTIDEGRADANTY	28
1.6.1 Světelné stabilizátory	28
1.6.2 Antioxidanty.....	28
1.6.3 Antiozonanty	29
1.7 SÍŤOVACÍ PROSTŘEDKY	30
1.7.1 Vulkanizační činidla.....	30
1.7.2 Urychlovače síťování	32
1.8 PŘÍSADY OVLIVŇUJÍCÍ DALŠÍ FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI	33
1.8.1 Plniva.....	33
1.8.2 Pigmenty	34
2 MECHANICKÉ CHOVÁNÍ ELASTOMERŮ	35

2.1	DEFORMACE.....	35
2.2	ELASTICITA	35
2.2.1	Lineární (ideální) elasticita	36
2.2.2	Kaučuková elasticita	37
2.3	TAHOVÉ VLASTNOSTI PRYŽE	39
2.3.1	Pevnost v tahu	39
2.3.2	Tažnost	40
3	HYPERELASTICITA	41
3.1	HYPERELASTICKÉ MODELÝ	44
3.2	STANOVENÍ MATERIÁLOVÝCH KONSTANT PRO HYPERELASTICKÉ MODELÝ	48
4	ZKOUŠKY ELASTICKÝCH A HYPERELASTICKÝCH MATERIÁLŮ	53
4.1	OBEČNÝ VZTAH MEZI NAPĚTÍM A DEFORMACÍ.....	53
4.2	ZKOUŠKA JEDNOOSÉ NAPJATOSTI.....	54
4.2.1	Norma ČSN ISO 37 – stanovení tahových vlastností pryže	55
4.2.2	Princip zkoušky	55
4.2.3	Zkušební tělesa.....	55
4.3	ZKOUŠKA DVOUOSÉ NAPJATOSTI.....	56
4.3.1	Princip zkoušky	57
4.4	ZKOUŠKA PRO ČISTÝ SMYK	59
4.4.1	Princip zkoušky	60
II	PRAKTICKÁ ČÁST	62
5	CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI	63
6	VÝPOČTY	64
6.1.1	Výpočet ramene na ohyb.....	64
6.1.2	Výpočet šroubů M4.....	65
6.1.3	Výpočet šroubů M8.....	66
6.1.4	Výpočet táhla	67
7	ZKUŠEBNÍ STROJ ZWICK	69
7.1	ZKUŠEBNÍ VZOREK	71
7.2	PRŮBĚH ZKOUŠKY	71
8	KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ PRO DVOUOSÝ TAH.....	72
8.1	FUNKCE JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ ZAŘÍZENÍ PRO DVOUOSÝ TAH	72
8.2	POSTUP PŘI MONTÁŽI A UPEVNĚNÍ PŘÍPRAVKU KE ZKUŠEBNÍMU STROJI ZWICK	72
9	TECHNOLOGICKÝ POSTUP.....	73
9.1	VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE SOUČÁSTÍ	73
9.2	VOLBA MATERIÁLU	73
9.2.1	Přidávky na obrábění.....	74
9.2.2	Volba polotovaru.....	74
9.2.3	Použitá měřidla.....	75
9.3	VÝROBNÍ POSTUP – PŘEHLED OPERACÍ	77
	ZÁVĚR	81
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	82

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	84
SEZNAM OBRÁZKŮ	86
SEZNAM TABULEK.....	87
SEZNAM PŘÍLOH.....	88

ÚVOD

Elastomery jsou materiály, které tvoří speciální skupinu polymerů. Elastomer je, jak již název napovídá, vysoce elastický polymer, který můžeme za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení, přičemž deformace je převážně vratná.

Mezinárodní definice: Elastomer (kaučuk) je materiál, který je schopen se deformovat již malou silou nejméně o 100% své původní délky a po uvolnění síly se rychle vrací do téměř původního stavu

Nejčastější podmnožinou elastomerů jsou kaučuky, z nichž se vyrábí pryž. Kaučuky dělíme na přírodní a syntetické.

Dříve byly kaučuky pouze přírodní a získávaly se různými způsoby z kaučukovitých rostlin a stromů. Asámský latex je komerční označení pro latex, který se těží nařezáváním kůry fíkovníku pryžodárného (*Ficus elastica*). Tento latex obsahuje 10–30 % kaučuku. Dají se z něj vyrábět pneumatiky, rukavice, hračky či sportovní potřeby. Fíkovník pryžodárný se dříve pěstoval na plantážích v jihovýchodní Asii. Díky malému obsahu kaučuku, však většina plantáží zkrachovala. Chicle či počestně čikle je druh přírodního elastomeru, který poskytuje jihoamerický druh *Manilkara zapota* z čeledi *Sapotaceae*. Vzniká vařením latexu, který se získává nařezáváním kůry tohoto druhu. Z chicle se vyrábí žvýkačky. Další získávání ze stromů *Havea Braziliensis* ve formě latexu čepovaného z podkůry, následuje *Guayula* (*Parthenium Argentatum*), která obsahuje kaučuk v celých rostlinách, dále Zlatobýdl, obsahující kaučuk v listech a následující rostliny jako jsou Tau-sagyž, Kok-sagyž a Krym-sagyž. Dříve znamenalo slovo pryž (rubber) materiál získaný z výše jmenovaných kaučukovitých rostlin.

V dnešní době elastomery označujeme též jako hyperelastické materiály. Tyto materiály nacházejí v současnosti stále širší uplatnění v nejrůznějších oborech a odvětví průmyslu například jako nárazové a dopadové absorbéry energie, izolátory, tlumiče vibrací, izolátory, těsnící prvky a v neposlední řadě dominantní odvětví oblasti pryže a to výroba pneumatik automobilů. Stále vzrůstající využití pryží ve strojírenském průmyslu požaduje analýzy pro předpověď chování celkových soustav, které obsahují pryžové komponenty. Proto je velmi důležité určení mechanických vlastností pryžových materiálů.

Elastomery mají výrazně odlišné vlastnosti než jiné materiály a kovy, je proto nutné využít jiných postupů zkoušení mechanických vlastností a vyhodnocení vztahů pro tahové a tla-

kové zatížení, pro které nelze aplikovat Hookův zákon, z důvodu jejich výrazné nelinearity při namáhání. Aby bylo možné aproximovat chování těchto materiálů pod působením určitého napětí a při určitých deformacích, byla vytvořena řada materiálových modelů založených na potenciálu deformační energie, které jsou pro vyhodnocení vlastností elastomerů nutné.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ELASTOMERY

Elastomer je, jak již název sám napovídá, vysoce elastický materiál, který můžeme za běžných podmínek malou silou značně deformovat bez porušení, přičemž deformace je převážně vratná. Nejpočetnější podmožinou elastomerů, nebo v dnešní době též nazývané hyperelastické materiály jsou kaučuky, z nichž se vyrábí pryž (guma).

1.1 Z historie kaučuků

V letech 1493 až 1496 při druhé objevné výpravě do Jižní Ameriky si Kolumbovi námořníci všimli, že Indiáni si pro své hry zhotovili míče z vyschlé kapaliny, která vytékala z poraněných stromů. Nazývali je „Hheve“, (odtud latinský název kaučukovníku „Hevea“) nebo „Cua-Uchu“ (odtud i český termín „kaučuk“), což obojí znamená „plačící dřevo“. Přírodní kaučuk dále užívali k výrobě nepromokavého plátna a obuvi. [1]

Do Evropy se přírodní kaučuk dostal r. 1736, ale k jeho prvnímu komerčnímu využití došlo až v r. 1791. Vyráběly se z něj nepromokavé lodní plachty a pytle na přepravu pošty, a to impregnací textilu roztokem kaučuku v terpentýnové silici. Kaučukové zboží však měklo a stávalo se lepivým v letních vedrech a naopak tvrdlo a křehlo v chladu zimního období. [1]

Tyto jeho nedostatky odstranili až dva nezávislí objevitelé vulkanizací kaučuku, Američan Charles Goodyear a Angličan Thomas Hancock. Zjistili, že zahříváním směsi kaučuku se sírou vzniká produkt nových vlastností, kterému dnes říkáme pryž. Goodyear za svůj objev dostal patent v r. 1844. Uvádí v něm také, že přeměna kaučuku v pryž proběhne rychleji, přimíchá-li se ke kaučuku a síře ještě oxid zinečnatý, přičemž kaučukovou směs je možno vyrobit buď v roztoku terpentýnu, nebo na válcovacím stroji s vyhřívanými válci. Hancock nezávisle na Goodyearovi objevil, že změněných vlastností kaučuku lze dosáhnout jeho zahříváním v roztavené síře. Tímto způsobem také jako první představil tvorbu pryže (ebonit). Ve svém patentu z r. 1843 dále popisuje, že rychlost chemické reakce síry s kaučukem se zdvojnásobí se zvýšením teploty o 10°C. [1]

Stručně řečeno, Goodyear v USA a Hancock ve Velké Británii položili základy vulkanizace kaučuku. Tento termín zavedl anglický výzkumník William Brockendon (r. 1842). Odvodil jej z řecké mytologie od jména boha Vulkána, jehož činnost je charakterizována právě působením síry a tepla. [1]

Skutečný rozvoj gumárenského průmyslu nastal však až po vynálezu pneumatiky, kterou r. 1845 jako první patentoval skotský inženýr Robert William Thomson ve Velké Británii.

Jeho vynález našel ale praktické uplatnění teprve po r. 1888, kdy obdobnou pneumatiku patentoval shodou okolností rovněž skot, veterinární lékař John Boyd Dunlop. Byl to ovšem vynález, který umožnil vývoj automobilu a další technické pokroky v dopravě. Od té doby se datující rychlý rozvoj gumárenského průmyslu a s ním související vzestup spotřeby kaučuku způsobil, že na přelomu 19. a 20. století bylo již přírodního kaučuku, získávaného z divoce rostoucích stromů, nedostatek. Ten podnítil jednak pokusy připravit kaučuk uměle, jednak vedl k zakládání plantáží na pěstování kaučukovníku a těžbou přírodního kaučuku i mimo oblast tropické Ameriky. [1]

1.1.1 Přírodní kaučuk z plantáží

Nápad zakládat na Dálném Východě kaučukové plantáže publikoval již v r. 1872 kurátor muzea Farmaceutické společnosti v Anglii James Collins. Neobdržel ale povolení vyvést z Brazílie semena ani sazenice kaučukovníku, který dostal podle své pravlasti název *Hevea brasiliensis*. V r. 1876 se však Henry Wickhamovi podařilo dovést v duté holi tajně do Anglie 70.000 semen, z nichž v londýnské botanické zahradě vyrostlo 2.000 sazenic, které byly vysázeny na Ceylonu (dnes stát Srí Lanka). Tam se dobře uchytily, byly rozmnoženy a dále distribuovány do Malajsie a na Borneo. V těchto zemích *Hevea brasiliensis* brzy zdomácněl. Ačkoliv ještě v roce 1905 byl prakticky všechn kaučuk získáván z divoce rostoucích stromů tropické Ameriky, o dvacet let později již byla hlavním producentem plantážového kaučuku tropická Asie. Dodnes je největším vývozcem přírodního kaučuku. [1]

1.1.2 Syntetický kaučuk

V r. 1860 se Granvilu Williamsovi podařilo z produktů destilace přírodního kaučuku izolovat čistou látku, kterou nazval izopren. Ten přeměnil zpět na kaučuk o 19 let později francouzský chemik Bouchardat a dal tím základ výrobě polyizoprenu, který jako jediný ze syntetických kaučuků bychom mohli nazvat kaučukem umělým. Jeho výrobu patentovali v r. 1910 Angličané Strong a Mathews a současně s nimi německá firma Bayer. [1]

Již předtím však velkého pokroku v syntéze kaučuku dosáhli ruští chemici. V r. 1900 I. L. Klondakov zjistil, že kaučukový produkt poskytuje nejen izopren, ale i dimethylbutadien, a to při zahřívání se sodíkem nebo hydroxidem draselným. S. V. Labeledv pak r. 1909 prokázal, že schopnost být přeměnitelný na kaučuk mají všechny konjugované dieny. [1]

Tato situace umožnila, aby během první světové války v Německu, které v důsledku blokády mělo přírodního kaučuku nedostatek, byla zahájena výroba polydimethylbutadienu – prvního syntetického kaučuku. Pneumatiky se z něj sice dělat nedaly, ale k výrobě ebonitových skříní pro akumulátory ponorek se hodil dobře. Ve třicátých letech Němci průmyslově zvládli výrobu butadienového, butadien-styrenového a butadien-akrylonitrilového kaučuku. O málo později dochází k prudkému rozvoji syntetických kaučuků v USA. [1]

1.2 Kaučuky

Kaučuky se dělí na přírodní a syntetické.

1.3 Přírodní kaučuk (PK)

Přírodní kaučuk je obsažen v některých rostlinách v podobě mlékovité šťávy, zvané latex. Pro těžbu kaučuku má však hospodářský význam prakticky jen strom *Hevea brasiliensis* z čeledi Euphorbiaceae (pryžcovité) pěstovaný na plantážích. [1]

Latex je uložen ve zvláštních trubkovitých buňkách, které jsou umístěny ve spodní vrstvě kůry stromu po celém jeho povrchu včetně kořenů a větví. Získává se tzv. čepováním. To se provádí tak, že pod šikmý zářez v kůře stromu (zasahující největší počet šikmo uložených latexových buněk) se umístí nádoba, do níž odtéká latex vytlačovaný vnitřním tlakem. [1]

Složení přírodního latexu není zcela stálé. Záleží na druhu a stáří stromu, způsobu čepování, počasí, ročním období a dalších okolnostech. Průměrný obsah kaučukového uhlovodíku je přibližně 35%. Voda představuje 60%, zbytek připadá na bílkoviny (více než 2%), pryskyřice (1,5% až 2%), popel (okolo 0,7%) a cukry (asi 0,3%). [1]

Během několika hodin stání přírodní latex samovolně koaguluje. Aby bylo možno jej delší dobu uchovávat ve stavu rovnoměrné disperze, potom koncentrovat (na 50% - 60% obsah kaučukového uhlovodíku), dopravovat a zpracovávat, je nutno jej napřed stabilizovat (koncentrovat). K tomu účelu se používá nejčastěji amoniaku. [1]

Přímé zpracování latexu má mnoho výhod. Kvalita produktů, zejména mechanické vlastnosti a odolnost vůči stárnutí, je značně lepší než vyrobeného z roztoků. Mnohé manipulace a zpracovatelské postupy jsou levnější (např. máčení) a poskytují větší možnost využití kontinuálních procesů. Latex umožňuje také některé technologické postupy, které nejsou

použitelné při zpracování suchého kaučuku nebo jeho roztoků, např. výrobu pěnové pryže. [1]

Suchý kaučuk lze z latexu získat vysrážením, vymrazením nebo odpařením vody. Na plantážích se vyrábí kaučuk téměř výhradně srážením kyselinou mravenčí nebo octovou. Srážené bloky se pak perou vodou a dále zpracovávají na celou řadu druhů přírodního kaučuku, z nichž klasickými jsou uzený kaučuk a světlá krepa. Stále většího významu nabývá standardní kaučuk a počet jeho výrobců stále stoupá. [1]

Přírodní kaučuk jako nenasycený uhlovodík reaguje s mnoha chemickými činidly. Některé reakce mají význam jen teoretický a hrály významnou roli při zjišťování struktury kaučuku, jiné jsou důležité i prakticky, vedou k technicky důležitým produktům. [1]

Uváděním chloru do zředěného roztoku kaučuku vzniká chlorokaučuk. Obsahuje kolem 64% chloru, je vysoce odolný vůči chemickým činidlům a nehořlavý. Rozpouští se v aromatických a chlorovaných uhlovodících, esterech a rostlinných olejích. Používá se k výrobě antikoročních nátěrových hmot a spojování pryže s kovem. [1]

Uváděním suchého chlorovodíku do roztoku přírodního kaučuku vzniká jeho hydrochlorid, obsahuje asi 30% chloru. Roztok hydrochloridu přírodního kaučuku se zpracovává na fólie odléváním na nekonečný pás, nebo se nanáší na papír. Fólie i nátěry se vyznačují vysokou ohebností a nepropustností pro vlhkost. Těchto materiálů se s úspěchem využívá k balení potravinářského zboží. Hydrochlorid kaučuku je také součástí některých pojiv pryže s kovy. Je odolný vůči zředěným zásadám a kyselinám. Rozpouští se v aromatických a chlorovaných uhlovodících. [1]

Působením různých chemických činidel, např. kyseliny sírové, na přírodní kaučuk vznikají produkty podobné balatě, šelaku nebo ebonitu. Tyto látky, všeobecně nazývané jako termopreny, mají stejný empirický vzorec jako kaučuk, jejich nenasycenost je však nižší. Předpokládá se, že mají cyklickou strukturu. Podle použitého činidla a délky jeho působení vznikají různé deriváty cyklizovaného kaučuku, od materiálů používaných pro účely nátěrové, tiskařské či impregnační, až ke hmotám termoplastickým určeným k tváření za zvýšených teplot. Cyklizovaný přírodní kaučuk je též podstatou některých typů pojiv pryže s kovy. [1]

Vidíme, že modifikací získává přírodní kaučuk nové vlastnosti, které rozšiřují jeho použitelnost. Za zmínku stojí ještě jeho směsi s polymethylmetakrylátem a roubované kopoly-

mery obsahující 23% - 50% metylmetakrylátu. Jsou to samoztužující elastomery, snadno zpracovatelné, schopné vulkanizace. Tvoří jakýsi přechod mezi kaučuky a plasty. [1]

Přes rozmanitost vlastností různých modifikátorů přírodního kaučuku spočívá však těžiště jeho technologického využití na nemodifikovatelných typech, které patří k hlavním představitelům skupiny kaučuků pro všeobecné použití. [1]

V dnešní době se přírodní kaučuk nejvíce využívá při výrobě pneumatik, kde se uplatňuje jeho vysoká elasticita, dobré dynamické vlastnosti, přilnavost k vozovce a snadná zpracovatelnost při sériové výrobě.

Při výběru kaučuku bychom měli dbát na jeho kvalitu, čistotu a samozřejmě i cenu.

1.3.1 Uzený kaučuk – Ribbed smoked sheet (RSS)

Jedná se o nejběžnější druh kaučuku využívaný pro nejkvalitnější výrobky. Získáváme jej koagulací. Sbíraný latex se přecedí do homogenizačních nádrží, kde se zředí se stejným množstvím vody tak, aby obsah suchého kaučuku v latexu byl 15%, a dále se použije zpožděná koagulace. Ke zředěnému latexu se přidá 5 % kyseliny mravenčí ve formě jedno procentního roztoku. Latex se řádně promíchá a koaguluje se v hliníkových vanách, po půl hodině obsah začíná houstnout. Vysráží se blok gelu houbovitě konzistence rozdělený pomocí přepážek po 35 mm. Zde zůstává část dne v klidu, posléze se smrští a vytlačí určitou část séra. Koagulace je hotova, když nezbyvá žádná zakalená kapalina. Koagulát se propouští v nepřetržitém pásu řadou ždímacích a pracích válců. Kaučuk projde pěti až šesti dvouválcí s postupně se zužující šterbinou, zde dochází až k jedenáctinásobnému ztenčení na tloušťku 2 až 3 mm. Na posledním válci je vtlačen na list mřížkový povrch, který zvětšuje povrch při sušení a také zamezuje slepení jednotlivých listů. Mokrý listy rozvěšené na rámech vozíku se ukládají do udírny. Zde se udí 4 až 6 dní při teplotě 40 až 50 °C kouřem získaným spalováním dřeva džunglových stromů, kokosových skořápek apod. Kouř rozvěšené listy suší a zároveň konzervuje, takže kaučuk nepodléhá plísni. Dodává se v několika jakostech, které se podstatně neliší kvalitou kaučukového uhlovodíku, ale čistotou a barvou. Uzený kaučuk je možno použít vždy, kdy se volí přírodní kaučuk, kromě použití pro bílé či světlé pryže, které vždy slabě zabarvuje do žluta až do hněda. Uzený kaučuk se využívá k výrobě pláštíků pneumatik, duší, nití, protiplynových masek, obuvi, tenkostěnné a chirurgické pryže, potravinářské pryže atd. [2]

1.3.2 Světlá krepa – pale latex crepe

Je hodnocena jako prvotřídní druh prvotřídního kaučuku, tudíž je dražší než uzený kaučuk. Využívá se pro výrobu čisté bílé a světle zabarvené, transparentní a některé výrobky, u kterých požadujeme značnou čistotu kaučuku. Světlé krepě také dáváme přednost při přípravě nevulkanizujících neplněných lepidel, protože je tvrdší a rychle se rozpouští. Ke zředěnému latexu se přidává půl procentní NaHSO_3 , který zabraňuje tmavnutí vlivem enzymů. Pro vyšší bělost se někdy přidávají chemické bělicí prostředky. Po několika hodinách dochází k vysrážení kaučuku, z kterého vzniká žlutá krepa vlivem strhnutí většiny β -karotenu. Zbývající latex se koaguluje přidávkem kyseliny octové do tvaru desek. Desky jsou ždímány a propírány osmi průchody mezi válci. Poslední válce vlivem rozdílných rychlostí otáčení dávají krepě typický zvrásněný krepový povrch. Suší se ve vakuové sušárně několik hodin. [2]

1.3.3 Hnědá krepa – brown crepe

Připravuje se vzniklých přirozenou koagulací nebo zasycháním latexu. Tyto podíly kaučuku se máčí přes noc ve zředěném roztoku NaHSO_3 , který zapříčiňuje světlejší barvu a odstranění nečistot. Dále je zpracováván na válcích a suší se obdobně jako světlá krepa. [2]

1.3.4 Kaučuk sušený na vzduchu – Air Dried Sheets

Je velice podobný uzenému kaučuku, liší se pouze postupem výroby, kdy se nejdříve vysouší ohřátým vzduchem a potom se udí. [2]

1.4 Syntetický kaučuk

Velký počet různých druhů průmyslově vyráběných kaučuků si vynutil jejich klasifikaci. Jejich většinou poměrně dlouhé názvy zase vedly k častému používání zkratk. Mezinárodní zkratky vycházejí z třídění kaučuků do 8 základních skupin podle chemické struktury (Tab. 1). Tato klasifikace ovšem nemá přímou souvislost s hlavními oblastmi použití kaučuků, podle nichž je můžeme rozdělit na kaučuky pro všeobecné použití a kaučuky speciální a ty zase na olejovzdorné a teplovzdorné. Základní typy nejběžněji používaných kaučuků, jichž se vyrábí téměř 20 milionů tun, jejich mezinárodně používané zkratky a relativní spotřebu uvádí Tab. 2. [1]

Tab. 1. Mezinárodní klasifikace kaučuků do základních skupin [1]

Označení skupiny	Chemická struktura makromolekulárního řetězce
M	nasycený uhlovodíkový řetězec
R	nenasycený uhlovodíkový řetězec
N	řetězec obsahující atomy dusíku
O	řetězec obsahující atomy kyslíku
Q	řetězec obsahující siloxanové vazby (-Si-O)
T	řetězec obsahující atomy síry
U	řetězec obsahující současně atomy dusíku i kyslíku
Z	řetězec obsahující současně atomy fosforu a dusíku

1.4.1 Kaučuky pro všeobecné použití

Uvedené označení má tato skupina kaučuků proto, že se z nich dá vyrábět většina běžných pryžových výrobků, od různých dílů technické pryže přes spotřební zboží až po pneumatiky, hadice a dopravní pásy. Hlavními představiteli jsou polymery a kopolymery izoprénu a butadienu. Nejběžnějším plnivem pro ně jsou saze. Obsahují v hlavních řetězcích svých makromolekul dvojně vazby, jsou tudíž nenasyčené. K jejich vulkanizaci se používá převážně síra. V důsledku své nenasyčenosti na druhé straně vyžadují ochranu proti degradaci, tj. přísadu antidegradantů. [1]

Výjimkou jsou kaučuky ethylenpropylenové, které mají nasycený hlavní makromolekulární řetězec. Kopolymery ethylenu s propylenem (EPM), neobsahují dvojně vazby vůbec, terpolymery ethylenu, propyleny a nekonjugovaného dienu (EPDM), výhradně v bočních řetězcích. Proto jsou výborně odolné vůči stárnutí a nevyžadují nutně přídavek antidegradantů. [1]

Pro některé aplikace se používá vulkanizačních systémů, které propůjčují pryži zvětšenou odolnost vůči zvýšeným teplotám. Jedná se především o vulkanizace pryskyřicemi (zvláště pro butylkaučuk) a vulkanizace dialkylperoxydů (především pro EPM a částečně i EPDM). [1]

Tab. 2. Zkratky a relativní spotřeba nejběžněji používaných kaučuků [1]

Zkratka	Název	Spotřeba [%]	Určení
NR	přírodní kaučuk	32	pro všeobecné použití
IR	izoprenový kaučuk	3	
SBR	butadienstryrenový kaučuk	37	
BR	butadienový kaučuk	10	
EPM	ethylenpropylenový kaučuk	7	
EPDM			
IIR	butylkaučuk	3	
CR	chloroprenový kaučuk	3	olejovzdorné
NBR	butadienakrylonitrilový kaučuk	3	
ACM	akrylátový kaučuk	0,5	
OT	polysulfidový kaučuk	0,1	
MQ	silikonový kaučuk	0,1	teplavzdorné
FPM	fluorouhlíkový kaučuk	0,1	

Kaučuky pro všeobecné použití se vzhledem ke svému téměř nepolárnímu charakteru rozpouštějí v alifatických a aromatických uhlovodících (např. benzínu, benzenu, toluenu) a chlorovaných rozpouštědlech (např. trichloretylenu, tetrachlormetanu). Vulkanizátory v těchto rozpouštědlech bobtnají. [1]

Pryže z kaučuků pro všeobecné použití značně bobtnají i v olejích. Proto tyto výrobky nesmějí přicházet do styku s těmito látkami (oleji, rozpouštědly). Oleje jsou však pro směsi z kaučuků pro všeobecné použití dobrým změkčovadlem. [1]

Mezi nejběžněji používané kaučuky pro všeobecné použití patří kromě přírodního, jehož spotřeba spolu s izoprenovým kaučukem činí více než třetinu celosvětové spotřeby kaučuků, zejména butadienstryrenový, jehož se spotřebuje více než další třetina celkové spotřeby, butadienový, ethylenpropylenový a butylkaučuk (Tab. 2). [1]

1.4.2 Izoprenové – polyizoprenové kaučuky (IR)

Izoprenový kaučuk je jediný, který můžeme označit jako umělý, neboť je připravený analog přírodního kaučuku. Člověk nedokáže ani v laboratoři připravit tak čistý izomer jako příroda a také je jeho výroba dražší, než produkce z přírody. [1]

Tento kaučuk je tedy ze všech průmyslově vyráběných kaučuků nejvíce se blížící přírodnímu, pokud jde o lepivost směsí, velkou pevnost neplněné pryže (pevnost v tahu u čisté pryže je asi 360-500 kPa), velkou odrazovou pružnost a malou hysterezi a dobrou strukturní pevnost za tepla. Průmyslově vyráběné polyisopreny nejsou zcela identické s přírodním kaučukem, ale úpravami receptury a zpracování lze však dosáhnout toho, že izoprenový kaučuk je schopen nahradit přírodní kaučuk i ve směsích pro nákladní pneumatiky. [3]

Největší část polyisoprenových kaučuků se používá (v kombinaci s BR,NR) v běhounových a kostrových směsích pro výrobu pneumatik nákladních automobilů, letadel a traktorů, kde se využívá dobrých hysterezních vlastností IR. Další použití je při výrobě technické pryže, obuvi, výrobky využívané v lékařství a v potravinářství. Polyisoprenové kaučuky se nepoužívají do běhounů pneumatik pro osobní automobily, protože jsou méně odolné vůči opotřebení než levnější SBR. Přidávají se ale jiných kaučuků ke zlepšení zpracovatelnosti. Přídavek IR do SBR nebo BR zlepšuje jejich strukturní pevnost a pevnost v tahu. [3]

1.4.3 Butadienstyrenové kaučuky (SBR)

Dnes se nejčastěji vyrábějí tzv. studenou polymerací, tj. radikálovou emulzní kopolymerací při 5°C. V menší míře se vyrábí roztokovou kopolymerací za přítomnosti alkyllithiových katalyzátorů. Český SBR má obchodní značku Kralex a vyrábí jej Kaučuk a.s. v Kralupech nad Vltavou. [1]

SBR jsou jedním z nejrozšířenějších kaučukem vůbec, nejvíce používaným při výrobě pneumatik. Dále se z něj vyrábí hadice, dopravní pásy, kabely, podrážky, podpatky, většina vytlačované a lisované pryže atd. Se stoupajícím rozměrem pláště pneumatiky se zvětšuje význam dynamických vlastností běhounu a proto je pro vysoce namáhané běhouny pláště pro nákladní automobily nutno používat přírodního kaučuku, nebo směsi butadienstyrenového kaučuku s přírodním kaučukem (pevnost v tahu u čisté pryže je asi 30-43 kPa a tažnost asi 400-600%). [3]

1.4.4 Butadienové – polybutadienové kaučuky (BR)

Jsou to homopolymery butadienu, dnes vyráběné většinou roztokovou polymerací za přítomnosti Zieglerových – Nattových katalyzátorů. Samostatně se k výrobě pryže většinou nepoužívají vzhledem k jejich ne příliš dobré zpracovatelnosti. Jejich vulkanizáty však vynikají vysokou odolností vůči oděru a proto se přidává do směsi na výrobky, kde se tato vlastnost významně uplatňuje, např. pro krycí vrstvy dopravních pásů a zejména běhounů

pneumatik. Polybutadien také zvyšuje mrazuvzdornost pryže, protože má nižší teplotu zeskenění než butadienstyrenový i přírodní kaučuk (pod -100°C). [1]

Jeho strukturální pevnost je však horší a také má vyšší dynamický modul než přírodní kaučuk (pevnost v tahu je asi 360 kPa a tažnost je asi 500%). [3]

1.4.5 Ethylenpropylenové kaučuky (EPM, EPDM)

Souhrnně se často označují zkratkou EPR, čímž se ale porušují mezinárodní pravidla. Vyrábějí se roztokovou kopolymerací za přítomnosti Zieglerových – Nattových katalyzátorů. Řetězce jeho makromolekul obsahují monomerní jednotky staticky nahodile rozložené, jsou zcela nasycené, a proto velmi dobře odolné vůči degradaci. Ethylenpropylenové kaučuky se používají např. k opláštění kabelů, střešní krytiny, apod., kde se vyžaduje vysoká odolnost vůči stárnutí. V oblasti technické pryže zase na vysoce teplovzdorné a přitom zdravotně nezávadné výrobky, těsnění sterilizátorů v potravinářském průmyslu nebo v lékařství. [1]

1.4.6 Butylkaučuky (IIP, BIIR, CIIR)

Kationovou polymerací izobutylenu s izoprenem vznikají makromolekuly, jejichž řetězce se skládají z izobutylenových jednotek, mezi nimiž jsou staticky nahodile rozmístěny izoprenové jednotky. Sírou se vulkanizují směsi butylkaučuku určené k výrobě kvalitních duší pro pneumatiky. Výrobky odolávající zvýšeným teplotám, se vulkanizují fenolformaldehydovými pryskyřicemi. Jsou to např. membrány lisů na vulkanizaci pneumatiky nebo tepelně namáhané těsnění a jiné součástky motorů a strojů. [1]

1.4.7 Olejovzdorné kaučuky

Tyto kaučuky se od ostatních kaučuků liší především svou polaritou. V jejich odolnosti vůči olejům jsou však velké rozdíly. Čím polárnější olej, tím polárnější musí být kaučuk, z něhož má vyrobená pryž odolávat oleji. Jsou to např. chloroprenový kaučuk, butadiena-krylonitrilový kaučuk, dražší typy počínaje akrylátovým, přes chlorsulfonovaný polyethylen a konče kaučuky fluorouhlíkovými, které odolávají prakticky všem mazivům a tekutým palivům dokonce i zředěným kyselinám oxidační povahy. Tyto kaučuky jsou také nejdražší. [1]

1.4.8 Chloroprenové kaučuky (CR)

Polychloropren si díky velké elasticitě, malé hořlavosti a velmi dobré odolnosti vůči povětrnostnímu stárnutí pryží z něj vyrobených stále zachovává významné postavení mezi syntetickými kaučuky. Původně byl připravován blokovou polymerací iniciovanou ultrafialovým světlem. Dnes se vyrábí výhradně emulzní polymerací. CR se využívají pro širokou škálu výrobků např. při výrobě lepidel, v kabelářském průmyslu jako povrchové vrstvy odolné vůči ozonu a atmosférickému stárnutí. Další využití nachází při výrobě technické pryže, hřídelových těsnění, pogumování technických tkanin, pásů dopravníků atd. CR nepotřebují nutně k vulkanizaci síru, ale nejjednodušším vulkanizačním činidlem se využívá kombinace oxidů zinečnatého a hořečnatého (pevnost v tahu čisté pryže je asi 430-580 kPa a tažnost asi 800-900%). [1]

Polychloropren byl prvním synteticky vyráběným kaučukem v předválečném Československu firmou Baťa pod obchodní značkou Baťapren a SK-Baťa. Po druhé světové válce byl označován SK-Svit a nakonec Svitpren. Po havárii téměř dostavěného provozu již jeho výroba nebyla obnovena. [1]

1.4.9 Butadienakrilonitrilové kaučuky (NBR)

Vyrábějí se emulzní polymerací, podobně jako butadienstyrenové kaučuky. Nejsou vhodné pro výrobky, které přicházejí do styku s karoteny a s chlorovanými uhlovodíky, protože v těchto rozpouštědlech bobtnají. Vyrábějí se z něj především hadice, těsnění a membrány, ale i klikové řemeny a dopravní pásy. [1]

1.4.10 Akrylátové kaučuky (ACM)

Polymerace se provádí buď v emulzi, nebo v suspenzi. Iniciuje se vodorozpustným peroxidem. Z akrylátových kaučuků se zhotovují výrobky, které mají současně odolávat oleji a zvýšeným teplotám (do 160°C). Pryže z ACM převyšují pryže z NBR především odolností k olejům obsahujícím síru, neboť jejich účinkem netvrdnou. Nejdůležitějšími výrobky z akrylátových kaučuků jsou hadice na olej a pryžové součástky do motorů pracující při velkých obrátkách atd. [1]

1.4.11 Polysulfidové kaučuky (OT)

Tyto kaučuky patří mezi nejstarší průmyslově vyráběné typy syntetických kaučuků, jsou dnes nejvíce známy pod označením Thiokol. Jejich hlavní předností je vynikající odolnost

vůči bobtnání v olejích a mírně polárních rozpouštědlech. Dále výborně odolávají ozonu a povětrnosti, mají malou propustnost pro plyny. Zpracovávají se jen v omezeném množství, protože při zahřívání zapáchají.

1.4.12 Teplovzdorné kaučuky

Hlavními představiteli teplovzdorných kaučuků vedle fluorouhlíkových, které jsem zmínil na začátku, jsou kaučuky silikonové, které můžeme současně označit za mrazuvzdorné. Jejich speciální typy se používají k výrobě pryží užívaných v teplotním rozmezí od -90°C do 200°C , přičemž se jejich vlastnosti mění jen velmi málo. Vlhkému prostředí ovšem neodolávají, podléhají v něm hydrolýze. [1]

1.4.13 Silikonové kaučuky (MQ, MVQ, MPVQ, MPQ)

Specifickou vlastností silikonových pryží je malá závislost jejich fyzikálních vlastností na teplotě ve velmi širokém rozmezí. Používají se běžně od -60 do 180°C . Tyto kaučuky mají dlouhodobou odolnost v suchém prostředí. Ve vlhku za zvýšených teplot a hlavně v páře degradují v důsledku hydrolýzy základního řetězce. Jsou částečně odolné vůči bobtnání v olejích. Používají se v kabelářském průmyslu k izolaci tepelně namáhaných vodičů, pro tepelně namáhané součástky ve strojírenství, automobilovém průmyslu, stavebnictví jako zalévací hmoty a tmely, dále v chemickém, potravinářském a farmaceutickém průmyslu. Často se používají v lékařství jako implantáty a kontaktní čočky, pro jejich dobrou snášenlivost s lidským organismem. [1]

1.4.14 Fluorovodíkové kaučuky (FPM, FKM, FFKM, CFM)

Jsou reprezentovány zejména hexafluorpropylenem, který je hlavním představitelem fluorovodíkových kaučuků. Pryže z těchto kaučuků se vyznačují největší odolností k vysoké teplotě, jsou elastické od -25°C , dlouhodobě odolávají teplotám do 200°C až 230°C . Současně jsou nejvíce odolné vůči olejům i značně agresivním chemikáliím. Koncentrované kyseliny sírové odolávají bez patrné změny více jak 100 hodin. Dále mají vynikající odolnost k páře a též účinku oxidačních látek. Patří k nejdražším druhům speciálních kaučuků. [1]

1.5 Zpracovatelské přísady

Jsou to přísady, které usnadňují a umožňují přípravu a zpracování polymerních směsí. Každá přísada ovlivňuje vlastnosti polymerní směsi, tak produktu (např. plastikační činidla, maziva, pomocné zpracovatelské prostředky, změkčovadla). [1]

1.5.1 Plastikační činidla

Tyto přísady usnadňují první zpracování kaučuku, tzv. plastikaci, tj. úprava intenzivním hnětením. Plastikační činidla zvětšují účinnost a rychlost plastikace, protože usnadňují štěpení makromolekul kaučuku, způsobené hnětením, stabilizací přechodně vzniklých radikálů. Proto se používají také při zpracování odpadní pryže, tzv. regenerát. [1]

1.5.2 Maziva

Původně byla tato skupina vyvinuta pro zpracování obtížně zpracovatelných plastů. Teprve nedávno se stala základem přísad do kaučuků, které dnes označujeme jako pomocné zpracovatelské prostředky. Maziva usnadňují nejen zpracovatelský proces, ale zlepšují i mnohé vlastnosti výrobků, např. vzhled povrchu, tepelnou a světelnou stabilitu, odolnost vůči povětrnostním vlivům. Dle účinků lze maziva rozdělit do dvou skupin na maziva s vnějším účinkem a dále na maziva s vnitřním účinkem. [1]

1.5.3 Pomocné zpracovatelské prostředky

Tento pojem zahrnuje téměř výhradně přísady do kaučuku. Pomocné zpracovatelské prostředky jsou látky, které přidáváme v relativně nízké koncentraci do kaučukové směsi, zlepšují její zpracovatelnost bez negativního ovlivnění užitných vlastností pryžového výrobku. Další významnou technologickou výhodou je převážně snížení viskozity kaučukových směsí. Nižší viskozita kaučukové směsi při její výrobě má za následek zlepšení fyzikálních vlastností pryže a umožňuje použít vyšších rychlostí tváření pryže při vytlačování.

Podle chemického složení lze pomocné zpracovatelské prostředky rozdělit do dvou základních skupin na mastné kyseliny a jejich deriváty a dále na pryskyřičné produkty. [1]

Mastné kyseliny a jejich soli se používají jako aktivátory sirné vulkanizace

Pryskyřičné produkty byly původně vyvinuty ke zlepšení vzájemné mísitelnosti kaučuků s různou polaritou a ke zvýšení tzv. konfekční lepivosti kaučukových směsí. [1]

1.5.4 Změkčovadla

Jsou to málo těkavé organické látky, které umožňují polymerům ohebnost, tvárnost, vláčnost (odtud někdy používaný termín zvláčňovadla), dále snižují teplotu jejich zesklnění a viskozitu jejich taveniny. Po vmíchání změkčovadla do kaučuku usnadňují jeho další zpracování (míchání směsí, její válcování, vytlačování atd.). Umožňují rovněž připravovat a zpracovávat kaučukové směsi s vysokým obsahem plniv. Jindy lze zlepšovat některé spe-

ciální pryže, jako např. přilnavost běhounů pneumatiky k vozovce. Principem působení změkčovadel na polymery je zvyšování tzv. vnitřní pohyblivosti jejich makromolekulárních řetězců, která určuje tuhost a teplotu zesklnění polymerů a která je dána jednak ohebností makromolekul, jednak jejich vzájemnou přitažlivostí, tj. velikostí mezimolekulárních sil, které zase závisí na vzdálenosti makromolekul mezi sebou. [1]

Pro nepolární a málo polární kaučuky, tj. skupina kaučuků pro všeobecné použití se jako změkčovadel používá většinou olejových produktů rafinace ropy, některé vedlejší výrobky ze zpracování uhelných dehtů, případně z chemického zpracování dřeva (smrkový dehet). [1]

Pro polární kaučuky, tj. skupina olejovzdorných kaučuků, se používá syntetická změkčovadla, nejčastěji estery dikarboxylových kyselin (např. ftalové, adipové, sebakové atd.). [1]

1.6 Antidegradanty

Je to skupina přísad, která dlouhodobě chrání výrobky před vnějšími vlivy během jejich používání. Do těchto vlivů patří zejména působení slunečního záření, atmosférického kyslíku, ozonu a tepelné energie. (např. světelné stabilizátory, antioxidanty, antiozonanty,) [1]

1.6.1 Světelné stabilizátory

Uplatňují se jako přísady, které absorbují ultrafialové záření, tzn. Tu část světelného spektra, jejíž energie způsobuje degradaci polymeru. Proto je někdy nazýváme absorbéry ultrafialového záření. [1]

1.6.2 Antioxidanty

Vzdušný kyslík způsobuje degradaci polymeru. Za běžné teploty se toto tzv. oxidační stárnutí projeví až po velmi dlouhé době, např. po deseti a víc letech. Za zvýšené teploty se však významně urychluje a mluvíme o tzv. tepelně-oxidačním stárnutí. Ochrana polymerů proti stárnutí spočívá hlavně v zabránění řetězovému průběhu oxidace, která má v nechráněném polymeru autokatalycký průběh. Např. u pryže z přírodního kaučuku naváže-li se na ni pouhé 1%kyslíku, klesne její pevnost v tahu přibližně na polovinu původní hodnoty. Podle jejich chemického účinku můžeme antioxidanty rozdělit do dvou skupin na látky, které přerušují řetězovou autooxidační reakci a dále pak na látky, které zabraňují vzniku (iniciací) řetězové reakce. [1]

Látky, které přerušují řetězovou autooxidační reakci tím, že ukončují (inhibují) buď radikály vzniklé rozpadem hydroperoxidu, nebo radikály vzniklé reakcí primárně vytvořených radikálů s makromolekulami polymeru. Jejich představiteli jsou např. deriváty aminů a fenolů. [1]

Látky, které zabraňují vzniku (iniciaci) řetězové reakce tím, že rozkládají (desaktivují) hydroperoxydy. Proto bývají někdy nazývány desaktivátory hydroperoxidů nebo preventivními antioxidanty. Patří k nim např. estery kyseliny fosforité a některé organické sloučeniny obsahující síru, zejména thioly a sulfidy. [1]

Antioxidanty se při svém ochranném působení mění na produkty, které jsou buď bezbarvé, nebo zbarvené, většinou tmavě. Podle toho pak rozeznáváme antioxidanty nebarvící, barvící, zbarvující. [1]

Nebarvící – jejichž rozkladné produkty jsou bezbarvé. [1]

Barvící – jejichž barevné produkty zbarvují polymer, ale toto zbarvení nepřechází na jiné předměty, s nimiž je tento výrobek v přímém styku. [1]

Zbarvující – jejichž barevné produkty zbarvují nejen chráněný výrobek, ale i jiné předměty, které s nimi přijdou do bezprostředního kontaktu. [1]

Zbarvující antioxidanty jsou neúčinnější, ale vhodné jen pro černé výrobky. Používají se především do kaučukových směsí plněných sazemí. [1]

1.6.3 Antiozonanty

Ozon napadá prakticky pouze pryže, a to jen ty, které jsou vyrobeny z nenasycených kaučuků. Ze všech degradačních faktorů má však na pryž největší účinek. I když je přítomen ve vzduchu jenom ve velmi nepatrné koncentraci, reaguje velmi snadno s dvojnými vazbami makromolekulárního řetězce kaučukové sítě. Váže se na ně za vzniku velmi křehkého ozonidu, kterým pokrývá povrch vysoce elastické pryže. Jestliže je v napnutém stavu, skoro vždy dojde k prasknutí vrstvy ozonidu. Následně se odhalí nový povrch pryže a ten je znovu napaden ozonem. I když ozon degraduje pouze povrch pryže, poškodí ji mechanicky stále rostoucími prasklinami, jež se šíří kolmo ke směru působení napětí. Přísady, které brání praskání pryže ozonem, se nazývají antiozonanty. [1]

Jejich významnou vlastností kromě schopnosti reagovat s ozonem ochotněji než řetězce kaučukové sítě je schopnost difundovat k povrchu pryže, kde pouze uplatňují svůj ochranný účinek. Analogicky antioxidantům můžeme rozdělit i antiozonanty na tři skupiny

z hlediska barevného účinku zplodin jejich reakce s ozonem na zbarvující (nejúčinnější), barvící a nebarvící. [1]

Vůči ozonu lze také pryž chránit přísadou vosků nebo parafinů. Při míchání kaučukové směsi za zvýšené teploty se v kaučuku rozpustí, ale za běžné teploty jsou v pryži rozpustné daleko méně a proto vykvétají na povrch, kde vytvoří spojitou vrstvičku, kterou ozon nepronikne. Jelikož nejsou elastické, mohou ochraňovat pouze výrobky za statických podmínek, např. různá těsnění. Při dynamickém namáhání pryže vrstva vosku nebo parafinu popraská a ozon napadne nechráněný povrch pryže. [1]

Podobně působí fyzikálně i kombinace běžných (nenasycených) kaučuků s ozonuvzdornými. [1]

Ozonuvzdornost kaučuků vzrůstá v řadě:

- Polymery a kopolymery dienů - přírodní (NR) a izoprenový kaučuk (IR), butadienový (BR), butadienstyrenový (SBR) a butadienakrylonitrilový kaučuk (NBR),
- Butylkaučuk (IIR),
- Chloroprenový kaučuk (CR),
- Ethylenpropylendienový kaučuk (EPDM),
- Ethylenpropylenový kaučuk (EPM),
- Silikonový kaučuk (MQ),
- Fluorouhlíkový kaučuk (FPM),
- Fluorosilikonový kaučuk (MFQ). [1]

1.7 Síťovací prostředky

Do této skupiny přísad jsou zařazeny látky, které se účastní síťovacích reakcí, tj. spojování lineárních nebo rozvětvených makromolekulárních řetězců příčnými vazbami do struktury prostorové sítě. [1]

1.7.1 Vulkanizační činidla

Mezi vulkanizační činidla obecně patří všechny látky, které mají schopnost vytvářet chemickou reakci mezi řetězci kaučukového uhlovodíku příčné vazby. V praxi se osvědčily pouze některé látky, i když s nástupem nových syntetických kaučuků se objevila i nová vulkanizační činidla, přesto nejpoužívanějším zůstala elementární síra. [1]

Pro gumárenské účely se používá hlavně přírodní mletá síra krystalická, jejíž molekuly jsou tvořeny osmičlennými kruhy S_8 nebo v menší míře polymerní forma, tzv. síra nerozpustná. [1]

Síra je žlutý prášek tající při 115°C . Chemicky lze čistou síru získávat odsířováním zemního plynu a ropných produktů nebo spalováním sirovodíku horkým vzduchem v tzv. Clausových pecích. Síra se rozemílá na potřebnou jemnost buď za mokra, nebo v atmosféře inertního plynu. Dopravuje a skladuje se v papírových pytlích nebo v dřevěných sudech. Protože je hořlavá, musí se skladovat odděleně od ostatních přísad. Při jejím prosévání a při manipulaci s ní vzniká statická elektřina, která může způsobit požár. [3]

Síra slouží jako vulkanizační činidlo pro řadu nenasycených kaučuků, jako je kaučuk přírodní, butadienstyrenový, butadienakrylonitrilový, butadienový, butylkaučuk a některé další syntetické kaučuky. Pro různé druhy pryží se ke kaučuku přidává různé množství síry. [1]

Současně se sírou se jako doplňující vulkanizační činidlo někdy používá selen nebo telur. [1]

Dalšími vulkanizačními činidly jsou donory síry – organické disulfidy a polysulfidy, které mají na kaučuky podobný účinek jako elementární síra. [1]

Pro některé kaučuky se jako vulkanizační činidla používají reaktoplastické pryskyřice, např. fenolformaldehydové a epoxidové. Jsou používány jen výjimečně, kvůli nedostatečné zdravotní nezávadnosti. [1]

Také peroxidy jsou schopny síťovat i nenasycené kaučuky, začaly se používat jako vulkanizační činidla až k vulkanizaci nenasycených kaučuků, které není možno vulkanizovat sírou. [1]

K vulkanizaci fluorouhlíkových kaučuků se rozšířilo používání diamantů s blokovanými aminoskupinami. [1]

Oxidy kovů jsou nejběžnější pro vulkanizaci chloroprenového kaučuku. Oxidy olova zlepšují odolnost pryže k vodě. Využívají se hlavně při vulkanizaci polysulfidového kaučuku. Zlepšují tepelnou odolnost pryže, jsou ale jedovaté. [1]

Další vulkanizační činidla jsou např. diizokyanáty, bisfenoly, alkylfenolsulfidy, které v kaučukových směsích působí jako změkčovadla a zlepšují konfekční lepivost směsí. [1]

1.7.2 Urychlovače síťování

Reakce síťovacího činidla s polymerem probíhá někdy velmi pomalu, to je v technické praxi ekonomicky neúspěšné. Proto se v těchto případech musí síťovací reakce urychlit. [1]

Urychlovací účinek některých organických sloučenin na sírnou vulkanizaci objevil v roce 1906 Oenslager, kterému se podařilo přidávkem anilinu podstatně zkrátit vulkanizaci a zlepšit vlastnosti vulkanizátu. Anilin byl brzy pro svou jedovatost nahrazen škálou jiných urychlovačů, ale i nadále se používá pro výrobu mnoha základních surovin. [1]

Urychlovače sírné vulkanizace zásadně zkrátily vulkanizační dobu (z hodin na minuty), to umožnilo produkovat nepřilíš tlustostěnné výrobky i průběžnou vulkanizací (např. profilování těsnění, hadice atd.). Zároveň je možné snížit vulkanizační teplotu, tím se uspoří energie, ale též chrání jiné přísady přítomné v kaučukových směsích, kupříkladu organické pigmenty, nebo materiály kombinované s kaučukem, např. textilní výztuže. [1]

Při použití tzv. ultraurychlovačů, k nimž řadíme zejména dialkylditriokarbamáty zinečnaté, lze k vulkanizaci použít např. teplé vody, nebo odležením při běžné teplotě. Takovým kaučukovým směsím říkáme často samovulkanizující. Urychlovače také umožňují přímé zpracování latexu. [1]

Na trhu je přes 100 různých druhů urychlovačů, které se často od sebe liší jen čistotou, formou, obchodními názvy atd., ale pouze několik desítek se jich používá ve větším množství, a z těch jen několik patří k základním. [1]

Urychlovače můžeme klasifikovat různým způsobem, např. dle chemického složení, nebo podle vlivu na vlastnosti pryže, ale nejvhodnější je rozdělení podle urychlovacího účinku, jak je uvedeno v tabulce 3. [1]

Tab. 3. Rozdělení urychlovačů sírné vulkanizace [1]

Skupina urychlovačů	Optimální koncentrace síry [dsk]	Optimální teplota vulkanizace [°C]
pomalé: <i>guanidiny</i>	3 až 4	145 až 155
rychlé: <i>thiazoly, sulfenamidy</i>	1,5 až 3	135 až 150
velmi rychlé: <i>thiuramsulfidy</i>	1 až 2	125 až 140
ultrarychlé: <i>dithiokarbamáty, xantháty</i>	0,5 až 1,5	100 až 125

Pro čtyři skupiny, začínající pomalým a končící ultrarychlými, je v ní uvedeno dávkování síry a nevhodnější rozpětí vulkanizačních teplot za předpokladu, že jsou urychlovače použity samostatně (nikoli v kombinacích). Obecným pravidlem je, že rychlejší urychlovač je účinnější, a proto umožňuje použít nižšího dávkování síry a nižší teplotu vulkanizace. [1]

1.8 Přířady ovlivňující další fyzikální vlastnosti

1.8.1 Plniva

Jsou důležité přířady, které významně ovlivňují vlastnosti směsi a ještě více vlastnosti výrobků, které máme právě možnost volbou kvality a množství plniva upravovat v širokých mezích. Plniva jsou většinou tuhé látky používané ve formě prášků, nebo krátkých vláken (milimetrové délky). Z důvodu prášivosti a umožnění automatického navažování se prášková plniva často granulují. Používají se nejen do kaučuků, ale i do plastů. Jejich dávkování se pohybuje ve velmi širokých mezích, od jednotek, někdy až do stovek hmotnostních dílů. [1]

Obecně můžeme říci, že plnivy lze zlepšovat mechanické vlastnosti materiálu (např. zvyšovat pevnost, odolnost vůči oděru, houževnatost, tuhost), jeho odolnost vůči teplu, ohni, korozi, stárnutí, dále ovlivňovat vzhled výrobků, ale i jejich cenu. [1]

Gumárenská plniva lze jednoznačně rozdělit podle barvy na saze a světlá plniva. Podle jejich vlivu na vlastnosti pryže pak na plniva aktivní, poloaktivní a neaktivní. Toto druhé dělení není přesné, ale vystihuje, že různá plniva mají odlišný vliv na vlastnosti pryže a značně se liší podle typu plniva. [1]

K hlavnímu druhu gumárenských plniv patří saze. Ty jsou obsaženy v převážné většině pryžových výrobků. Jako gumárenské (na rozdíl např. od barvářských) se vyrábí speciální typy sazí, které mají svoji klasifikaci a názvosloví. Saze jsou složeny z 96% uhlíku, 0,1% - 3,5% kyslíku a 0,3% - 0,6% vodíku. Čím více obsahují kyslíku, tím jsou kyselější. Kyselé saze zpomalují sirnou vulkanizaci. Obecně saze vznikají nedokonalým hořením organických látek. Nejpoužívanější surovinou pro výrobu gumárenských sazí jsou odpadní oleje a dehty z tepelného zpracování uhlí a ropy. [1]

Jejich podstatou vzniku je tepelný rozklad organických látek až na uhlíkové radikály a jejich zpětné spojování na sazové částice. Jako vedlejší produkty vznikají vodík, voda a další nízkomolekulární látky. Jednotlivé druhy sazí lze zařadit mezi aktivní nebo poloaktivní plniva. Zvyšují tuhost pryže, její pevnost, odolnost vůči oděru a bobtnání, ale většinou

zhoršují zpracovatelnost kaučukových směsí, a to tím více, čím jsou aktivnější. Speciální typy tzv. vodivých sazí propůjčují pryži elektrickou vodivost, od úrovně elastických materiálů (schopných odvést např. v důsledku tření na nich se vyvíjecí statický elektrický náboj) až téměř po úroveň kovových vodičů elektrického proudu. [1]

Pro bílé a světle zabarvené gumárenské výrobky se k přípravě kaučukových směsí používají anorganická plniva o různém chemickém složení. Velký ztužující účinek, který je srovnatelný s aktivními sazemi, vykazují speciální typy oxidu křemičitého. Hlavním představitelem je Aerosil firmy Degussa. Zpomaluje sirnou vulkanizaci svou značnou kyselostí. Používá se hlavně do silikonového kaučuku. Poněkud méně aktivním plnivem je český Siloxid. Odolnost proti oděru zvyšuje méně než aktivní saze. Ještě méně aktivním oxidem křemičitého je křemelina. Nalézá se v přírodě jako zbytek po jednobuněčných organismech. V Čechách se těží hlavně v Borovanech, proto se často označuje jako borovanská křemelina. Dále se v gumárenství používá kaolin, křemičitan vápenatý a další. Neaktivním a nejlevnějším světlým plnivem je mletá křída. Mletý barit je plnivo o velké hustotě (4.400 kg/m^3), proto se používá především k výrobě ochranných pomůcek (rukavic, zástěr atd.) pro práci se zářením o vysoké energii (např. radioaktivními zářiči a rentgenovými přístroji – čím vyšší je hustota látky, tím méně propustí záření a tím má větší ochranný účinek). [1]

1.8.2 Pigmenty

Pigmenty (práškové barvy) jsou barevné prášky nerozpustné v polymerech, kterým jako přísada propůjčují příslušný barevný odstín a kryvost. Rozdělujeme je podle původu na anorganické, organické a bronze (práškové kovy). [1]

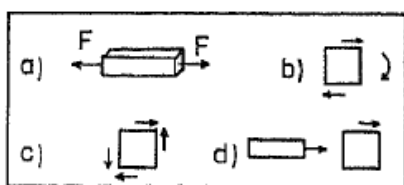
2 MECHANICKÉ CHOVÁNÍ ELASTOMERŮ

2.1 Deformace

Pod pojmem deformace tělesa rozumíme změnu jeho stavu. Těleso mění svůj tvar důsledkem působení síly. Síly působící na těleso rozdělujeme podle druhu napětí na tahové, tlakové, smykové, ohybové nebo torzní. Tyto síly bývají označovány také jako deformační. Pokud se těleso po odstranění těchto sil nachází v nezměněném stavu, tedy vrátí se do původního stavu, jedná se o pružnou (elastickou) deformaci. Pokud se těleso po odstranění těchto sil nachází ve změněném stavu, tedy nachází se v deformovaném stavu, jedná se o nepružnou (plastickou) deformaci. [4]

2.2 Elasticita

Působí-li na těleso více sil nebo silových dvojic, které jsou v rovnováze, nezmění se kinetický stav tělesa. [3, 5]



a – soustava sil, které jsou v rovnováze a působí tahovou deformaci, *b* – dvojice sil působící rotaci tělesa, *c* – dvě dvojice sil, které jsou v rovnováze a způsobují smykovou deformaci, *d* – schematické znázornění sil a dvojic sil, které jsou v rovnováze

Obr. 1. Působení sil a dvojic sil na těleso [5]

Elasticita neboli pružnost je schopnost látek deformovat se vratně. Přestane-li síla působit, vrací se elastické těleso téměř okamžitě do původního stavu. [5]

Tato schopnost je dána zvláštnostmi molekulárních charakteristik pryže a výrazně odlišuje kaučuky od jiných materiálů. Vnějšími projevy a molekulárním mechanismem se od sebe odlišují elasticita ideální a elasticita kaučuková. Tuto schopnost umožňuje zvláštnost molekulárních charakteristik pryže a výrazně tedy odlišuje kaučuky od ostatních materiálů. [3, 5] Souhrn těchto vlastností se často označuje jako hyperelasticita a tyto materiály pak považujeme za hyperelastické.

2.2.1 Lineární (ideální) elasticita

Lineární (ideální), někdy nazývána též hookeovská elasticita. Tzv. ideální elasticita je idealizovaným limitním případem deformačního chování a má tyto přívlastky: okamžitá, časově nezávislá, dokonale vratná, lineární. [5] Je charakterizována vratnými, časově nezávislými deformacemi, kde platí Hookův zákon, dále vysokou hodnotou modulu a malou teplotní závislostí. [6] Krystalické látky a kovy v oblasti malých deformací se při působení vnější síly deformují téměř okamžitě a mezi silou a jí odpovídající deformací existuje přímá úměrnost. Toto deformační chování značíme jako ideálně elastické a vztah mezi silou a deformací formulujeme jako Hookův zákon. [3, 5]

Pokud jsou v polymerním materiálu vnitřní rotace zastaveny, konformace se s časem nemění, vnitřní pohyblivost je omezena pouze na vibrace. Tímto jsou splněny předpoklady pro ideální elasticitu energetického typu. [5]

Hookův zákon pro pružnou deformaci – z praxe je známo, že působením deformujících sil se uvažované těleso (guma) prodlouží z původní délky l_1 na délku l_2 . Veličinu (rozdíl) $\Delta l = l_2 - l_1$ nazýváme (absolutní) prodloužení. Toto prodloužení je závislé na počáteční délce l_1 tělesa. Proto zavádíme veličinu poměrné (relativní) deformace (prodloužení). Zvětšujeme-li postupně velikost deformačních sil při deformaci tahem, lze sledovat závislost normálového napětí σ na poměrnou deformaci ε . Z experimentů vyplývá: pro pružnou deformaci tahem je normálové napětí přímo úměrné poměrné deformaci. [7]

Hookův zákon pro deformaci v tahu:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1)$$

kde: E – Yongův modul pružnosti v tahu ($E = k_1 \cdot S_0 / l_0$) – jedná se o materiálovou konstantu,

ε - poměrná deformace (relativní prodloužení), $\varepsilon = (l - l_0) / l_0$,

$\sigma = F / S_0$ je tahové napětí,

S_0 – průřez vzorku, [7]

Hookův zákon platí i pro deformaci tlakem a platí: modul pružnosti v tahu je pro většinu látek stejný jako modul pružnosti v tlaku. [7]

Současně s poměrnou deformací délky tělesa dochází též k příčnému relativnímu zkrácení (pokud natahujeme gumové vlákno, dochází zároveň s jeho prodlužování i k příčnému zužování). [7]

Pro smykovou deformaci platí:

$$\sigma = G \cdot \gamma \quad (2)$$

kde: $\sigma = F/S_0$ - smykové napětí,

$\gamma = u/y = \operatorname{tg} \alpha$ – smyková deformace (relativní posunutí),

G – modul pružnosti ve smyku ($G = k_2 \cdot S_0/y$). [3]

Modul pružnosti ve smyku G má u ideálně elastických látek (např. kovů) vysokou hodnotu (G má řád 10^5 kp/cm²). S rostoucí teplotou se téměř nemění (mírně klesá). [3]

Hookův zákon může pro deformaci psát též ve tvaru:

$$F = k_1 \cdot (l - l_0) \quad (3)$$

kde: F – působící síla,

l_0 – délka tělesa v neprodlouženém stavu,

l – délka protaženého tělesa,

$(l - l_0)$ – prodloužení,

k_1 – konstanta úměrnosti neboli tuhost – udává sílu potřebnou k dosažení jednotkového prodloužení. [3]

Pro deformaci ve smyku analogicky platí:

$$F = k_2 \cdot u \quad (4)$$

kde: u – posunutí,

k_2 – konstanta úměrnosti neboli smyková tuhost. [3]

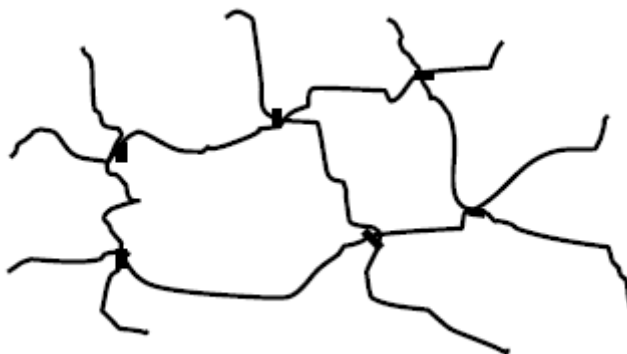
2.2.2 Kaučuková elasticita

Kaučuková elasticita se vyznačuje zvláštním typem deformačního chování. Aby měl materiál znaky tohoto typu elasticity, musí být splněny následující předpoklady:

- Materiál se musí skládat z polymerních řetězců. Jen polymerní řetězce jsou schopny velkých deformací, aniž by došlo k porušení chemických vazeb. Pokud není za-

tížena rotace kolem chemických vazeb polymerního řetězce, není při deformaci materiálu dokonce nutná ani změna valenčních úhlů, ani změna délky chemických vazeb.

- Polymerní řetězce musí být velmi ohebné. Přejít mezi různými typy prostorového uspořádání (tzn. mezi různými konformacemi polymeru) musí být poměrně snadný. Změny tvaru nesmí být zpomalovány, vysokým stupněm krystalinity, rigiditou řetězce, ani vysokou viskozitou prostředí (odpovídající např. skelnému stavu).
- Polymerní řetězec musí být navzájem svázaný, aby tvořil řídkou síť. Nesíťované polymerní řetězce totiž účinkem působících sil navzájem kloužou. Následkem jsou potom velké nevratné deformace. Vratnost deformací zaručuje spojení polymerních řetězců nepříliš početnými příčnými vazbami (např. cca 1 vazba na 100 segmentů řetězce). [8]



Obr. 2. Schéma sítě polymerních řetězců [8]

Viskoelastické materiály patří do přechodové oblasti mezi ideálně elastickými a viskózními materiály. Mezi napětím a deformací je určitý fázový posun, napětí předbíhá poměrnou deformaci. Část vložené mechanické energie při harmonickém namáhání viskoelastických materiálů se zpětně využije při následném odlehčení. Zbytek energie se disipuje, přemění v tepelnou energii. Tento proces je nevratný. Jelikož závislost mezi napětím a poměrnou deformací je nelineární, neplatí Hookův zákon. [9]

Přesto tento vztah disponuje dostatečnou přesností pro použití v aplikacích, kde nepředpokládáme větší deformace zatěžujícího prvku. Pro případy přesných výpočtů a velké deformace je nutno použít nelineární polis závislosti napětí-deformace. [3, 10]

Předpoklady pro vysokou elasticitu:

- Dlouhé molekuly,
- Volná otáčivost kolem jednoduchých vazeb,
- Pravidelnost stavby řetězce,
- Slabé mezimolekulové síly
- Silné primární vazby rozmístěné podél řetězců ve vhodných intervalech tvořící trojrozměrovou síť. [3]

Základem pro pochopení kaučkové elasticity byly studie termoplastického chování pryže prováděné ve čtyřicátých letech. Jedním z typických výsledků říká, že rovnovážná reakční síla pryže vzrůstá při konstantním poměrném prodloužení lineárně s teplotou - konstanta úměrnosti a vzrůstá s poměrným prodloužením. Porovnáním tohoto experimentu a termodynamickou stavovou rovnicí ukazuje, že vnitřní energie k rekurentní síle je u dané pryže zanedbatelná. [5]

2.3 Tahové vlastnosti pryže

2.3.1 Pevnost v tahu

Pevnost pryže bývá předepisována, ale ne jako hodnota využívaná při použití, ale jako kontrolní hodnota, která zaručuje s dalšími vlastnostmi určitou kvalitu výrobku. [3]

Pevnost lze upravovat:

- Volbou elastomeru,
- Plnivem a dávkováním,
- Vulkanizačním systémem. [3]

V neplněných směsích má na pevnost v tahu největší vliv volba elastomeru. Dalšími faktory ovlivňující pevnost jsou povaha a objem plnění, uplatňuje se vliv elastomeru, výběr kaučuku atd.. Všeobecně nejlepších pevností dosahujeme přidávkem aktivních plniv, neboli ztužovadel. [3]

Při měření pryží se setkáváme se značnou nereprodukovatelností hodnot, což znamená, že není možné pro proces trhání připravit naprosto dokonalé těleso. K přetržení dojde vždy ve vadném místě, která se v tělese vždy nachází. Pečlivou přípravou sice můžeme předejít hrubým vadám, jako jsou např. bubliny, cizí příměsi, nedokonalý povrch atd., ale nikdy není možné 100% vyloučení jakékoliv vady z konečného výrobku. Čím je zkušební vzorek

větší, tím je větší pravděpodobnost, že se v něm nachází nějaké vadné místo. Proto průměrná pevnost vzrůstá se zmenšujícím vzorkem. Při měření pevnosti se proto většinou počítá průměr ze všech výsledků a vypouštějí se hodnoty vzorků, které podle dodatečné kontroly obsahovaly zjevné vady. [3]

Podle teorie dokonalé sítě jsou molekulové řetězce ve vulkanizovaném kaučuku uspořádány do krychlí. Pevnost v tahu u pryže je udávána v přepočtu na původní průřez tělesa i přesto, že změna průřezu v tahu je značena – není totiž možné změřit průřez v okamžiku přetržení. Z toho plynou poměrně značné rozdíly mezi pevností v tahu počítanou na původní a okamžitý průřez. [3]

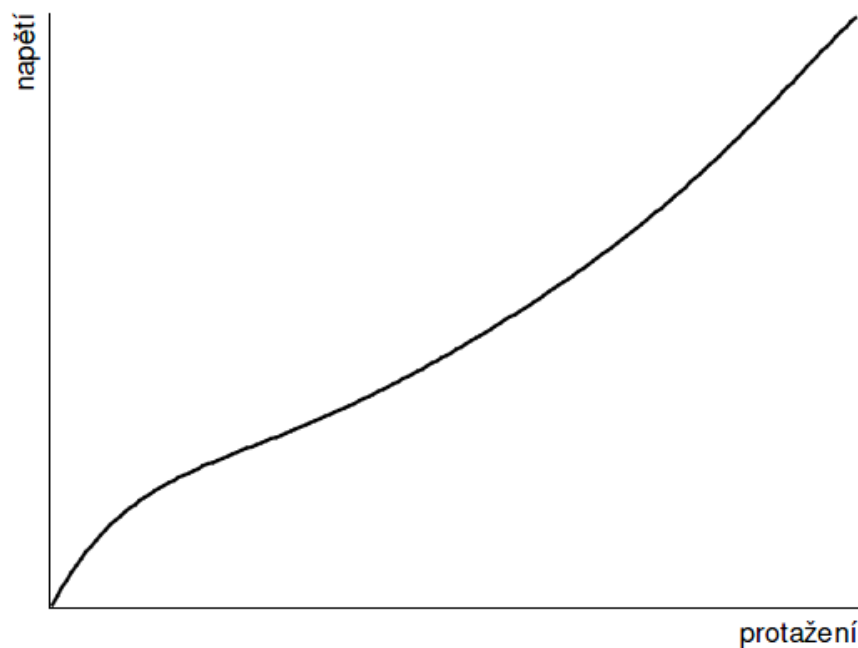
2.3.2 Tažnost

Tažnost měkké pryže se pohybuje ve velice širokém rozmezí a to od 130 – 150 až do 900%. Tak jako pevnost je i tažnost ovlivňována výběrem použitého kaučuku, např. kaučuky krystalující, hlavně v neplněném stavu nebo málo plněném stavu, tažnost podstatně vyšší než kaučuk např. butadienstyrenový, který při malé pevnosti nemůže mít samozřejmě větší tažnost. S plněním tažnost zásadně klesá, ve směsích nekrystalujících kaučuků s plněním nejdříve tažnost stoupá, jako důsledek rychle se zvyšující pevnosti, při větším plnění ale tažnost postupně opět klesá. [3]

3 HYPERELASTICITA

Jak již bylo mnohokrát zmíněno, elastomery jsou materiály, které se od většiny ostatních materiálů (ideálně elastických) výrazně odlišují některými svými charakteristickými rysy. Souhrn těchto vlastností bývá často označováno jako hyperelastická a proto tyto materiály považujeme za hyperplastické. Hyperelastická, (kaučuková elasticita, neboli pružnost) se od ideální elasticity kovů a krystalů liší v těchto nejvýznamnějších rysech:

- 1) Dosažené elastické deformace jsou velké, mnohonásobně vyšší než u ideálně elastických látek. Tažnost (protažení při přetržení) dosahuje několika set procent původní délky.
- 2) Závislost na deformaci je lineární pouze v oblasti malých deformací. Hookův zákon platí při smykové deformaci jen přibližně, při protahování pouze v oblasti prvních několika procent. Tvar závislosti napětí na protažení má zpravidla charakteristický esovitý průběh. (obr. 3.)
- 3) K deformaci pryže dochází již účinkem malých sil. Poměr napětí a deformace v oblasti malých deformací (modul pružnosti) je asi desettisíckrát menší než u ideálně elastických látek (řádově 1 MPa).
- 4) Deformace pryže je časově závislá. Elastické deformační přeměny zde probíhají s určitým zpožděním, poněvač jsou brzděny vnitřními viskózními odpory uvnitř kaučukové hmoty. Deformační chování pryže má obecně elastické i viskózní projevy současně. Takové chování označujeme jako viskoelastické. Mechanické chování elastomerů je také závislé na teplotě. Např. při nízkých teplotách (pod -50°C) tuhost materiálu značně roste a může se přiblížit vlastnostem kovů, při vysokých teplotách (nad 100°C) naopak dochází k velkému poklesu tuhosti.
- 5) Elastické materiály patří k téměř objemově nestlačitelným materiálům, Jejich Poissonova konstanta (poměr) $\nu = 0,5$ (blíží se této hodnotě) přísluší objemově nestlačitelným materiálům, přičemž objemový modul pružnosti dosahuje hodnot řádově stovek až tisíců MPa. Objemová tuhost většiny elastomerů je většinou o dva až tři řády vyšší než tuhost ve smyku. [3, 6, 10]



Obr. 3. Závislost napětí a deformace při zatěžování elastomerů [10]

Z výše zmíněných rysů vyplývá, že pro použití Hookova zákona nejsou splněny dvě základní podmínky: závislost deformace na napětí není lineární a dochází tím k velkým deformacím ($> 2\%$). Přesto je tento vztah dostatečně přesný pro použití u aplikací, kde nedochází k velkým deformacím zatěžovaného prvku. Pro větší deformace a přesné výpočty je nutné použít nelineární popis závislosti napětí-deformace. [10]

Intenzivní vývoj nelineárních hyperelastických materiálových modelů probíhá od 2. pol. 20. století. Tyto modely jsou založeny na definici vztahu pro potenciál deformační energie W . V průběhu posledních 60 let bylo postupně navrženo velké množství hyperplastických modelů různými autory. Tyto modely jsou nezávislé na rychlosti a historii deformace. Poslední dobou jsou však publikována díla, která se zabývají modelováním obsahující tyto efekty. [10]

Některé typy hyperplastických modelů jsou založeny na mikromechanických modelech vnitřní struktury elastomerů (např. Neo-Hooke, Arruda-Boyce). V těchto modelech mají materiálové konstanty jednoznačný fyzikální význam. Další typy modelů byly navrženy pouze na základě pozorování deformačně-napěťového chování elastomerů na makroskopické úrovni tak, aby model co nejlépe aproximoval toto chování. Tyto modely (např. Polynomický, Mooney-Rivlin, Ogden, Yeoh, Gent) jsou nazývány fenomenologické a jejich materiálové konstanty nemají často konkrétní fyzikální význam. [10]

V současnosti používané hyperelastické modely obecně formují vztah pro hustotu deformační energie. [10]

Napětí hyperelastického materiálu je funkcí hustoty deformační energie, tu můžeme symbolicky vyjádřit jako:

$$\sigma = f(W) \quad (5)$$

Vztah pro hustotu deformační energie píšeme ve tvaru:

$$W = W(I_1, I_2, I_3 \{M\}) = W(\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3 \{M\}) \quad (6)$$

kde: I_i – invarianty pravého Cauchy-Greenova tenzoru deformace,

λ_i – hlavní protažení,

$\{M\}$ – množina materiálových konstant. [10]

Protažení λ_i je poměrem deformované délky l_i ve směru osy i k původní délce l_{0i} :

$$\lambda_i = l_i / l_{0i} \quad (7)$$

Deformační invarianty I_i definujeme vztahy:

$$\begin{aligned} I_1 &= \lambda_1^2 + \lambda_2^2 + \lambda_3^2 \\ I_2 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 + \lambda_2^2 \lambda_3^2 + \lambda_3^2 \lambda_1^2 \\ I_3 &= \lambda_1^2 \lambda_2^2 \lambda_3^2 \end{aligned} \quad (8)$$

Pro nestlačitelné materiály se invariant $I_3 = 1$. [10]

V případě, že známe funkci W , můžeme napětí vypočítat jako derivaci této funkce podle odpovídající složky deformace.

$$S_{ij} = 2 \frac{\partial W}{\partial C_{ij}} \quad (9)$$

kde: S_{ij} – složky 2. Piola-Kirchhoffova tenzoru napětí,

C_{ij} – složky pravého Cauchy-Greenova deformačního tenzoru. [10]

Jestli je souřadný systém zvolen tak, že se shoduje s hlavními směry deformace, potom je pravý Cauchy-Greenův deformační tenzor definován takto:

$$[C] = \begin{bmatrix} \lambda_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Z rovnice (9) lze odvodit vztah pro složky Cauchyova tenzoru napětí (skutečného napětí):

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + 2\frac{\partial W}{\partial I_1}C_{ij} - 2\frac{\partial W}{\partial I_2}C_{ij}^{-1} \quad (11)$$

kde: p – nespécifikovaný tlak,

δ_{ij} – Kronekerovo delta, pro které platí ($\delta_{ij} = 1, i = j$; $\delta_{ij} = 0, i \neq j$). [10]

3.1 Hyperelastické modely

Jednotlivé hyperplastické materiálové modely se liší definicí funkce hustoty deformační energie W . Většinou jsou pojmenovány po svých autorech. Níže uvádím v současnosti nejvíce používané.

Polynomická funkce:

Tato forma je založena na prvním a druhém deformačním invariantu (I_1, I_2). Jedná se model, jež má formu:

$$W = \sum_{i+j=1}^N c_{ij} (I_1 - 3)^i (I_2 - 3)^j \quad (12)$$

kde: c_{ij} – materiálové konstanty a za N se dosazují hodnoty od jedné do nekonečna, ale obvykle hodnota N není vyšší než 3. Tato forma může být aplikována pro deformaci dosahující až 300%. [10]

Model Neo-Hookean:

Jedná se o jeden z nejjednodušších a nejstarších modelů. Můžeme ho brát jako podmnožinu *polynomické* formy $N = 1, c_{01} = \mu/2$. Toto vychází z termodynamických principů a ze statického přístupu k modelování vnitřní struktury elastomeru. Model není schopen věrohodně postihnout závěrečnou vyztužovací fázi napěťově deformační odezvy elastomerů. Dále model vykazuje lineární chování při smykové deformaci.

$$W = \frac{\mu}{2} (I_1 - 3) \quad (13)$$

kde: μ – počáteční smykový modul. [10]

$$\mu = nkT$$

kde: n – počet polymerních řetězců v jednotkovém objemu,

k – Boltzmannova konstanta,

T – absolutní teplota. [10]

Model se používá pro deformaci do 40% u jednoosého namáhání. [10]

Model Yeoh:

Tento model vychází z polynomické formy, ale nepoužívá druhého deformačního invariantu a jako takový, se obtížněji vyhodnocuje a poskytuje méně přesné výsledky. Jeho výhodou je ovšem jeho jednoduchost. Definujeme jej jako:

$$W = \sum_{i=1}^N c_{i0} (I_1 - 3)^i \quad (14)$$

kde: c_{i0} – materiálová konstanta, za N se dosazují hodnoty od jedné do nekonečna, ale obvykle není hodnota N vyšší než 3. Pokud $N = 1$ jde o model *Neo-Hookean*. [10]

Model Yeoh se obvykle uvažuje s $N = 3$. Tří-parametrový Yeoh model poskytuje obecně dobré výsledky pro deformace velkého rozsahu i když nemusí být přesný pro deformace nižších hodnot. [10]

Model Mooney-Rivlin:

Ve čtyřicátých letech 20. stol. Navrhl Mooney fenomenologický model se dvěma parametry, které byly založeny na předpokladu lineárního vztahu mezi zatížením a smykem během jednoduché smykové deformace. V padesátých letech Rivlin modifikoval Mooneyho model, aby obdržel obecné vyjádření funkce deformační energie vyjádřené pomocí deformačních invariantů. [10]

Používají se dvou, tří, pěti a devíti-parametrové *Mooney-Rivlin* modely, které také můžeme považovat za speciální případy *polynomické* formy. [10]

- Dvou-parametrový model je jeden z nejvíce používaných modelů. Je ekvivalentní *polynomické* formě s $N = 1$:

$$W = c_{10} (I_1 - 3) + c_{01} (I_2 - 3) \quad (15)$$

kde: c_{10}, c_{01} – materiálové konstanty.

- Tří-parametrový model je shodný s *polynomickou* formou pro $N = 2$ a $c_{20} = c_{02} = 0$:

$$W = c_{10} (I_1 - 3) + c_{01} (I_2 - 3) + c_{11} (I_1 - 3)(I_2 - 3) \quad (16)$$

kde: c_{10}, c_{01}, c_{11} – materiálové konstanty.

- Pět-parametrový model je shodný s *polynomickou* formou pro $N = 2$:

$$W = c_{10} (I_1 - 3) + c_{01} (I_2 - 3) + c_{20} (I_1 - 3)^2 + c_{11} (I_1 - 3)(I_2 - 3) + c_{02} (I_1 - 3)^2$$

kde: $c_{10}, c_{01}, c_{11}, c_{20}, c_{02}$ – materiálové konstanty. (17)

- Devíti-parametrový model je shodný s *polynomickou* formou pro $N = 3$:

$$\begin{aligned} W = & c_{10} (I_1 - 3) + c_{01} (I_2 - 3) \\ & + c_{20} (I_1 - 3)^2 + c_{11} (I_1 - 3)(I_2 - 3) + c_{02} (I_1 - 3)^2 \\ & + c_{30} (I_1 - 3)^3 + c_{21} (I_1 - 3)^2(I_2 - 3) + c_{12} (I_1 - 3)(I_2 - 3)^2 + c_{03} (I_2 - 3)^2 \end{aligned} \quad (18)$$

kde: $c_{10}, c_{01}, c_{11}, c_{20}, c_{02}, c_{30}, c_{21}, c_{12}, c_{03}$ – materiálové konstanty. [10]

Dvou-parametrový model se využívá do 90-100% tahové deformace, ale nemusí být dobře charakterizováno chování materiálu při stlačení. Pět nebo devíti-parametrové modely mohou být používány pro deformace až do 300 %. [10]

Model Arruda-Boyce:

Je to model založený na mikromechanice vnitřní struktury elastomerů. Tento model může být používán jako rozšíření modelu Yeoh pro $N = 5$, kde mají konstanty reálný význam. [10]

$$W = \mu \sum_{i=1}^5 \frac{C_i}{\lambda_L^{2i-2}} (I_1^i - 3^i) \quad (19)$$

kde: C_i – konstanty, které jsou definovány jako:

$$C_1 = 1/2, C_2 = 1/20, C_3 = 11/1050, C_4 = 19/7000, C_5 = 519/673750 \quad (20)$$

kde: μ – počáteční smykový modul,

λ_L – tzv. „limitní protažení“ sítě mikromechanického modelu struktury materiálu, při kterém se už síť dále neprotahuje a napětí se začíná blížit nekonečnu.

Pokud se $\lambda_L =$ nekonečnu, forma Arruda-Boyce přechází na Neo-Hookean. [10]

Model je vhodný pro deformaci do 300%.

Model Gent:

Tento model je formulačně podobný modelu Arruda-Boyce, poněvadž také užívá konceptu limitního síťového protažení, nevychází ale z modelu vnitřní struktury elastomerů. [10]

$$W = -\frac{EI_m}{6} \ln\left(1 - \frac{I_1 - 3}{I_m}\right) \quad (21)$$

kde: E – počáteční modul pružnosti, který je pro nestlačitelné materiály 3μ .

I_m – limitní hodnota členu $(I_1 - 3)$, analogická k λ_L v Arruda-Boyce modelu. Pokud hodnota přirozeného logaritmu narůstá, výsledná forma se bude podobat modelu Yeoh. Pokud se I_m bude rovnat nekonečnu, model opět přejde na model Neo-Hookean. [10]

Model má výhody, které spočívají v jeho jednoduchosti (jen 2 materiálové konst.) a schopnosti postihnout závěrečnou vyztužovací fázi napět'ově deformační odezvy. [10]

Model Ogden:

Je to funkce vyjádřená v hlavních protažení. V dnešní době je tento model velice používán a poměrně dobře vystihuje chování elastomerů i při velkých deformacích. [10]

$$W = \sum_{i=1}^N \frac{\mu_i}{\alpha_i} (\lambda_1^{\alpha_i} + \lambda_2^{\alpha_i} + \lambda_3^{\alpha_i} - 3) \quad (22)$$

kde: μ_i, α_i – materiálové konstanty bez konkrétního fyzikálního významu

μ_i však mají obecně význam počáteční tuhosti, za N se dosazují hodnoty od jedné do nekonečna, ale obvykle není hodnota N vyšší než 3. [10]

Pro $N = 1$ a $\alpha_i = 2$ se Ogden stává ekvivalentní modelu Neo-Hookean. Pro $N = 2$, $\alpha_i = 2$ a $\alpha_i = -2$ Ogden předchází na dvou-parametrový Mooney-Rivling model. Ogden může být obecně aplikován pro deformaci do 700%. [10]

Výše uvedené vztahy jsou v důsledku předpokládané objemové nestlačitelnosti elastomeru nezávislé na třetím invariantu I_3 pravého Cauchy-Greenova deformačního tenzoru. Pro případné zahrnutí objemové stlačitelnosti "témer nestlacitelných" elastomeru je funkce W doplněna o aditivní člen W_{vo} závislý na I_3 (respektive poměrné objemové deformaci J , pro

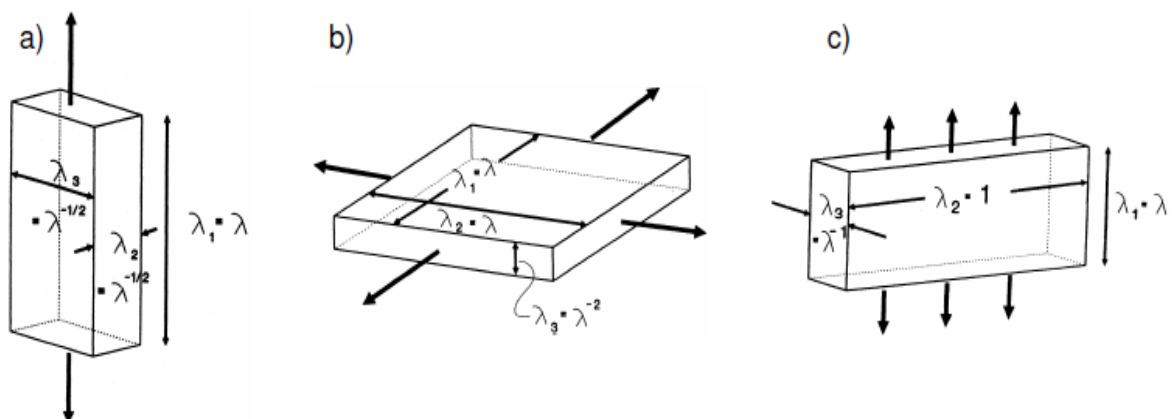
kterou platí $I_3=J^2$) a objemovém modulu K . Níže je stručný přehled tvaru W_{vol} používaných v uvedených modelech:

$$\begin{aligned}
 W_{vol} &= \frac{K}{2}(J-1)^2; & W_{vol} &= \frac{K}{4}\left((J-1)^2 + (\ln J)^2\right); & W_{vol} &= K(J \ln J - J + 1); \\
 W_{vol} &= \frac{9K}{2}\left(J^{\frac{1}{3}} - 1\right)^2; & W_{vol} &= \frac{K}{2}\left(\frac{J-1}{2} - \ln J\right) & &
 \end{aligned}
 \tag{23}$$

3.2 Stanovení materiálových konstant pro hyperelastické modely

Jednoduché lineární modely jsou založeny na modulu pružnosti a Poissonově konstantě. Tyto parametry lze stanovit poměrně jednoduše na standardních sériově vyráběných zařízeních. Ovšem pro stanovení materiálových konstant nelineárních hyperelastických modelů je nutno v materiálu dosáhnout i dalších módů namáhání. Pro tento způsob zatížení jsou nezbytné speciální přístroje a vybavení. [10]

Abychom získali přesné parametry do hyperelastických modelů, musíme materiál zkoušet v jednoosém tahu, dvouosém tahu a čistém smyku (obr. 4.). Vzhledem k různorodosti elastomerů je nutné pro každou konkrétní analýzu přesně stanovit materiálové konstanty daného materiálu. Požadovaným výstupem z testu je vždy celá křivka závislosti napětí/deformace pro daný způsob zatěžování. [10]

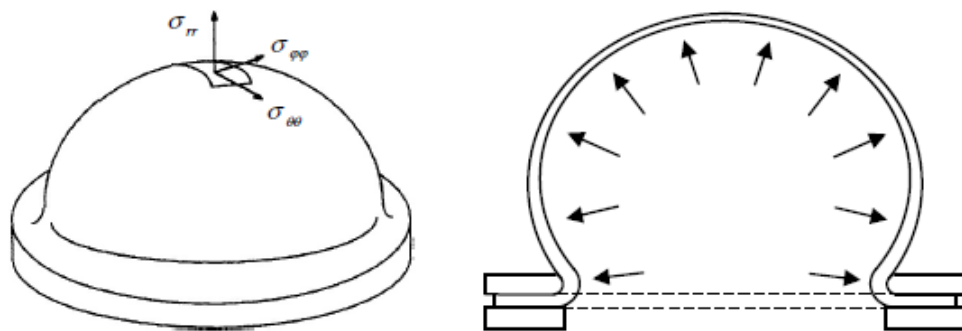


Obr. 4. a) Jednoosý tah, b) dvouosý tah, c) čistý smyk [10]

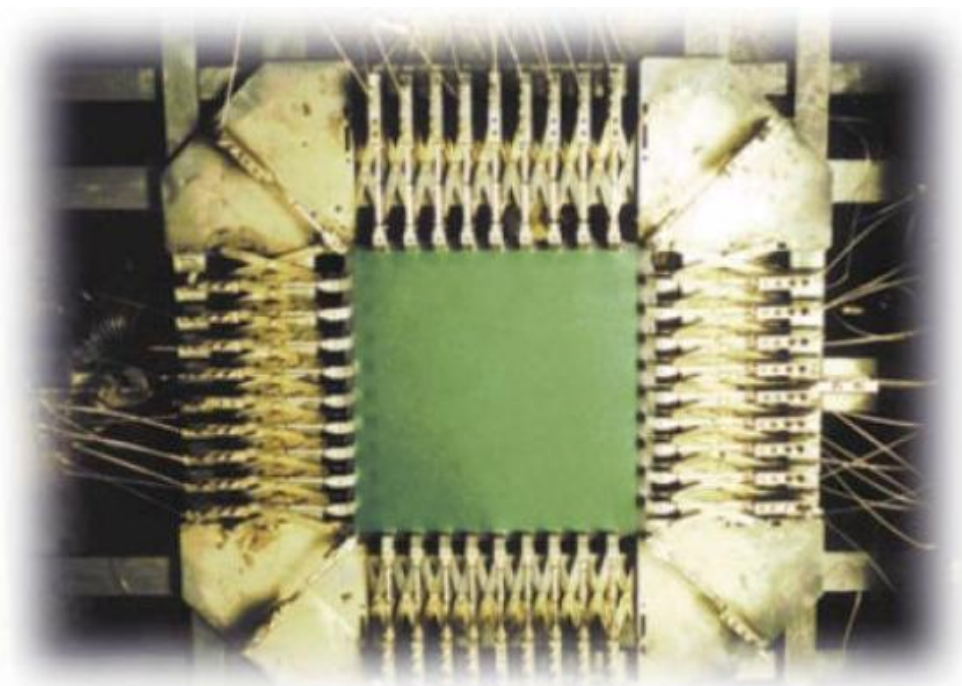
Jednoosý tah - lze testovat na univerzálních zkušebních strojích. V tomto případě je vzorek materiálu roztahován ve směru jediné osy. [10]

Dvouosý tah – při něm je nutno plochý vzorek materiálu napínat ve všech směrech jeho roviny (dohází k tomu např. při nafukování míče). Tohoto stavu lze dosáhnout několika způsoby, již zmíněným vydutím plochého vzorku stlačeným vzduchem (obr. 5.), roztahováním čtvercového vzorku do dvou navzájem kolmých směrů (obr. 6.) nebo roztahováním kruhového vzorku radiálně ve směru od středu (obr. 7.). [10]

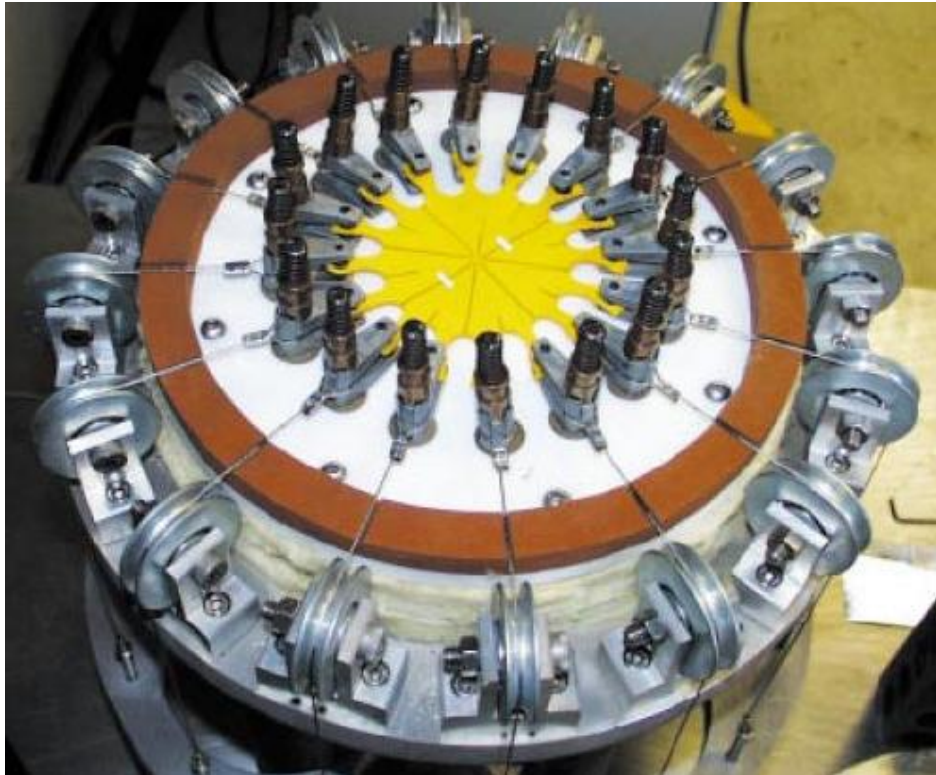
Čistý smyk – toho lze v tělese dosáhnout natahováním podélného vzorku, jehož výška je alespoň 10x menší než jeho šířka (obr. 4c). [10]



Obr. 5. Metoda dvouosého tahu pomocí nafouknutí vzorku [10]



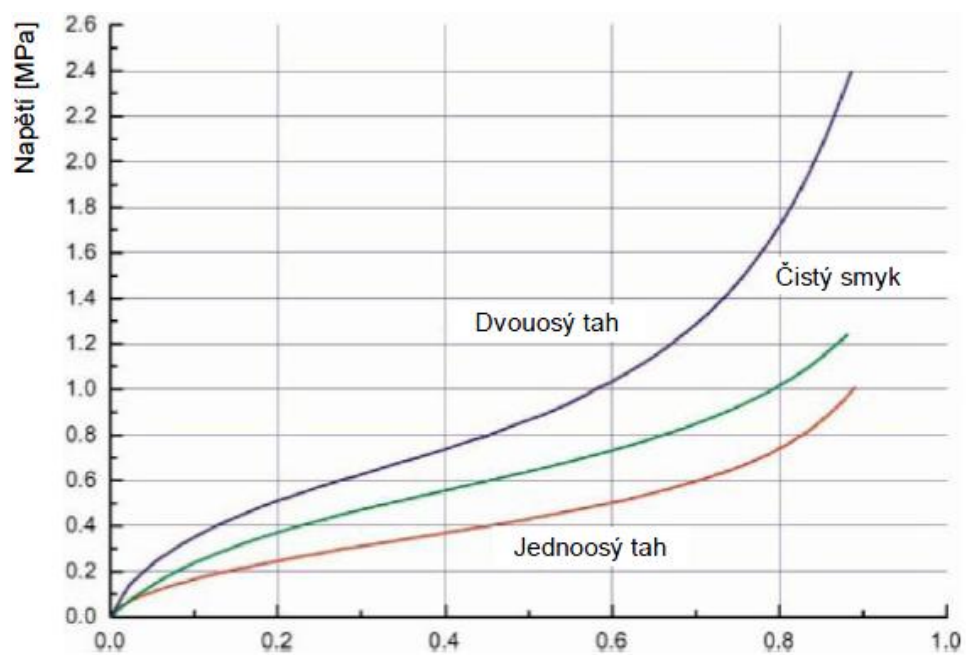
Obr. 6. Metoda dvouosého namáhání pomocí tahu ve dvou kolmých osách [10]



Obr. 7. Metoda dvouosého namáhání pomocí radiálního tahu [10]

Obecný průběh výsledných křivek závislosti napětí a deformace je znázorněn na obr. 8. .

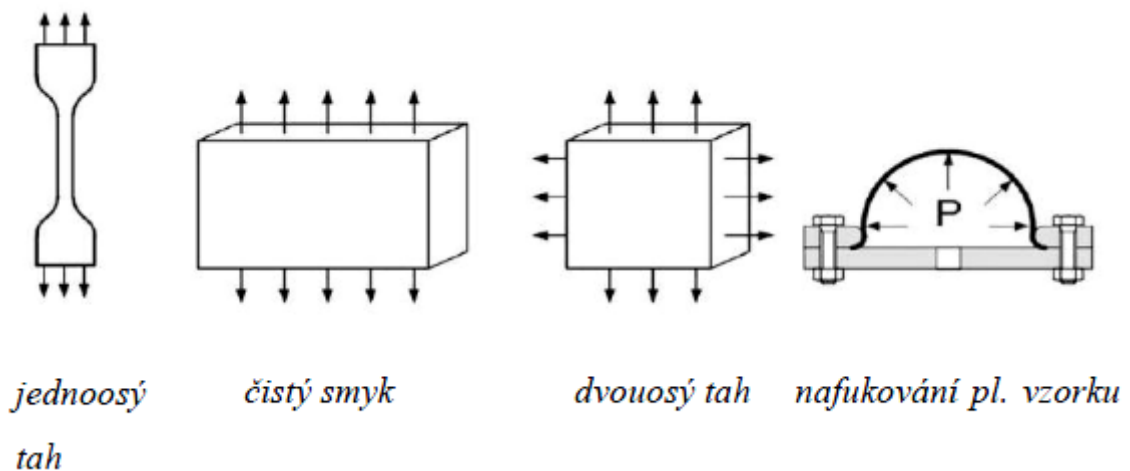
Z těchto dat jsou pak pomocí metody nejmenších čtverců určeny materiálové parametry pro zvolený hyperelastický model. Počet těchto konstant se liší na základě zvoleného modelu (viz výše) a při možnostech výpočetní techniky dnešní doby může být docela vysoký, ale v běžných výpočtech se zpravidla volí modely, které nevyžadují více než 6 materiálových konstant. [10]



Obr. 8. Chování konkrétního elastomeru v jednotlivých módech zatěžování [3]

4 ZKOUŠKY ELASTICKÝCH A HYPERELASTICKÝCH MATERIÁLŮ

Při zkouškách elastických a hyperelastických materiálů se používají mechanické zkoušky tahové a tlakové. U tlakové zkoušky se jedná zejména o jednoosou zkoušku, zatím co u tahové zkoušky se využívá následujících, nejvíce známých a nejvíce používaných metod: jednoosá napjatost, dvouosá napjatost a čistý smyk. Výsledky těchto zkoušek pak lze využít pro přesnou aproximaci charakteristiky chování daného materiálu při zatěžování.



Obr. 9. Tahové zkoušky

4.1 Obecný vztah mezi napětím a deformací

Vztah mezi napětím a deformací získáme z funkce hustoty deformační energie:

$$\delta W = (\sigma_1 / \lambda_1) \cdot (\partial W / \partial \lambda_1) \delta \lambda_1 \quad (24)$$

Analogicky vyjádříme vztah pro λ_2, λ_3 , pro σ_1 dostáváme:

$$\sigma_1 = 2 \left[\lambda_1^2 \left(\frac{\partial W}{\partial I_1} \right) - \left(\frac{1}{\lambda_1^2} \right) \left(\frac{\partial W}{\partial I_2} \right) \right] + P \quad (25)$$

A analogickými vztahy pro σ_2 a σ_3 , kde $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ jsou jednotlivá skutečná napětí. Množství P udává nespecifikovaný tlak. P stanovíme na základě známých hodnot σ a λ při základních módech zatěžování. [3]

4.2 Zkouška jednoosé napjatosti

Hlavní podstatou této zkoušky je protahování standardního tělesa v trhačím stroji v jednom směru danou konstantní rychlostí. Při tom se odečítají (snímají) síly a prodloužení, potřebné k vyhodnocení charakteristik protahovaných zkušebních těles. Tato zkouška většinou probíhá až do okamžiku, kdy dojde k přetržení vzorku. [6]

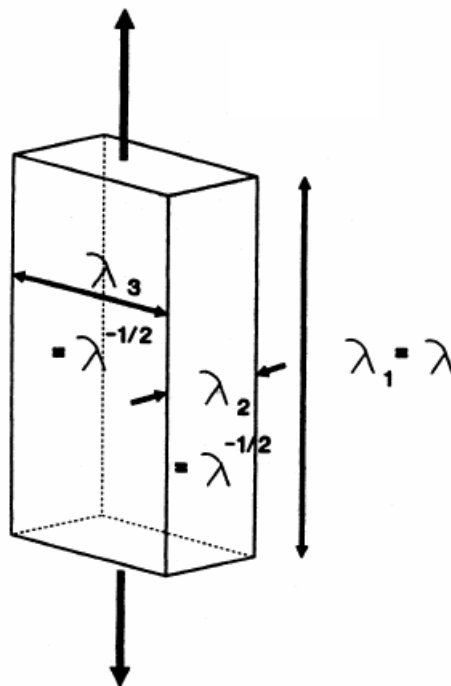
Jednoduché prodloužení je definováno poměrným protažením $\lambda_1 = \lambda$, $\lambda_2 = \lambda_3 = \lambda^{-1/2}$. Tato deformace vyplývá ze stavu nestlačitelnosti, kdy objem zůstává nezměněn a tudíž $\lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 = 1$. Pro tento stav napjetí, kde nejsou boční strany zatíženy, platí $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ a rovnice pro σ_2 a σ_3 se stane rovnicí neznámého stlačení P :

$$P = -2 \left[\lambda^{-1} \left(\frac{\partial W}{\partial I_1} \right) - \lambda \left(\frac{\partial W}{\partial I_2} \right) \right] \quad (26)$$

Když tuto rovnici dosadíme do vztahu (25), dostaneme výsledek:

$$\sigma_1 = 2 \left[\lambda^2 \left(\frac{\partial W}{\partial I_1} \right) - \left(\frac{1}{\lambda^2} \right) \left(\frac{\partial W}{\partial I_2} \right) \right] + P \quad (27)$$

kde: σ – udává skutečné napjetí.



Obr. 10. Jednoosá napjatost (= jednoosý tah) [10]

Předchozí vztah je velko-deformační ekvivalent jednoduchého Hookova zákona $\sigma = E \cdot \varepsilon$, který lze aplikovat při malých deformacích. [11]

4.2.1 Norma ČSN ISO 37 – stanovení tahových vlastností pryže

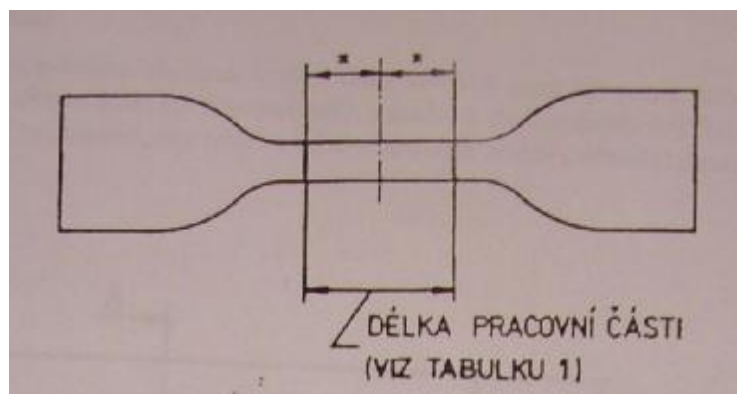
Uvedená norma popisuje metodu pro stanovení tahových vlastností pryže z vulkanizovaných nebo termoplastických kaučuků. Vyhodnocovanými vlastnostmi mohou být pevnost v tahu, tažnost při dané deformaci a prodloužení při daném napětí. Norma také zahrnuje specifikace a stanovení hodnot při mezi kluzu. [6]

4.2.2 Princip zkoušky

Při *jednoosé napjatosti* se nejčastěji používají zkušební tělesa ve tvaru oboustranných lopatek, či méně často ve tvaru prstence. Zkušební tělesa jsou protahována konstantním zatížením, přičemž je monitorována odpovídající síla a velikost protažení. Z naměřené síly vztažené na plochu průřezu nezatíženého vzorku se vyjadřuje tahové napětí. Obě zkušební varianty jsou popsány normou ISO 37, případně normou ASTM D412. [12]

4.2.3 Zkušební tělesa

Při *jednoosé napjatosti* mají zkušební tělesa tvar oboustranných lopatek zvaných též osmička obr. 11, nebo tvaru prstenců (kroužků).



Obr. 11. Tvar oboustranných lopatek [6]

Oboustranné lopatky - Standardní tloušťka zúžené části musí být $2,0 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ pro typy 1,2 a 3 a $1,0 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ pro typ 4. Délka pracovní části musí odpovídat tabulce 4. Ostatní rozměry jsou dány příslušným sekacím nožem. Pro nestandardní zkušební tělesa

odebíraná např. z hotových výrobků, může být maximální tloušťka zúžené části 3,0 mm pro typ 1; 2,5 mm pro typ 2 a 3 a 2,0 mm pro typ 4.

Tab. 4. Délka pracovní části oboustranných lopatek [6]

Rozměry v milimetrech				
Typ zkušebního tělesa	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
Délka pracovní části	25,0 ±0,5	20,0 ±0,5	10,0 ±0,5	10,0 ±0,5

Zkušební tělesa tvaru kroužků standardního typu A – vnitřní průměr musí být 44,6 mm ± 0,2 mm. Medián axiální tloušťky a medián radiální šířky musí být 4,0 mm ± 0,3 mm. Radiální šířka každého kroužku se nesmí nikde odchylovat od mediánu více než 0,2 mm a axiální tloušťka kroužku se nesmí nikde odchylovat od mediánu více než o 2%. [6]

Zkušební těleso tvaru kroužků standardního typů B – musí mít vnitřní průměr 0,8 mm ± 0,1 mm. Medián axiální tloušťky a medián radiální šířky musejí být 1,0 mm ± 0,1 mm. Radiální šířka se nesmí u kroužku nikde odchylovat od mediánu více než o 0,1 mm. [6]

Jsou-li srovnávány dva soubory stejných kroužků, platí u obou rozměrů, že medián tloušťky každého souboru se nesmí lišit od společného mediánu tloušťky více než o 7,5%. [6]

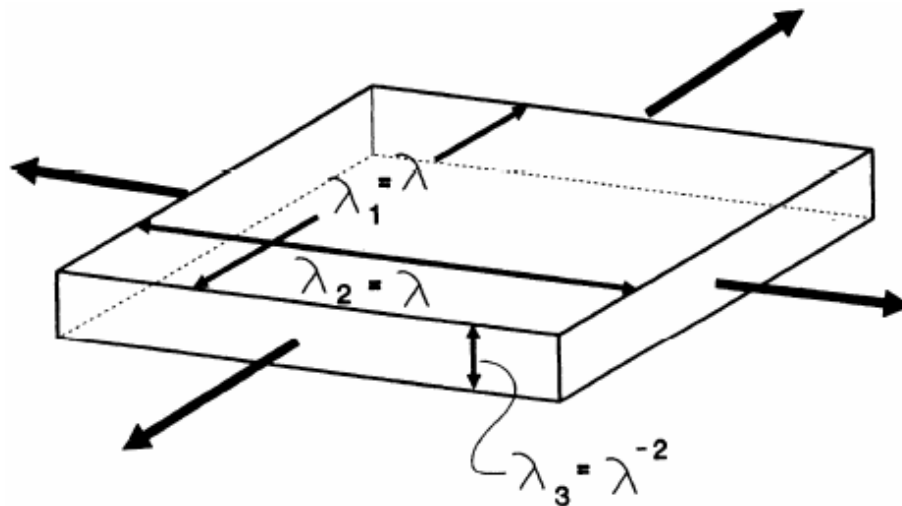
4.3 Zkouška dvouosé napjatosti

Při zkoušce pro dvouosou napjatost je zkušební těleso protahováno v trhacím stroji rovnoměrnou zatěžovací silou ve dvou směrech, přičemž se snímají hodnoty síly a protažení. Zkušební těleso ve tvaru čtverce, popřípadě kotouče je v trhacím stroji rovnoměrně upnuto po celém svém obvodu. Další možnou metodou je využití principu nafukování, kdy je fragment plochy zkušebního tělesa díky působícímu tlaku také namáhán dvouosým tahem. [6]

Vztah pro dvouosý tah lze získat ze vztahů pro jednoosou napjatost. Poměrné protažení je dáno jako: $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda$; $\lambda_3 = 1/\lambda^2$. Napětí $\sigma_3 = 0$, protože tato strana vzorku je nezátížena. Napětí $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$. Dostáváme:

$$\sigma = 2 \left[\left(\frac{\partial W}{\partial I_1} \right) - \lambda^2 \left(\frac{\partial W}{\partial I_2} \right) \right] (\lambda^2 - \lambda^{-4}) \quad (28)$$

Toto nám ukazuje, že mezi deformací a napjetím je vysoce nelineární vztah. [11],

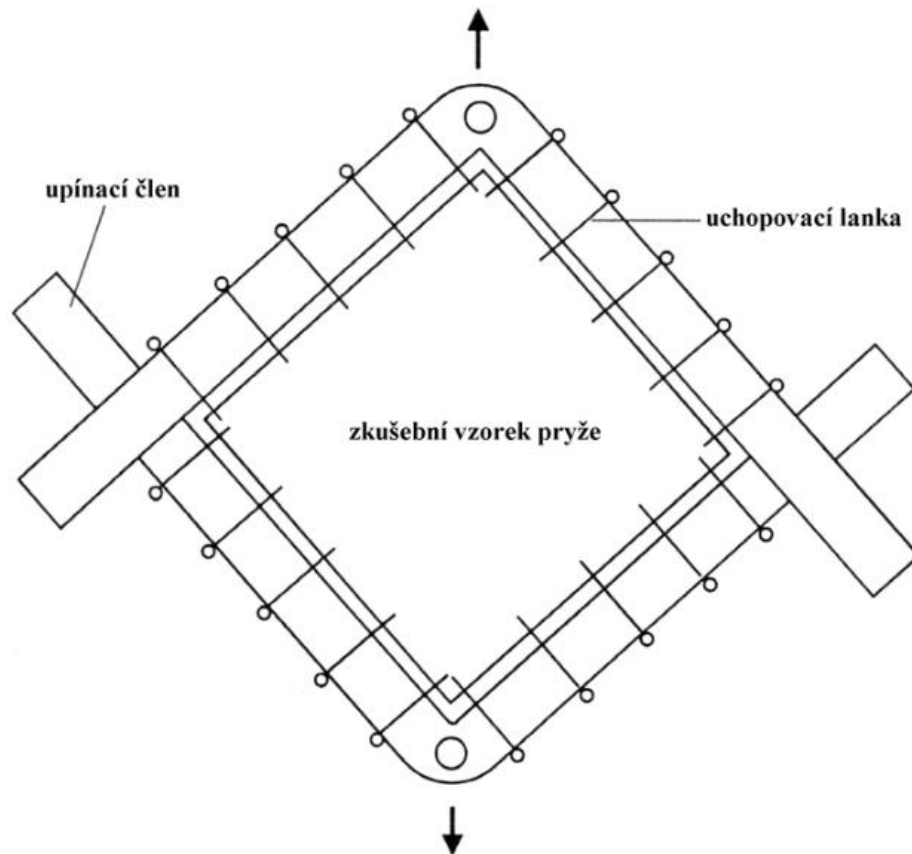


Obr. 12. Dvouosá napjatost (dvouosý tah) [10]

4.3.1 Princip zkoušky

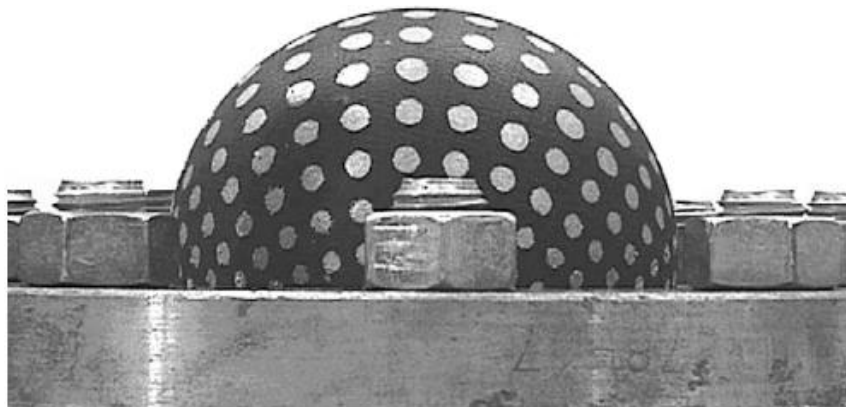
V současné době bohužel neexistuje žádná standardizovaná ISO metoda měření pro dvouosý tah. Tato měřicí metoda je ojediněle používána zejména v průmyslových laboratořích. Avšak výsledky měření dvouosé napjatosti jsou důležité pro teorii elasticity a jsou mnohdy nezbytné jako vstupní parametry pro FEM aplikace. Existují dvě varianty dvouosé tahové zkoušky: metoda tahového namáhání plochého prvku (vrstvy) a metoda nafukování plochého prvku obr. 14. [12]

Při zkoušce tahem je upínací zařízení tvořeno dvěma členy, ke kterým se zkušební těleso upne uchopovacími lankami, nebo jiným systémem obr. 13. Tyto členy se pohybují ve směru šipek. Aby bylo zajištěno rovnoměrné napínání zkušební vzorku, ve směru kolmém k hranám vzorku, jsou uchopovací lanka přes kladky napínána nezávisle na posouvajících členech. Napínání způsobuje deformaci v blízkosti hran vzorku. Deformace je měřena např. pomocí optického extenzometru, který sleduje na měřeném tělese vyznačenou mříž. [12]

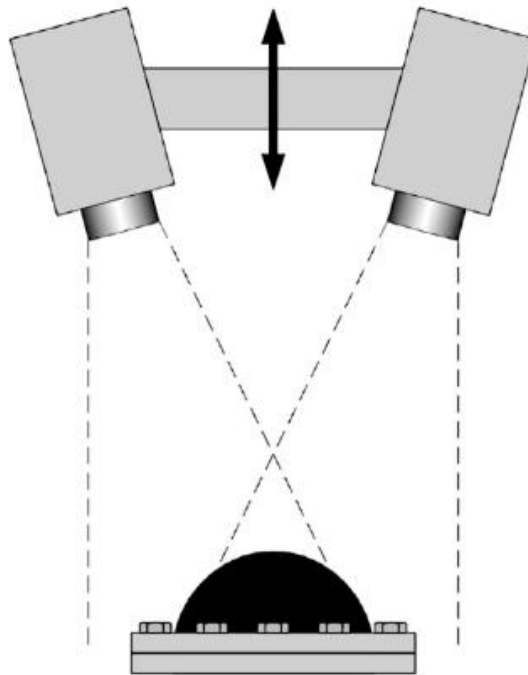


Obr. 13. Upínací zařízení pro dvouosý tah [12]

Při zkoušce metody nafukování plochého prvku je vzorek uchycen po okrajích kruhovým prstencem k desce a nafukován tlakovým vzduchem přiváděným středovým otvorem desky obr. 14. Měří se opticky poloměr vyboulení vzorku obr. 15, a deformace např. podle sítě nakreslené na měřeném vzorku. [12]



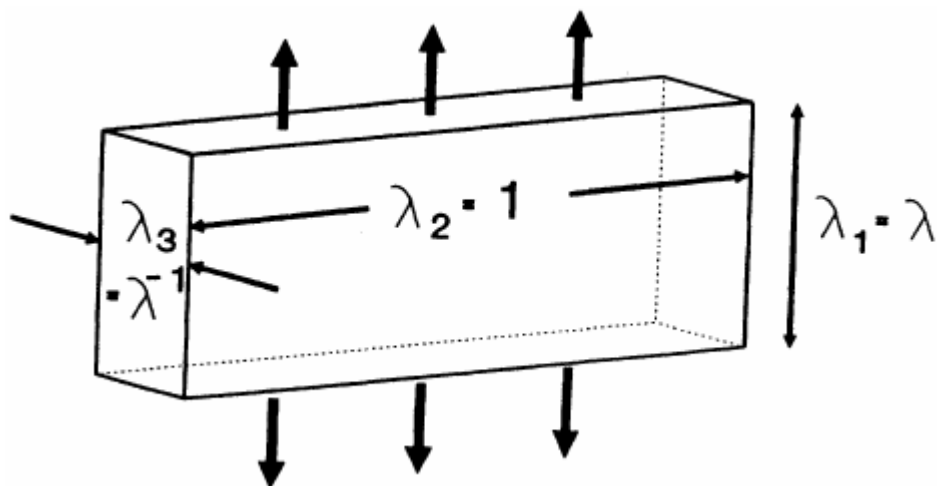
Obr. 14. Metoda nafukování plochého vzorku [13]



Obr. 15. Princip optického měření poloměru vydatí vzorku [13]

4.4 Zkouška pro čistý smyk

Při zkoušce pro čistý smyk je zkušební těleso obdélníkového tvaru rovnoměrně zatěžováno v hlavním směru tak, aby bylo zabráněno změně šířky vedlejších stran, pomocí dlouhých horizontálních svorek. V průběhu zatěžování linie rovnoběžná s jednou z hlavních os nepodléhá žádnému prodloužení. [6]



Obr. 16. Čistý smyk [10]

Tento deformační stav definujeme napětím, které aplikujeme ve směru 1, v takové formě, že je zabráněno změně šířky ve směru 2, tzn. $\lambda_2 = 1$. Z této skutečnosti vyplývá název smyk. Při smykové deformaci linie rovnoběžná s jednou z hlavních os nepodléhá žádnému prodloužení. Název čistý znamená, že hlavní osy nerotují během deformace. Výška vzorku h ve vertikálním směru (směr namáhání) je značně menší, než horizontální šířka w ve směru druhém a to řádově méně než jedna desetina w . Dlouhé horizontální svorky zabraňují kontrakci vedlejších stran vzorku a dochází tak pouze k napětí ve vertikálním směru, to je dáno $\lambda_2 = 1$. [3]

Poměrné prodloužení je při deformaci dáno jako: $\lambda_1 = \lambda$, $\lambda_2 = 1$ a $\lambda_3 = 1/\lambda$, zatímco napětí $\sigma_3 = 0$. Napětí σ_2 je vyvoláno tuhými svorkami, takže není rovno nule.

Potom tedy napětí $\sigma_1 (= \sigma_2)$ v protahovaném směru a je dáno jako:

$$\sigma_1 = 2 \left[\left(\frac{\partial W}{\partial I_1} \right) - \left(\frac{\partial W}{\partial I_2} \right) \right] (\lambda^2 - \lambda^{-2}) \quad (29)$$

a vedlejší napětí σ_2 je:

$$\sigma_2 = 2 \left[\left(\frac{\partial W}{\partial I_1} \right) - \lambda^2 \left(\frac{\partial W}{\partial I_2} \right) \right] (1 - \lambda^{-2}) \quad [3] \quad (30)$$

4.4.1 Princip zkoušky

Ideálního případu čistého smyku můžeme dosáhnout tahovou zkouškou plochého vzorku, u kterého je jeho šířka mnohonásobně větší, než jeho výška. Příčné deformace se při zatěžování blíží nule pouze uprostřed vzorku, naopak rozložení napětí je poměrně nerovnoměrné. [13]

V tomto případě způsob měření napětí není složitý, proto je i testovací zařízení celkem jednoduché. Plochý pryžový vzorek je buď upnut mezi kovové čelisti, popř. je mezi ně vlepen obr. 17. [13]

Tímto způsobem upnutí můžeme volit velikost zatížení nezávisle na smršťování vzorku mezi čelistmi. Při tomto způsobu upnutí můžeme uvažovat konstantní šířku a tloušťku na horním i spodním okraji zkušební vzorku. Tyto předpoklady potom aplikujeme v modelech FEM. [13]

Konstantním posuvem realizujeme zatížení, přičemž monitorujeme velikost zatížení a plochu vedení. [13]



Obr. 17. Upínací zařízení pro čistý smyk [13]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 CÍL PRAKTICKÉ ČÁSTI

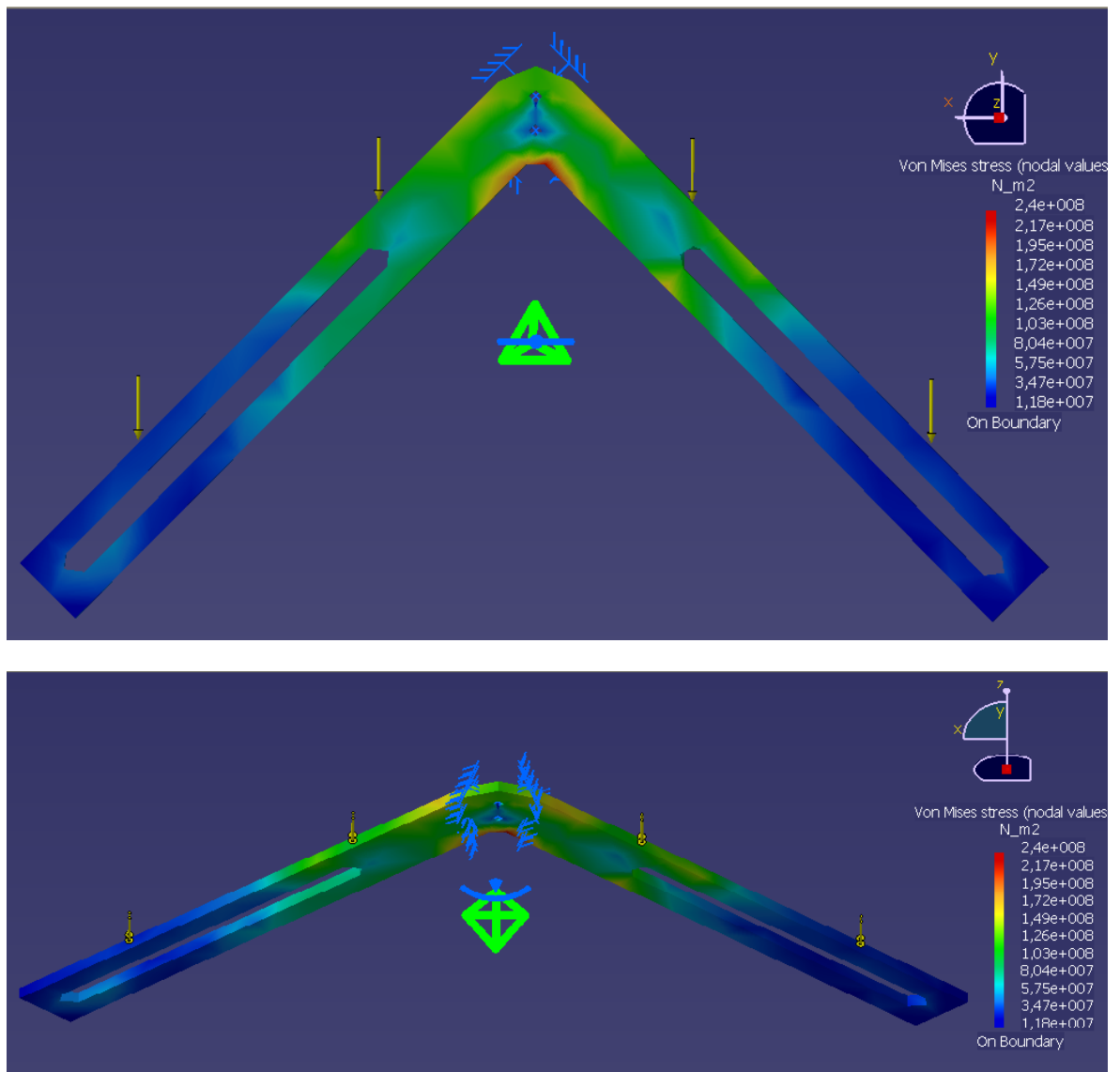
V této bakalářské práci je cílem praktické části navržení upínacího Zařízení pro dvouosý tah (Equibiaxial pension testing device), do kterého se budou upínat zkušební vzorky (pryže) tvaru čtverce, zkoušené na dvouosý tah. (Upínací přípravek navrhuji s ohledem na jeho správnou funkčnost, tzn. vhodné upnutí zkušební vzorku (pryže), tak přípravku ke stroji. Tvar a rozměry navrženého zařízení jsou zdokumentovány na výkresech, které se nachází v příloze.)

6 VÝPOČTY

6.1.1 Výpočet ramene na ohyb

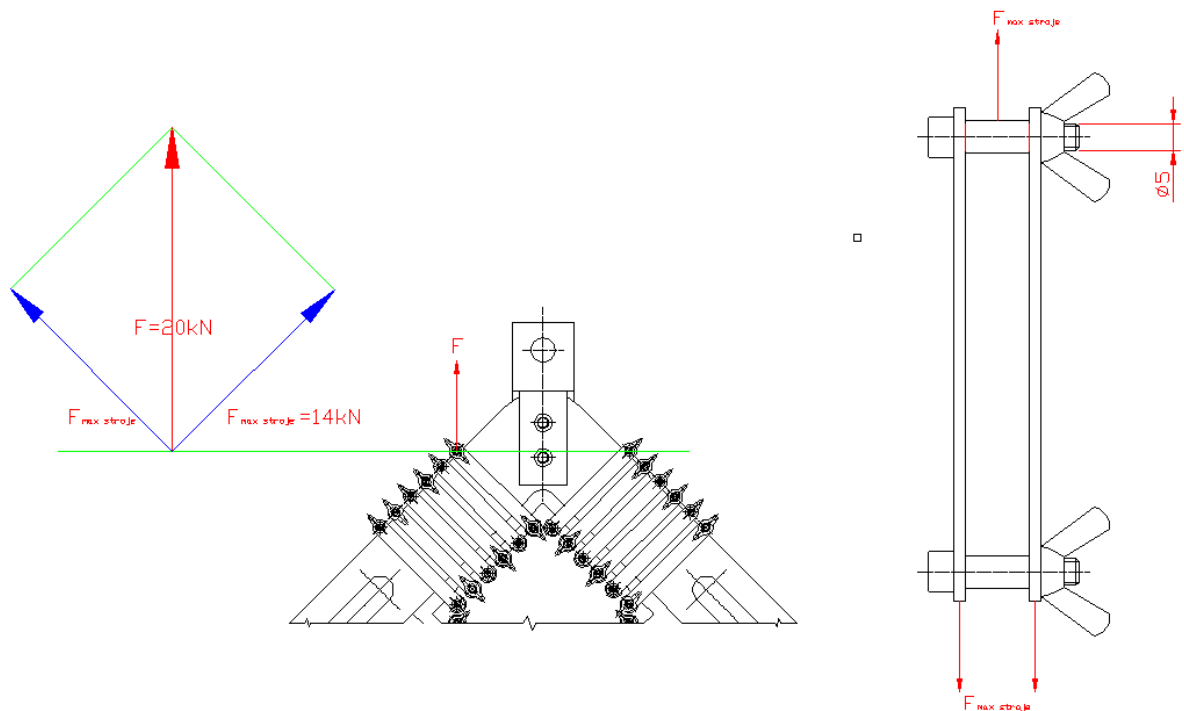
Výpočet ramene na ohyb jsem provedl pomocí analýzy v programu Catia.

Zatížení 10kN na rameno:



Obr. 18. Výpočet ramene na ohyb

6.1.2 Výpočet šroubů M4



Obr. 19. Výpočet šroubů na stříh – rozpěrka, táhla

Výpočet dovoleného zatížení ve stříhu:

Dáno: mat. ocel tř. 8.8 $\Rightarrow \tau_{DS} = 744 \text{ MPa}$,

$d = 4 \text{ mm}$,

$F_{\text{max stroje}} = 14 \text{ kN}$,

$k = 2$,

$n = 6$ šroubů

Výpočet:

$$S = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot 4^2}{4} = 75,4 \text{ mm}^2$$

$$\tau_S = \frac{F_{\text{max}}}{2 \cdot S} \leq \tau_{DS} \Rightarrow F_{\text{max}} = \tau_{DS} \cdot 2 \cdot S$$

$$F_{\text{max}} = 744 \cdot 2 \cdot 75,4 = 112,2 \text{ kN}$$

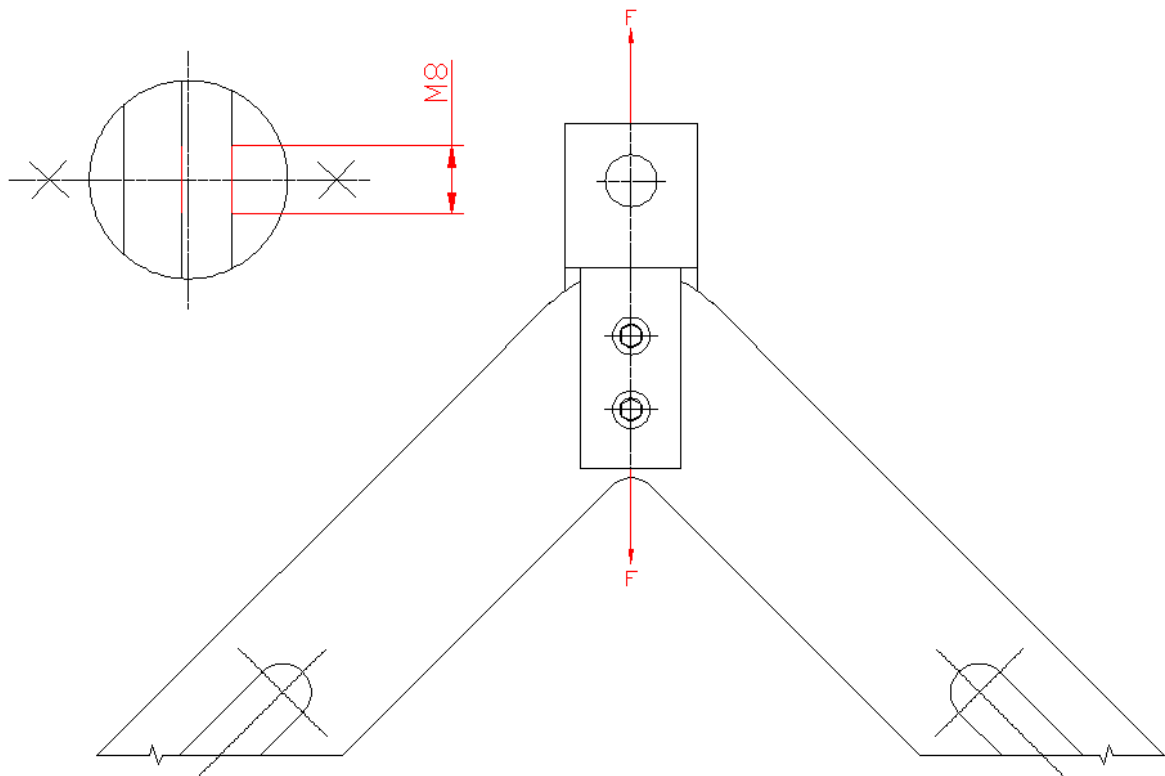
$$F = \frac{F_{\text{max}}}{k} = \frac{112,2}{2} = 56,1 \text{ kN}$$

$$F_{\max \text{ stroje}} < F \Rightarrow 14 \text{ kN} < 56,1 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}} \quad (31)$$

Šrouby vydrží několikanásobně vyšší zatížení ve stříhu než je maximální síla stroje.

6.1.3 Výpočet šroubů M8



Obr. 20. Výpočet šroubů na stříh – čep, trhačka

Výpočet dovoleného zatížení ve stříhu:

Dáno: mat. ocel tř. 8.8 $\Rightarrow \tau_{DS} = 744 \text{ MPa}$,

$d = 8 \text{ mm}$,

$F_{\max \text{ stroje}} = 20 \text{ kN}$,

$k = 2$,

$n = 2$ šrouby

Výpočet:

$$S = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} = 2 \cdot \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 100,5 \text{ mm}^2$$

$$\tau_S = \frac{F_{max}}{2 \cdot S} \leq \tau_{DS} \Rightarrow F_{max} = \tau_{DS} \cdot 2 \cdot S$$

$$F_{max} = 744 \cdot 2 \cdot 100,5 = 149,5 \text{ kN}$$

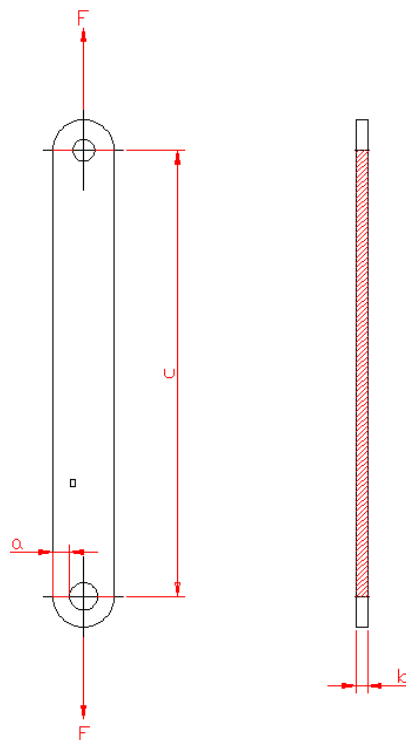
$$F = \frac{F_{max}}{k} = \frac{149,5}{2} = 74,75 \text{ kN}$$

$$F_{max \text{ stroje}} < F \Rightarrow \underline{20 \text{ kN} < 74,75 \text{ kN}}$$

= > **vyhovuje** (32)

Šrouby vydrží několikanásobně vyšší zatížení ve střihu než je maximální síla stroje.

6.1.4 Výpočet táhla



Obr. 21. Výpočet táhla na tah

Výpočet dovoleného zatížení táhla na tah:

Dáno: mat. 11 500 => $\sigma_{Dt} = 150 \text{ MPa}$,

$$F_{\max \text{ stroje}} = 14 \text{ kN},$$

$$k = 2,$$

$$a = 3,5 \text{ mm},$$

$$b = 2 \text{ mm},$$

$$c = 80,5 \text{ mm}$$

Výpočet:

$$S = 2 \cdot a \cdot b + b \cdot c = 2 \cdot 3,5 \cdot 2 + 2 \cdot 80,5 = 175 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{\tau} = \frac{F_{\max}}{6 \cdot S} \leq \sigma_{Dt} \Rightarrow F_{\max} = \sigma_{Dt} \cdot 2 \cdot S$$

$$F_{\max} = 150 \cdot 6 \cdot 175 = 157,5 \text{ kN}$$

$$F = \frac{F_{\max}}{k} = \frac{157,5}{2} = 78,75 \text{ kN}$$

$$F_{\max \text{ stroje}} < F \Rightarrow \underline{14 \text{ kN} < 78,75 \text{ kN}}$$

$$\Rightarrow \underline{\text{vyhovuje}} \quad (32)$$

Táhlo vydrží několikanásobně vyšší zatížení v tahu než je maximální síla stroje.

7 ZKUŠEBNÍ STROJ ZWICK

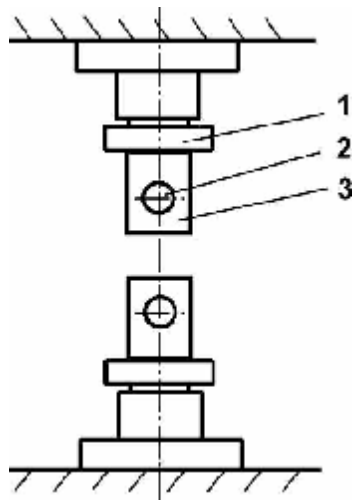


Obr. 22. Zkušební stroj ZWICK 1456

Technické údaje:

Název stroje.....	Zwick 1456
Maximální zkušební síla.....	20 kN
Maximální posuv příčnicku.....	800 mm/min
Celková výška.....	2012 mm
Celková šířka.....	630 mm
Strojová výška.....	1284 mm
Pracovní šířka.....	420 mm
Rozpětí čelistí.....	15 mm
Hmotnost.....	150 kg

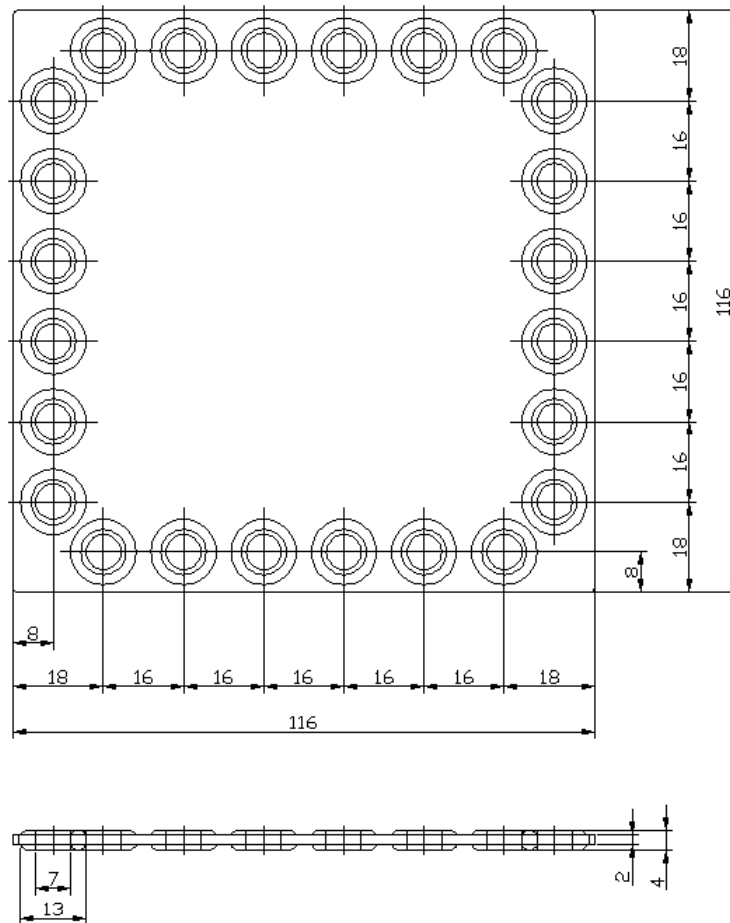
Upínací zařízení stroje:



Obr. 23. Upínací zařízení stroje [6]

1. utahovací matice
2. otvor pro pojistný kolík
3. spojovací čep

7.1 Zkušební vzorek



Obr. 24. Tvar a rozměry zkušebního vzorku

7.2 Průběh zkoušky

Zkouška se provádí ve zkušební místnosti, ve které je umístěn zkušební stroj Zwick, který je napojen na počítač, kde zadáme vstupní hodnoty a potřebné parametry. Počítač následně zaznamenává všechna potřebná data, která také vyhodnocuje např. do grafu, tabulky.

8 KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ PRO DVOUOSÝ TAH

Toto zařízení se skládá z několika částí. 2 upínacích čepů do zkušebního stroje Zwick, 2 ramen rámu. 4 šroubů pro uchycení upínacích čepů k ramenům rámu. 48 rozpěrných bočnic, 24 rozpěrných pouzder, 24 matic, 24 šroubů, vše pro uchycení zkušební vzorku k ramenům rámu. 2 rozpěrných pouzder, 6 podložek, 2 matic, 2 šroubů, vše pro uchycení a zajištění posuvného pohybu ramen rámu.

8.1 Funkce jednotlivých částí zařízení pro dvouosý tah

- Upínací čepy – slouží k upnutí rámu se zkušebním strojem Zwick
- Ramena rámu – přenáší zatížení na podsestavu 1 č.v. BP-01-000-TZ
- Podsestava 1 č.v. BP-01-000-TZ – přenáší zatížení na zkušební vzorek a rovnoměrný pohyb při roztahování ramen
- Podsestava 2 č.v. BP-02-000-TZ – zajišťuje posuvný pohyb ramen a brání posunu ramen v ose Z

8.2 Postup při montáži a upevnění přípravku ke zkušebnímu stroji Zwick

Při upnutí zařízení a zkušební vzorku ke zkušebnímu stroji Zwick postupujeme následovně:

- 1) Upevníme upínací čep, ke kterému je přišroubováno rameno, ke zkušebnímu stroji Zwick do spodní i horní části
- 2) Obě ramen spojíme – mezi obě ramena vložíme podložku, kterou provlečeme rozpěrné pouzdro, na oba jeho konce přiložíme z každé strany podložku, vším provlečeme šroub a zajistíme spoj maticí
- 3) Každým otvorem pryžového vzorku provlečeme rozpěrné pouzdro, na oba jeho konce přiložíme rozpěrnou bočnici, provlečeme šroub a spoj zajistíme maticí
- 4) Takto připravené rozpěrné bočnice, které jsou na opačné straně pryžového vzorku, vsuneme na ramena rámu a stejným způsobem připevníme a zajistíme na vnější části ramen
- 5) Rám i připevněný vzorek jsou připraveny ke zkoušce

9 TECHNOLOGICKÝ POSTUP

Technologický postup je navržen pro co nejefektivnější výrobu upínacího zařízení pro dvouosý tah ve společnosti ATONA s.r.o. a zámečnické dílně.

Firma ATONA s.r.o. se specializuje na výrobu širokého spektra služeb v oblasti strojírenského průmyslu. Hlavní specializací je zpracování plechů za použití nejmodernějších technologií – pálení laserem (v toleranci 0,2 mm na propálení). Následně poskytuje další technologické operace, jako je ohýbání, lisování, vysekávání, navařování spojovacích prvků, svařování a montování dílů do sestav, broušení tvarových hran, povrchové úpravy a následné balení a expedice zákazníkovi. Samozřejmostí je i kontrola, která následuje po každé operaci, čímž se zajistí minimální počet zmetků. (<http://www.atona.cz/>)

9.1 Výkresová dokumentace součástí

Výkresovou dokumentaci součástí zhotovuje konstruktér s ohledem na technicko-ekonomické náklady při výrobě, aby byly co nejnižší. Technicko-ekonomickou částí se v řadě případů zabývá technolog. Většinou konstruktér i technolog spolu tyto postupy konzultují, aby byly ztráty a náklady nejnižší. Konstruktér však musí rozhodnout, zda je konečné řešení výroby vhodné, aby byly součásti po vyrobení plně funkční.

Výkresová dokumentace viz příloha.

9.2 Volba materiálu

Po zhodnocení technicko-ekonomického postupu, kterým se zabývá technolog, potvrdí konstruktérovi zvolený materiál.

Zvolený materiál:

- Upínací rameno:
 - mat. 11375,
 - jakost mat. S235JR – ocelový plech válcovaný za tepla
- Táhlo:
 - mat. 11321,
 - jakost mat. DC01 – ocelový plech válcovaný za studena
- Podložka Ø33:
 - mat. 11321,
 - jakost mat. DC01 – ocelový plech válcovaný za studena

- Upínací čep:
 - mat. 11500,
 - ČSN 42 5510.00
- Rozpěrné pouzdro 1:
 - mat. L245MB,
 - EN 10208-2
- Rozpěrné pouzdro 2:
 - mat. 11353,
 - ČSN 42 5715.02

9.2.1 Přídavky na obrábění

- Upínací rameno:
 - 0,2 mm na propal
 - 0,2 mm na obrobení vnější hrany ramene a vnějšího rádiusu
 - 0,6 mm na obrobení vnitřní drážky ramene
 - Vnitřní hrana ramene bez přídavku na obrobení
- Táhlo:
 - 0,2 mm na propal
- Podložka Ø33:
 - 0,2 na propal
- Upínací čep Ø 46:
 - 2 mm na obrobení vnějšího průměru
 - 2 mm na délku
 - 3 mm na dělení materiálu (řezání pásovou pilou)
- Rozpěrné pouzdro 1:
 - 1 mm na délku
 - 2 mm na dělení materiálu (upichovací nůž)
- Rozpěrné pouzdro 2:
 - 1 mm na délku
 - 2 mm na dělení materiálu (upichovací nůž)

9.2.2 Volba polotovaru

Výchozí polotovar volím jako rozměr součásti + rozměr přídavků na obrábění, čímž docílím co nejnižších ztrát

- Upínací rameno:
 - Plech 640 x 650 mm, tloušťka 10 mm
 - Materiál 11375
- Táhlo:
 - Plech 200 x 300 mm, tloušťka 2 mm
 - Materiál 11321
- Podložka Ø33:
 - 100 x 100 mm, tloušťka 2 mm
 - Materiál 11321
- Upínací čep Ø 46:
 - Tyč kruhová válcovaná za tepla Ø48 mm, délka 122 mm, ČSN 42 5510.00
 - Materiál 11500.5
- Rozpěrné pouzdro 1:
 - Trubka ocelová Ø6 mm, délka 14 mm, DIN / EN 10208-2
 - Materiál L245MB
- Rozpěrné pouzdro 2:
 - Trubka ocelová Ø20 mm, délka 25 mm, ČSN 42 5715.02
 - MATERIÁL 11353

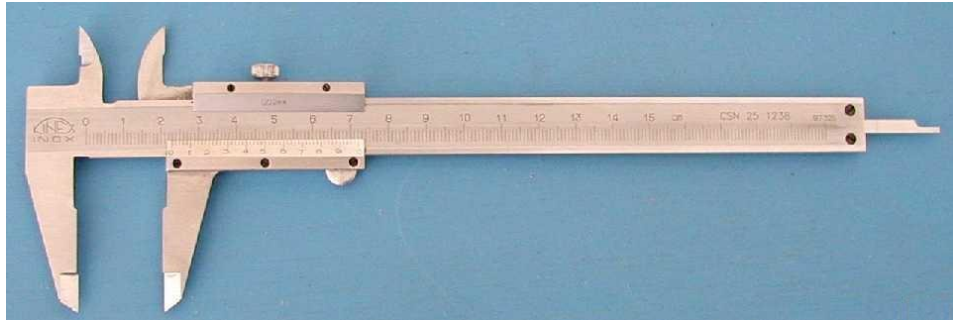
9.2.3 Použitá měřidla

- Ocelové měřidlo:
 - Měřicí rozsah 0-500 mm, přesnost 1 mm, ČSN 25 1125



Obr. 25. Ocelové měřidlo

- Posuvné měřítko:
 - Měřicí rozsah 0-200 mm, přesnost 0,01 mm, ČSN 25 1238



Obr. 26. Posuvné měřítko

- Válcový kalibr:



Obr. 27. Válcový kalibr

- Závitový kalibr:



Obr. 28. Závitový kalibr

9.3 Výrobní postup – přehled operací

Tab. 5. Výrobní postup - přehled operací

UTB ve Zlíně		VÝROBNÍ POSTUP Přehled operací		Název součásti: UPÍNACÍ RAMENO		Číslo výkresu: BP-00-002-TZ	
Materiál: 11 375		Rozměr polotovaru: 640x650, tl. 10		Hmotn. polotovaru:		Počet kusů: 2	
Vypracoval: Michal Doležel			Datum: 18.5.2011		Schválil:		Datum:
Číslo operace	Název - popis operace - úseku			Přístroje - nástroje - měřidla - pomůcky			
1.	řezat polotovar 640x650, tl. 10			pásová pila			
2.	pálit tvar ramene a drážky dle výkresu s přídavkem na obrábění, značit středy otvorů 2xØ8			CNC laserové řezací centrum TRUMPF TRUMATIC L3050			
3.	odjehlit po pálení 0,5x45°			pásová smirková bruska			
4.	brousit vnější hranu s rádiusem			pásová smirková bruska			
5.	vrtat otvory 2xØ8			stolní vrtačka, vrták Ø8, svěrák			
6.	hrubovat 2xØ8H12			stolní vrtačka, výhrubník Ø8H12, svěrák			
7.	srazit hrany 0,5x45° u otvorů 2xØ10 - - oboustranně			stolní vrtačka, kuželový záhlubník			
8.	frézovat drážky šířky 20 ^{+0,1} - hotově			frézka, válcová čelní fréza, svěrák			
9.	odjehlit drážky - oboustranně			ruční škrabák			
10.	kontrola			ocelové měřidlo, posuvné měřítko			

UTB ve Zlíně		VÝROBNÍ POSTUP Přehled operací		Název součásti: TÁHLO		Číslo výkresu: BP-00-0005-TZ	
Materiál: 11 321		Rozměr polotovaru: 200x300, tl. 2		Hmotn. polotovaru:		Počet kusů: 48	
Vypracoval: Michal Doležel			Datum: 18.5.2011		Schválil:		Datum:
Číslo operace	Název - popis operace - úseku			Přístroje - nástroje - měřidla - pomůcky			
1.	stříhat polotovar 200x300, tl. 2			strojní nůžky			
2.	pálit tvar táhla dle výkresu, značit středy otvorů 2x \varnothing 4			CNC laserové řezací centrum TRUMPF TRUMATIC L3050			
3.	odjehlit po pálení 0,5x45°			pásová smirková bruska			
4.	vrtat otvory 2x \varnothing 4H12			stolní vrtačka, vrták \varnothing 4H12, svěrák			
5.	srazit hrany 0,5x45° u otvorů 2x \varnothing 4H12 - - oboustranně			stolní vrtačka, kuželový záhlubník			
6.	kontrola			posuvné měřítko			

UTB ve Zlíně		VÝROBNÍ POSTUP Přehled operací		Název součásti: PODLOŽKA \varnothing33		Číslo výkresu: BP-00-007-TZ	
Materiál: 11 375		Rozměr polotovaru: 100x100, tl. 2		Hmotn. polotovaru:		Počet kusů: 4	
Vypracoval: Michal Doležel			Datum: 18.5.2011		Schválil:		Datum:
Číslo operace	Název - popis operace - úseku			Přístroje - nástroje - měřidla - pomůcky			
1.	stříhat polotovar 100x100, tl. 2			strojní nůžky			
2.	pálit tvar podložky dle výkresu, značit střed otvoru \varnothing 13			CNC laserové řezací centrum TRUMPF TRUMATIC L3050			
3.	odjehlit po pálení 0,5x45°			pásová smirková bruska			
4.	vrtat otvor \varnothing 13H13			stolní vrtačka, vrták \varnothing 13H13			
5.	srazit hranu 0,5x45° u otvoru 2x \varnothing 13H13 - - oboustranně			stolní vrtačka, kuželový záhlubník			
6.	kontrola			posuvné měřítko			

UTB ve Zlíně		VÝROBNÍ POSTUP Přehled operací	Název součásti: UPÍNACÍ ČEP	Číslo výkresu: BP-00-001-TZ
Materiál: 11 500		Rozměr polotovaru: Ø48X122	Hmotn. polotovaru:	Počet kusů: 2
Vypracoval: Michal Doležel		Datum: 18.5.2011	Schválil:	Datum:
Číslo operace	Název - popis operace - úseku	Přístroje - nástroje - měřidla - pomůcky		
1.	řezat polotovar Ø48x122	pásová pila PHA 27		
2.	soustružit na Ø46, délky 70, zarovnat čelo, srazit hranu 0,5x45°	soustruh, ubírací nůž p.		
3.	otočit	ručně		
4.	soustružit na Ø46, délky 50, zarovnat čelo, Srazit hranu 0,5x45°	soustruh, ubírací nůž p.		
5.	kontrola	posuvné měřítko		
6.	frézovat vybrání do hloubky 8, délky 70	frézka, čelní válcová fréza, prizmatický svěrák		
7.	frézovat drážku šířky 11,5 do hloubky 70 (rovné dno)	frézka, kotoučová fréza, prizmatický svěrák		
8.	vrtat otvory 2xØ7 - průchozí (přes dvě stěny)	vrtačka, vrták Ø7, prizmatický svěrák		
9.	vrtat otvor 2xØ8H12 (převrtat otvor 2xØ7) - průchozí přes jednu stěnu, na druhé stěně u otvoru 2xØ7 pouze srazit hranu vrtákem Ø8H12 - náběh pro řezání závitů	vrtačka, vrták Ø8H12, prizmatický svěrák		
10.	řezat závit M8H6 v otvoru 2xØ7 - průchozí přes jednu stěnu	závitník ruční sadový M8		
11.	srazit hranu 2x8H12 - 0,5x45° srazit hranu 2xM8H6 - 0,5x45°	kuželový záhlubník		
12.	odjehlit hrany po frézování	ruční škrabák, plochý pilník		
13.	kontrola	posuvné měřítko, válcový kalibr, závitový kalibr		
14.	vrtat otvor Ø37 do hloubky 39	soustruh, vrták s VBD (výměnnými břitovými destičkami) pro vrtání do plna		
15.	soustružit otvor Ø38H8 do hloubky 40 + + dno - hotově	soustruh, speciální nožový držák + TK plátek		
16.	srazit hranu 2x45° u otvoru Ø38H8	soustruh, ubírací nůž p.		
17.	vrtat otvor Ø17,2	stolní vrtačka, vrták Ø17,2		
18.	hrubovat na Ø17,8	stolní vrtačka, výhrubník Ø17,8		
19.	stružit na Ø18H7	stolní vrtačka, výstružník Ø17H7		
20.	odjehli Ø18H7 - oboustranně	ruční škrabák		
21.	kontrola	válcový kalibr, posuvné měřítko		

UTB ve Zlíně		VÝROBNÍ POSTUP Přehled operací		Název součásti: ROZPĚRNÉ POUZDRO 1		Číslo výkresu: BP-00-004-TZ	
Materiál: L245MB		Rozměr polotovaru: Ø6X14		Hmotn. polotovaru:		Počet kusů: 24	
Vypracoval: Michal Doležel			Datum: 18.5.2011		Schválil:		Datum:
Číslo operace	Název - popis operace - úseku			Přístroje - nástroje - měřidla - pomůcky			
1.	upíchnutí polotovaru Ø6x14			soustruh, upichovací nůž			
2.	zarovnat čelo - oboustranně			soustruh, ubírací nůž p.			
3.	srazit hrany vnější i vnitřní - 0,5x45°			soustruh, ubírací nůž p.			
4.	kontrola			posuvné měřítko			

UTB ve Zlíně		VÝROBNÍ POSTUP Přehled operací		Název součásti: ROZPĚRNÉ POUZDRO 2		Číslo výkresu: BP-00-006-TZ	
Materiál: 11 353		Rozměr polotovaru: Ø20x25		Hmotn. polotovaru:		Počet kusů: 24	
Vypracoval: Michal Doležel			Datum: 18.5.2011		Schválil:		Datum:
Číslo operace	Název - popis operace - úseku			Přístroje - nástroje - měřidla - pomůcky			
1.	upíchnutí polotovaru Ø6x14			soustruh, upichovací nůž			
2.	zarovnat čelo - oboustranně			soustruh, ubírací nůž p.			
3.	srazit hrany vnější i vnitřní - 0,5x45°			soustruh, ubírací nůž p.			
4.	kontrola			posuvné měřítko			

ZÁVĚR

Úkolem této bakalářské práce bylo navrhnout zařízení (přípravek) pro dvouosý tah, který bude sloužit pro zkoušku elastomerních materiálů. Konstrukci zařízení jsem volil s ohledem na co možná nejefektivnější výrobu a také pro funkčnost přípravku po jeho vyrobení. Jelikož se nejedná o normalizovanou zkoušku, ale pouze o speciální atypickou zkoušku, musel jsem vybírat z několika možných metod, ze kterých jsem musel nadefinovat veškeré parametry zařízení pro následnou konstrukci.

Na počátku návrhu technologického postupu výroby se vyskytl problém, jak upevnit pryžový vzorek k ramenům rámu. Nejprve bylo nutné navrhnout jak upravit zkušební vzorek, aby jej bylo následně možné připevnit k rámu zařízení. Nejideálnější volbou bylo do vzorku vyseknout otvory, které bylo nutno zpevnit, aby se brzy neprotrhly, proto jsem zvolil mosazné zpevňovače otvorů. Druhou překážkou bylo následné uchycení připraveného zkušební vzorku připevnění k rámu. Byla zde možnost upevnění pomocí lanek a válečků s drážkami, do kterých by se upevnili konce lanek. Pro rychlejší a stabilnější upnutí jsem zvolil atypický spoj tvořený z více součástí, ale efektivnější než pomocí lanek. Další části a vlastní sestavení přípravku již nebylo tak náročné.

Při konstrukci zařízení jsem uplatnil znalosti získané na UTB ve Zlíně, cenné rady a připomínky vedoucího bakalářské práce, konstruktérů a technologů z firmy ATONA s.r.o., TOS Kuřim.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] DUCHÁČEK V.: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006. Str. 058. ISBN 80-7080-617-6
- [2] ŠPAČEK J.: *Technologie gumárenská a plastikářská II.*, Vydavatelství VUT, Brno 1980.
- [3] MÁČALA Adam, *Srovnání snímání deformace při zkoušce rovinného tahu elastomerů*. Bc. Práce, UTB Zlín, 2009.
- [4] Deformace. In Wikipedia : the free encyclopedia [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 2010, last modified on 2011 [cit. 2011-05-21]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Deformace>>.
- [5] MEISSNER , B.; ZILVAR, V. Fyzika polymerů : Struktura a vlastnosti polymerních materiálů - Elasticita [online]. [s.l.] : [s.n.], 1987, 2005 [cit. 2011-05-21]. Dostupné z WWW: <<http://www.vscht.cz/pol/Fyzika%20polymeru/08%20KAPITOLA%206.pdf>>.
- [6] DLOUHÝ Ondřej: *Konstrukce přípravku pro analýzu smykové napjatosti elastomerů*. Bc. Práce, UTB Zlín, 2008.
- [7] REICHL, Jaroslav ; MARTIN, Všeticka. Encyklopedie fyziky [online]. 2006, 2011 [cit. 2011-05-23]. Hookův zákon pro pružnou deformaci. Dostupné z WWW: <<http://fyzika.jreichl.com/index.php?page=631&sekce=browse>>.
- [8] MALÁČ, Jiří. Ft.utb [online]. 2005 [cit. 2011-05-23]. Gumárenská technologie. Dostupné z WWW: <http://web.ft.utb.cz/cs/docs/GT1-_vod.pdf?PHPSESSID=26e52588e6dc2c0e106e6ec071eec5b7>.
- [9] Ufmi.ft.utb [online]. 3.5.2009, 17.3.2011 [cit. 2011-05-23]. Fyzika - Viskoelasticita materiálů. Dostupné z WWW: <http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_06.pdf>.
- [10] Ing. Jakub Javořík, Ph.D., *Hyperelasticita*, učební text
- [11] Jančík, M.: *Zkoušení hyperelastických materiálů.*, Bc. Práce, UTB Zlín, 2005.
- [12] BROWN, Roger. *Physical Testing of Rubber*. New York: Springer Science + Business Media, Inc. 2006. 387 s. ISBN 0-387-28286-6.

- [13] SASSO, M. aj.. Characterization of hyperelastic rubber-like materials by biaxial and uniaxial stretching tests based on optical methods, In *PolymerTesting*. [online] Elsevier: 2008. roč. 27. č. 8. s. 995-1004. ISSN: 0142-9418. Dostupné z WWW: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.polymertesting.2008.09.001>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

σ	tahové napětí, smykové napětí
E	Yongův modul pružnosti v tahu
ε	poměrná deformace (relativní prodloužení)
F	působící síla
S_0	průřez vzorku
G	modul pružnosti ve smyku
γ	smyková deformace (relativní posunutí)
l_0	délka tělesa v neprodlouženém stavu
l	délka protaženého tělesa
k_1	konstanta úměrnosti neboli tuhost – udává sílu potřebnou k dosažení jednotkového prodloužení
k_2	konstanta úměrnosti neboli smyková tuhost
u	posunutí
f	funkce hustoty deformační energie
W, \bar{W}	hustota deformační energie
I_i	invarianty pravého Cauchy-Greenova tenzoru deformace
λ_i	hlavní protažení
$\{M\}$	množina materiálových konstant
l_i	deformovaná délka
l_{0i}	délka ve směru osy i
S_{ij}	složky 2. Piola-Kirchhoffova napětí
C_{ij}	složky pravého Cauchy-Greenova deformačního tenzoru
σ_{ij}	Cauchyův tenzor napětí
P, p	nespecifikovaný tlak
δ_{ij}	Kronekorovo delta

c_{ij}	materiálové konstanty
N	podmnožina polynomicke formy
μ	počáteční smykový modul
n	počet polymerních řetězců v jednotkovém objemu
k	Boltzmannova konstanta
T	absolutní teplota
c_{i0}	materiálová konstanta
$c_{10}, c_{01}, c_{11}, c_{20}, c_{02}, c_{30}, c_{21}, c_{12}, c_{03}$	materiálové konstanty
C_i	definované konstanty
μ	počáteční smykový modul
λ_L	tzv. „limitní protažení“ síť mikromechanického modelu struktury materiálu
E	počáteční modul pružnosti
I_m	limitní hodnota členu (I_1-3)
μ_i, α_i	materiálové konstanty bez konkrétního fyzikálního významu
P	neznámé stlačení
τ_{DS}	dovolené napětí ve střihu
τ_S	napětí ve střihu
d	průměr (šroubu)
k	součinitel bezpečnosti
n	počet (šroubů)
S	plocha
F_{max}	maximální zatěžující síla
$F_{max \text{ stroje}}$	maximální zatěžující síla stroje,
σ_{Dt}	dovolené napětí v tahu
σ_t	napětí v tahu

SEZNAM OBRÁZKŮ

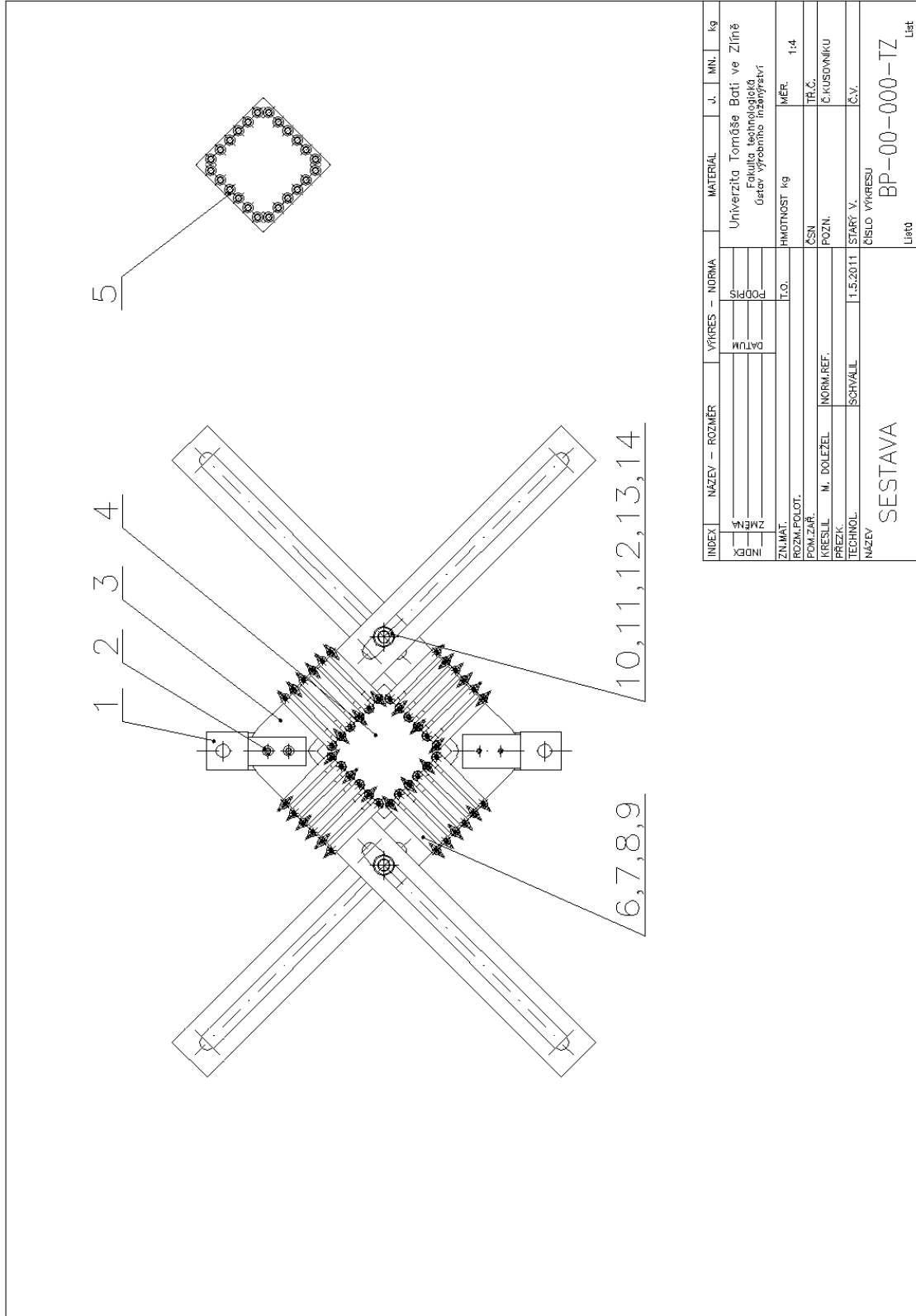
Obr. 1. Působení sil a dvojice sil na těleso [5].....	35
Obr. 2. Schéma sítě polymerních řetězců [8].....	38
Obr. 3. Závislost napětí a deformace při zatěžování elastomerů [10]	42
Obr. 4. a) Jednoosý tah, b) dvouosý tah, c) čistý smyk [10].....	48
Obr. 5. Metoda dvouosého tahu pomocí nafouknutí vzorku [10].....	50
Obr. 6. Metoda dvouosého namáhání pomocí tahu ve dvou kolmých osách [10].....	50
Obr. 7. Metoda dvouosého namáhání pomocí radiálního tahu [10]	51
Obr. 8. Chování konkrétního elastomeru v jednotlivých módech zatěžování [3]	52
Obr. 9. Tahové zkoušky	53
Obr. 10. Jednoosá napjatost (= jednoosý tah) [10]	54
Obr. 11. Tvar oboustranných lopatek [6].....	55
Obr. 12. Dvouosá napjatost (dvouosý tah) [10].....	57
Obr. 13. Upínací zařízení pro dvouosý tah [12]	58
Obr. 14. Metoda nafukování plochého vzorku [13].....	58
Obr. 15. Princip optického měření poloměru vydutí vzorku [13]	59
Obr. 16. Čistý smyk [10]	59
Obr. 17. Upínací zařízení pro čistý smyk [13].....	61
Obr. 18. Výpočet ramene na ohyb	64
Obr. 19. Výpočet šroubů na střih – rozpěrka, táhla	65
Obr. 20. Výpočet šroubů na střih – čep, trhačka.....	66
Obr. 21. Výpočet táhla na tah	67
Obr. 22. Zkušební stroj ZWICK 1456	69
Obr. 23. Upínací zařízení stroje [6]	70
Obr. 24. Tvar a rozměry zkušební vzorku	71
Obr. 25. Ocelové měřidlo	75
Obr. 26. Posuvné měřítko	76
Obr. 27. Válcový kalibr	76
Obr. 28. Závitový kalibr	76

SEZNAM TABULEK

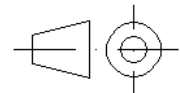
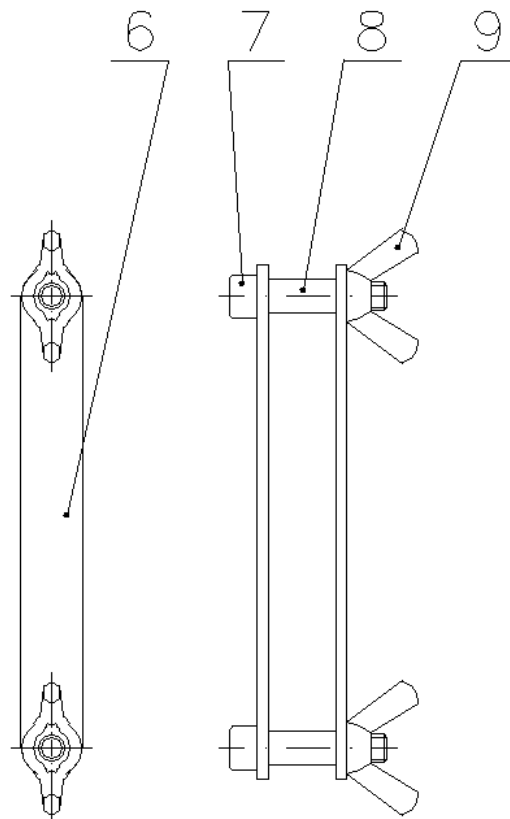
Tab. 1. Mezinárodní klasifikace kaučuků do základních skupin [1]	21
Tab. 2. Zkratky a relativní spotřeba nejběžněji používaných kaučuků [1].....	22
Tab. 3. Rozdělení urychlovačů sírné vulkanizace [1].....	32
Tab. 4. Délka pracovní části oboustranných lopatek [6]	56
Tab. 5. Výrobní postup - přehled operací	77

SEZNAM PŘÍLOH

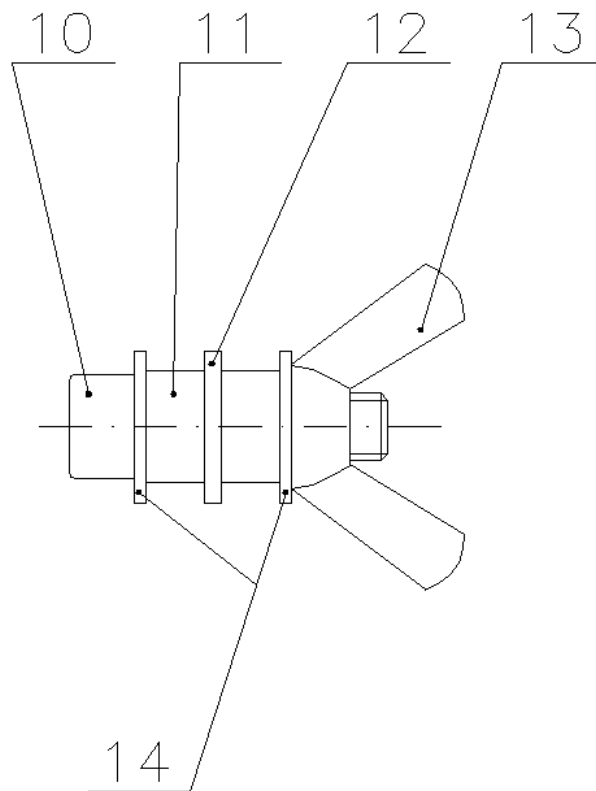
P I:	VÝKRES SESTAVY	BP-00-000-TZ
P II:	VÝKRES PODSESTAVY 1	BP-01-000-TZ
P III:	VÝKRES PODSESTAVY 2	BP-02-000-TZ
P IV:	VÝKRES UPÍNACÍHO ČEPU	BP-00-001-TZ
P V:	VÝKRES UPÍNACÍHO RAMENE	BP-00-002-TZ
P VI:	VÝKRES UPÍNACÍCH RAMEN	BP-01-002-TZ
P VII:	VÝKRES PRYŽOVÉHO VZORKU	BP-00-003-TZ
P VIII:	VÝKRES ROZPĚRNÉHO POUZDRA 1	BP-00-004-TZ
P IX:	VÝKRES TÁHLA	BP-00-005-TZ
P X:	VÝKRES ROZPĚRNÉHO POUZDRA 2	BP-00-006-TZ
P XI:	VÝKRES PODLOŽKY	BP-00-007-TZ
P XII:	KUSOVNÍK	



INDEX	NÁZEV – ROZMĚR	VÝKRES – NORMA	MATERIÁL	J.	MIN.	kg
1			Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně			
2			Fakulta technologická			
3			Ústav výrobního inženýrství			
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						
13						
14						
SESTAVA						
ČÍSLO VÝKRESU BP-00-000-TZ						
Listo						List



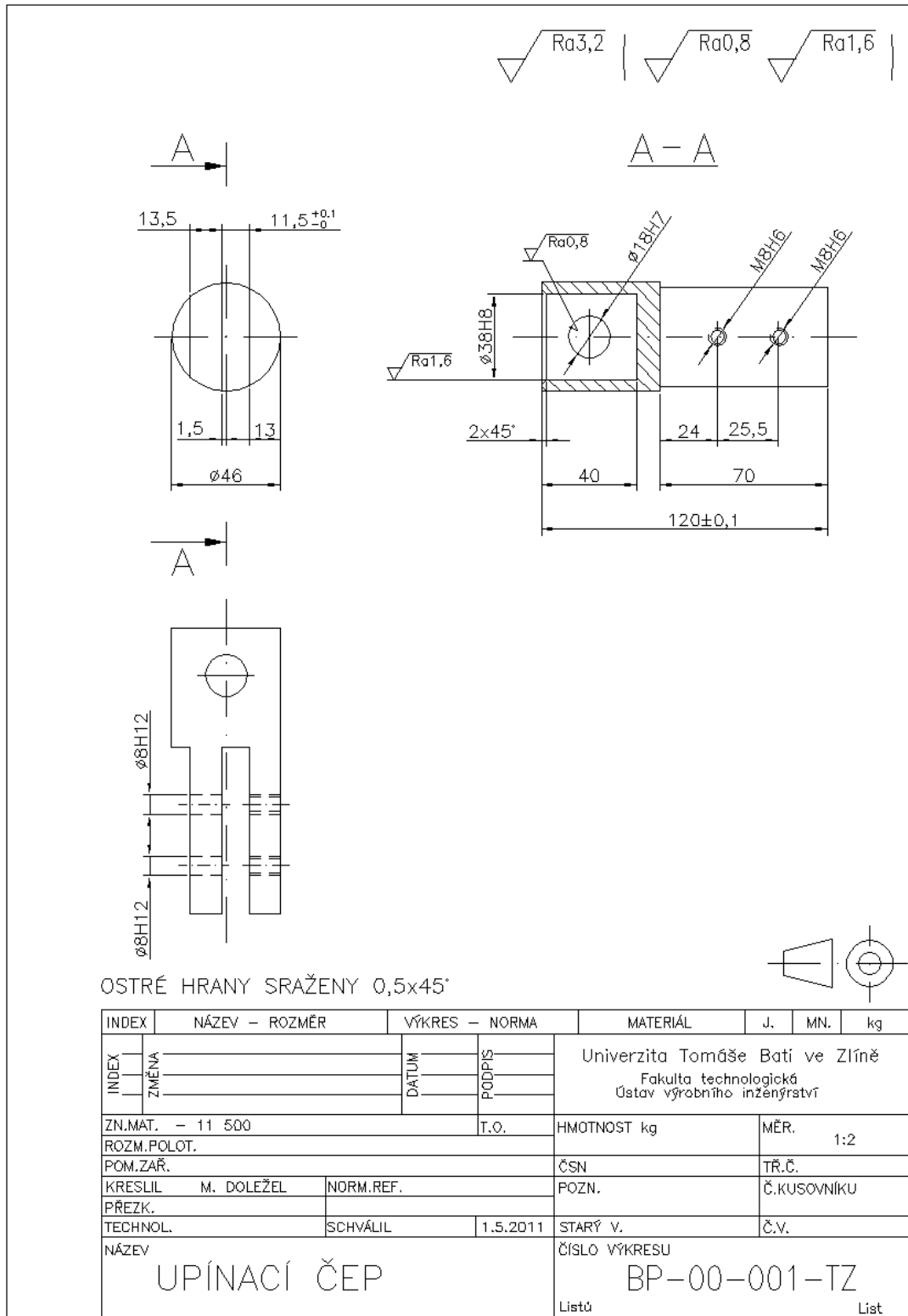
INDEX	NÁZEV - ROZMĚR	VÝKRES - NORMA	MATERIÁL	J.	MN.	kg
INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
ZN.MAT.		T.O.	HMOTNOST kg		MĚR. 1:1	
ROZM.POLOT.		ČSN		TŘ.Č.		
KRESLIL M. DOLEŽEL		NORM.REF.	POZN.		Č.KUSOVNIKU	
PŘEZK.		STARÝ V.		Č.V.		
TECHNOL.		SCHVÁLIL	1.5.2011	ČÍSLO VÝKRESU		
NÁZEV			BP-01-000-TZ			
PODSESTAVA 1			Listů			
			List			



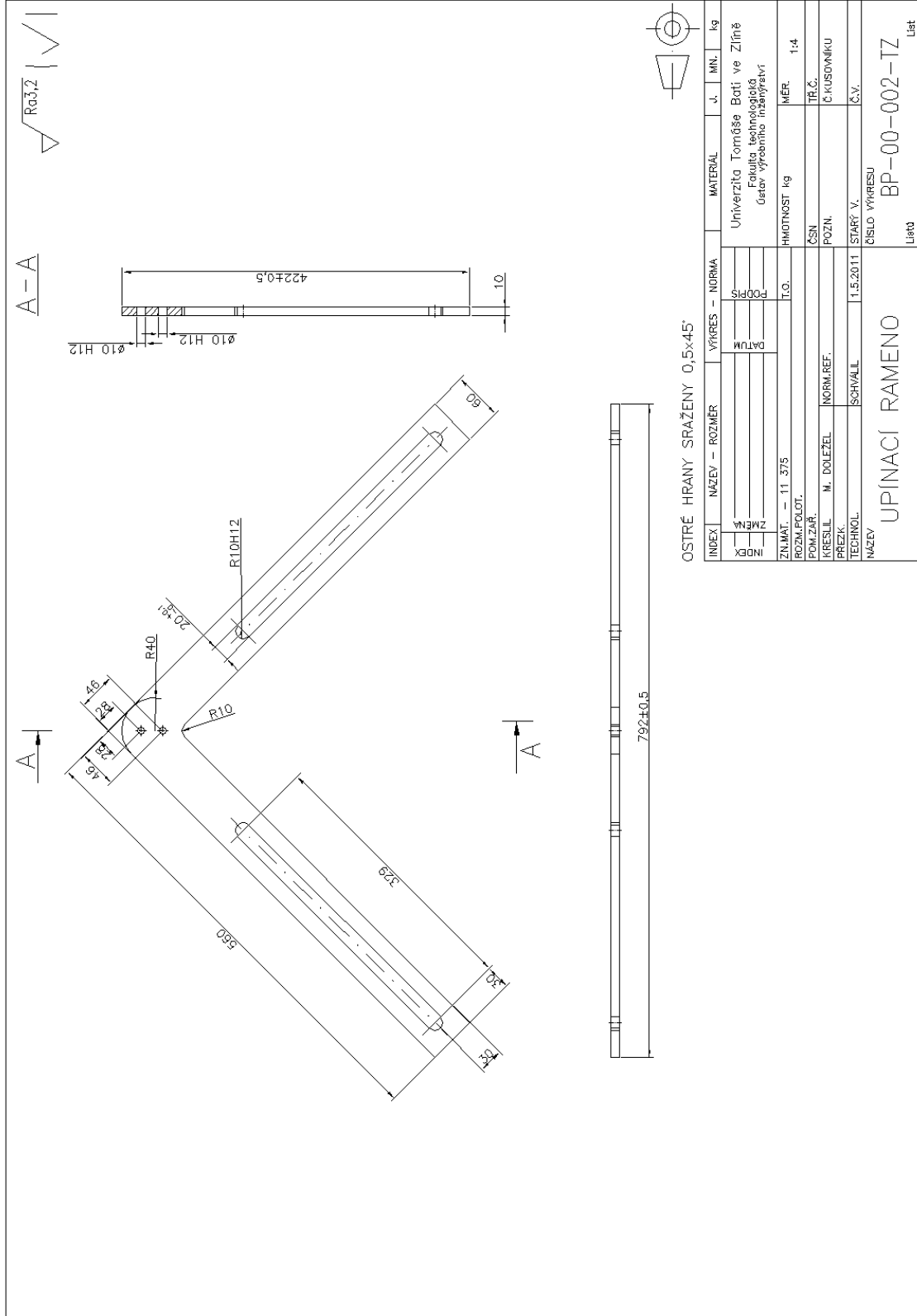
INDEX	NÁZEV - ROZMĚR	VÝKRES - NORMA	MATERIÁL	J.	MN.	kg
INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
ZN.MAT.		T.O.	HMOTNOST kg		MĚR. 1:1	
ROZM.POLOT.		ČSN		TŘ.Č.		
KRESLIL M. DOLEŽEL		NORM.REF.		POZN.		Č.KUSOVNIKU
PŘEZK.		SCHVÁLIL		STARÝ V.		Č.V.
TECHNOL.		1.5.2011		NÁZEV		ČÍSLO VÝKRESU
PODSESTAVA 2				BP-02-000-TZ		Listů List

PŘÍLOHA P IV: VÝKRES UPÍNACÍHO ČEPU

BP-00-001-TZ



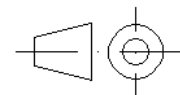
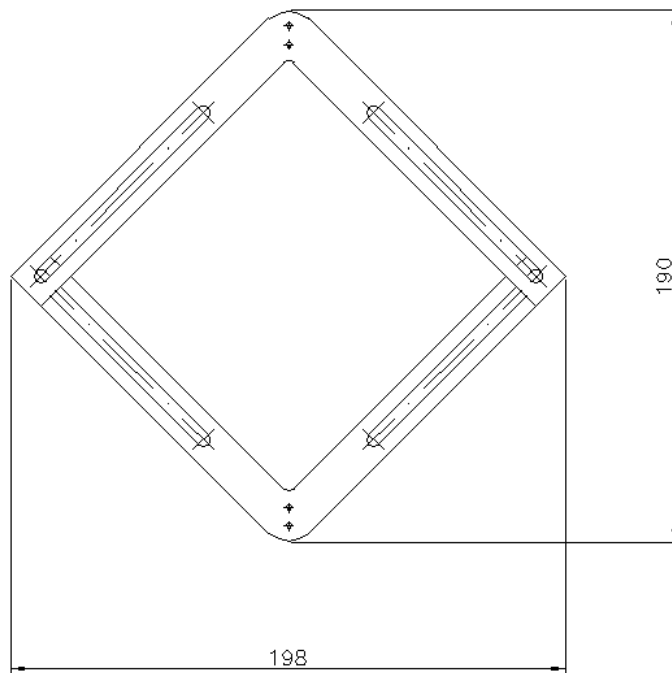
PŘÍLOHA P V: VÝKRES UPÍNACÍHO RAMENE BP-00-002-TZ



OSTRÉ HRANY SRAŽENY 0,5x45°

INDEX	NÁZEV – ROZMĚR	VÝKRES – NORMA	MATERIÁL	J.	MIN.	kg
XI			Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství			
NO						
ZNEMA						
ZN.MAT.	– 11 375	T.O.	HMOTNOST kg	MÉR.	1:4	
ROZM.POLOT.			ČSN	TR.Č.		
POM.ZAR.	M. DOLEŽEL	NORM.REF.	POZN.	Č.KUSOVNIKU		
KRESLIL						
PREŽEK						
TECHNOL.	SCHVALIL	1.5.2011	STARÝ V.	Č.V.		
NÁZEV	UPÍNACÍ RAMENO					
	ČÍSLO VÝKRESU BP-00-002-TZ					
	Listo					
	List					

PŘÍLOHA P VI: VÝKRES UPÍNACÍCH RAMEN BP-01-002-TZ

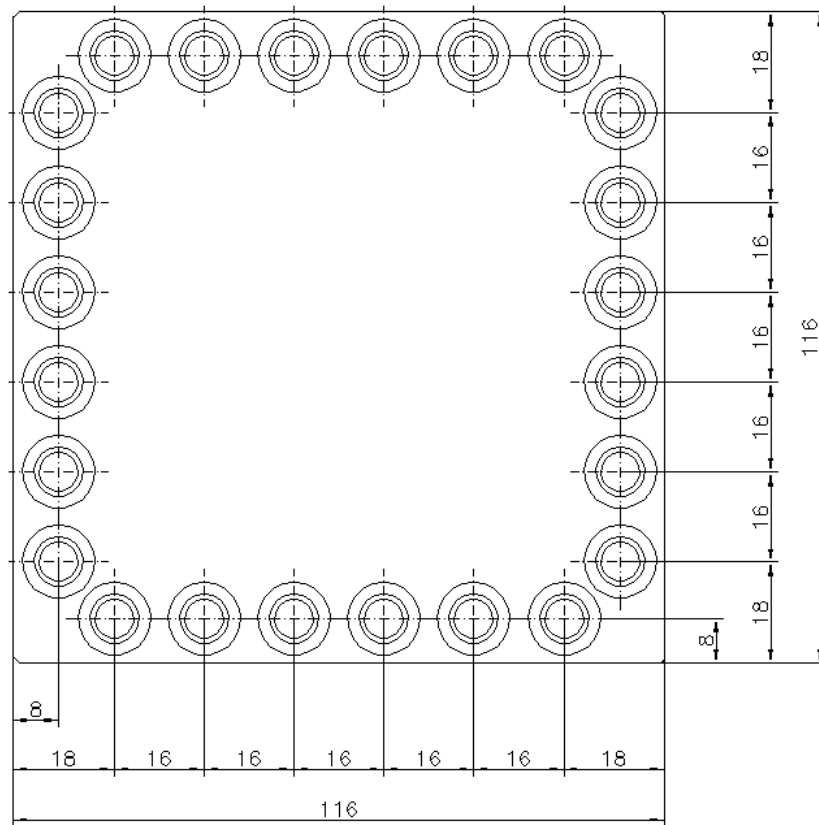


ROZMĚRY PŘI MAXIMÁLNÍM ROZEVŘENÍ RAMEN

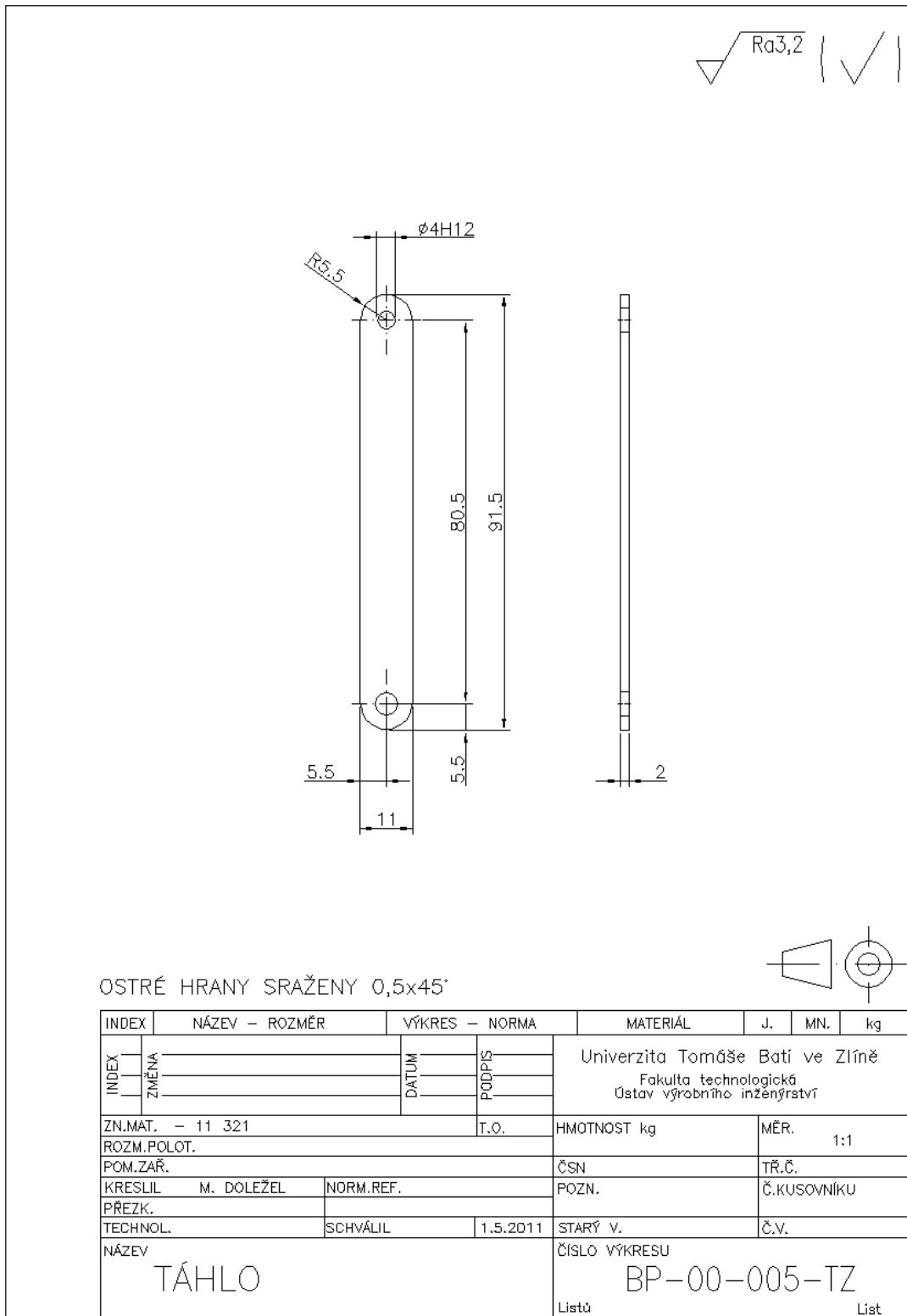
INDEX	NÁZEV - ROZMĚR	VÝKRES - NORMA	MATERIÁL	J.	MN.	kg
INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
ZN.MAT.		T.O.	HMOTNOST kg	MĚR.	1:8	
ROZM.POLOT.			ČSN	TR.Č.		
POM.ZAŘ.	M. DOLEŽEL	NORM.REF.	POZN.	Č.KUSOVNIKU		
PŘEZK.			STARÝ V.	Č.V.		
TECHNOL.	SCHVÁLIL	1.5.2011	STARÝ V.	Č.V.		
NÁZEV	UPÍNACÍ RAMENA		ČÍSLO VÝKRESU	BP-01-002-TZ		
			Listů			List

PŘÍLOHA P VII: VÝKRES PRYŽOVÉHO VZORKU

BP-00-003-TZ

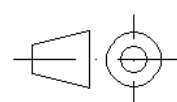
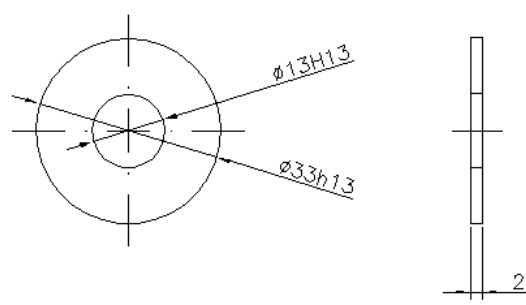
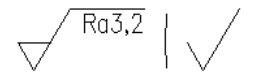


INDEX	NÁZEV - ROZMĚR	VÝKRES - NORMA	MATERIÁL	J.	MN.	kg
INDEX		DATUM	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství			
ZMĚNA		PODPIS				
ZN.MAT. - PRYŽ		T.O.	HMOTNOST kg	MĚR. 1:1		
ROZM.POLOT.			ČSN	TR.Č.		
POM.ZAŘ.			POZN.	Č.KUSOVNÍKU		
PŘEZK.				Č.V.		
TECHNOL.		SCHVÁLIL	1.5.2011	STARÝ V.		
NÁZEV			ČÍSLO VÝKRESU			
PRYŽOVÝ VZOREK			BP-00-003-TZ			
			Listů	List		



OSTRÉ HRANY SRAŽENY $0,5 \times 45^\circ$

INDEX	NÁZEV - ROZMÉR	VÝKRES - NORMA	MATERIÁL	J.	MN.	kg
INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství		
ZN.MAT. - 11 321		T.O.	HMOTNOST kg	MĚR. 1:1		
ROZM.POLOT.			ČSN	TR.Č.		
POM.ZAŘ.			POZN.	Č.KUSOVNIKU		
PŘEZK.			STARÝ V.	Č.V.		
TECHNOL.		SCHVÁLIL	1.5.2011	ČÍSLO VÝKRESU		
NÁZEV		BP-00-005-TZ				
TÁHLO		Listů				
		List				



OSTRÉ HRANY SRAŽENY 0,5x45°

INDEX	NÁZEV - ROZMÉR	VÝKRES - NORMA		MATERIÁL	J.	MN.	kg
INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně Fakulta technologická Ústav výrobního inženýrství			
ZN.MAT. - 11 321		T.O.		HMOTNOST kg	MĚR. 1:1		
ROZM.POLOT.				ČSN	TR.Č.		
POM.ZAŘ.		NORM.REF.		POZN.	Č.KUSOVNIKU		
PŘEZK.				STARÝ V.	Č.V.		
TECHNOL.		SCHVÁLIL	1.5.2011	ČÍSLO VÝKRESU BP-00-007-TZ			
NÁZEV PODLOŽKA				Listů List			

PŘÍLOHA P XII: KUSOVNÍK

Michal Doležel		KUSOVNÍK – ZAŘÍZENÍ PRO DVOUOSÝ TAH			
Poz.	Název	Norma, č. výkresu	Materiál	Tep. zprac.	Ks
1	Upínací čep	BP-00-001-TZ ČSN 42 5510.00	11 500		2
2	Šroub M8x18,5	ISO 4762 – 8.8			4
3	Upínací rameno	BP-00-002-TZ	11 375	S235JR	2
4	Zkušební vzorek	00-00-003-TZ	pryž		1
5	Průchodka (Zpevňovač otvorů) Ø7x5xØ13		mosaz		24
6	Táhlo	BP-00-005-TZ	11 321	DC01	48
7	Šroub M4x25	ISO 4762 – 8.8			24
8	Rozpěrné pouzdro 1 TR Ø 6x1	BP-00-004-TZ DIN / EN 10208-2	L245MB		24
9	Křídlatá matice M4	ČSN 02 1665.1			24
10	Šroub M12x50	ISO 4762 – 8.8			2
11	Rozpěrné pouzdro 2 TR Ø 20x4	BP-00-006-TZ ČSN 42 5715.02	11 353		2
12	Podložka 13	ČSN 02 1703.10			4
13	Křídlatá matice M12	ČSN 02 1665.1			2
14	Podložka	BP-00-007-TZ	11 321	DC01	2
15					