Studie tvarového faktoru elastomerních prvků

Bc. Milan Ovsík

Diplomová práce
2007

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Milan OVSÍK**
Studijní program:	**N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor:	**Konstrukce technologických zařízení**
Téma práce:	**Studie tvarového faktoru elastomerních prvků**

Zásady pro vypracování:

1. **Vypracujte literární studii na dané téma**
2. **Stanovte a zdůvodněte výběr pro základní geometrická tělesa**
3. **Zpracujte metodu hodnocení tvarového faktoru**
4. **Proveďte experiment s vybranými tělesy**
5. **Závěr**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Franta, I. Gumárenská technologie II. SNTL, Praha, 1979.
2. Freakley, P. K. Theory and practice of Engineering with Rubber, Institute of Polymer Technology, Loughborough University, UK.
3. Gent,Alan N. Engineering with Rubber. USA, 2001, ISBN 1-56990-299-2.
4. Holub, J. Gumárenská technologie VII. SNTL, Praha, 1967.
5. Prekop, Š., Várkoly, L., Gumárenská technologia I. EDIS, Žilina, 1998.
6. Růžička, K a Pospíšil, L. Směrnice pro konstrukci vstřikovacích forem I. ČSVTS, Zlín, 1979.

Vedoucí diplomové práce:	**Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.** Ústav výrobního inženýrství
Datum zadání diplomové práce:	**13. února 2007**
Termín odevzdání diplomové práce:	**25. května 2007**

Ve Zlíně dne 17. ledna 2007

L.S.

prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.
děkan

doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc
ředitel ústavu

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá studii tvarového faktoru u elastomerních prvků. Úkolem práce je posoudit problém tvaru elastomerního prvku při jeho statickém namáhání. V teoretické části je popsána problematika elastomerních materiálů. Dále je zde popsán tvarový faktor. V praktické části je uveden výpočet tvarového faktoru pro jednotlivá zkušební tělesa různých tvarů. Dále je zde provedena tlaková zkouška jednotlivých zkušebních těles různých tvarů pomocí výpočtového programu MSC a pomocí zkušebního zařízení. Závěr diplomové práce je věnován srovnání naměřených hodnot a zhodnocení výsledků.

Klíčová slova: tvarový faktor, elastomer, lisovací forma

ABSTRACT

This diploma work is focused on the study of the shape factor for elastomeric elements. The goal of this work is to examine the problem of the shape of the elastomeric element by its static action. In the theoretical part, there is a description of the problems connected with elastomeric materials. This part also contains the description of the shape factor. In the practical part, there is calculation of the shape factor for each solid (figure) with different shapes. There is also an execution of the hydraulic test for test specimen with different shapes by the help of the computing program MSC and testing device here. The conclusion of the work is dedicated to the comparison of measured data and evaluation of the results.

Keywords: shape factor, elastomer, compression mould

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Zdeňku Dvořákovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky, které mi poskytoval při řešení diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Jiřímu Šálkovi a panu Ing. Vladimíru Šumberovi za pomoc při výrobě lisovací formy a následném lisování a měření zkušebních těles. Na závěr bych chtěl poděkovat panu Ing. Jakubu Javoříkovi, Ph.D. za pomoc s výpočtovým programem MSC.

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

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

Ve Zlíně, 16. 05. 2007 .....

podpis

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

OBSAH

ÚVOD **9**

I TEORETICKÁ ČÁST **10**

1 DEFINICE ELASTOMERNÍCH MATERIÁLŮ **11**

1.1 KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY ELASTOMERNÍ 11

1.2 ELASTOMERY 12

1.3 SLOŽENÍ ELASTOMERNÍ SMĚSI 12

1.3.1 Kaučuky 12
1.3.2 Plniva 14
1.3.3 Vulkanizační činidla 14
1.3.4 Aktivátory vulkanizace 14
1.3.5 Retardéry vulkanizace 15
1.3.6 Urychlovače vulkanizace 15

2 VULKANIZACE **16**

2.1 RYCHLOST VULKANIZACE 16

2.2 PRŮBĚH VULKANIZACE 16

2.2.1 Indukční perioda 17
2.2.2 Síťovací reakce 17
2.2.3 Změny ve struktuře vulkanizátu 18
2.2.4 Působení tepla a času 18
2.2.5 Provozní způsoby vulkanizace 18
2.2.6 Technologický postup vulkanizace 19

3 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI ELASTOMERNÍCH MATERIÁLŮ **20**

3.1 ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI VULKANIZÁTU 22

3.1.1 Tvrdost (30 - 100 Sh A) 23
3.1.2 Pevnost v tahu (2 – 30 MPa) 23
3.1.3 Tažnost (150 – 900 %) 23
3.1.4 Modul pružnosti E 24
3.1.5 Strukturní pevnost (10 – 70 MPa) 24

3.2 HYPERELASTICITA 25

3.2.1 Hyperelasticita elastomerů 25
3.2.2 Hyperelastické modely 26
3.2.3 Význam studie hyperelasticity pro praxi 28

4 NAMÁHÁNÍ ELASTOMERŮ **29**

4.1 ELASTOMERY PŘI STATICKÉM NAMÁHÁNÍ 29

4.1.1 Zkouška pevnosti v tahu 30
4.1.2 Zkouška pevnosti v tlaku 33
4.1.3 Smyk 39
4.1.4 Tvrdost 41

5 TVAROVÝ FAKTOR **42**

6 SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI **46**

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

II PRAKTICKÁ ČÁST 47
7 STANOVENÍ CÍLŮ A METOD PRAKTICKÉ ČÁSTI 48
7.1 CÍL PRÁCE 48
7.2 METODY MĚŘENÍ A VÝPOČTŮ 48
8 LISOVACÍ FORMA 49
8.1 KONSTRUKCE LISOVACÍ FORMY 49
8.2 VÝROBA LISOVACÍ FORMY 49
8.3 ZÁKLADNÍ ČÁSTI LISOVACÍ FORMY 51
8.3.1 Upínací desky 51
8.3.2 Tvarové desky 51
8.3.3 Bočnice 52
8.3.4 Jádra 53
8.3.5 Vodící čepy 54
8.3.6 Lisovací forma 55
9 ZKUŠEBNÍ TĚLESA 56
9.1 OZNAČENÍ ZKUŠEBNÍHO TĚLESA 56
9.2 LISOVÁNÍ ZKUŠEBNÍCH TĚLES 58
9.3 MATERIÁL ZKUŠEBNÍCH TĚLES 58
10 VÝPOČET TVAROVÉHO FAKTORU, VÝŠKY A NAPĚTÍ 59
10.1 VÝPOČET TVAROVÉHO FAKTORU K 59
10.2 VÝPOČET VÝŠKY X 63
10.3 VÝPOČET NAPĚTÍ PRO E = 30% 67
11 VÝPOČTY POMOCÍ VÝPOČTOVÉHO PROGRAMU MSC. 69
11.1 VÝPOČTOVÝ PROGRAM MSC. MARC A MSC. PATRAN 69
11.2 TAHOVÉ ZKOUŠKY 69
11.3 NAFUKOVÁNÍ 70
11.4 SIMULACE TLAKOVÝCH ZKOUŠEK POMOCÍ VÝPOČTOVÉHO PROGRAMU 70
12 TLAKOVÉ ZKOUŠKY NA ZKUŠEBNÍM STROJI ZWICK 76
12.1 NAMĚŘENÉ HODNOTY 77
12.1.1 Základní srovnání naměřených hodnot 77
12.2 SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH GRAFŮ ZÁVISLOSTI NAPĚTÍ NA DEFORMACI 79
12.2.1 Srovnání délek 79
12.2.2 Srovnání tvarů 84
12.2.3 Srovnání materiálů 87
13 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ 90
ZÁVĚR 92
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY 93

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 94
SEZNAM OBRÁZKŮ..... 95
SEZNAM TABULEK 98
SEZNAM GRAFŮ 100
SEZNAM PŘÍLOH.....102

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá zkoumáním vlivu tvaru elastomerního tělesa na vlastnosti budoucího výrobku. Tato problematika je charakterizována tvarovým faktorem. Úkolem diplomové práce je posoudit problém tvaru elastomerního prvku při jeho statickém namáhání a upřesnit závislost tvarových faktorů pro základní geometrická tělesa.

Teoretická část se zabývá problematikou elastomerních materiálů, je zde uvedena definice elastomerních materiálů. Dále je v diplomové práci uvedeno namáhání elastomerních prvků. Z hlediska konstrukčních prvků je způsob namáhání elastomerů rozdělen do tří skupin. První skupinu tvoří staticky namáhané díly, druhou skupinou jsou dynamicky namáhané prvky (většina elastomerních prvků) a třetí skupinou jsou prvky namáhané rázy. V technické praxi se však nachází výrobky a konstrukční prvky namáhané kombinovaně všemi třemi uvedenými způsoby. Pro zkoumání tvarového faktoru je zapotřebí provést tlakovou zkoušku u elastomerních prvků, proto je v této části uvedena teorie statického namáhání elastomerů. Dále je v teoretické části uvedena problematika tvarového faktoru. Je tam obecně popsán tvarový faktor, výpočet tvarového faktoru pro základní tělesa.

Úkolem praktické části je nejprve navrhnout lisovací formu pro zkušební tělesa, které mají tvar plného válce, dutého válce s dírou čtvercového průřezu nebo válcovou dírou, plného kvádru o čtvercovém průřezu, dutého kvádru s dírou čtvercového průřezu nebo válcovou dírou. Při návrhu lisovací formy je kladen důraz na jednoduchost a univerzálnost lisovací formy. Potom následuje výroba lisovací formy, která je vyrobena ve školních dílnách. Po výrobě lisovací formy následovalo lisování samotných zkušebních těles. V další části proběhla samotná studie tvarového faktoru. Byl zde vypočítán tvarový faktor pro jednotlivé zkušební tělesa. Poté následovala simulace tlakové zkoušky pomocí výpočtového programu MSC. V další části proběhla samotná tlaková zkouška na zkušebním stroji ZWICK. V závěru praktické části je uvedeno porovnání naměřených hodnot s hodnotami zjištěnými pomocí výpočtového programu MSC a zhodnocení .

Cílem diplomové práce je upřesnit závislost tvarových faktorů pro různé tvary elastomerních těles, dále ověřit a prozkoumat různé metody vyhodnocování výsledků.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

I. TEORETICKÁ ČÁST

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1 DEFINICE ELASTOMERNÍCH MATERIÁLŮ

1.1 Konstrukční materiály elastomerní

Elastomery patří do skupiny polymerů a jsou významným konstrukčním materiálem, se kterým se můžeme setkat snad v každém výrobním oboru, stroji, přístroji či zařízení. Jejich významnost potvrzuje i ta skutečnost, že se mohou stát v součástkové základně stroje rozhodující z hlediska jeho životnosti a spolehlivosti. Stejně jako jiné konstrukční materiály, můžeme vhodnou skladbou elastomerní směsi a použitím gumárenských surovin získat materiály o potřebných, nebo speciálních vlastnostech.

Lidstvo poznalo a využívalo elastomerní materiály již před více jak dvanácti tisíci lety a to elastomery nabízené přírodou. Spotřeba elastomerů pak rostla a roste s rozvíjející se lidskou civilizací a zejména s nastupující technikou. K elastomerům přírodním se od 19. století přidaly elastomery chemicky připravené – syntetické. Tím se otevřela pro chemiky a konstruktéry široká oblast přípravy orientovaných vlastností elastomerů a nové oblasti jejich použití.Svědčí o tom ohromný nárůst spotřeby základních kaučuků a gumárenských surovin.

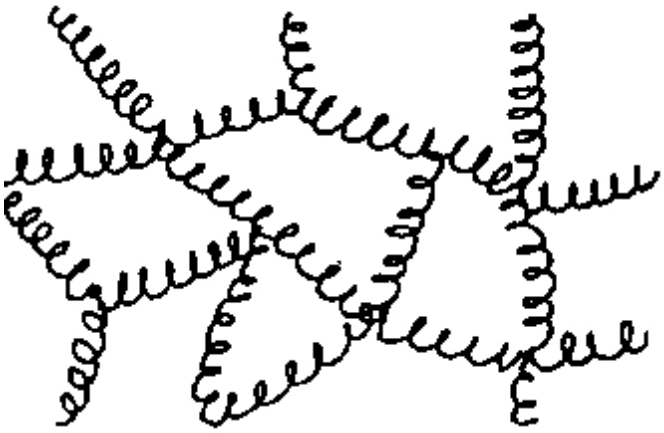
S rozvojem elastomerů rostla a rozvíjela se i teoretická oblast. Ta byla zaměřena na poznání chemické části elastomerů a gumárenských surovin, rozvoj technologie zpracování elastomerů a do značné hloubky i oblast metodiky návrhu konstrukce a matematických přístupů k řešení elastomerních prvků. Zejména v poslední době nastupující teorie hyperelastiky a využití metod konečných prvků při použití výpočetní techniky.

Elastomerní materiály patří do hlavní skupina polymerů, které se dále rozdělují do podskupiny přírodní a syntetické materiály. K přírodním polymerům pak se řadí materiály přírodní vlákna, přírodní pryskyřice, přírodní kaučuk, dřeva, kůže atd. Oblast syntetických polymerních materiálů zastupují termoplasty (elastomery) - polyetylén, polypropylén, polyvinylchlorid, polyamid atd. Oblast duroplastů – polyuretan, polyesterové, epoxidové, fenolové a další pryskyřice. Elastomery – silikony, polyisopreny, butadien –akrylnitridy, butadien- styroly atd..

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1.2 Elastomery

Elastomery jsou nazývány makromolekulární látky, schopné přecházet vulkanizací (zahřátím na vulkanizační teplotu a působení tlaku a po vulkanizační dobu) ze stavu převážně plastického přejít do stavu převážně elastického. Tyto změny způsobí chemické změny, které vytváří mezi makromolekulami příčné vazby. Makromolekuly si lze představit jako pružiny, které po deformaci vrací elementy do původního tvaru.



Obr. 1.Příčné vazby

1.3 Složení elastomerní směsi

Elastomerní směs se skládá z kaučuků, plniv aktivních a neaktivních, vulkanizačních činidel, urychlovačů vulkanizace, retardérů a pigmentů. Nelze připravit směs, aby vykazovala vysoké nebo stejné vlastnosti v celé škále fyzikálních a chemických vlastností. Praxe vyžaduje aby některá vlastnost byla významná a jiná je jen v hodnotě určité. Nelze dosáhnout vlastností libovolné kombinace. Úprava jedné vlastnosti mění vlastnosti jiné.Vlastnosti jsou limitovány. Je nutno volit kompromis. Existují tzv. typové receptury.

1.3.1 Kaučuky

Kaučuky jsou makromolekulární látky s dlouhými řetězci.. Podle chemické struktury je můžeme rozdělit do následujících skupin:

Přírodní kaučuky	přírodní polymer izoprénu
Polybutadienový kaučuk	polymer butadienu

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Butadien – styrénový kaučuk	kopolymer butadienu se styrénem
Nitridové kaučuky	kopolymery butadienu s akrylonitrilem
Izoprénový kaučuk	syntetický polyizoprén
Chloroprenový kaučuk	polymer chloroprénu

K nim se řadí skupina kaučukových látek, jež nejsou polymery dienů a to:

Butylkaučuk	kopolymer izobutanu s izoprénem
Etylén – propylénový kaučuk	kopolymery eténu s propénem
Silikonový kaučuk	polymery silandiolů
Polysulfidový kaučuk	polymer dichlorderivátů s polysulfidy
Polyuretanové kaučuky	polymery glykolů a diizokyanátů i jiných
Fluorkaučuky	kopolymery fluorovaných nenasycených uhlovodíků.

Termoplastický polyuretanový kaučuk

Termoplastický etylen-propylenový kaučuk

Použití kaučuků:

a) Butadienstyrenový kopolymer – butadien-styren S/B:

Odolnost proti stárnutí, neodolává nízkým teplotám, malá konfekční lepivost, těsnění manžety, pneumatiky, dopravníkové pásy.

b) Akrylonitrilový kopolymer – butadien-akrylonitril NBR:

Bezbarvý nebo žlutý, velká odolnost proti otěru, oleji, tepelnému stárnutí, těsnící kroužky, hadice, podložky strojů, benzínové hadice.

c) Chloroprenový polycolopren CR:

Částečně odolný proti olejům, elektricky vodivý, odolný proti stárnutí, opryžovaný textil, spotřební zboží, lepidla, impregnace.

d) Butylkaučuk kopolymer – izobutylen - izopren HR:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Odolný proti povětrnostním vlivům,nepropustnost pro plyny, dobrá korozivzdornost, obklady kovových van, povlaky na ocelové součásti

e) Silikonový polydimetylsiloxan SI:

Vysoká izolační schopnost, odolnost proti stárnutí teplem, světlem, ozonem, proti olejům, fyziologicky inertní, elektroizolační vlastností, izolace vodičů, teplovzdorné těsnění, hadičky.

1.3.2 Plniva

Plniva se dělí na aktivní a neaktivní. Aktivní plniva tvoří chemické vazby, patří mezi ně saze, mezi neaktivní plniva patří kaolin, vápenec atd..

1.3.3 Vulkanizační činidla

Činidla jsou látky schopné vytvářet chemickou reakcí příčné vazby mezi řetězci kaučukového uhlovodíku. Vulkanizační činidla na bázi síry jsou nejvíce používané vulkanizační činidla, mletá síra krystalická nebo polymerní forma – tzv. nerozpustná. Mezi jiné vulkanizační činidla patří donory síry. Vyznačují se dobrou odolností vulkanizátu proti zvýšeným teplotám, nevytváří výkvěty. Mezi další vulkanizační činidla patří reaktivní pryskyřice – fenolické – odolnost vulkanizátu proti zvýšeným teplotám. Dále zde patří peroxidy, oxidy kovů atd. Vulkanizační činidla se do kaučukových směsí přidávají v konečné fázi její přípravy aby nedošlo k iniciaci vulkanizace.

1.3.4 Aktivátory vulkanizace

Aktivátory vulkanizace se dělí na organické a anorganické. Jsou to látky, které v kaučukových směsích aktivují účinek vulkanizačních činidel. Sírová vulkanizace je aktivována některými kysličníky nebo solemi. Patří k nim kyselina stearová a jiné mastné kyseliny, které jsou schopny přetvářet kovové kysličníky na formy rozpustné v kaučucích.

Kysličník zinečnatý (zinková běloba) – obsahují jej všechny sírové vulkanizační systémy. Aktivní účinek ZnO spočívá v tom, že ovlivňuje rychlost síťové reakce a tím rychlost vázaní síry na kaučuk. Mezi další aktivátory vulkanizace patří uhličitan zinečnatý, steatit zinečnatý, kysličník olovnatý.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

1.3.5 Retardéry vulkanizace

Retardéry vulkanizace jsou látky , které se přidávají do kaučukových směsí z důvodu zamezení předčasného navulkanizování gumárenské směsi při jejím zpracování – tzv. navulkanizování směsi.

1.3.6 Urychlovače vulkanizace

Vytváření příčných vazeb v kaučukových směsích se sírou bez dalších přísad je málo účinné a pomalé. Při vulkanizaci nedochází jen k tvorbě příčných vazeb, ale i k dalším reakcím vulkanizačního činidla s kaučukem. Přidáním aktivátoru se účinnost vulkanizace zvyšuje. Přidáním urychlovače se vulkanizační účinnost zvyšuje a snižuje se koncentrace síry. Vhodným výběrem, dávkováním a kombinováním urychlovačů lze ovlivňovat různé vlastnosti.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2 VULKANIZACE

Vulkanizace je děj, při kterém vznikají v kaučukové směsi pevné chemické vazby mezi jednotlivými řetězovými molekulami za pomoci vulkanizačních činidel.Optimální hustota síťové prostorové struktury závisí na teplotě a čase, po které působí na elastomerní směs, vzájemný vztah teploty a doby vulkanizace se vyjadřuje – teplotním koeficientem vulkanizace.

Vulkanizace spočívá ve vytvoření příčných chemických vazeb mezi původní makromolekulární řetězce. Pokud je koncentrace příčných vazeb v kaučuku dostatečná, jsou schopny bránit vzájemnému pohybu molekul. Účinek síly působící na elastomerní těleso se projeví deformací a po jejím odstranění se těleso vrací do původního stavu.

2.1 Rychlost vulkanizace

Řídí se stejnými zákonitostmi jako jiné chemické reakce. Podle posledních poznatků jde o řetězové reakce s charakteristickými rysy.

2.2 Průběh vulkanizace

Konkrétní vliv urychlovačů a jejich kombinace se může sledovat a studovat na vulkanizačních křivkách, které vyjadřují časovou změnu některé lehko měřitelné vlastnosti.

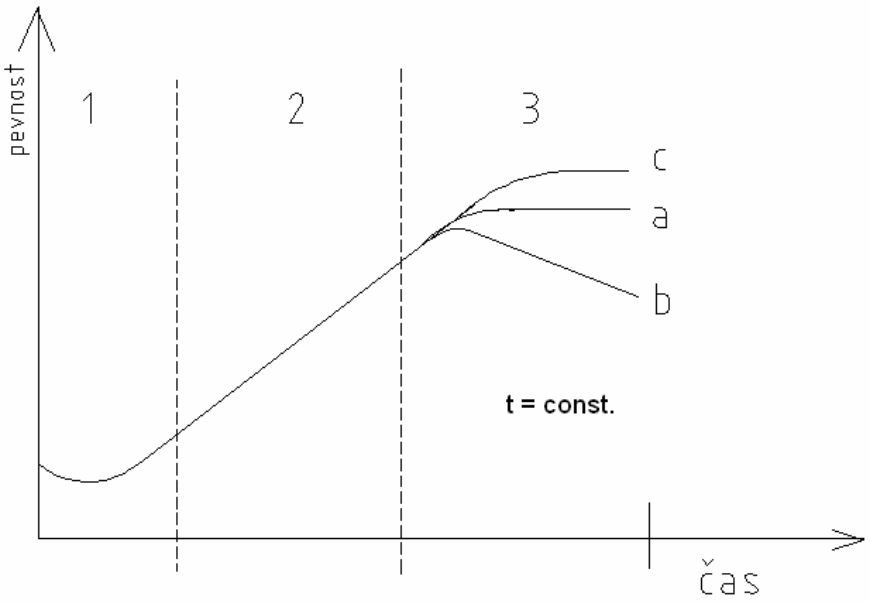
Z chemických změn to může být např. obsah volné síry, která postupně v průběhu vulkanizace klesá, z fyzikálně mechanických hodnot pevnost, modul pružnosti v tahu, trvalá deformace a podobně.

V současnosti se používají na stanovení optimálního času vulkanizace přístroje tzv. vulkametry, které automaticky zaznamenávají např. dynamický smykový modul (odpor kroutícího momentu v závislosti na čase) cyklicky namáhaného zkušebního tělesa podobu vulkanizace. Vulkametry zaznamenávají celý průběh vulkanizace a využívají se při vývoji nových směsí nebo přímo ve výrobě na hodnocení zpracovatelských vlastností.

Všeobecně má vulkanizační křivka tři fáze:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- 1. indukční perioda vulkanizace
- 2. vlastní síťová reakce
- 3. změny ve vytvořené struktuře



Obr. 2.Vulkanizační křivka

2.2.1 Indukční perioda

Reakce mezi vulkanizačními činidly a kaučukem a ostatními složkami probíhá z počátku velmi pomalu, po té nastává zrychlení reakce a vznikají příčné vazby, mění se mechanické vlastnosti indukční perioda je důležitá pro zaplnění dutiny formy a prodlužuje vulkanizaci.

2.2.2 Síťovací reakce

Nastává pokles koncentrace vulkanizačního činidla a rychlé vytváření příčných vazeb. Je li charakter vulkanizační křivky exponenciální - probíhá reakce 1. řádu, je li charakter vulkanizační křivky hyperbolický - probíhá reakce 2. řádu. V poslední fázi vulkanizace je síťování překryto změnami ve struktuře.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

2.2.3 Změny ve struktuře vulkanizátu

Závisí na typu kaučuku, snižují se moduly, tvrdost, pevnost v tahu ,dochází ke štěpení příčných vazeb vytvořených během vulkanizace, velikost a charakter plata lze chemickými činidly ovlivnit.

2.2.4 Působení tepla a času

Působením tepla na gumárenskou směs při určité teplotě vzniká aktivní meziprodukt a později příčné vazby. Jakmile počet příčných vazeb dosáhne určitého stupně, mění se zpracovatelské vlastnosti - mění se plasticita, doba potřebná k dosažení této změny je nazývána *bezpečnost směsi*. Měří se viskozimetry, časový průběh se nazývá vulkanizační křivka, vulkanizace je závislá na vulkanizačních činidlech, teplotě vulkanizace a čase. Nejúčinnější přestup tepla mezi zdrojem a elastomerní směsí je z kovových forem, MW ohřev, dále v nasycené páře, nejhorší je v horkém vzduchu - ohřev v objemu. Velmi účinný je MW ohřev, ve srovnání s jinými ohřevy poskytuje MW ohřev rovnoměrnější rozložení teploty v celém objemu. Vulkanizace lze podstatně urychlit, pokud jí předchází fáze předehřevu, kdy se teplota zvyšuje na 75 až 105 °C. Široké uplatnění MW ohřevu k vulkanizaci je důsledkem jeho mimořádných výhod ve srovnání s ostatními technologiemi. Z nich je nejdůležitější vysoká rychlost a homogenita vulkanizace a tím vysoká kvalita výsledného produktu, jakož i podstatná úspora energie. Protože gumová směs je tepelný izolant, výrazně se uplatňuje vlastnost MW ohřevu – současný ohřev do celé hloubky materiálu. Předehřátím gumové směsi lze zkrátit celkovou dobu ohřevu na vulkanizační teplotu asi o polovinu a výkon vulkanizačního lisu zvýšit až o jeden řád.

2.2.5 Provozní způsoby vulkanizace

a) kontinuální -ve vulkanizačních tunelech

- solných lázních
- horkovzdušných tunelech
- MW tunelech

- bubnových lisech

b) diskontinuální

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- vulkanizace ve formách
- v přímé páře
- v horké vodě
- v horkém vzduchu
- v bubnových lisech

2.2.6 Technologický postup vulkanizace

Tvarování elastomerní směsi do tvaru výrobku za pomocí tepla nebo za studena. Zahřívání na vulkanizační teplotu, výdrž na vulkanizační teplotě – vulkanizace (teplota, čas, tlak), vyjmutí výrobku z formy (oproti termoplastům se výrobek ve formě nechladí!!).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI ELASTOMERNÍCH MATERIÁLŮ

Vlastnosti konstrukčních elastomerních materiálů se v mnoha směrech liší od ostatních konstrukčních materiálů. Rozdíly jsou jak ve fyzikálních, tak chemických vlastnostech, omezeném teplotním intervalu jejich použití, vysokém vlivu času na změny vlastností. Proti těmto omezujícím vlastnostem stojí řada předností. Jsou to zejména vysoká elasticita (super elasticita), schopnost snášet opakovaně značnou deformaci při dlouhé životnosti, schopnost tlumení (přeměňovat energii mechanickou na tepelnou), chemická stabilita v řadě prostředí, elektrické vlastnosti, nepropustnosti pro tekutiny atd.

Uvedené vlastnosti lze měnit v široké škále hodnot vhodnou volbou složení elastomerní směsi.

Skladby směsí pro dané podmínky řeší gumárenské podniky a firmy, které nabízí své elastomerní směsi i dalším výrobcům.

Za těmito vlastnostmi stojí jevy, které popisují kinetické teorie pružnosti. Z této teorie vyplývá, že základní vlastností elastomerů je elasticita. Ta se projevuje tím, že elastomerní materiály lze poměrně malou silou deformovat v tahu, tlaku, ohybu, krutu apod. v daleko větším rozsahu než jiné konstrukční materiály. Po odstranění deformační síly se deformované elastomerní těleso rychle vrací do původního stavu a nabývá původní rozměry. Podle skladby elastomerního materiálu můžeme dosahovat různě velkých deformací. Podle kinetické teorie pružnosti jsou v elastomerním materiálu na nějž nepůsobí deformační síly řetězové makromolekuly v neuspořádaném, zkrouceném stavu. Při působení deformační síly se řetězce rozvinují, napřimují a orientují ve směru působení namáhání, což způsobuje vnitřní napětí. Toto napětí souvisí se snahou řetězců vrátit se do původního stavu- stavu s větší entropií.

Předpokladem této teorie je uspořádání řetězců do takového stavu aby jejich deformace byla možná a jejich články se mohly otáčet.

Charakterem elastomeru je právě uspořádání řetězců makromolekul a jejich vzájemná reakce v průběhu deformace. Vlastnosti eleastomerů lze modifikovat vznikem primárních vazeb mezi makromolekulami, které vznikají pří vulkanizaci. Kromě těchto vazeb, existují také mezi molekulami elastomerů mezimolekulové sekundární vazebné síly. Ty jsou však závislé na teplotě.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Pro elastomery je důležitý tvar distribuční křivky molekulových hmot. Čím širší je distribuce molekulových hmot, tím méně je plasticita elastomeru ovlivnitelná teplotou (schopnost tuhé látky zachovat tvarové změny způsobené napětím po uvolnění napětí). Nízkomolekulární části elastomerní směsi vulkanizují pomalu a tím ovlivňují vulkanizační proces. Vysokomolekulární části elastomerní směsi jsou houževnaté a zhoršují její zpracovatelnost při přípravě polotovarů.

Vulkanizace je fyzikálně-chemický proces, při kterém za působení teploty tlaku po určitý časový interval se elastomerní směs mění na vulkanizát. To znamená, že v látce, která má charakter je převážně plastický, působením fyzikálních sil za dodání tepla po danou dobu dojde k chemickým změnám, kdy látka změní svůj charakter na převážně elastický. Látka si zachovává tvar, ve kterém proces vulkanizace proběhl. Výsledný materiálový produkt se nazývá *vulkanizát*.

Vulkanizace elastomerní směsi probíhá v předem stanovených podmínkách teploty tlaku a času, nejčastěji ve vulkanizačních formách.Vulkanizace elastomerní směsi ve formách neprobíhá v celém objemu, zejména u silnostěnných výrobků ve stejném čase díky špatné vodivosti elastomerní směsi.

Vlastnosti výrobku jsou pak ovlivněny vlastnostmi směsi, vulkanizačními podmínkami, jeho tvarem a rozměry a použitou výrobní technologií.

K orientačnímu rozlišení je dodnes využíváno základních fyzikální vlastností. Jsou to tvrdost, pevnost, tažnost, elasticita dále strukturní pevnost a hustota. Tyto údaje však nestačí pro posouzení vhodnosti elastomeru pro konstrukční prvek. Pro výběr elastomeru je nutno posoudit vhodnost elastomeru pro funkční podmínky konstrukčního prvku. Proto je nutno stanovit další vlastnosti jako je odolnost prostředí v němž bude konstrukční prvek pracovat. Mezi ně patří zejména chemické vlivy prostředí, teplotní zatížení, elektrické vlastnosti, způsob jeho zatížení apod..

Při konkrétním použití však můžeme často vysledovat hlavní vlastnost, nebo hlavní vlastnosti namáhání prvku, z toho pak musíme vycházet pro výběr vhodného složení elastomerní směsi. Nezanedbatelným kritériem je také zvolený-stanovený technologický způsob výroby.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Prakticky lze říci, že požadovaná hlavní vlastnost nemůže být volena bez ohledu na další vlastnosti elastomeru. Jedná se vždy o kompromis vlastností s důrazem na vlastnost hlavní.

Každý výrobek, součást, konstrukční prvek má určitou životnost. Je nutno si uvědomit, že elastomery jsou makromolekulární látky – termosety, ve kterých probíhají jisté procesy stále i po jejích vulkanizaci, zejména v závislosti na čase teplotě a prostředí, po celou dobu jejich existence. Tím je jejich technický život limitován. Vysoká napětí vedou k rychlé změně vlastností a destrukci prvku. Naopak na rychlou změnu odpovídajícího napětí v odpovídajících amplitudách reagují ze všech konstrukčních materiálů nejlépe.

Mezi skutečnosti, ke kterým je nutno při konstrukci elastomerního prvku přihlédnout je vysoký rozptyl číselných hodnot fyzikálních vlastností. Dále nutno se zmínit o skutečnosti, že fyzikální hodnoty jsou měřeny na zkušebních vzorcích vyrobených v úzké toleranci technologických podmínek, navíc za napětí v praxi se nevyskytujících. Z toho vyplývá důležitost kontroly konstrukčních fyzikálních veličin přímo na výrobcích.

Z hlediska konstrukčních prvků, můžeme způsob namáhání elastomeru rozdělit do tří skupin.První skupinu tvoří staticky namáhané díly, druhou skupinou jsou dynamicky namáhané prvky (většina elastomerních prvků) a třetí skupinou jsou prvky namáhaní rázy. V technické praxi se však nachází výrobky a konstrukční prvky namáhané kombinovaně všemi třemi uvedenými způsoby, statickými silami, dynamický opakujícími se silami a rázovými silami.

3.1 Základní fyzikální vlastnosti vulkanizátu

1) Tvrdost

2) Pevnost v tahu

3) Tažnost

4) Modul pružnosti

5) Strukturní pevnost

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

3.1.1 Tvrdost (30 - 100 Sh A)

Tvrdost je definovaná jako odolnost proti vnikání definovaného tělesa za působení konstantní síly po definovanou dobu do měřeného vzorku. Měříme ji tvrdoměrem Shore A.

Můžeme ji měnit typem plniva a plněním:

- aktivní- saze HAF, MT, FEF, specielní – tvrdost 40 – 80° ShA.
- neaktivní – kaolin, uhličitan vápenatý, kysličník křemičitý, atd. - tvrdost 50 – 100° ShA (se stoupajícím plněním se zhoršuje zpracovatelnost směsi).

3.1.2 Pevnost v tahu (2 – 30 MPa)

Pevnost je definovaná jako napětí při přetržení. Je to hodnota kontrolní a nevyužívá se pro praktické použití, je kontrolní hodnota porovnávací a předepisuje se jako vlastnost. Můžeme ji měnit:

- typem plniva a plněním
  - aktivní- saze HAF, MT, FEF, specielní – do určité míry zvyšují
  - neaktivní – kaolin, uhličitan vápenatý, kysličník křemičitý, atd. – snižují
- vulkanizačním systémem - omezeně

3.1.3 Tažnost (150 – 900 %)

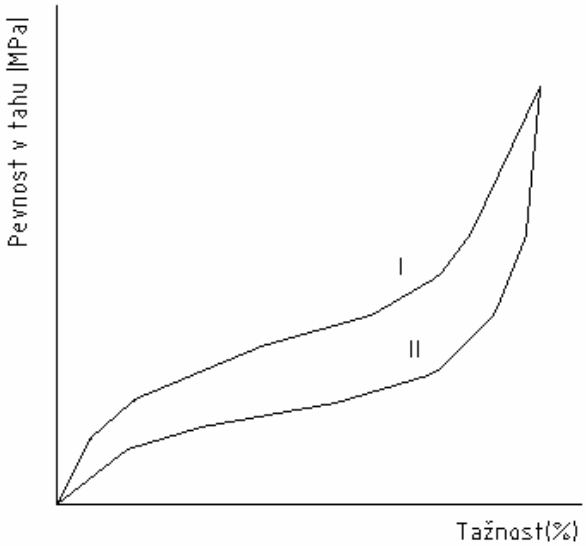
Tažnost je definovaná jako protažení při přetržení a udává se v procentech. Měří se na trhacích strojích . Můžeme ji měnit:

- typem plniva a plněním
  - aktivní- saze HAF, MT, FEF, specielní – do určité míry zvyšují
  - neaktivní – kaolin, uhličitan vápenatý, kysličník křemičitý, atd. – snižují
- vulkanizačním systémem – omezeně

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Tahová křivka dvou pryží o různých modulech: I. – pryž s vysokým modulem

II. – pryž s nízkým modulem



Obr.3.Tahová křivka

3.1.4 Modul pružnosti E

G = 2E (0,5 – 15 MPa)

Modul pružnosti je definován jako napětí při definované deformaci (protažení). Měří se na trhacích strojích. Jeho velikost je časově a teplotně závislá – relaxace.

- při běžných namáháních se vliv elastomeru neprojeví
- plnění, plniva má největší vliv
  - aktivní- saze HAF, MT, FEF, specielní – do určité míry zvyšují
  - neaktivní – kaolin, uhličitan vápenatý, kysličník křemičitý, atd. – snižují
- vulkanizační systém – vliv síry

3.1.5 Strukturní pevnost (10 – 70 MPa)

Strukturní pevnost je odolnost proti dalšímu trhání. Hodnotí se jako energie trhání. Je funkcí rychlosti děje, teploty, prostředí a stupně vulkanizace.

- elastomer - přírodní, syntetické, kombinace s přidáním NR

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

- plnění
  - aktivní- saze HAF, MT, FEF, specielní – do určité míry zvyšují
  - neaktivní – kaolin, uhličitan vápenatý, kysličník křemičitý, atd. – snižují
- vulkanizační systém - za tepla
- stupeň vulkanizace – vyšší

3.2 Hyperelasticita

3.2.1 Hyperelasticita elastomerů

Elastomery se vyznačují některými charakteristickými rysy, kterými se výrazně odlišují od většiny ostatních materiálů (ideálně elastických). Souhrn těchto vlastností je často označován jako hyperelasticita a tyto materiály pak považujeme za hyperelastické. Hlavními znaky hyperelasticity jsou:

- Dosažitelné elastické (vratné) deformace jsou veliké, mnohonásobně vyšší než u ideálně elastických látek. Tažnost (protažení při přetržení) dosahuje několika set procent původní délky.
- Závislost napětí na deformaci je silně nelineární. Tvar této závislosti má zpravidla charakteristický esovitý průběh.
- Materiál se deformuje již účinkem malých sil. Poměr napětí a deformace v oblasti malých deformací je asi desettisíckrát menší než u ideálně elastických látek
- Objemová tuhost většiny eleastomerů je velmi vysoká. Objemový modul pružnosti dosahuje hodnot řádově stovek až tisíců MPa a s uvážením předchozího bodu (tj. malého poměru napětí ku deformaci) se pak Poissonův poměr ν blíží hodnotě 0,5 (v závislosti na obsahu plniv). To znamená, že většinu těchto materiálů lze považovat za objemově nestlačitelné.

Dalším charakteristickým rysem elastomerů je časová závislost deformace. Elastické deformační přeměny tu probíhají s určitým zpožděním, protože jsou brzděny vnitřními viskózními odpory uvnitř kaučukové hmoty. Deformační chování pryže má obecně elastické i

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

viskózní projevy současně. Takové chování se označuje jako viskoelastické chování. Mechanické chování elastomerů je dále velmi závislé na teplotě. Při nízkých teplotách (pod -50 °C) tuhost materiálu výrazně roste a může se přiblížit vlastnostem kovů. Při vysokých teplotách (nad 100 °C) naopak dochází k velkému poklesu tuhosti.

Z tohoto popisu je zřejmé, že pro použití Hookeova zákona nejsou splněny dvě základní podmínky: závislost deformace na napětí není lineární a dochází k velkým deformacím (> 2%). Přesto je tento vztah s dostatečnou přesností použitelný v aplikacích kde se nepředpokládají velké deformace zatěžovaného prvku. Pro přesné výpočty a pro případy větších deformací je nutno použít nelineární popis závislosti napětí-deformace.

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 různými autory postupně navrženo velké množství hyperelastických modelů. Tyto modely jsou nezávislé na rychlosti a historii deformace. V posledních letech jsou však publikovány práce zabývající se modelováním zahrnujícím i tyto efekty.

3.2.2 Hyperelastické modely

Část hyperelastických modelů je založena na mikromechanických modelech vnitřní struktury elastomerů (např. *Neo-Hookean, Arruda-Boyce*). Materiálové konstanty v těchto modelech mají jednoznačný fyzikální význam. Další skupina modelů byla navržena pouze na základě pozorování deformačně napěťového chování elastomerů na makroskopické úrovni tak, aby model co nejlépe aproximoval toto pozorování. Takové modely (např. *Polynomický, Mooney-Rivlin, Ogden, Yeoh, Gent*) jsou nazývány fenomenologické a jejich materiálové konstanty často nemají konkrétní fyzikální význam.

Dnes používané hyperelastické modely obecně formulují vztah pro hustotu deformačního potenciálu ve tvaru:

$$W = W\left(I_1, I_2, I_3 \{M\}\right) \tag{1}$$

kde I_i jsou invarianty pravého Cauchy-Greenova tenzoru deformace, l_i jsou hlavní protažení a $\{M\}$ je množina materiálových konstant.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Protažení l_i je poměrem deformované délky l_i ve směru osy i ku původní délce l_0.

$$l_i = \frac{l_i}{l_{0i}} \tag{2}$$

Deformační invarianty I_i jsou definovány vztahy:

$$\begin{aligned} I_1 &= l_1^2 + l_2^2 + l_3^2 \\ I_2 &= l_1^2 l_2^2 + l_2^2 l_3^2 + l_3^2 l_1^2 \\ I_3 &= l_1^2 l_2^2 l_3^2 \end{aligned} \tag{3}$$

Pro nestlačitelné materiály je invariant $I_3 = 1$.

Pokud známe funkci W můžeme napětí vypočítat jako derivaci této funkce podle příslušné složky deformace.

$$S_{ij} = 2\frac{\partial W}{\partial C_{ij}} \tag{4}$$

kde S_{ij} jsou složky 2. Piola-Kirchhoffova tenzoru napětí a C_{ij} jsou složky pravého Cauchy-Greenova deformačního tenzoru.

Pokud je souřadný systém zvolen tak, že je shodný s hlavními směry deformace, pak je pravý Cauchy-Greenův deformační tenzor definován takto:

$$[C] = \begin{bmatrix} l_1^2 & 0 & 0 \\ 0 & l_2^2 & 0 \\ 0 & 0 & l_3^2 \end{bmatrix} \tag{5}$$

Z rovnice lze tedy odvodit vztah pro složky Cauchyova tenzoru napětí (skutečné napětí).

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$s_{ij} = -pd_{ij} + 2\frac{\partial W}{\partial I_1}C_{ij} - 2\frac{\partial W}{\partial I_2}C_{ij}^{-1} \qquad (6)$$

kde p je nespecifikovaný tlak a d_{ij} je Kronekerovo delta, pro které platí ($d_{ij} = 1$, $i = j$; $d_{ij} = 0$, $i \neq j$).

3.2.3 Význam studie hyperelasticity pro praxi

Jak bylo uvedeno dříve elastické (vratné) deformace elastomeru jsou veliké. Řada výrobků, autoplášť, dopravní pásy, tlumící prvky a jiné nemůžeme prakticky bez znalosti problematiky hyperelesticity důsledně teoreticky řešit. To, že závislost napětí na deformaci je silně nelineární definuje vlastnost elastomeru, pro kterou je právě výhodné konstruovat tlumící prvky s vysokou absorpcí energie v širokém rozsahu frekvencí. Deformace již účinkem malých sil poukazuje na jejich vysokou citlivost a reakci na malá zatížení a naopak relativně výborné chování při kontaktu s nepravidelnými povrchy, nevyjímaje podmínky tření. Jelikož je objemová tuhost většiny eleastomerů je velmi vysoká (Poissonův pměr se blíží hodnotě 0,5), je nebytné extrémní a hraniční podmínky posuzovat odpovídajícími metodami hyperelasticity.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4 NAMÁHÁNÍ ELASTOMERŮ

4.1 Elastomery při statickém namáhání

Pro praktické použití elastomerních výrobků jsou výsledky měření velikosti deformace při dynamickém namáhání mnohem důležitější než hodnoty deformace zjištěné za statických podmínek. Hodnot získaných při statickém namáhání se v gumárenské praxi používá jen pro základní klasifikaci materiálů (bez určení aplikace).

Obecně jsou vlastnosti elastomerů funkci času. Z tohoto důvodu dynamické zkoušky i zkoušky statické provádíme vždy v určitém časovém úseku. Při dynamických zkouškách má čas (tj. rychlost změny velikosti působící síly, frekvence) rozhodující vliv na velikost měřených hodnot, u statických zkoušek má význam značný. Proto na přiklad hodnoty získané při tahových a tlakových zkouškách pryže na: trhacích strojích platí pouze pro normalizovanou rychlost zatěžováníÍ. Při jiné rychlosti zatěžování získáme jiné hodnoty.

Další okolností, která ovlivňuje (v míře mnohem větší než u klasických materiálů) velikost naměřených hodnot, je tvar a rozměry zkušebního tělesa. U tahových zkoušek je nutno udávat, zda byla hodnota získána na normalizovaném kroužku nebo na normalizovaném zkušebním tělísku - lopatce. Lze tedy konstatovat, že hodnoty tahových vlastností získané na zkušebních tělesech odlišných tvarů a rozměrů vykazují u některých vulkanizátů velké odchylky i pro stejné napětí.

Také vliv teploty na všechny vlastnosti elastomerů je značný. Např. elastomery (podle typu) se při teplotách pod -40°C svými vlastnostmi blíží kovům (do jisté míry i strukturou). Při teplotách kolem 100°C se mnohé vlastnosti elastomerů ve srovnání s týmiž vlastnostmi při normální provozní teplotě (okolo 20 °C) silně mění (zhoršují se).

Shrneme-li všechny statické (i dynamické) vlastnosti elastomerů jsou naměřené výsledky ovlivňovány zejména tvarem a rozměry zkušebního tělesa (a samozřejmě i výrobku), rychlostí změny velikosti vnějších sil a teplotou. U vulkanizátů různého složení se vliv těchto podmínek projevuje s nestejnou intenzitou.

Mezi statické deformační zkoušky pryže zahrnujeme zkoušky pevnosti v tahu, v tlaku, zkoušky tažnosti, měření modulů a tvrdosti.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4.1.1 Zkouška pevnosti v tahu

Zkoušky pevnosti v tahu nebo v tlaku se provádějí na trhacích strojích tak, že se normalizované zkušební těleso deformuje (natahuje, stlačuje) konstantní rychlostí a zaznamenává se průběh změny sledované fyzikální hodnoty.

Napětí v tahu σ (v tlaku) je napětí stanovené z podílu síly F /N/ (působící kolmo k uvažovanému průřezu) a původního průřezu S /m^2/.

Prodloužení (stlačení) *Dl* je rozdíl měřené délky *l* pracovní oblasti zkušebního tělesa v určitém okamžiku zkoušky a původní délky l_o. Měří se v m.

Poměrné prodloužení (stlačení) ε je poměr změny délky *(Dl = l- l_o)* k původní měřené délce l_o v procentech:

Tažnost je poměrné prodloužení zkušebního tělesa v okamžiku přetržení v procentech:

Tlakové zkoušky se někdy řadí mezi zkoušky speciální, přestože tlakovému namáhání elastomeru se má dávat přednost před namáháním tahovým.

Průtažnost (poměrné prodloužení po přetržení) je poměrné prodloužení zkušebního tělíska po přetržení ve smluvně definovaném čase:

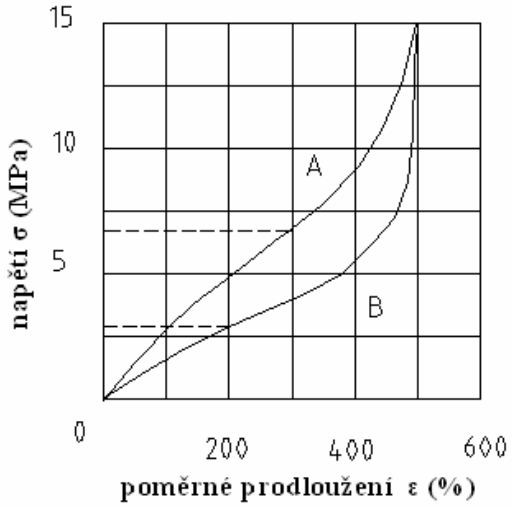
$$d_p = \frac{(l - l_0)}{l_0}.100 \qquad (7)$$

V gumárenské praxi se napětí, při kterém se dosáhne určitého předem zvoleného prodloužení, nazývá modul v tahu. (Tento modul se neztotožňuje s Youngovým modulem pružnosti, který udává velikost napětí potřebného pro zvětšení původní délky na dvojnásobek.) Na Obr. 4. má elastomer *A* při- poměrném prodloužení 300 % modul 6 MPa, elastomer *B* má modul 3MPa, tedy poloviční. Při poměrném prodloužení 500 % mají oba elastomery týž modul 15MPa, který je současně pevností v tahu. Poměrné prodloužení 500 % je v tomto případě současně i tažností obou materiálů.

Podle jakosti elastomeru se určuje modul při různých prodlouženích. Zpravidla se stanoví modul při poměrných prodlouženích 50, 100 a 300 % pro pryže s tažností do 400 %, při poměrných prodlouženích 100, 300 a 500 % pro elastomery s tažností do 750 % a při poměrných prodlouženích 300, 500 a 700 % pro elastomery s tažností nad 750 %.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Modul i pevnost mají stejný rozměr [MPa] vztažený na původní průřez. I když změna průřezu je značná, vztahujeme modul a pevnost na původní průřez proto, že velikost skutečného průřezu během zkoušky by bylo obtížné měřit.

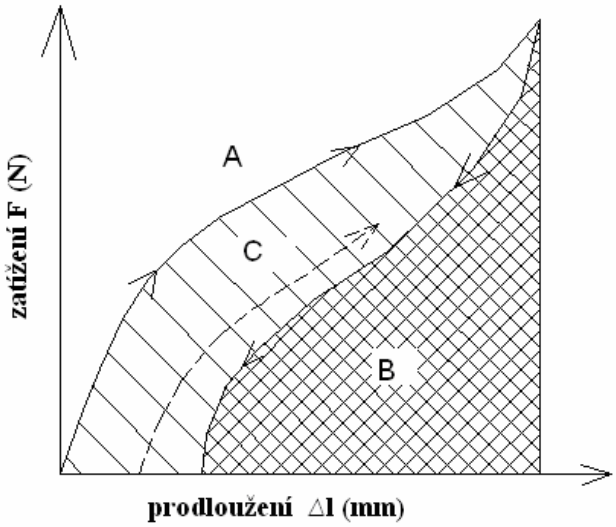


Obr. 4.Pracovní diagram dvou různých elastomerů shodných fyzikálních vlastností při rozdílné tažnosti

Pod pojmem rovnovážný modul v tahu rozumíme v gumárenské praxi hodnotu modulu, který se s časem už dále prakticky nemění.Určuje se tak, že se zkušební těleso plynule napíná (rychlostí 0,5 m/min) až na předepsanou hodnotu poměrného prodloužení pracovní části zkušebního tělesa. V tom okamžiku se napínání zastaví. Zatížení začne postupně klesat. V jednominutových intervalech se odečítají hodnoty modulů také dlouho, až tři po sobě následující údaje mají prakticky stejnou hodnotu. Aritmetický průměr těchto tří údajů určuje velikost rovnovážného modulu.

Tahové zkoušky jsou v zásadě velmi jednoduché. Používá se jich pro získání informativního obrazu o celkových vlastnostech pryže. Zpravidla se jimi kontroluje pravidelnost technologických postupů ve výrobě, zejména vulkanizace. Postupuje se při nich tak, že se pryžové zkušební těleso postupně zatěžují až po určitou hodnotu zatížení. Těleso se postupně prodlužuje, např. podle křivky A na Obr. 5. Při tomto zatěžovacím procesu koná těleso práci, jejíž velikost je dána plochou ohraničenou křivkou *A*, v pořadnici zatěžovací síly *F* a osou *X*.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Obr. 5.Opakované pravidelné zatěžování elastomeru

Jestliže naopak velikost zatížení postupně zmenšujeme až na nulu, pryžové těleso se postupně zkracuje, např. podle křivky *B*. Při tomto odlehčovacím procesu získáme práci, jejíž velikost je opět dána plochou ohraničenou křivkou *B*, pořadnicí zatěžovací síly *F* a osou *X*.

Tahová pružnost je poměr práce vrácené k práci dodané při plynulém zatěžování a následujícím plynulém odlehčováni standardního zkušebního pryžového tělesa. Udává se v %.

Poměrná statická hystereze je poměr rozdílu práce dodané a vrácené k práci dodané při plynulém zatěžování a následujícím plynulém odlehčování standardního zkušebního pryžového tělesa. Udává se v %.

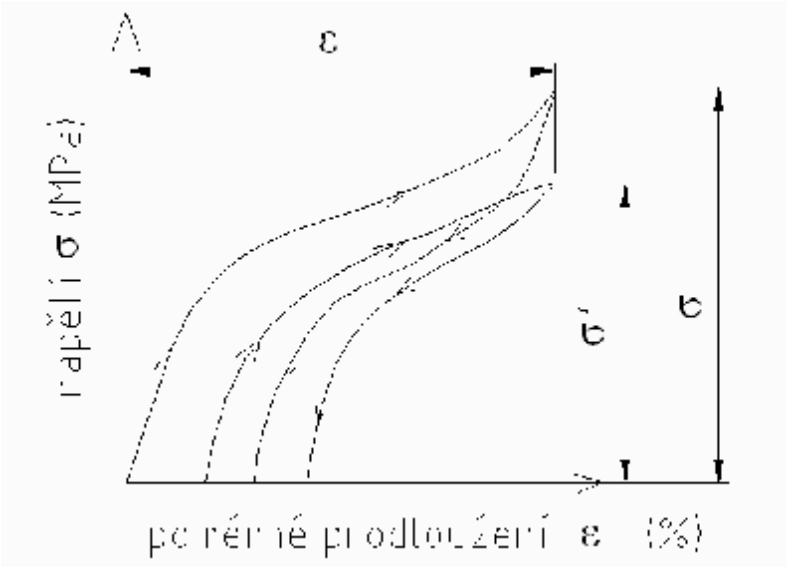
Odrazová pružnost pryže R_s je poměr energie vrácené k energii dodané při rázu. Vyjadřuje se v %. Zjišťuje se na eleastomeru Schopperově-Schobově podle ČSN 621480. (Z jiných zkušebních metod se používá ještě metody Lüpke.) Tato zkouška je určena pro kontrolu odrazové pružnosti pryžových materiálů, méně vhodná je pro zjišťování. elastických vlastností při vývojových zkouškách.

Poměrná statická relaxace je poměr rozdílu napětí ($\sigma - \sigma'$) při daném prodloužení ε k napětí σ při tomto prodloužení, přičemž druhé napětí σ' se stanoví za určitý časový interval

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

(zpravidla 10 minut) po uvolnění předcházejícího napětí. Udává se v %. Podle Obr. 6 je velikost poměrné statické relaxace dána vztahem

$$f_D = 100.\frac{(s - s')}{s} \tag{8}$$



Obr. 6. Opakované zatížení elastomeru s prodlevou

4.1.2 Zkouška pevnosti v tlaku

Tlakové zkoušky pryže jsou v gumárenské praxi méně obvyklé, hlavně proto, že průběh tlakové deformace se velmi obtížně vyhodnocuje.

Pevností v tlaku rozumíme největší zatížení vztažené na původní průřez, které zkušební těleso při tlakové zkoušce snese. Je dána vztahem:

$$s = \frac{F}{S} \tag{9}$$

Poměrné stlačení je poměr rozdílu výšky tělesa před stlačením *(h_o)* a po stlačení *(h)* k výšce před stlačením. Vyjadřuje se vztahem

$$e = \frac{(h - h_0)}{h_0} = \frac{\Delta h}{h_0} \tag{10}$$

Pro pružnou fázi tlakové deformace je konstantou úměrnosti mezi napětím a poměrným stlačením statický modul pružnosti v tlaku. Platí:

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$E = \frac{F/S}{\Delta h / h_0} = \frac{F}{S} . \frac{h_0}{\Delta h} \tag{11}$$

Tento vztah platí jen pro velmi malá stlačení, u nichž dochází k minimálním změnám tvaru vlivem tlaku.

Trvalá deformace pryže v tlaku je změna výšky zkoušeného tělesa, vyjádřená v procentech použité deformace. Zkušební těleso válcového tvaru (výšky h_o) se vloží mezi paralelní plochy stlačovacího zařízení, zatíží na zvolenou deformaci *(ho - v)*, jejíž velikost se řídí tvrdostí pryže, a těleso se po předepsanou dobu temperuje při stanovené teplotě. Po skončení zahřívacího cyklu se těleso vyjme a ochladí při teplotě místnosti, načež se změří jeho výška *h*. Trvalá deformace se vypočte ze vztahu

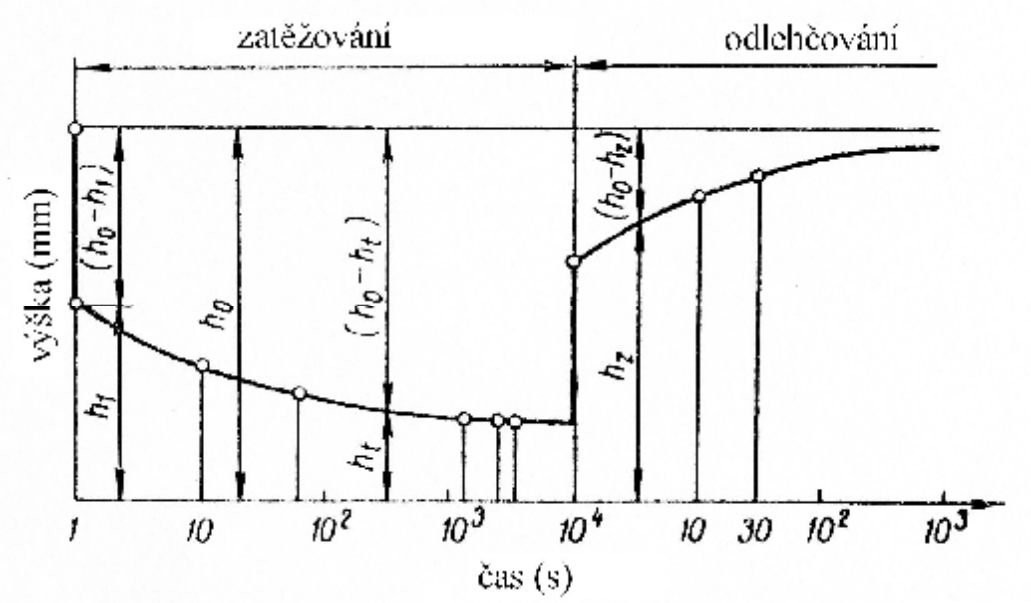
$$E = 100 . \frac{h_0 - h}{h_0 - v} \tag{12}$$

Už jsme se zmínili o tom, že u pryže, která je namáhána (je v silovém poli), je nutno přihlédnout k vlivu času. Pryž na namáhání (na vnější sílu) reaguje deformací (tj. změnou rozměrů a změnou tvaru), a to deformací elastickou a deformací plastickou.

Elastická deformace po uvolnění napětí vymizí. Podle časového průběhu rozeznáváme deformace ideálně elastické a viskoelastické. Ideálně elastická deformace je deformace dokonale vratná, časově nezávislá(okamžitá). Viskoelastická deformace je deformace vratná, avšak časově závislá (zpožděně elastická). Plastická deformace je deformace časově závislá, dokonale nevratná.

Ukažme si tento jev na pryžovém válečku výšky h_o. Průběh deformace je na Obr. 7. Po zatížení závažím konstantní velikosti (např. 100N) se výška válečku ihned (během jedné vteřiny) sníží na h_1.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Obr. 7. Časová závislost výšky deformovaného vzorku namáhaného tlakem

(platí pro každou deformaci)

Necháme-li konstantní zatížení působit, snižuje se výška pryžového dílce dále, projevuje se vliv času. Deformace pryžového dílce pokračuje podle retardační křivky (která je součtem exponenciálních křivek určených spektrem různých retardačních dob). Retardační křivka se teoreticky ustáli až po nekonečně dlouhé době; pro praxi vystačíme s hodnotou zjištěnou po několika hodinách. Průběh retardační křivky zakreslujeme z několika měření (zpravidla po 1, 10, 60 minutách, 24, 48 a 72 hodinách při metodě Roeligově). Pak zkušební těleso odlehčíme a odečítáme velikost deformace po určitých intervalech (např. po 1, 10 a 30 minutách).

Použijeme-li označení z Obr.7, bude platit:

Celková deformace po době zatížení *t* má velikost

$$h_o - h_t \qquad (13)$$

Časově nezávislá deformace (deformace ideálně elastická) má velikost

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

$$h_o - h_l \tag{14}$$

Časově závislá deformace (opožděná vratná elastická deformace a nevratný plastický tok) má velikost

$$h_l - h_t \tag{15}$$

Procentní statický tok je procentní přírůstek deformace v určitém

časovém intervalu a má velikost

$$100.\frac{(h_1 - h_t)}{h_0} \tag{16}$$

Může však být vztažen i na elastickou deformaci a pak má velikost

$$100.\frac{(h_1 - h_t)}{(h_0 - h_1)} \tag{17}$$

Trvalá deformace má velikost

$$h_o - h_z \tag{18}$$

kde h_z je výška zkušebního tělesa po určité době odlehčení.

Trvalá deformace nevymizí ani po velmi dlouhé době. Dá se zrušit pouze přívodem energie do dílce, v daném případě např. natažením odlehčeného válečku.

Tento vliv času se, projevuje i u kovových materiálů. Tuhé látky i kapaliny reagují na zatížení nikoliv okamžitě, ale až po jisté době. Rozhodujícím kritériem je však zjištění, zda tato doba je souměřitelná s dobou pozorování tohoto jevu a zda ovlivní chování látky způsobem pro praktické použití významným. Je-li tato doba z uvedeného důvodu zanedbatelná u kapalin a většiny tuhých látek, u elastomeru zanedbatelná není.

Již jsme se zmínili o tom, že v gumárenství rozumíme pod pojmem modul poměrné napětí, při kterém se dosáhne určitého předem zvoleného prodloužení pracovní části zkušebního tělesa.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Jestliže se omezíme pouze na elastické (časově nezávislé) deformace, užíváme i v gumárenství modulu, a to smluvního modulu pružnosti v tlaku, smluvního modulu pružnosti v tahu, modulu pružnosti v ohybu, modulu pružnosti ve smyku. Přitom se často atribut "pružnosti" vypouští a hovoří se pak o modulu v tlaku (nebo modulu *E)* a o modulu ve smyku (nebo modulu *G).*

Pro moduly pružnosti platí ovšem úměrnost, tj. že napětí je úměrné poměrné deformaci, přičemž konstantou úměrnosti je právě modul elasticity.

Rozlišuje se trvalá deformace v tlaku za konstantního zatížení a trvalá deformace v tlaku za konstantního stlačení. Trvalou deformaci v tlaku za konstantního zatížení jsme právě popsali v Obr.7. Při měření velikosti trvalé deformace v tlaku za konstantního stlačení zatížíme zkušební váleček místo závažím konstantní velikosti stlačením konstantní velikosti.

Platí:

$$\sigma = \varepsilon.E, \tag{19}$$

$$\tau = \gamma.G, \tag{20}$$

kde:

σ – tahové napětí v tahu nebo tlaku

τ – smykové napětí

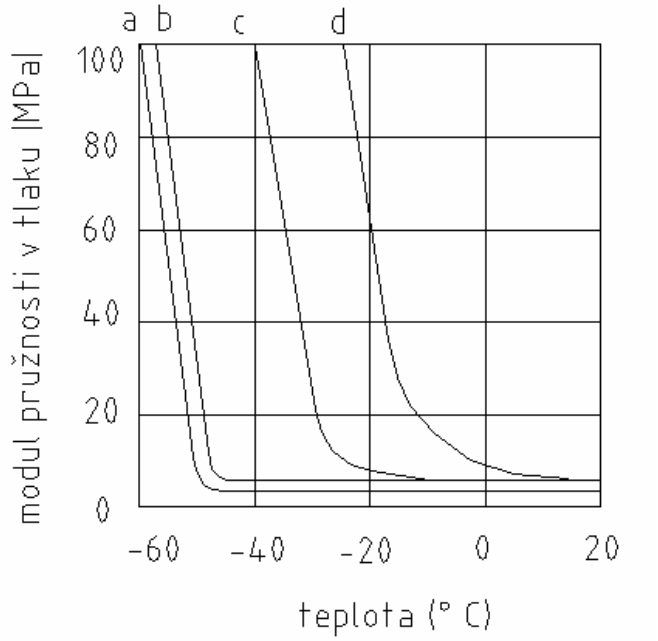
ε - poměrná deformace

γ - poměrná smyková deformace

E – smluvní modul pružnosti (v tahu nebo v tlaku) E = (3 – 7)G

G - modul elasticity ve smyku .

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



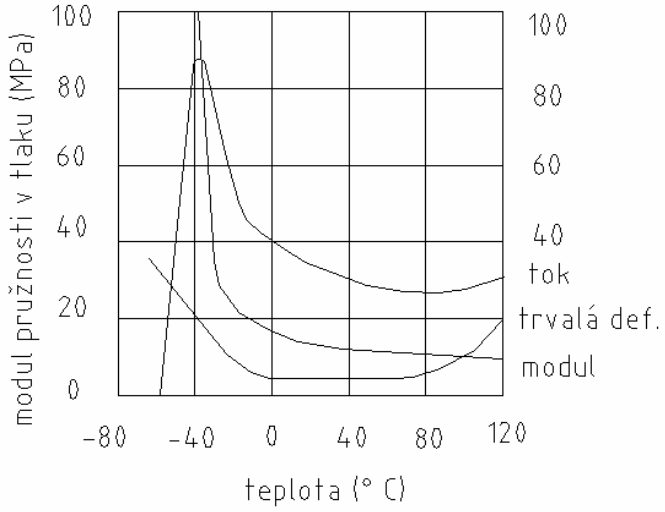
Obr. 8. Modul pružnosti v tlaku v závislosti na teplotě

pro vulkanizáty s kaučuky a - NR, b - SBR, c - NBR, d - CR

Poznámka:

Velikost smluvního modulu v tlaku je závislá na různých faktorech.

Obr. 8. ukazuje, že charakter závislosti tohoto modulu na teplotě je pro různé druhy kaučuku týž, pouze křivka je jako celek posunuta ve směru teplotní osy.



Obr. 9. Vliv teploty na změnu modulu pružnosti v tlaku,

trvalou deformaci a tok vulkanizátu pro stejný vulkanizát

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Na obr. 9 je znázorněn vliv teploty u téhož elastomeru na modul pružnosti v tlaku, na velikost toku a na velikost trvalé deformace (v procentech celkové deformace). Při teplotě -50°C nastává sklovitý stav. Hodnota modulu je velmi vysoká, velikost toku je malá. Křivka toku prochází maximem, které leží v oblasti teplot, při nichž nastává sklovitý stav. V oblasti teplot běžného použití prochází křivka toku minimem, při vyšších teplotách začne opět stoupat. U kaučukových směsí lze vhodnou volbou elastomeru a vhodnou skladbou směsi tuto křivku posunovat jako celek ve směru osy teplot a do jisté míry i ve směru kolmém na osu teplot.

Modul zjištěný na dílcích z různých elastomerů namáhaných tlakem není vlastně materiálovou konstantou, protože je kromě závislosti na teplotě (a na frekvenci, jak bude ukázáno dále) silně.závislý i na tvaru tělesa. Přitom musí být splněna důležitá podmínka, aby elastomerní těleso mělo při tlakovém namáhání možnost deformace do stran (kolmo na směr tlaku). Není-li tato podmínka splněna, jde o elastomerní těleso prostorově uzavřeno, bez možnosti deformace do stran (kolmo na směr tlaku); pak zjišťujeme modul objemové pružnosti, který budeme označovat *K*. U elastomeru dosahuje modul objemové pružnosti řádově velikosti 10^4 MPa

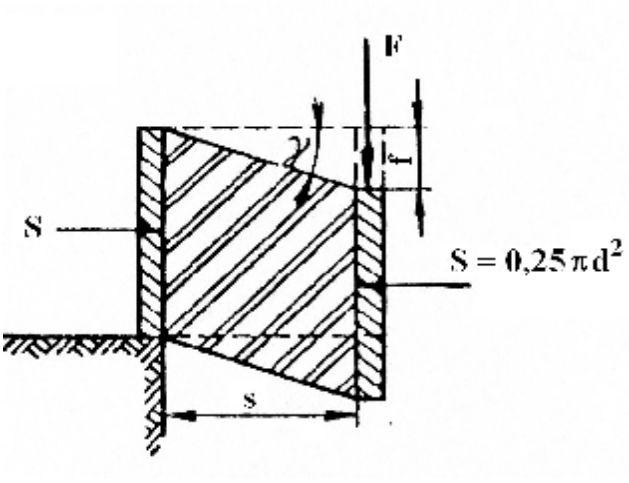
Mnoha zkouškami bylo potvrzeno, že konstrukční elastomerní dílce téhož tvarového faktoru a z elastomeru téže tvrdosti mají týž modul pružnosti bez zřetele na rozměry dílce. Předpokladem je tedy táž tvrdost elastomeru, udávaná ve stupních Shorových, má stejný tvarový faktor.

4.1.3 Smyk

Další důležitou veličinou je statický modul pružnosti ve smyku, který se zpravidla označuje G_{stat} nebo G_s. Je to poměr smykového napětí k poměrnému posunutí (zkosu). Má konstantní velikost, jestliže předpokládáme lineární závislost mezi smykovým napětím a zkosem. Vyjadřuje se v MPa.

Velikost statického modulu pružnosti ve smyku se u elastomeru stanoví na zkušebním tělese, jehož elastomerní část má tvar válce s čely navulkanizovanými na kovové příložky. Zjišťuje se závislost smykové deformace na zatěžovací síle.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Obr. 10. Smykové namáhání

Podle obr.10. platí:

$$G_s = \frac{F}{S} \tag{21}$$

kde:

τ- je průměrné smykové napětí τ=F/S [MPa]

F - velikost zatěžovací síly [N]

S - πr^2, čelní plocha zkušebního tělesa [m^2]

γ - zkos [radiální]

γ - *f/s* (pro malé deformace)

f - velikost deformace [m] ve směru síly *F*

s - výška vzorku před zkouškou [m].

Po dosazení obdržíme pro Gs

$$G_s = \frac{t}{g} = \frac{F.s}{S.f} = \frac{F.s}{f.S} \tag{22}$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

4.1.4 Tvrdost

Tvrdost je vlastnost elastomeru odporovat vtlačování cizího předmětu zvenčí. Měrnou jednotkou tvrdosti elastomeru je dílek Shorovy stupnice rozdělené na 100 stejných dílků. Označuje se °Sh. Podstatou stanovení tvrdosti elastomeru podle Shora je měření odporu proti vtlačování ocelového hrotu (normalizovaného tvaru) do zkoušeného tělesa elastomeru. Hodnoty tvrdosti získané jinými metodami (Pusey Jones, DYM, BS na vibračním tvrdoměru apod.) se převádějí na Shorovy stupně pomocí převodních tabulek. Nově se využívá metoda IRHD, která dovoluje měření tvrdosti vzorků malých tlouštěk.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

5 TVAROVÝ FAKTOR

Tvarový faktor je poměr zatížené plochy dílce k volné ploše tohoto dílce (neplatí pro složité tvary). Tvarový faktor má tedy velikost nula pro tenké, nekonečně dlouhé elastomerní vlákno zatížené v ose. Tvarový faktor má velikost ∞ pro nekonečně tenkou desku nekonečně rozlehlou, zatíženou kolmo na povrch. Vždy však musí být postaráno o to, aby elastomerní materiál neměl ve styčných plochách možnost pohybu (tedy aby byl navulkanizován na podložku nebo jinak uchycen).

Tvarový faktor pro plný elastomerní válec výšky *h* a průměru *d* osově zatížený bude mít velikost:

$$\frac{pd^2}{4pdh} = \frac{1}{4}\frac{d}{h} \tag{23}$$

resp. 0,25 pro *d* = *h*.

Tvarový faktor pro dutý válec výšky *h*, o vnějším průměru *D* a vnitřním průměru *d*, osově zatížený, bude mít velikost:

$$\frac{p\left(D^2 - d^2\right)}{4p\left(D + d\right)h} = \frac{\left(D - d\right)}{4h} \tag{24}$$

resp. 0,25 pro *d* = *h*.

Tvarový faktor pro hranol výšky *h* a o rozměrech základny *a,b*, zatížený kolmo na základnu, bude mít velikost

$$\frac{ab}{2h(a+b)} \tag{25}$$

Pro čtvercovou základnu pak:

$$\frac{a^2}{2h.2a} = \frac{a}{4h} \tag{26}$$

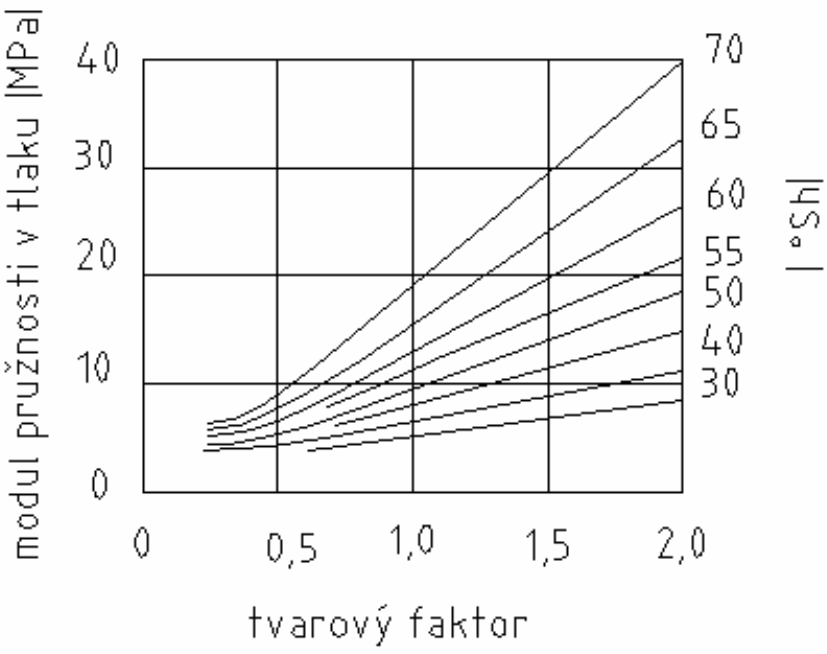
Pro dutý hranol se čtvercovou základnou s rozměry *A* a *a* bude tvarový faktor:

$$\frac{\left(A^2 - a^2\right)}{4h(A+a)} = \frac{\left(A - a\right)}{4h} \tag{27}$$

Velikosti modulu elastomeru v tlaku, v tahu a ve smyku pro různé elastomery lišící se tvrdostí jsou vyneseny graficky v Obr.11 až 13 v závislosti na velikosti tvarového

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

faktoru. Jsou zde udány průměrné hodnoty, které jsou pochopitelně navíc zatíženy nepřesnostmi vzniklými při měření tvrdosti elastomeru.



Obr. 11. Modul pružnosti vulkanizátu v tlaku v závislosti na tvarovém faktoru pro vulkanizáty o různé tvrdosti (deformace 0-20%)

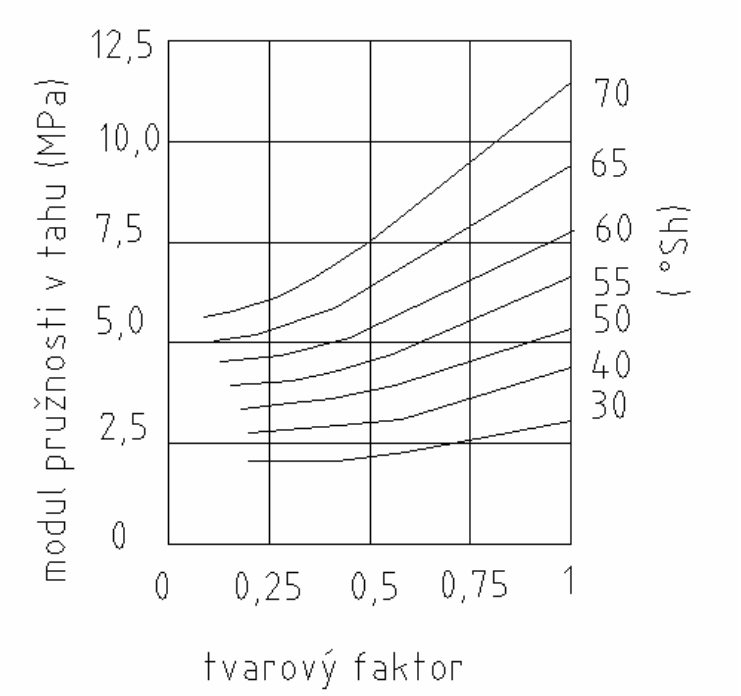
Údaje modulu v tlaku platí až do deformací dosahujících 20 % původní výšky. V tomto rozmezí se křivka v diagramu zatížení-stlačení u konkrétních elastomerních dílců nahrazuje přímkou a pro výpočet se používá úměrnosti deformace a napětí.

Jak je patrno z obrázků, je modul v tlaku silně závislý na tvarovém faktoru. Tím se poněkud komplikuje výpočet elastomerních dílců pro tento druh namáhání. Na druhé straně je však možno tuto vlastnost považovat za výhodnou; umožňuje u téhož elastomeru v širokých mezích měnit vlastnosti výrobku změnou tvaru (při zachování objemu).

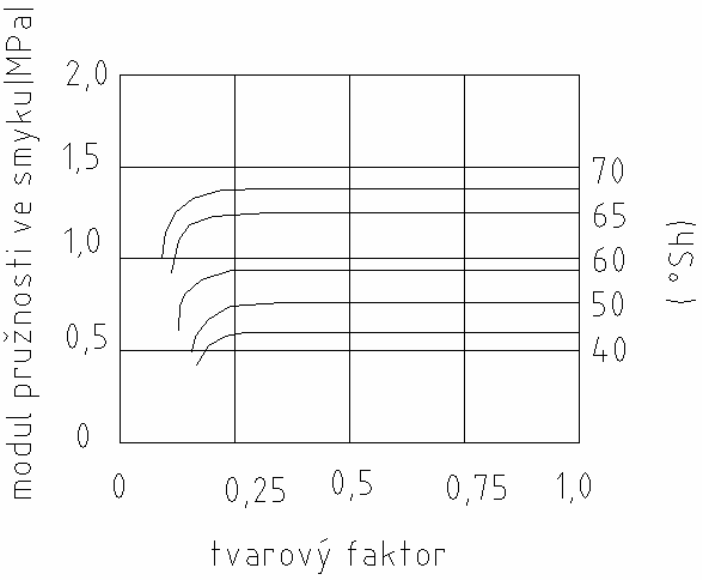
Moduly v tahu mají tvarově obdobný průběh jako moduly v tlaku, liší se jen absolutní velikostí. Modul v tahu má menší význam, protože používání elastomerních dílců pro tahové namáhání není výhodné.

Důležitý je průběh modulu ve smyku.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Obr. 12. Modul pružnosti vulkanizátu v tahu v závislosti na tvarovém činiteli - faktoru pro vulkanizáty o různé tvrdosti (deformace 0-20%)



Obr.13. Modul pružnosti vulkanizátu ve smyku v závislosti na tvarovém činiteli - faktoru pro vulkanizáty o různé tvrdosti (deformace 0-20%)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Z Obr.13. je zřejmé, že od tvarového faktoru 0,5 je tento modul na rozměrech dílce nezávislý. Nutno si uvědomit, že při tvarovém faktoru pod 0,5 se kromě smykového namáhání elastomerního členu objevuje i jeho namáhání ohybem, proto se projevuje i příslušný podíl modulu v tlaku, resp. v ohybu.

Při řešení tvarového faktoru se vychází ze dvou základních vzorečků pro výpočet napětí. Kde F je zatěžující síla, S je plocha na kterou působí síla F, k je tvarový faktor, E je modul pružnosti v tlaku a ε je deformace při zatížení.

$$s = \frac{F}{k.S} \tag{28}$$

$$s = k.E.e \tag{29}$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

6 SHRNUTÍ TEORETICKÉ ČÁSTI

Teoretická část se zabývala problematikou elastomerních materiálu. V této části bylo uvedeno složení elastomerních směsí, byly zde popsány kaučuky, plniva, vulkanizační činidla, aktivátory vulkanizace, retardéry vulkanizace. Dále zde byla popsána vulkanizace, její průběh a technologický postup. V teoretické části jsou také popsány vlastnosti elastomerních materiálů, a to fyzikální vlastnosti. Tato kapitola obsahuje popis tvrdosti, pevnosti, tažnosti, modulu pružnosti, strukturní pevnosti a hyperelasticity. Při studii tvarového faktoru u elastomerních prvků bude provedena tlaková zkouška, proto bylo v teoretické části uvedeno statické namáhání elastomerů. Dále byla v teoretické části uvedena teorie o tvarovém faktoru.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

II. PRAKTICKÁ ČÁST

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

7 STANOVENÍ CÍLŮ A METOD PRAKTICKÉ ČÁSTI

Tato diplomová práce neobsahuje jen studii tvarového faktoru, ale jejím úkolem je i navrhnout a vyrobit lisovací formu pro zkušební tělesa. Takže v praktické části bude uvedena konstrukce a zhotovení lisovací formy. Potom bude následovat vlastní studie tvarového faktoru. Nejdříve bude proveden analytický výpočet tvarového faktoru a výpočet napětí při deformaci, následně bude provedena simulace tlakové zkoušky pomocí výpočtového programu MSC a na konec práce bude provedena třetí metoda vyhodnocování, a to tlaková zkouška na zkušebním zařízení. V závěru této práce jsou všechny tři metody srovnány.

7.1 Cíl práce

Cílem této práce je prostudovat tvarový faktor a seznámit se s touto problematikou. Dále ověřit si jakou metodou je nejpřesnější posuzovat a vyhodnocovat tvarový faktor.

7.2 Metody měření a výpočtů

V diplomové práci jsou tři metody. První metoda je analytická, kde jsou uvedeny výpočty jednotlivých tvarových faktorů a výpočet napětí při požadované deformaci. Druhou metodou je simulace tlakové zkoušky pomocí výpočtového programu. Třetí metoda je provedení tlakové zkoušky na zkušebním zařízení ZWICK. Všechny tři metody jsou porovnány v závěru práce.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

8 LISOVACÍ FORMA

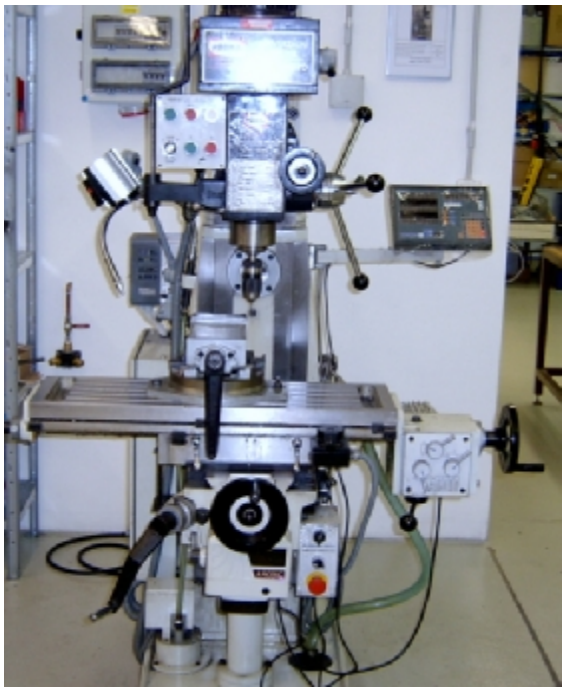
Pro diplomovou práci je zapotřebí navrhnout a poté vyrobit lisovací formu na zkušební tělesa různých tvarů, které budou použity pro studii tvarového faktoru. Při návrhu formy je kladen důraz na jednoduchost výroby a univerzálnost. Je zapotřebí, aby se dala na jedné formě pouze výměnou tvarových částí odlisovat různé zkušební tělesa.

8.1 Konstrukce lisovací formy

Podrobný návrh a konstrukce lisovací formy byla provedena v programu AutoCAD 2004. Jednotlivé sestavy s přesným opozicováním jsou uvedeny v příloze P I a P II, viz. přiložené CD. Výrobní výkresy jednotlivých částí formy s přesnými rozměry jsou rovněž v příloze P III – P XIV, viz. přiložené CD.

8.2 Výroba lisovací formy

Lisovací forma byla vyrobena ve školních dílnách na univerzální frézce FHV – 50 PD.



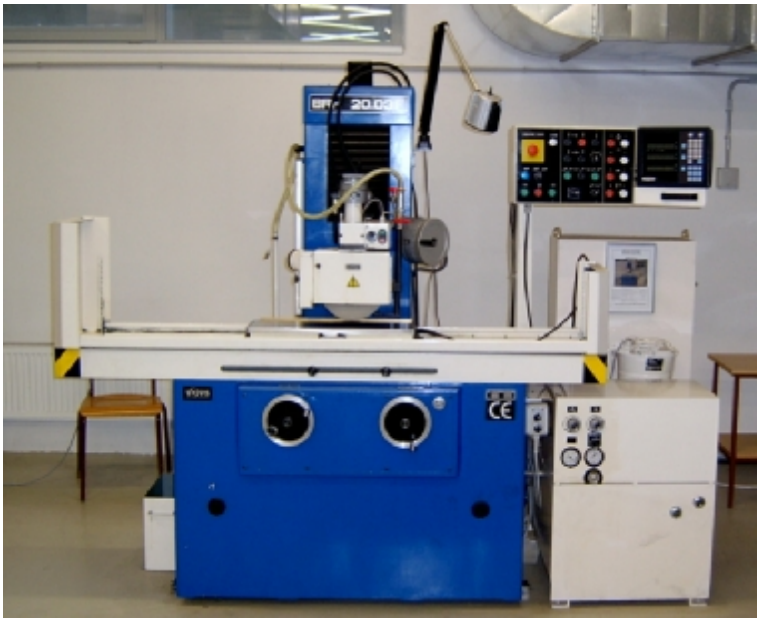
Obr. 14. Univerzální frézka FHV – 50 PD

Dále na soustruhu univerzálním hrotovém TOS Žebrák – S32.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Obr. 15. Soustruh univerzální hrotový TOS zebrák – S32

Broušení požadovaných ploch bylo provedeno na brusce rovinné BRH 20.03 F .



Obr. 16. Bruska rovinná BRH 20.03 F .

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

8.3 Základní části lisovací formy

8.3.1 Upínací desky

Upínací desky slouží k upnutí do lisu a dále tvoří základnu pro sestavení formy. K upínacím deskám jsou přišroubovány tvarové desky.

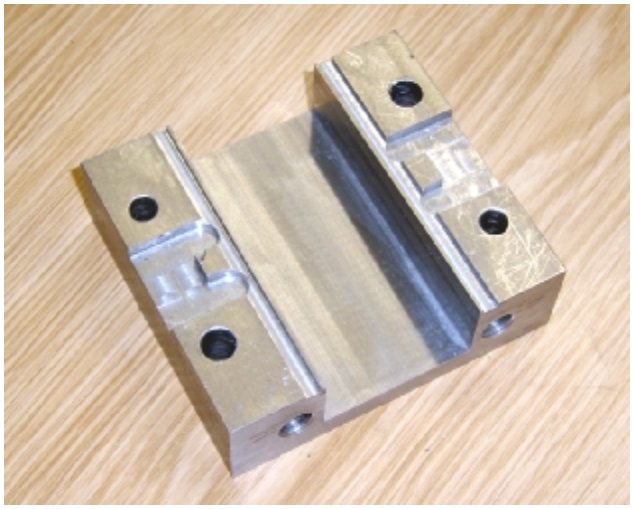
Obr. 17. Upínací deska

8.3.2 Tvarové desky

Tvarové desky jsou navrženy tak, aby se daly měnit a tím můžeme lisovat různé tvary zkušebních těles. Tvarové desky jsou dvě - horní a dolní, a to pro dva různé tvary: pro tělesa čtvercového průřezu a kruhového průřezu. Dále pomocí jader můžou být tělesa s dírou, a to buď čtvercovou nebo válcovou.

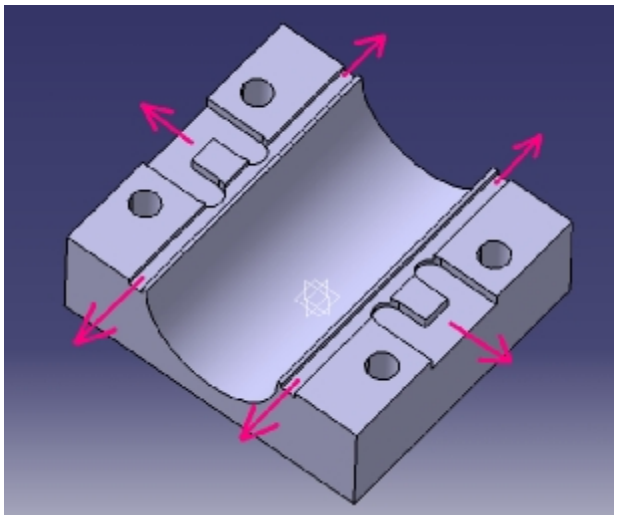
Obr. 18. Tvarová deska s válcovou dutinou

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Obr. 19.Tvarová deska s čtvercovou dutinou

Horní tvarová deska se liší od spodní tvarové desky přetokovou dutinou, ta slouží k odvodu přebytečného materiálu.

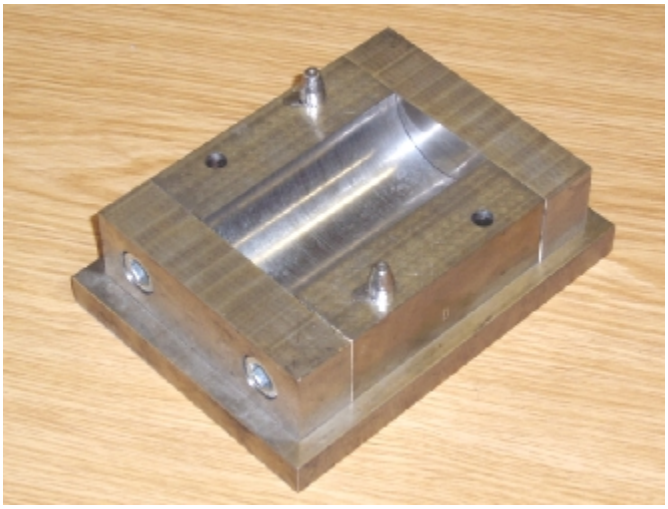


Obr. 20. Schéma odvodu přebytečného materiálu

8.3.3 Bočnice

Bočnice slouží k uzavření dutiny formy, jsou rozděleny na spodní a horní, přičemž spodní bočnice může být plná nebo s půlkruhovou drážkou pro umístění jádra. Bočnice jsou přišroubovány k tvarovým deskám.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

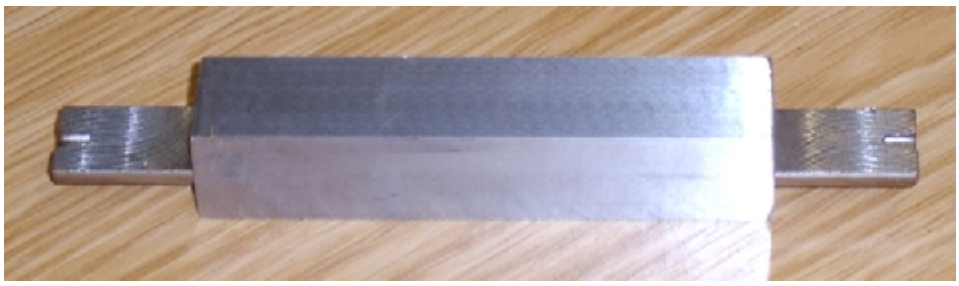


Obr. 21. Spodní dutina formy s bočnicemi

Obr. 22. Bočnice s půlkruhovou drážkou pro umístění jádra

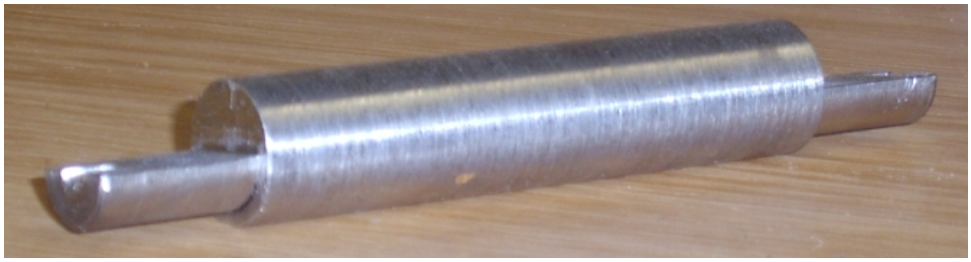
8.3.4 Jádra

Jádro slouží k vytvoření dutiny v lisovaném tělese a tím se může měnit průřez tělesa. Jádro je buď kruhového průřezu, nebo čtvercového průřezu.

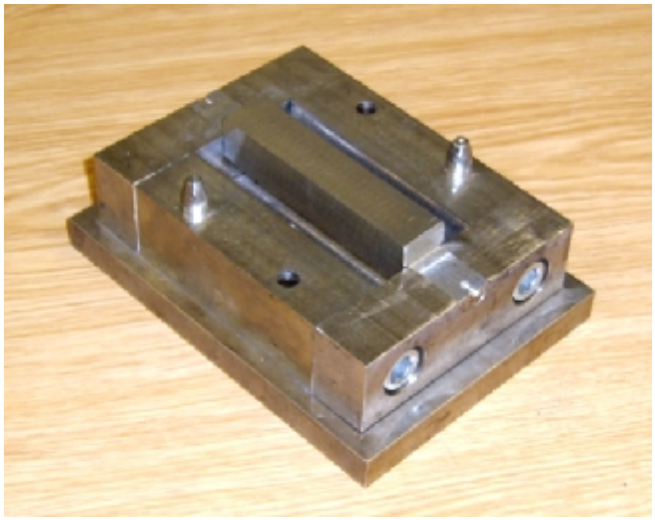


Obr. 23. Jádro čtvercového průřezu

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



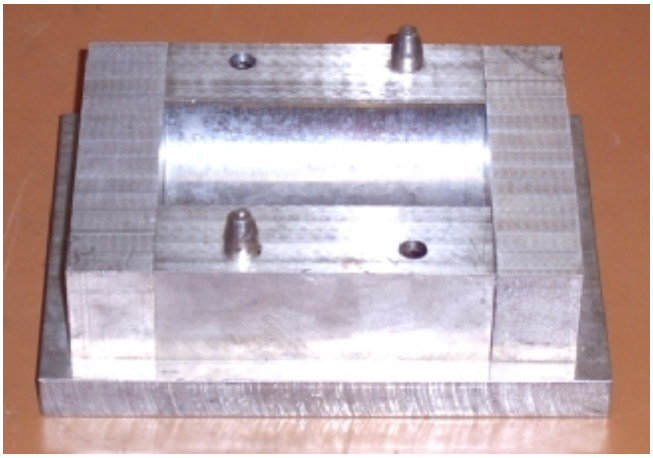
Obr. 24. Jádro kruhového průřezu



Obr. 25. Spodní část formy s jádrem

8.3.5 Vodící čepy

Vodící čepy slouží k přesnému slícování a dosednutí horní a spodní části formy.



Obr. 26. Spodní část formy s vodícími čepy.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

8.3.6 Lisovací forma

Forma je tvořena z horní a spodní části, je navržena formou stavebnice, takže je možné jednotlivé části formy měnit podle potřeby.

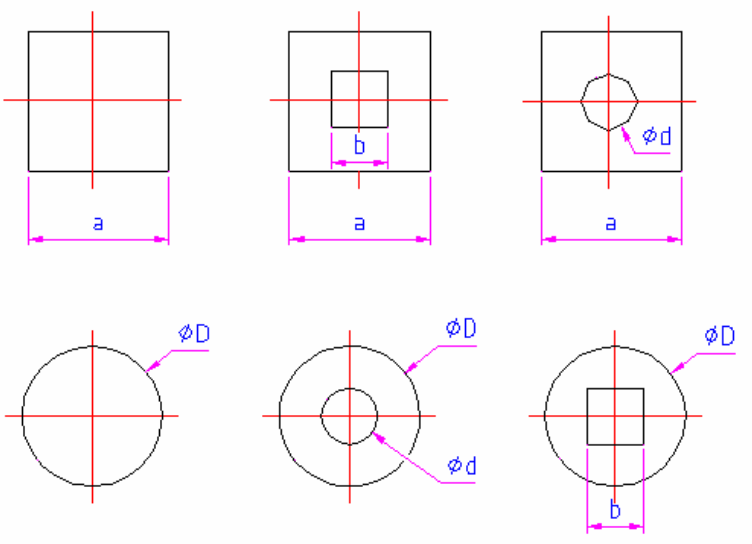
Obr. 27. Lisovací forma

Obr. 28. Spodní a horní část lisovací formy

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

9 ZKUŠEBNÍ TĚLESA

Pro studii tvarového faktoru byla navržena zkušební tělesa čtvercového a kruhového průřezu, a to jak plné, tak s dírou čtvercového průřezu nebo válcovou dírou. Tyto tvary byly zvoleny s ohledem na použití v praxi, například jako tlumící prvky nebo silentbloky.

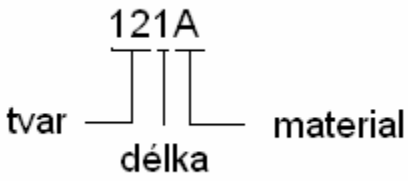


Obr. 29. Použité zkušební tělesa

a = 49mm, D = 49mm, b = 20mm, d = 20mm, l = 100mm, 50mm, 25mm

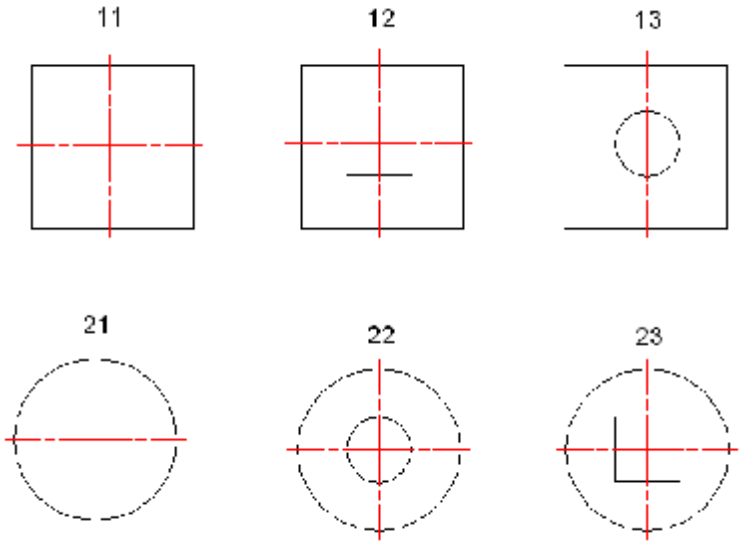
9.1 Označení zkušebního tělesa

Pro systematické označování vzorků byla vytvořena metodika uvedená na schématu.



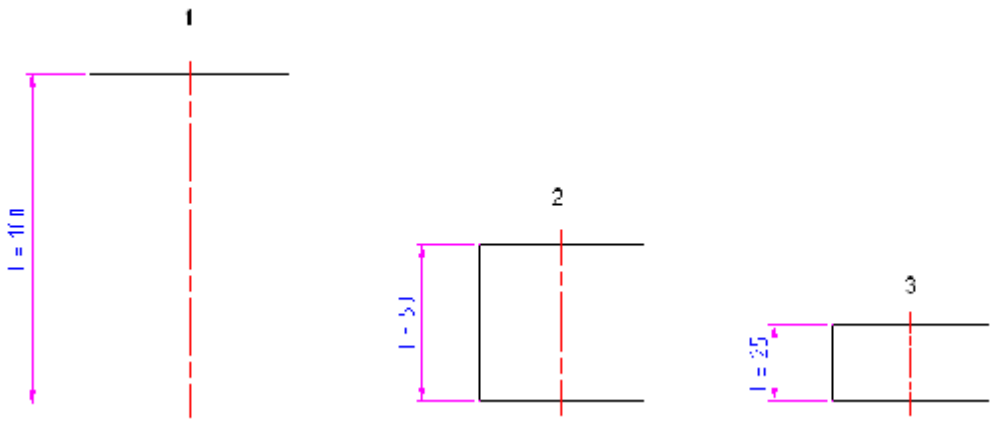
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Označení tvarů:



Obr. 30. Označení tvarů

Označení délek:



Obr. 31. Označení délek

Označení materiálů:

A → směs S 1234

B → směs T 426

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

9.2 Lisování zkušebních těles

Lisování těles proběhlo ve školních dílnách na ručním lisu. Doba setrvání jednoho zkušebního tělesa v lisu byla 25minut. Teplota, na kterou byla forma vyhřátá, činila 170˚C.

Obr. 32. Lis

9.3 Materiál zkušebních těles

Zkušební tělesa jsou vyrobena z pneumatikářských směsí. Pro naše zkoušky byly použity dvě směsi, bočnicová s označením S 1234 a běhounová s označením T 426. Směs S 1234 obsahuje 100% NR. Směs T 426 je složena z 50% SBR a z 50% NR. Ostatní složení a vlastnosti směsí nejsou známé. Směsi byly dodány z firmy BACO Otrokovice.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

10 VÝPOČET TVAROVÉHO FAKTORU, VÝŠKY A NAPĚTÍ

10.1 Výpočet tvarového faktoru k

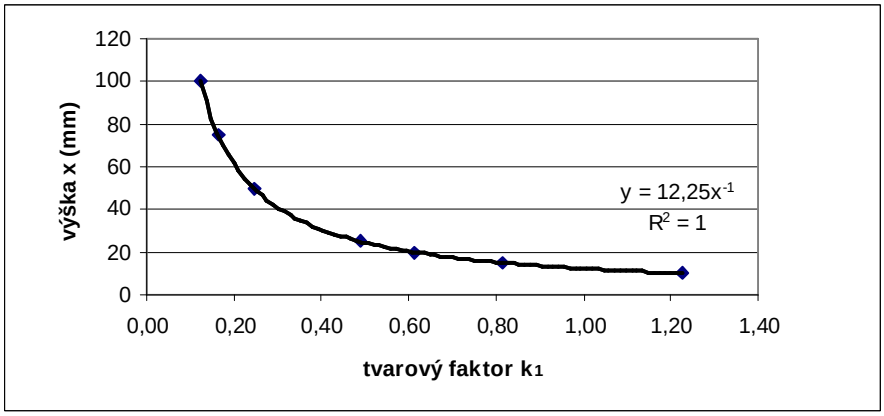
Pro zvolené výšky vypočítáme tvarové faktory. V následující části je vždy nejprve uveden vzoreček pro výpočet tvarového faktoru pro konkrétní tvar tělesa.

a) Plný hranol:

$$k_1 = \frac{S_z}{S_v} = \frac{a^2}{4a.x} = \frac{a}{4x} \tag{30}$$

Tab. 1. Hodnoty tvar. faktoru pro plný hranol

výška x (mm)	a=49mm	tvar.faktor k_1
10	49	1,225
15	49	0,817
20	49	0,613
25	49	0,490
50	49	0,245
75	49	0,163
100	49	0,123



Graf 1. Závislost tvar. faktoru na výšce pro plný hranol

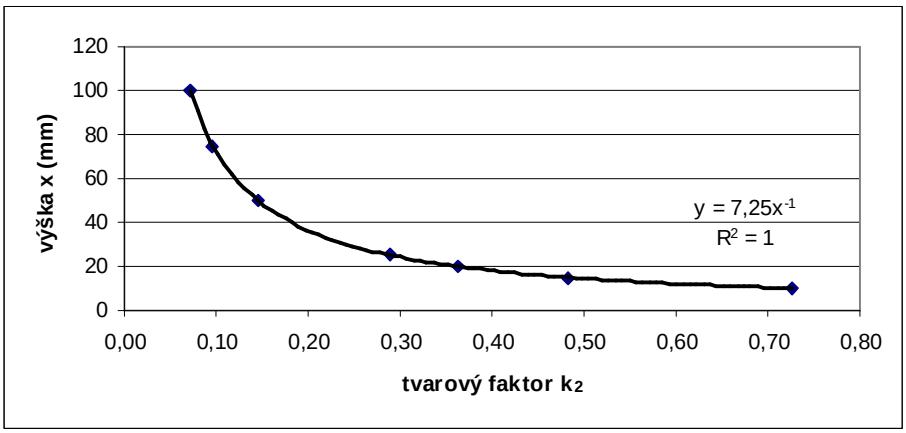
b) Hranol s dírou čtvercového průřezu:

$$k_2 = \frac{S_z}{S_v} = \frac{a^2 - b^2}{4x.(a+b)} = \frac{a-b}{4x} \tag{31}$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Tab. 2. Hodnoty tvar. faktoru pro hranol s dírou čtverc. průřezu

výška x (mm)	a=49mm	b=20mm	tvar.faktor k_2
10	49	20	0,725
15	49	20	0,483
20	49	20	0,363
25	49	20	0,290
50	49	20	0,145
75	49	20	0,097
100	49	20	0,073



Graf 2. Závislost tvar. faktoru na výšce pro hranol s dírou čtvercového průřezu

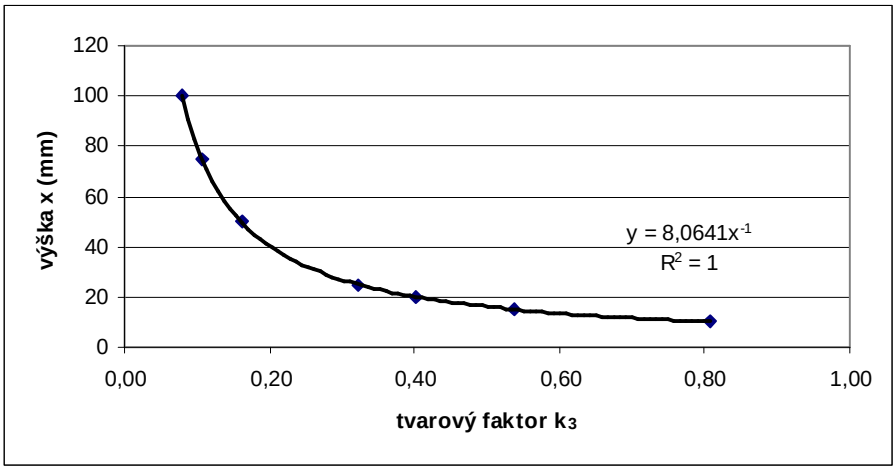
c) Hranol s válcovou dírou:

$$k_3 = \frac{S_z}{S_v} = \frac{a^2 - \frac{p.d^2}{4}}{(4a + pd).x} \tag{32}$$

Tab. 3. Hodnoty tvar. faktoru pro hranol s válc. dírou

výška x (mm)	a=49mm	d=20mm	tvar.faktor k_3
10	49	20	0,806
15	49	20	0,538
20	49	20	0,403
25	49	20	0,323
50	49	20	0,161
75	49	20	0,108
100	49	20	0,081

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



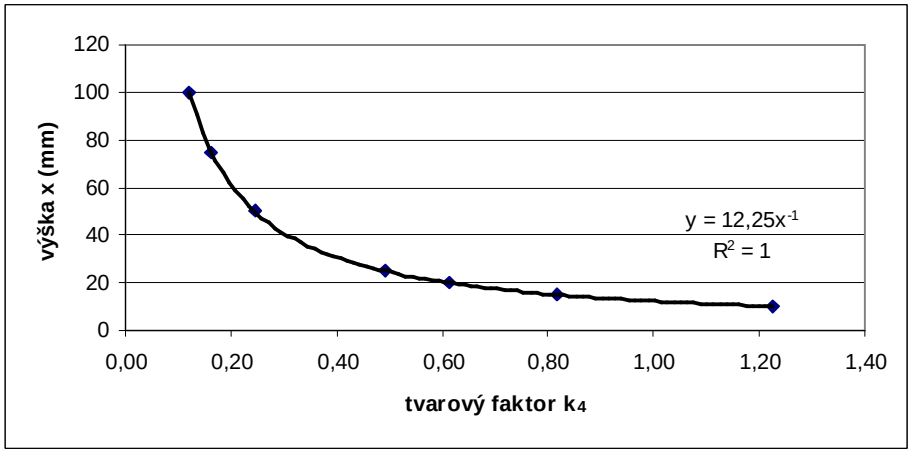
Graf 3. Závislost tvar. faktoru na výšce pro hranol s válc. dírou

d) Plný válec:

$$k_4 = \frac{S_z}{S_v} = \frac{\frac{p.D^2}{4}}{p.D.x} = \frac{D}{4x} \qquad (33)$$

Tab. 4. Hodnoty tvar. faktoru pro plný válec

výška x (mm)	D=49mm	tvar.faktor k_4
10	49	1,225
15	49	0,817
20	49	0,613
25	49	0,490
50	49	0,245
75	49	0,163
100	49	0,123



Graf 4. Závislost tvar. faktoru na výšce pro plný válec

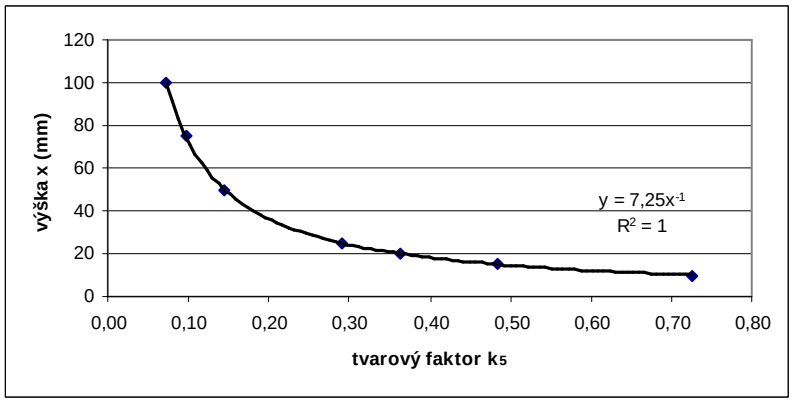
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

e) Válec s válcovou dírou:

$$k_5 = \frac{S_z}{S_v} = \frac{\frac{p.D^2}{4} - \frac{p.d^2}{4}}{p.D.x + p.d.x} = \frac{D-d}{4x} \qquad (34)$$

Tab. 5. Hodnoty tvar. faktoru pro válec s válc. dírou

výška x (mm)	D=49mm	d=20mm	tvar.faktor k_5
10	49	20	0,725
15	49	20	0,483
20	49	20	0,363
25	49	20	0,290
50	49	20	0,145
75	49	20	0,097
100	49	20	0,073



Graf 5. Závislost tvar. faktoru na výšce pro válec s válc. dírou

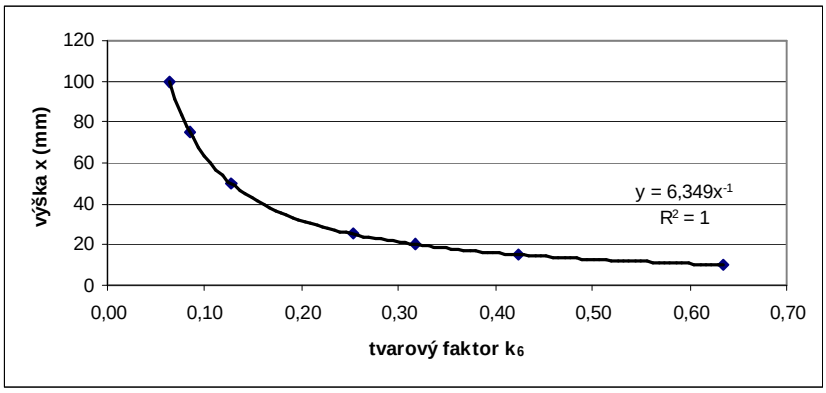
f) Válec s dírou čtvercového průřezu:

$$k_6 = \frac{S_z}{S_v} = \frac{\frac{p.D^2}{4} - b^2}{p.D.x + 4b.x} \qquad (35)$$

Tab. 6. Hodnoty tvar. faktoru pro válec s dírou čtverc. průřezu

výška x (mm)	D=49mm	b=20mm	tvar.faktor k_6
10	49	20	0,635
15	49	20	0,423
20	49	20	0,317
25	49	20	0,254
50	49	20	0,127
75	49	20	0,085
100	49	20	0,063

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Graf 6. Závislost tvar. faktoru na výšce pro válec s dírou čtverc. průřezu

10.2 Výpočet výšky x

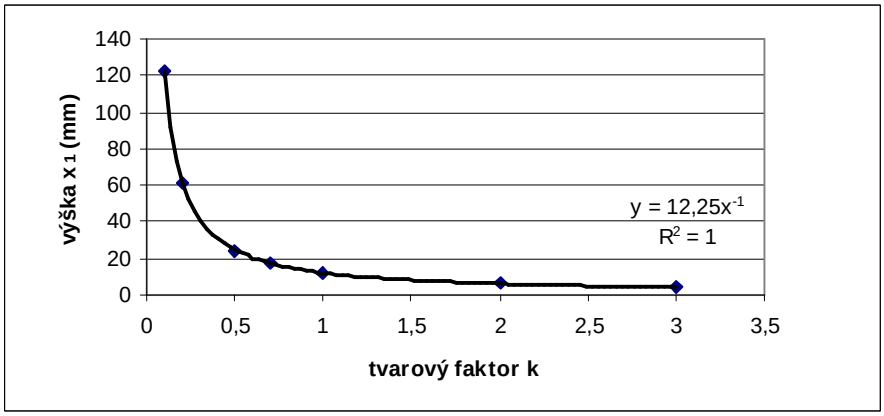
Pro zvolené tvarové faktory vypočítáme výšky zkušebních těles. V následující části je vždy nejprve uveden vzoreček pro výpočet výšky x pro konkrétní tvar tělesa.

a) Plný hranol:

$$x_1 = \frac{S_z}{S_v} = \frac{a^2}{4a.x} = \frac{a}{4k} \qquad (36)$$

Tab. 7. Hodnoty výšky x pro plný hranol

tvar.faktor k	a=49mm	výška x_1(mm)
0,1	49	122,500
0,2	49	61,250
0,5	49	24,500
0,7	49	17,500
1	49	12,250
2	49	6,125
3	49	4,083



Graf 7. Závislost tvar. faktoru na výšce pro plný hranol

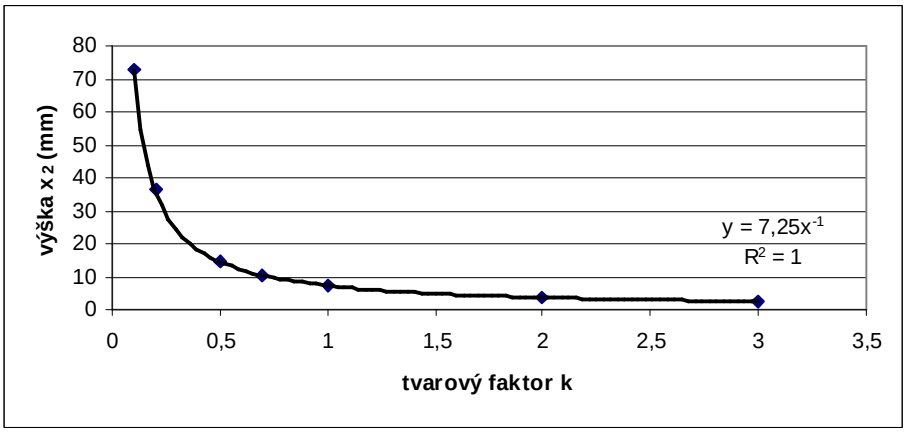
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

b) Hranol s dírou čtvercového průřezu:

$$x_2 = \frac{S_z}{S_v} = \frac{a^2 - b^2}{4k.(a+b)} = \frac{a-b}{4k} \tag{37}$$

Tab. 8. Hodnoty výšky x pro hranol s dírou čtverc. průřezu

tvar.faktor k	a=49mm	b=20mm	výška x_2(mm)
0,1	49	20	72,500
0,2	49	20	36,250
0,5	49	20	14,500
0,7	49	20	10,357
1	49	20	7,250
2	49	20	3,625
3	49	20	2,417



Graf 8. Závislost tvar. faktoru na výšce pro hranol čtverc. průřezu

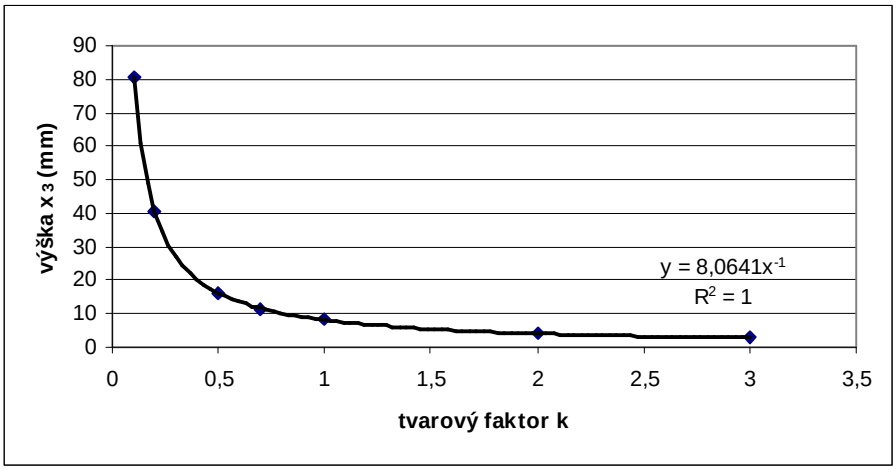
c) Hranol s válcovou dírou:

$$x_3 = \frac{S_z}{S_v} = \frac{a^2 - \frac{p.d^2}{4}}{(4a+pd).k} \tag{38}$$

Tab. 9. Hodnoty výšky x pro hranol s válc. dírou

tvar.faktor k	a=49mm	d=20mm	výška x_3(mm)
0,1	49	20	80,641
0,2	49	20	40,321
0,5	49	20	16,128
0,7	49	20	11,520
1	49	20	8,064
2	49	20	4,032
3	49	20	2,688

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



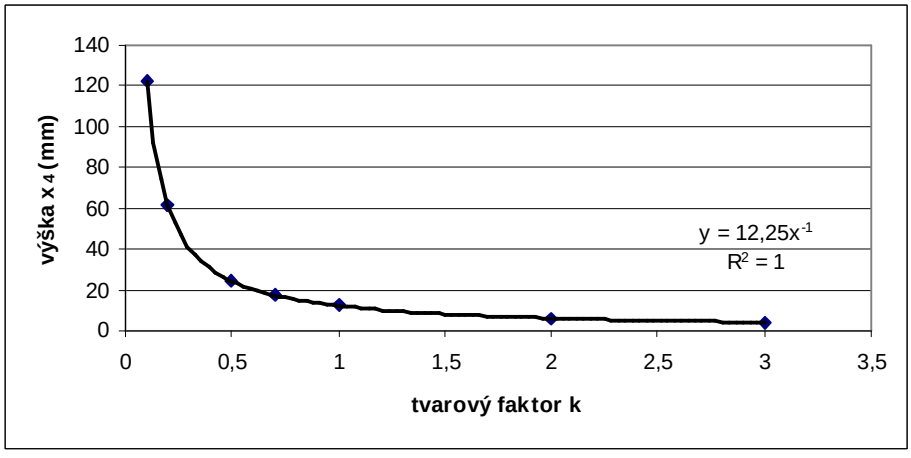
Graf 9. Závislost tvar. faktoru na výšce pro hranol s válc. dírou

d) Plný válec:

$$x_4 = \frac{S_z}{S_v} = \frac{\frac{p.D^2}{4}}{p.D.k} = \frac{D}{4k} \tag{39}$$

Tab. 10. Hodnoty výšky x pro plný válec

tvar.faktor k	D=49mm	výška x_4(mm)
0,1	49	122,500
0,2	49	61,250
0,5	49	24,500
0,7	49	17,500
1	49	12,250
2	49	6,125
3	49	4,083



Graf 10. Závislost tvar. faktoru na výšce pro plný válec

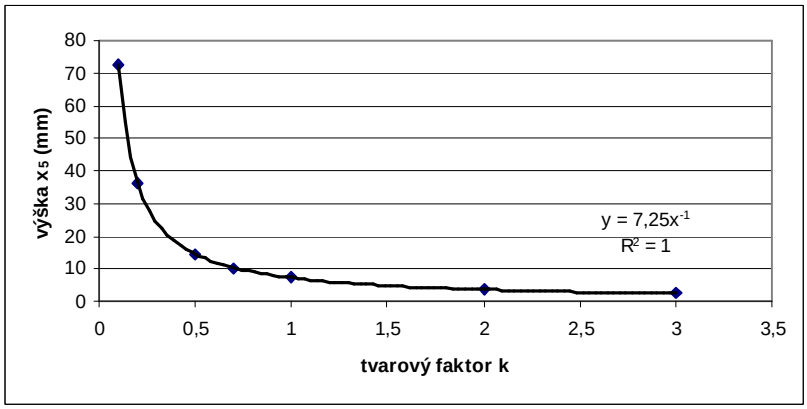
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

e) Válec s válcovou dírou:

$$x_5 = \frac{S_z}{S_v} = \frac{\frac{p.D^2}{4} - \frac{p.d^2}{4}}{p.D.k + p.d.k} = \frac{D-d}{4k} \qquad (40)$$

Tab. 11. Hodnoty výšky x pro válec s válc. dírou

tvar.faktor k	D=49mm	d=20mm	výška x_5(mm)
0,1	49	20	72,500
0,2	49	20	36,250
0,5	49	20	14,500
0,7	49	20	10,357
1	49	20	7,250
2	49	20	3,625
3	49	20	2,417



Graf 11. Závislost tvar. faktoru na výšce pro válec s válc. dírou

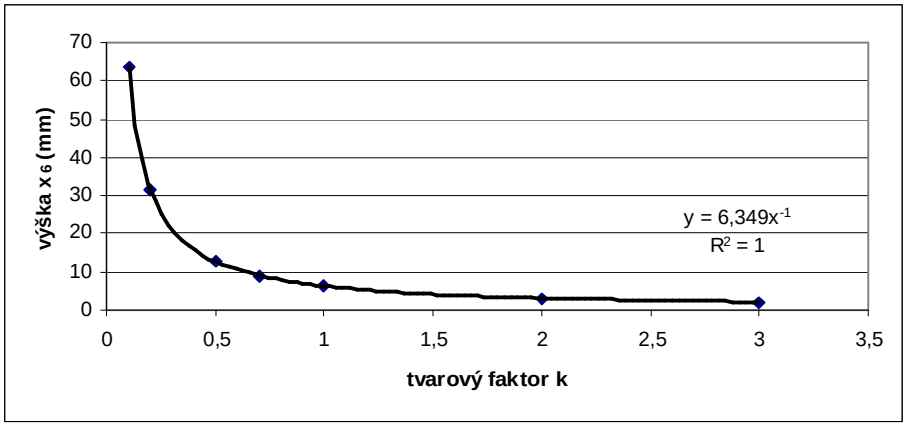
f) Válec s dírou čtvercového průřezu:

$$x_6 = \frac{S_z}{S_v} = \frac{\frac{p.D^2}{4} - b^2}{p.D.k + 4b.k} \qquad (41)$$

Tab. 12. Hodnoty výšky x pro válec s dírou čtverc. průřezu

tvar.faktor k	D=49mm	b=20mm	výška x_6(mm)
0,1	49	20	63,490
0,2	49	20	31,745
0,5	49	20	12,698
0,7	49	20	9,070
1	49	20	6,349
2	49	20	3,175
3	49	20	2,116

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Graf 12. Závislost tvar. faktoru na výšce pro válec s dírou čtverc. průřezu

10.3 Výpočet napětí pro ε = 30%

Z rovnice 43 vypočítáme napětí σ pro porovnání s napětím zjištěným pomocí programu MSC a s napětím zjištěným vlastním měřením na zkušebním zařízení ZWICK. Napětí bude vypočítáno pro deformaci ε = 30%. Hodnoty modulu pružnosti v tlaku jsou z tlakové zkoušky na zkušebním stroji ZWICK. Napětí je vypočítáno pro zkušební tělesa o délce 100mm.

$$s = \frac{F}{k.S} \tag{42}$$

$$s = k.E.e \tag{43}$$

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Tab. 13. Výpočet napětí σ

Material		tvar.faktor k	$E_{30\%}$ (MPa)	σ (MPa)
S1234	hranol plný	0,123	29,13	1,07
	hranol s dírou čtverc. průřezu	0,073	45,56	1,00
	hranol s válc. dírou	0,081	35,65	0,87
T426	hranol plný	0,123	78,97	2,91
	hranol s dírou čtverc. průřezu	0,073	114,68	2,51
	hranol s válc. dírou	0,081	95,15	2,31
S 1234	válec plný	0,123	29,31	1,08
	válec s válcovou dírou	0,073	37,04	0,81
	válec s dírou čtverc. průřezu	0,063	51,92	0,98
T 426	válec plný	0,123	76,83	2,84
	válec s válcovou dírou	0,073	106,69	2,34
	válec s dírou čtverc. průřezu	0,063	129,46	2,45

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

11 VÝPOČTY POMOCÍ VÝPOČTOVÉHO PROGRAMU MSC.

Aby bylo možné řešit problematiku tvarového faktoru a simulovat tlakovou zkoušku pro jednotlivé zkušební tělesa, je potřeba nejdříve zjistit materiálové hodnoty jednotlivých směsí, a to směsi S 1234 a směsi T 426. Materiálové hodnoty, které jsou potřebné pro načtení do programu MSC, se zjistí pomocí tahové zkoušky a pomocí zkoušky nafukováním.

11.1 Výpočtový program MSC. MARC a MSC. PATRAN

Pro simulaci tlakové zkoušky pomocí výpočtových programů byly použity dva programy: MARC (řešič) a PATRAN (preprocesor a postprocesor).

MSC.MARC od firmy MSC. Software je programový systém založený na metodě konečných prvků a je určen pro řešení rozsáhlých lineárních a nelineárních (fyzikálně i geometricky), strukturálních, teplotních, teplotně-mechanických, elektromagnetických a akustických úloh. Program je vysoce uznáván pro aplikace v oblastech rázových jevů a problémů velkých deformací.

MSC. PATRAN je program umožňující vytvářet geometrii tělesa - detailní popis tělesa ve 3D (ve 2D) určeného množinou (sítí) bodů, které ho určují. Patran je preprocesor a postprocesor pro přípravu úloh a analýzu výsledků vhodný pro celou řadu systémů. Systém se vyznačuje značnou flexibilitou, vysokou úrovní integrace s CAD systémy, robustními síťovacími algoritmy a preferencemi pro více významných MKP řešičů. Patran má své použití zejména v oblasti simulací pevnostních analýz mechanických konstrukcí.

11.2 Tahové zkoušky

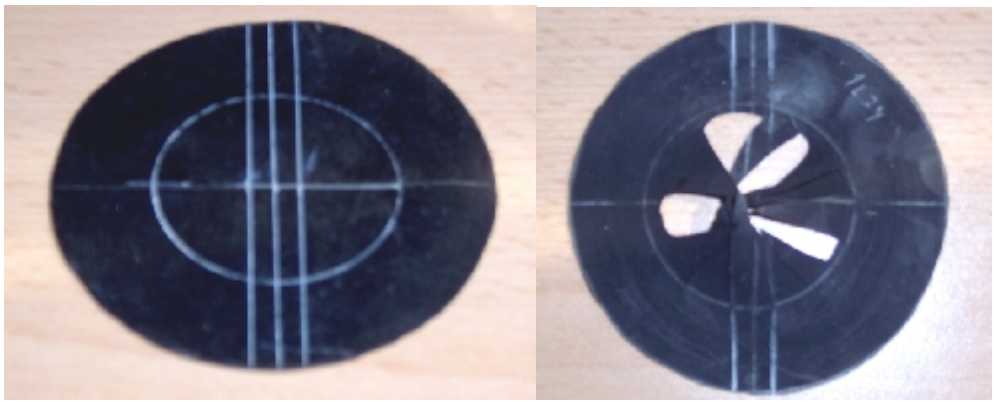
Vzorečky pro tahové zkoušky jsou vylisovány ze směsí S 1234 a T 426. Hodnoty naměřené na trhacím zařízení jsou uvedeny v přílohách P XV až P XVIII, viz. přiložené CD.

Obr. 33. Zkušební těleso

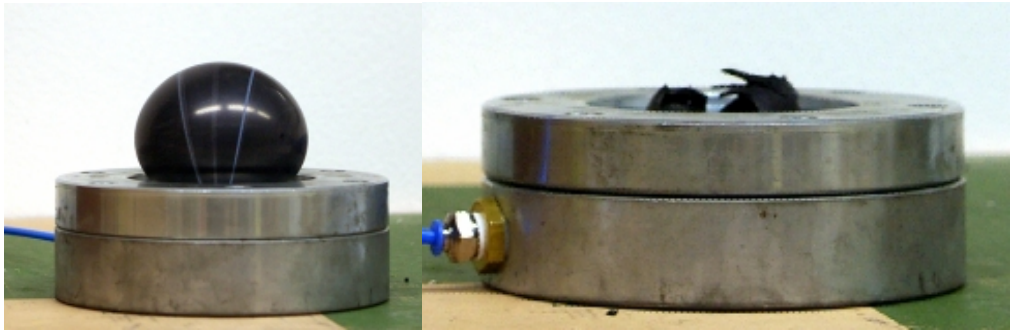
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

11.3 Nafukování

Zkušební tělesa pro zkoušku nafukováním jsou ze stejných směsí S 1234, T 426. Pomocí nafukování zjistíme hodnoty potřebné pro výpočtové programy MSC. Naměřené hodnoty jsou uvedeny v přílohách P XIX a P XX, viz. přiložené CD.



Obr. 34. Zkušební těleso před a po nafukování



Obr. 35. Průběh zkoušky

11.4 Simulace tlakových zkoušek pomocí výpočtového programu

Pomocí výpočtového programu MSC byla nasimulována tlaková zkouška zkušebních těles z materiálů S 1234 a T 426. Zkušební tělesa byla deformována o 30% z původní výšky l = 100mm, ε = 30%.

9.4.1 Naměřené hodnoty

V následující kapitole jsou uvedeny výsledky tlakové zkoušky pomocí výpočtového programu MSC. Jsou zde ukázány obr. 36 až 47 s von Mises napětím při deformaci

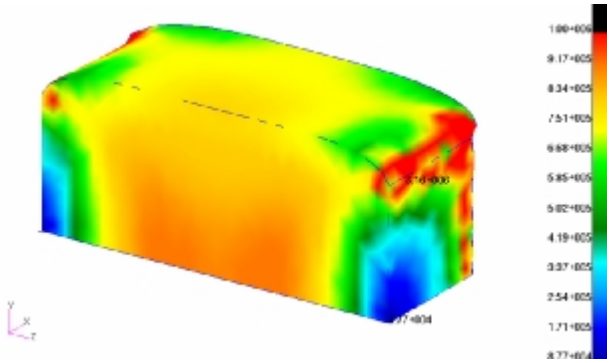
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ε = 30%. Při simulaci tlakové zkoušky bylo počítáno pouze s jednou čtvrtinou zkušebního tělesa, protože jde o symetrickou úlohu. Jak je na následujících obrázcích vidět, největší napětí je v rozích zkušebních těles, tedy těsně za zatíženými plochami. Nejmenší napětí je naopak ve středu zatížených ploch, je to způsobeno tím, že zatížené plochy jsou namodelovány tak, aby zachovaly původní tvar (jsou přilepeny k podložkám mezi zatěžujícími čelistmi). Průměrná koncentrace napětí se vyskytuje uprostřed zkušebního tělesa.

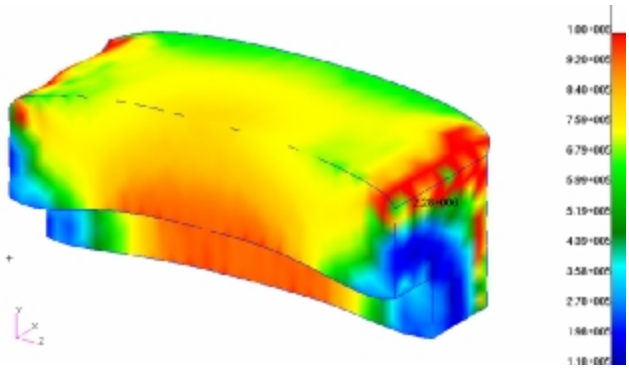
1) Hranol, materiál S 1234

Tab. 14. Výsledné hodnoty tlakové zkoušky pro hranol

	a (mm)	b(mm)	d(mm)	l (mm)	F (N)	σ (MPa)	ε (%)	E (MPa)
hranol plný	49	-	-	100	2782,8	1,16	30	31,44
hranol s dírou čtverc.	49	20	-	100	2255,6	1,13	30	51,60
hranol s válc. dírou	49	-	20	100	2378,1	1,14	30	46,91

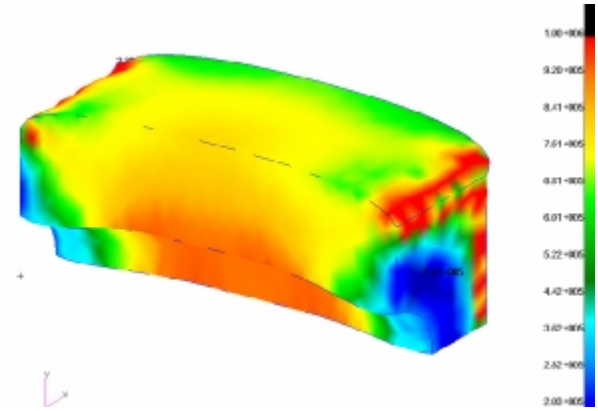


Obr.36. Plný hranol, napětí $s_{vonMises}$ *(MPa)*



Obr. 37. Hranol s dírou čtverc. průřezu, napětí $s_{vonMises}$ *(MPa)*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

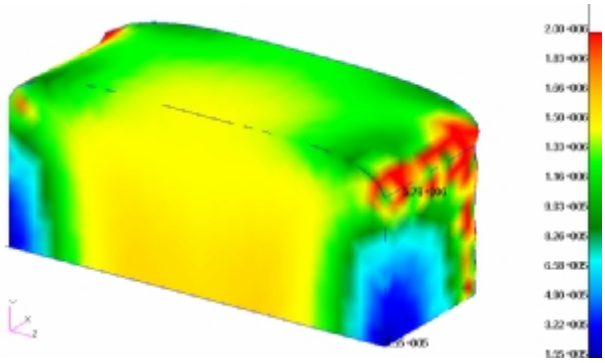


Obr. 38. Hranol s válcovou dírou, napětí $s_{vonMises}$ *(MPa)*

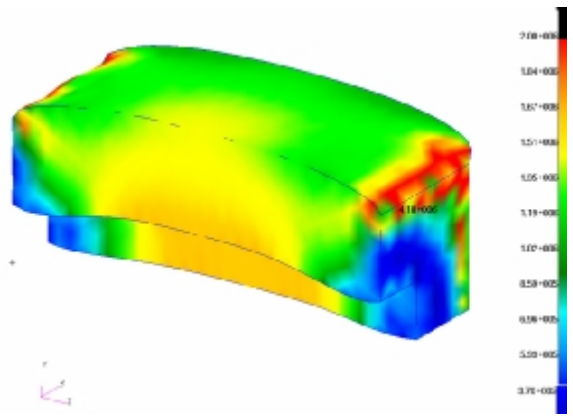
2) Hranol, materiál T 426

Tab. 15. Výsledné hodnoty tlakové zkoušky pro hranol

	a (mm)	b(mm)	d(mm)	l (mm)	F (N)	σ (MPa)	ε (%)	E (MPa)
hranol plný	49	-	-	100	4892	2,04	30	55,28
hranol s dírou čtverc.	49	20	-	100	3970,5	1,98	30	90,41
hranol s válc. dírou	49	-	20	100	4184,4	2,00	30	82,30

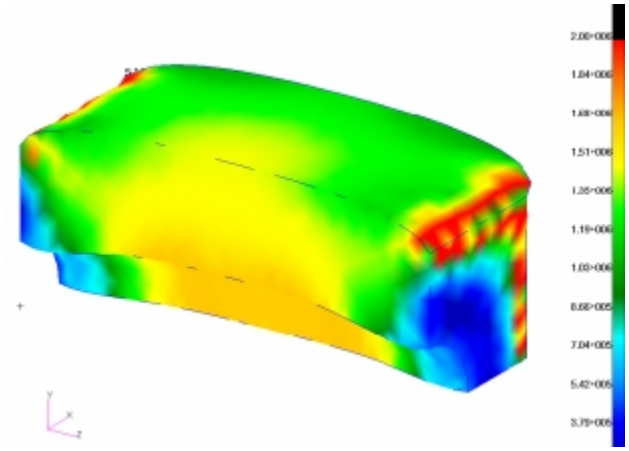


Obr. 39. Plný hranol, napětí $s_{vonMises}$ *(MPa)*



Obr. 40. Hranol s dírou čtverc. průřezu, napětí $s_{vonMises}$ *(MPa)*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

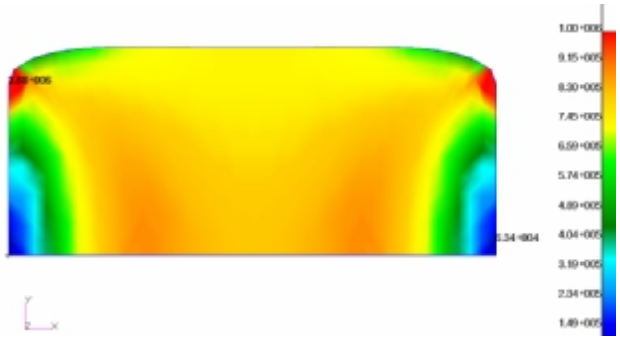


Obr. 41. Hranol s válcovou dírou, napětí $s_{vonMises}$ (MPa)

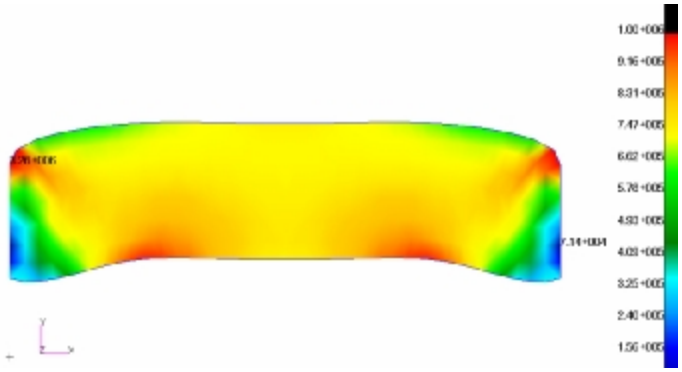
3) Válec, materiál S 1234

Tab. 16. Výsledné hodnoty tlakové zkoušky pro válec

	D (mm)	b(mm)	d(mm)	l (mm)	F (N)	σ (MPa)	ε (%)	E (MPa)
válec plný	49	-	-	100	2074,6	1,10	30	29,81
válec s válcovou dírou	49	-	20	100	1678,3	1,07	30	48,85
válec s dírou čtverc.	49	20	-	100	1609,1	1,08	30	57,14

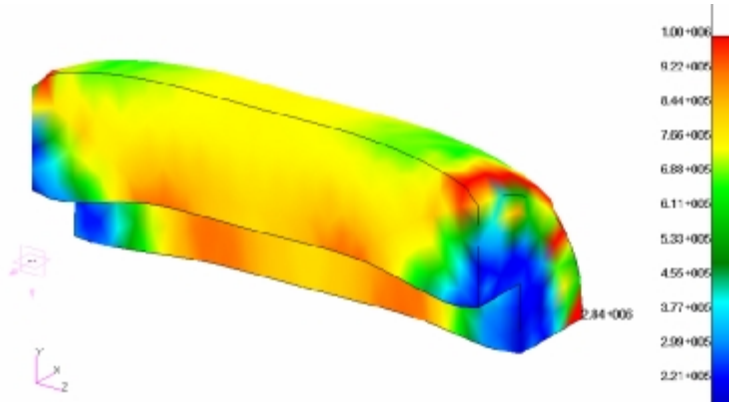


Obr. 42. Plný válec, napětí $s_{vonMises}$ (MPa)



Obr. 43. Válec s válcovou dírou, napětí $s_{vonMises}$ (MPa)

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

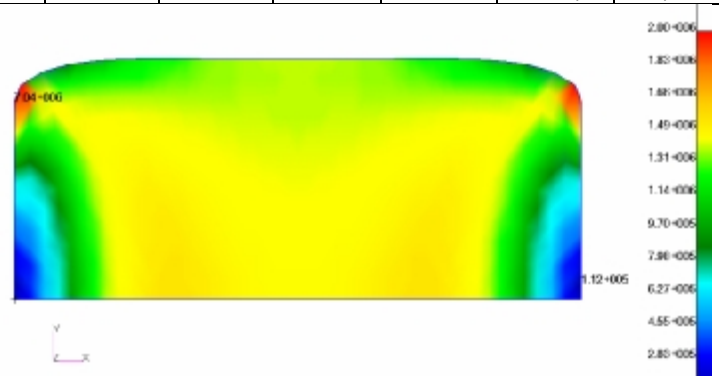


Obr. 44. Válec s dírou čtverc. průřezu, napětí $s_{vonMises}$ *(MPa)*

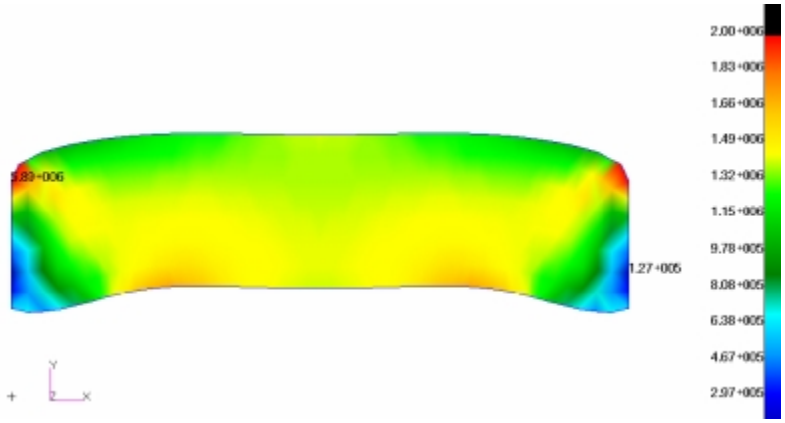
4) Válec, mareriál T 426

Tab. 17. Výsledné hodnoty tlakové zkoušky pro válec

	D (mm)	b(mm)	d(mm)	l (mm)	F (N)	σ (MPa)	ε (%)	E (MPa)
válec plný	49	-	-	100	3647,8	1,94	30	52,57
válec s válcovou dírou	49	-	20	100	2952,1	1,88	30	85,84
válec s dírou čtverc.	49	20	-	100	2828,1	1,90	30	100,53

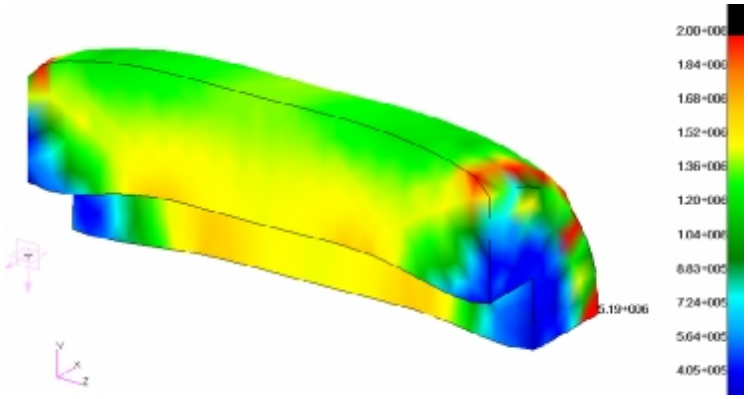


Obr. 45 Plný válec, napětí $s_{vonMises}$ *(MPa)*



Obr. 46. Válec s válcovou dírou, napětí $s_{vonMises}$ *(MPa)*

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

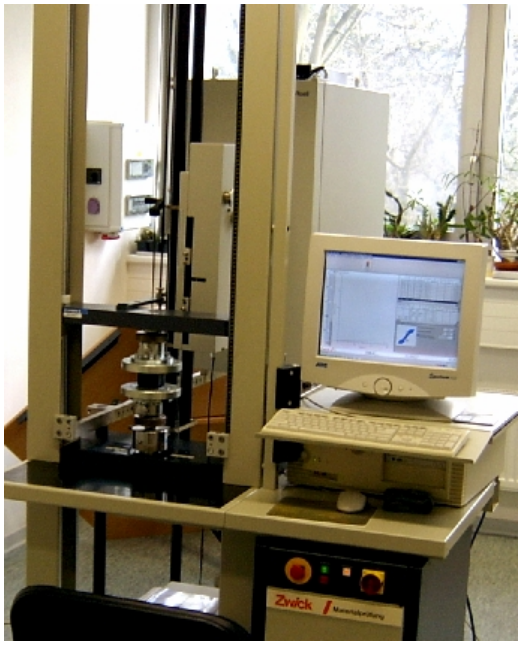


Obr. 47. Válec s dírou čtverc, průřezu, napětí $s_{vonMises}$ *(MPa)*

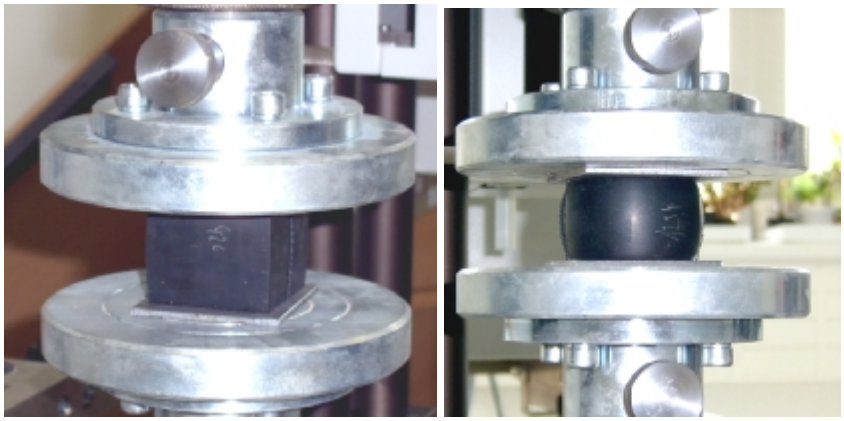
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

12 TLAKOVÉ ZKOUŠKY NA ZKUŠEBNÍM STROJI ZWICK

Při řešení problematiky tvarového faktoru byly provedeny tlakové zkoušky na zkušebních tělesech o daných tvarech a délkách. Zkušební tělesa byla zatížena tak, aby vznikla 30% deformace těchto těles. Každé zkušební těleso bylo nejdříve 3krát zatíženo a odlehčeno a poté bylo 6krát zatíženo a odlehčeno pro vlastní měření. Tlakové zkoušky byly provedeny na univerzálním zkušebním stroji ZWICK 1456.



Obr. 48. Zkušební stroj ZWICK 1456.



Obr. 49. Ukázka zatížení zkušebních těles

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

12.1 Naměřené hodnoty

Naměřené data ze zkušebního zařízení ZWICK jsou uvedeny v příloze P XXI až P LVI, viz. přiložené CD. Hodnoty napětí jsou v příloze P XXI až P LVI vždy vztaženy k plnému průřezu, protože na zkušebním zařízení ZWICK nebylo pro tlakovou zkoušku možno zadat průřez jiný než plný. Dále je v příloze uveden modul pružnosti E_0 pro ε = 0%. V tab. 18 až 29 jsou už uvedeny hodnoty napětí přepočítané pro správný průřez tělesa a je zde taky uveden modul E_{30} pro ε = 30%.

12.1.1 Základní srovnání naměřených hodnot

Tab. 18. Hranol o délce l = 100mm, materiál S 1234

	a (mm)	b (mm)	d (mm)	l (mm)	σ (MPa)	ε (%)	ε (mm)	tvar.fakt. k	E_{30} (MPa)
hranol plný	49	-	-	100	1,08	30,14	30,31	0,123	29,13
hranol s dírou čtverc.	49	20	-	100	1,01	30,37	30,26	0,073	45,56
hranol s válc. dírou	49	-	20	100	0,87	30,13	28,74	0,081	35,65

Tab. 19. Hranol o délce l = 50mm, materiál S 1234

	a (mm)	b (mm)	d (mm)	l (mm)	σ (MPa)	ε (%)	ε (mm)	tvar.fakt. k	E_{30} (MPa)
hranol plný	49	-	-	50	1,18	30,16	15,88	0,245	15,97
hranol s dírou čtverc.	49	20	-	50	1,01	30,59	16,13	0,145	22,73
hranol s válc. dírou	49	-	20	50	0,86	30,46	14,7	0,161	17,58

Tab. 20. Hranol o délce l = 25mm, materiál S 1234

	a (mm)	b (mm)	d (mm)	l (mm)	σ (MPa)	ε (%)	ε (mm)	tvar.fakt. k	E_{30} (MPa)
hranol plný	49	-	-	25	1,74	30,38	8,71	0,490	11,69
hranol s dírou čtverc.	49	20	-	25	1,55	30,58	8,57	0,29	17,46
hranol s válc. dírou	49	-	20	25	1,16	30,64	6,94	0,323	11,74

Tab. 21. Hranol o délce l = 100mm, materiál T 426

	a (mm)	b (mm)	d (mm)	l (mm)	σ (MPa)	ε (%)	ε (mm)	tvar.fakt. k	E_{30} (MPa)
hranol plný	49	-	-	100	2,92	30,06	30,3	0,123	78,97
hranol s dírou čtverc.	49	20	-	100	2,52	30,1	30,12	0,073	114,68
hranol s válc. dírou	49	-	20	100	2,32	30,14	28,79	0,081	95,15

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Tab. 22. Hranol o délce l = 50mm, materiál T 426

	a (mm)	b (mm)	d (mm)	l (mm)	σ (MPa)	ε (%)	ε (mm)	tvar.fakt. k	E_{30} (MPa)
hranol plný	49	-	-	50	3,39	30,27	16,05	0,245	45,71
hranol s dírou čtverc.	49	20	-	50	2,75	30,34	15,9	0,145	62,46
hranol s válc. dírou	49	-	20	50	2,39	30,3	15,04	0,161	49,04

Tab. 23. Hranol o délce l = 25mm, materiál T 426

	a (mm)	b (mm)	d (mm)	l (mm)	σ (MPa)	ε (%)	ε (mm)	tvar.fakt. k	E_{30} (MPa)
hranol plný	49	-	-	25	5,03	30,43	8,66	0,490	33,73
hranol s dírou čtverc.	49	20	-	25	3,76	30,46	8,74	0,29	42,51
hranol s válc. dírou	49	-	20	25	3,17	30,74	7,07	0,323	31,97

Tab. 24. Válec o délce l = 100mm, materiál S 1234

	D (mm)	d (mm)	b (mm)	l (mm)	σ (MPa)	ε (%)	ε (mm)	tvar.fakt. k	E_{30} (MPa)
válec plný	49	-	-	100	1,09	30,23	29,11	0,123	29,31
válec s válc.dírou	49	20	-	100	0,82	30,18	28,86	0,073	37,04
válec s dírou čtver.	49	-	20	100	0,89	27,18	26,12	0,063	51,92

Tab. 25. Válec o délce l = 50mm, materiál S 1234

	D (mm)	d (mm)	b (mm)	l (mm)	σ (MPa)	ε (%)	ε (mm)	tvar.fakt. k	E_{30} (MPa)
válec plný	49	-	-	50	1,14	30,26	14,95	0,245	15,38
válec s válc.dírou	49	20	-	50	0,82	30,3	14,76	0,145	18,58
válec s dírou čtver.	49	-	20	50	0,90	30,47	15,19	0,127	23,30

Tab. 26. Válec o délce l = 25mm, materiál S 1234

	D (mm)	d (mm)	b (mm)	l (mm)	σ (MPa)	ε (%)	ε (mm)	tvar.fakt. k	E_{30} (MPa)
válec plný	49	-	-	25	1,41	30,46	7,18	0,49	9,45
válec s válc.dírou	49	20	-	25	0,92	30,43	7,16	0,29	10,48
válec s dírou čtver.	49	-	20	25	1,04	30,41	6,78	0,254	13,49

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Tab. 27. Válec o délce l = 100mm, materiál T426

	D (mm)	d (mm)	b (mm)	l (mm)	σ (MPa)	ε (%)	ε (mm)	tvar.fakt. k	E_{30} (MPa)
válec plný	49	-	-	100	2,85	30,16	28,92	0,123	76,83
válec s válc.dírou	49	20	-	100	2,35	30,2	28,86	0,073	106,69
válec s dírou čtver.	49	-	20	100	2,46	30,2	28,96	0,063	129,46

Tab. 28. Válec o délce l = 50mm, materiál T426

	D (mm)	d (mm)	b (mm)	l (mm)	σ (MPa)	ε (%)	ε (mm)	tvar.fakt. k	E_{30} (MPa)
válec plný	49	-	-	50	2,7	30,23	14,56	0,245	36,46
válec s válc.dírou	49	20	-	50	2,23	30,38	15,06	0,145	50,66
válec s dírou čtver.	49	-	20	50	2,48	30,27	14,83	0,127	64,41

Tab. 29. Válec o délce l = 25mm, materiál T426

	D (mm)	d (mm)	b (mm)	l (mm)	σ (MPa)	ε (%)	ε (mm)	tvar.fakt. k	E_{30} (MPa)
válec plný	49	-	-	25	3,52	30,53	7,06	0,49	23,53
válec s válc.dírou	49	20	-	25	2,58	30,82	7,6	0,29	28,87
válec s dírou čtver.	49	-	20	25	2,95	30,85	7,03	0,254	37,60

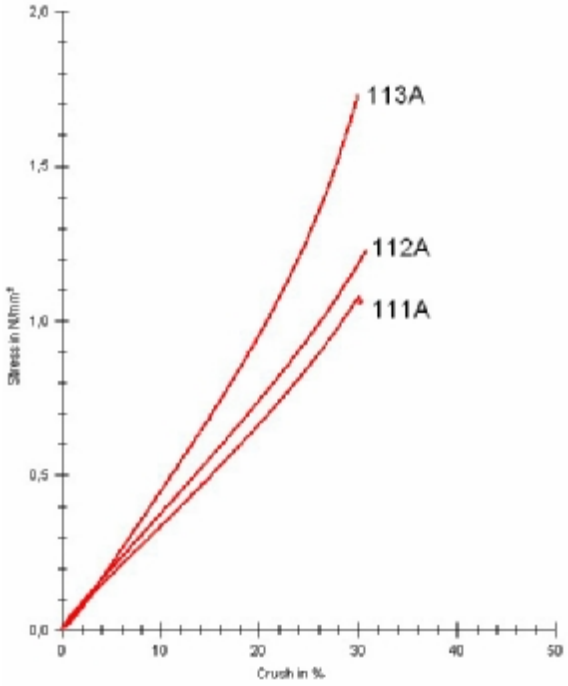
12.2 Srovnání jednotlivých grafů závislosti napětí na deformaci

Vlivem tvarového faktoru je možné pozorovat, že při stejné deformaci, v našem případě ε = 30%, se mění napětí. Tím můžeme pozorovat, jak se liší křivky závislosti napětí na deformaci. Můžeme porovnávat vliv tvaru, vliv délek a vzhledem ,že jsme použili dva materiály S 1234 a T 426 tak i vliv materiálů, tedy jak parametry tvarové tak materiálové parametry.

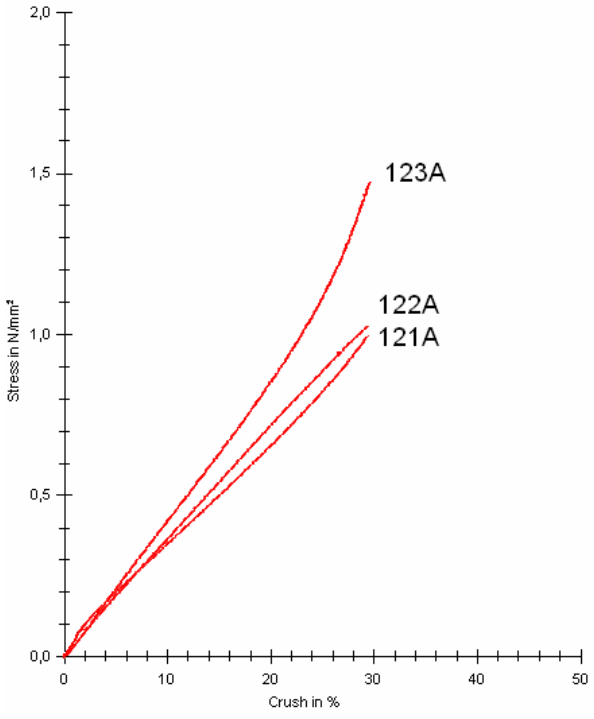
12.2.1 Srovnání délek

V následující části je uvedeno srovnání různých délek u konkrétního tvaru. V grafu 13, 14 a 15 jsou znázorněna tělesa čtvercového průřezu z materiálů S 1234 o třech různých délkách (100mm, 50mm, 25mm). Z grafů je vidět, čím je délka menší tím je větší napětí, při stejné deformaci ε = 30%.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



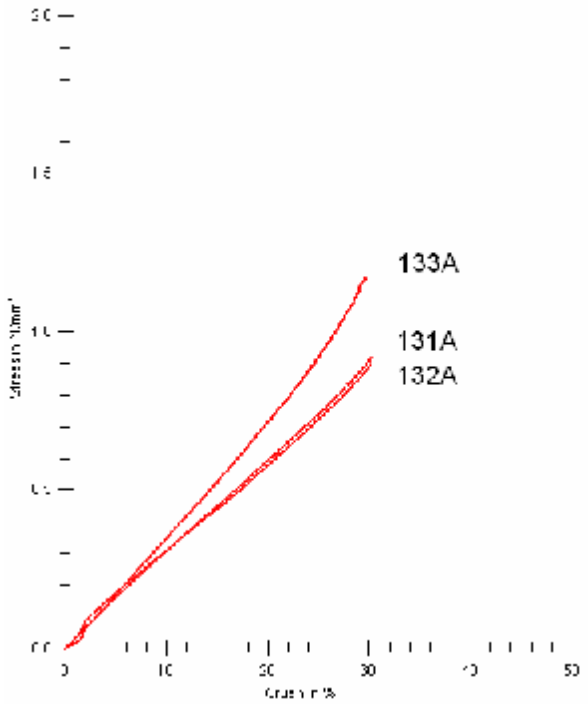
Graf 13. Plný hranol o různých délkách



Graf 14. Hranol s dírou čtverc. průřezu o různých délkách

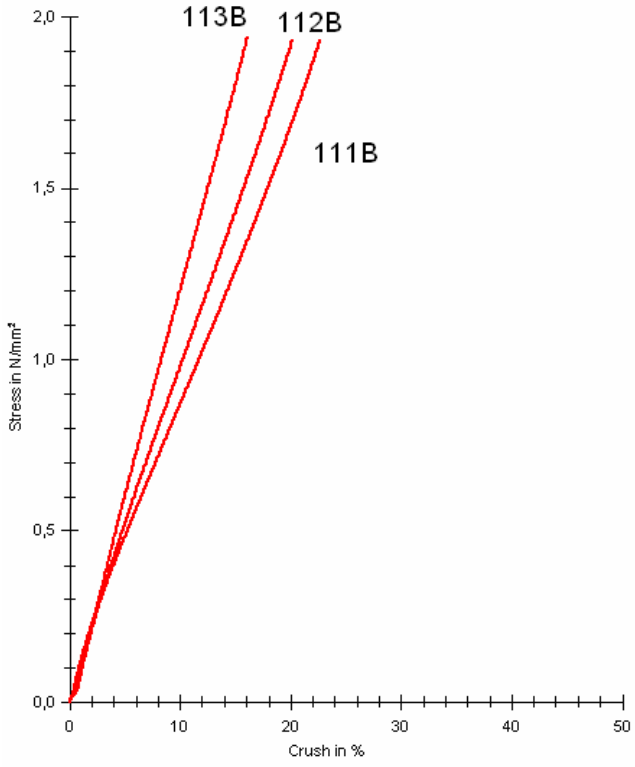
Z grafu 15 je vidět, že hodnoty napětí pro hranol o délce 100mm a délce 50mm jsou téměř stejné, tahle chyba je ovlivněna chybou měření.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Graf 15. Hranol s válcovou dírou o různých délkách

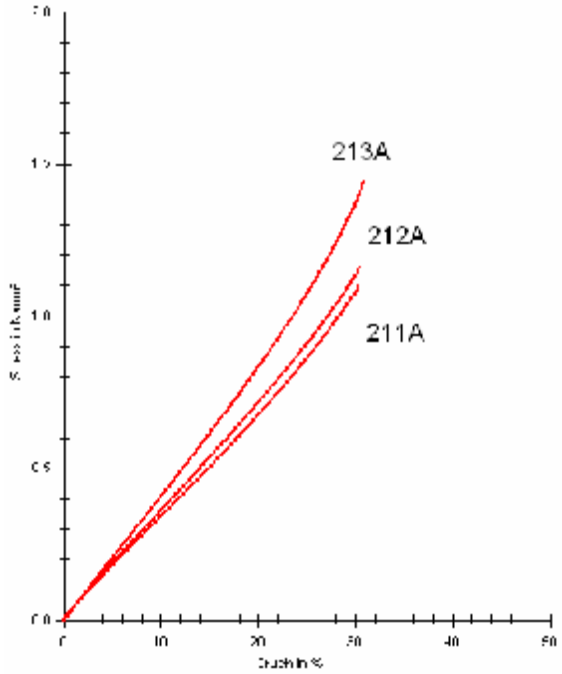
Pro ukázku je v grafu 16 uvedeno srovnání plného hranolu o různých délkách. Materiál zkušebních těles je T 426.



Graf 16. Plný hranol o různých délkách

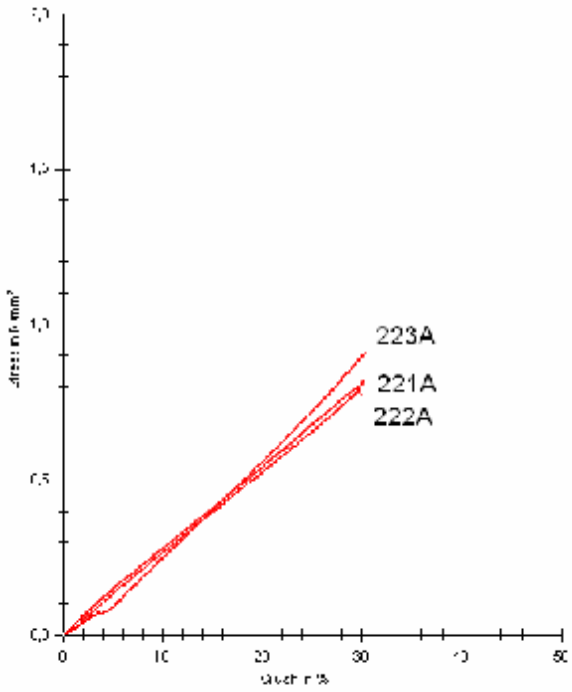
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V grafu 17 je uvedeno srovnání těles tvaru plného válce o různých délkách a stejném materiálu S 1234.



Graf 17. Plný válec o různých délkách

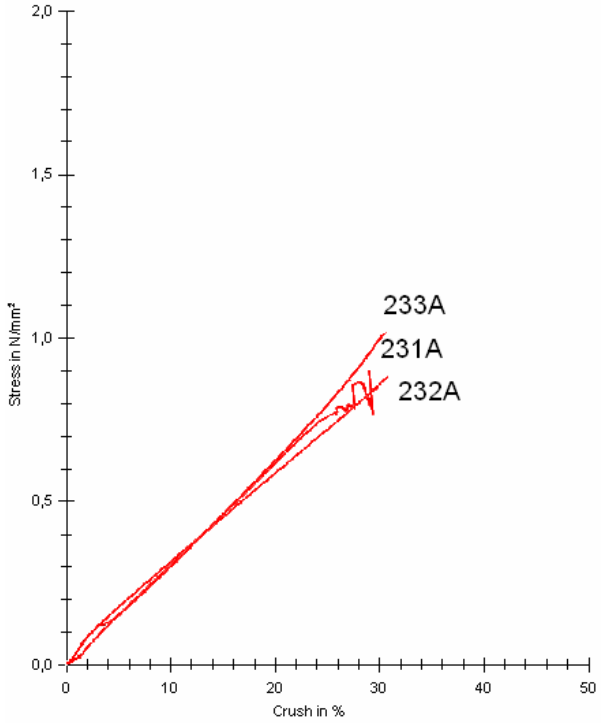
V grafu 18 je vidět, že zkušební tělesa 222A a 221A, což jsou válce s válc. dírou o délkách 100mm a 50mm, mají stejný průběh napětí, je to způsobeno nepřesností měření.



Graf 18. Válec s válcovou dírou o různých délkách

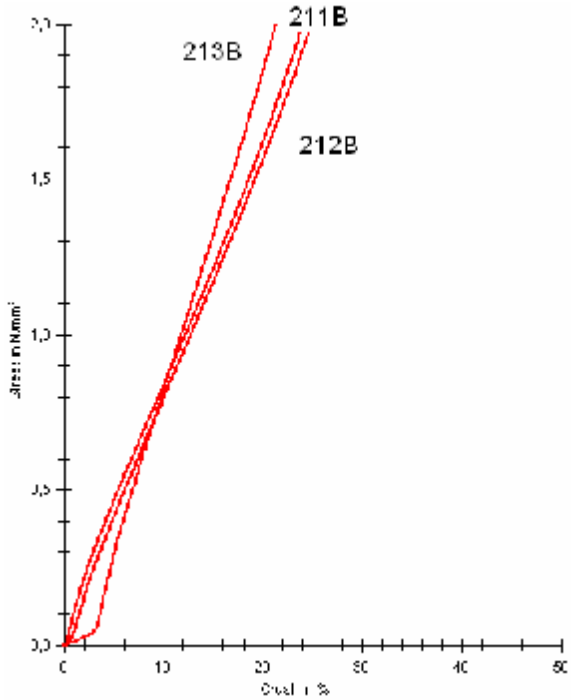
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V grafu 19 je vidět, že u zkušebního tělesa 231A došlo k porušení napětí, tato odchylka je způsobena vybočením tělesa při zatěžování.



Graf 19. Válec s dírou čtver. průřezu o různých délkách

Graf 20 porovnává plné válce o různých délkách, zkušební tělesa jsou z materiálu T 426.

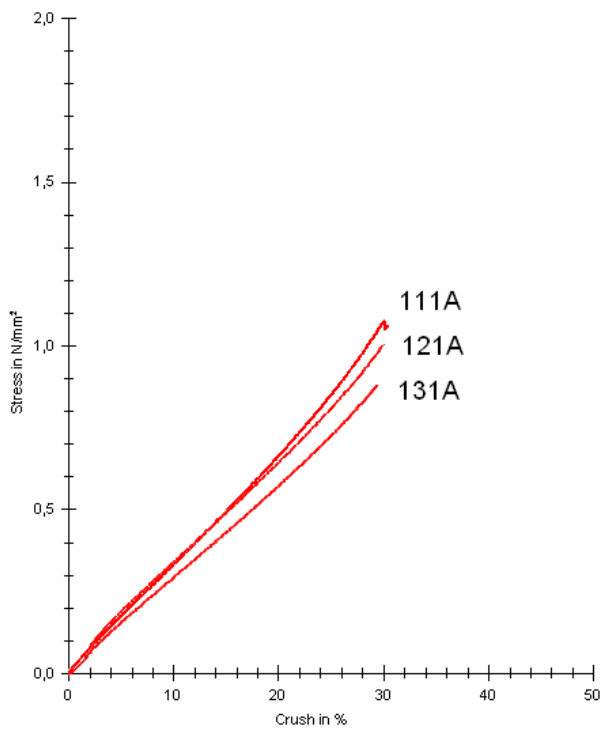


Graf 20. Plný válec o různých délkách

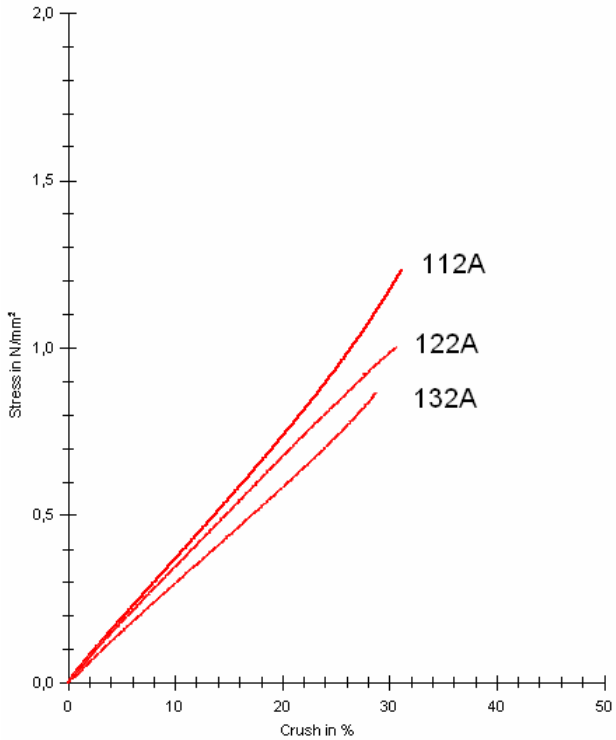
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

12.2.2 Srovnání tvarů

V této kapitole je uvedeno srovnání různých tvarů těles o stejné délce.

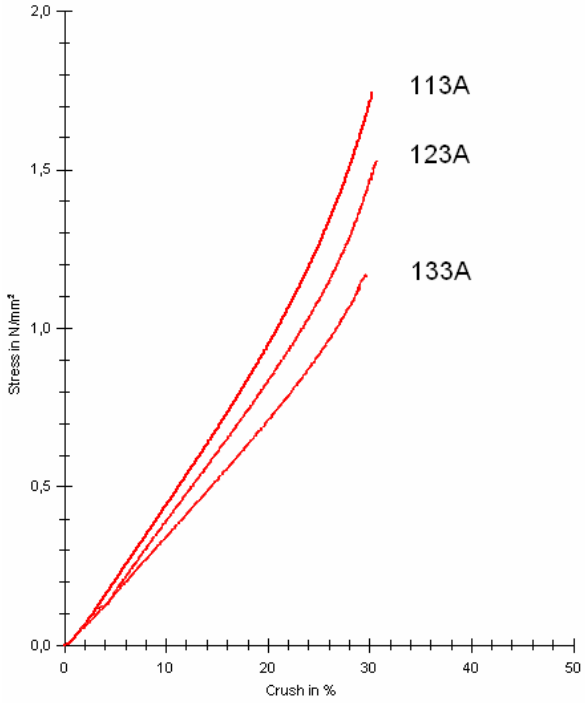


Graf 21. Srovnání hranolů o délce l = 100mm



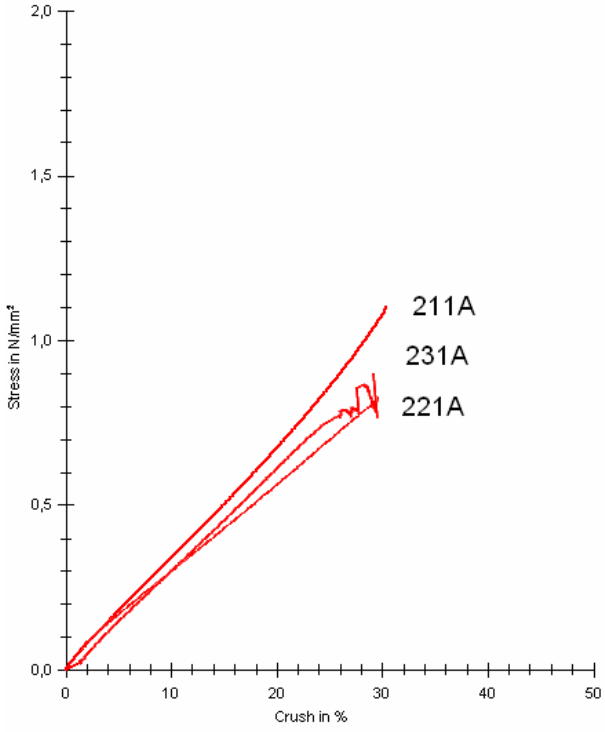
Graf 22. Srovnání hranolů o délce l = 50mm

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Graf 23. Srovnání hranolů o délce l = 25mm

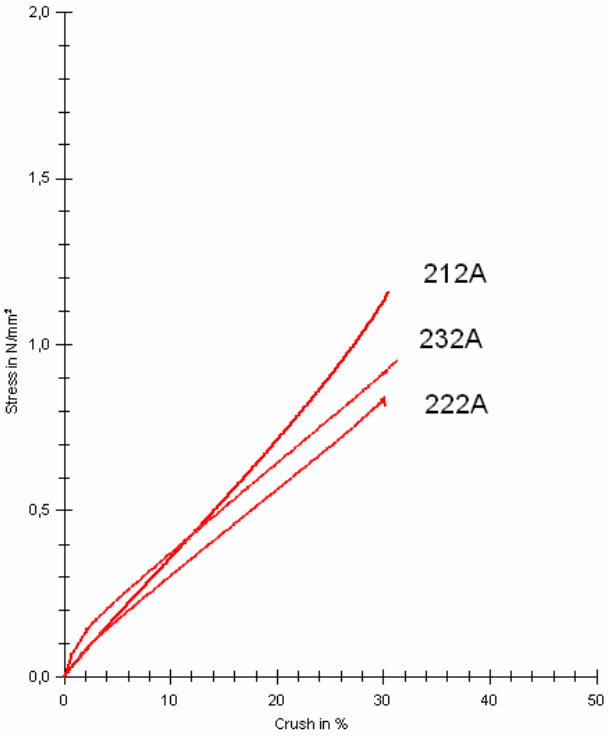
Z grafů 21, 22 a 23 je vidět, jak ovlivňuje tvar zkušebního tělesa napětí. U materiálu T 426 je tahle závislost stejná, jen je napětí zhruba dvojnásobné, protože materiál T 426 má jednou takovou tvrdost jako materiál S 1234.



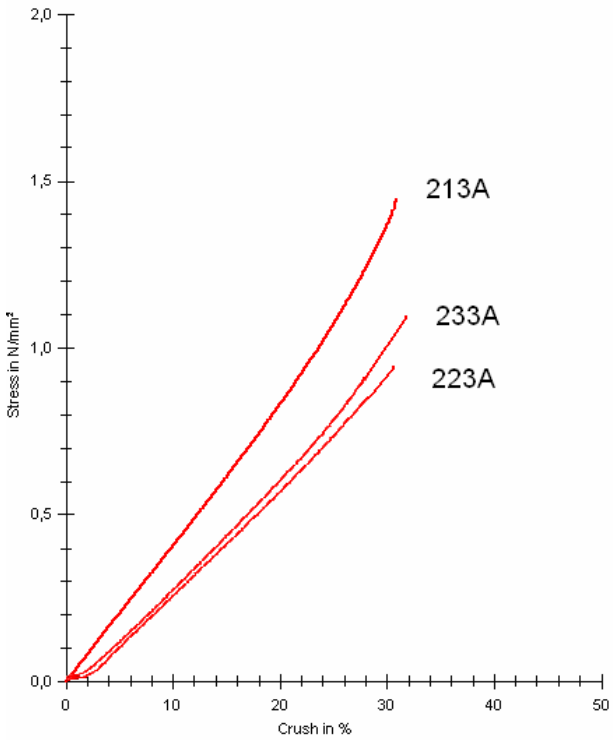
Graf 24. Srovnání válců o délce l = 100mm

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V grafu 24 je opět vidět u zkušebního tělesa 231A, jak došlo k porušení napětí vlivem vybočení.



Graf 25. Srovnání válců o délce l = 50mm



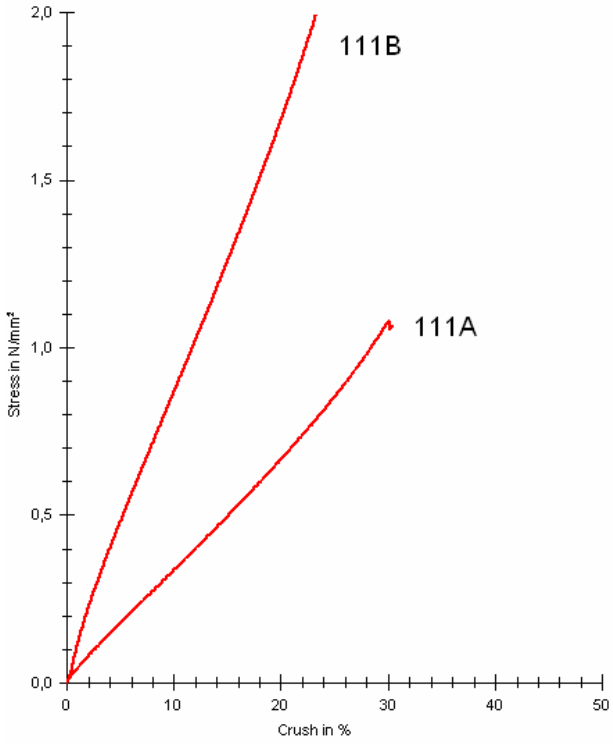
Graf 26. Srovnání válců o délce l = 25mm

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V grafech 25 a 26 je vidět, že napětí u válců s válcovou dírou a dírou čtvercového průřezu je podobné.

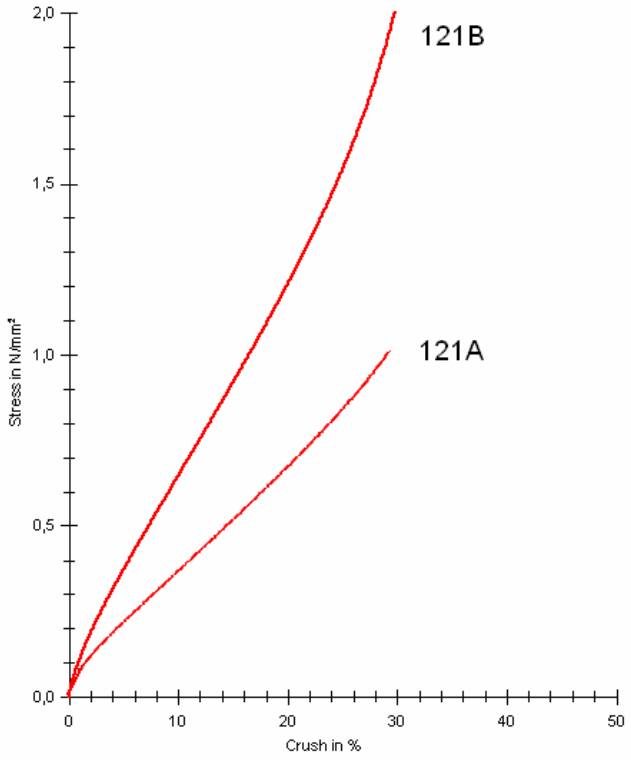
12.2.3 Srovnání materiálů

V následující části jsou srovnány materiály S 1234 a T 426 pro stejné tvary vzorečků.



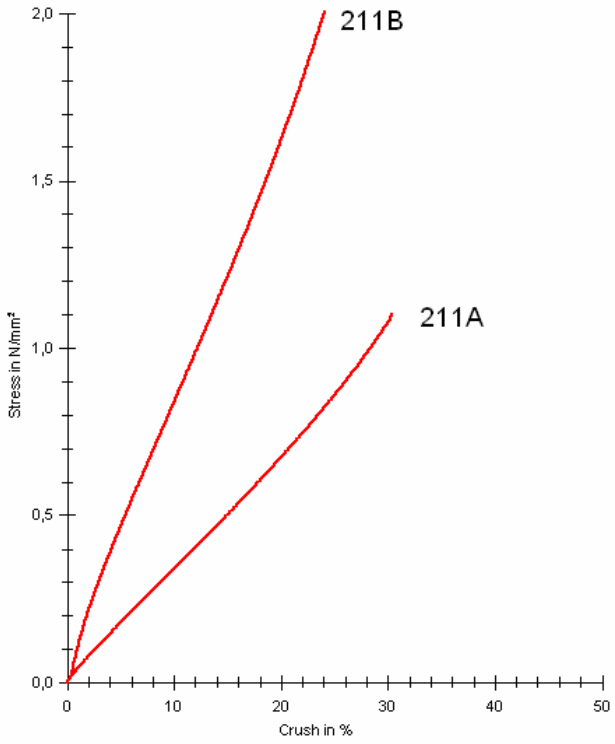
Graf 27. Plný hranol ze směsi S 1234 a T 426

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



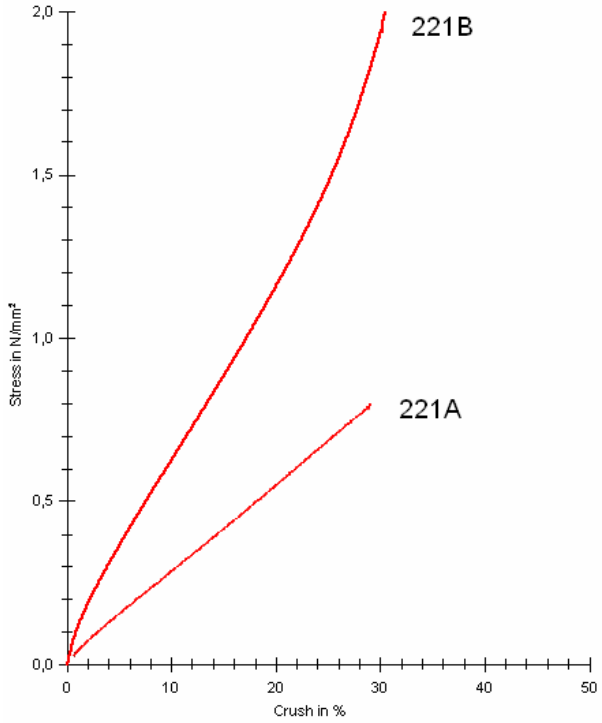
Graf 28. Hranol s dírou čtvercového průřezu

ze směsi S 1234 a T 426



Graf 29. Plný válec ze směsi S 1234 a T 426

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



Graf 30. Válec s válcovou dírou ze směsi S 1234 a T 426

V této kapitole je uvedeno srovnání materiálu, je vidět z grafů, že závislost materiálová je téměř ve všech případech stejná.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

13 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Cílem této práce je podrobněji prozkoumat tvarový faktor u elastomerních prvků. Nejdříve byly zvoleny a navrženy základní tvary zkušebních těles. Byly zvoleny tvary, které se velmi často vyskytují v praxi jako tlumící prvky apod. Pro studii tvarového faktoru bylo zvoleno 6 různých tvarů, a to pro 3 zvolené délky a pro 2 materiály.

Při studii tvarového faktoru byly odvozeny vztahy pro výpočet tvarového faktoru u každého tělesa. V závislosti tvarového faktoru na výšce je vidět ve všech případech , že s rostoucí výškou klesá tvarový faktor k, tato závislost je popsána v grafech 1 až 12. Dále bylo vypočítáno napětí σ pro zkušební tělesa o délce 100mm. Pro analytický výpočet napětí bylo zapotřebí zjistit modul pružnosti v tlaku při 30% deformaci. Hodnoty vypočítaných napětí jsou porovnány v tab. 30 s napětím zjištěným pomocí výpočtového programu MSC a s hodnotami napětí zjištěnými na zkušebním zařízení ZWICK.

V další části je provedena simulace tlakové zkoušky pomocí výpočtového programu MSC. Ze zjištěných průběhů napětí je vidět na Obr. 36 až 47, jak se zkušební tělesa chovají při tlakovém zatížení. Je zde vykreslen průběh napětí v celém tělese. Na zatížených plochách je napětí nejmenší, to je způsobeno přilepením ploch tak, aby plochy, které jsou zatěžovány, zachovaly původní nedeformovaný tvar. Naopak největší napětí je právě hned za těmito plochami. Hodnoty napětí a modulů jsou porovnány s ostatními metodami v tab. 30.

Ve třetí části je provedena tlaková zkouška na zkušebním zařízení ZWICK. Jsou zde uvedeny naměřené hodnoty. Z hodnot napětí je vidět, že ne vždy napětí ve srovnání s jinými tvary odpovídá předpokládaným hodnotám. To znamená, že těleso, které má větší zatěžovanou plochu, musí mít větší napětí k vyvození stejné deformace. Chyby, které vznikly, jsou způsobeny nepřesnostmi při výrobě zkušebních těles, nepřesnostmi při měření a nepřesnostmi při vyhodnocování. V této části je také uvedena kapitola, ve které jsou porovnány naměřené hodnoty napětí pomocí grafů. Jsou zde srovnány jak tvarové parametry, tak i materiálové parametry. Nejdříve jsou srovnány délky. V grafech je vidět, čím je délka menší, tím je větší napětí. Dále jsou zde grafy, které srovnávají tvary. Například v grafu 24 je vidět, že u tělesa 231A došlo k porušení napětí, to je způsobeno vybočením tělesa při zatěžování. Výška tělesa je tedy pro deformaci 30% příliš velká. Nakonec jsou srovnány materiály v grafech 27 až 30. Z těchto grafů je vidět, že materiál T 426 má jednou tak velkou pevnost než materiál S 1234.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

V závěru diplomové práce je uvedena tab. 30, ve které jsou srovnány hodnoty napětí σ a hodnoty modulů pružnosti v tlaku E při 30% deformaci. Tyto hodnoty jsou získány analytickým výpočtem, simulací tlakové zkoušky pomocí výpočtového programu MSC a pomocí tlakové zkoušky na zkušebním zařízení ZWICK. U materiálu S 1234 je vidět, že hodnoty napětí a modulů jsou podobné, rozdíly jsou minimální. U materiálu T 426 je vidět, že hodnoty napětí a modulů získané pomocí programu MSC se odlišují od vypočítaných a naměřených hodnot. Tento rozdíl může být způsoben několika faktory. Aby byla provedena simulace tlakové zkoušky, bylo za potřebí nejdříve provést tahovou zkoušku a zkoušku nafukováním, jedná se v obou případech o zkoušky tahové na rozdíl od samotné zkoušky tlakové, tedy hodnoty potřebné pro program byly získány z tahových zkoušek. Těmito zkouškami byla získána potřebné materiálové data pro simulaci tlakové zkoušky. Při simulaci tlakové zkoušky pomocí programu MSC mohlo vzniknout hodně chyb, chyby při výrobě zkušebních těles pro nafukování a tahové zkoušky, při samotných zkouškách, při zpracováváni dat pro program MSC a při samotné simulaci tlakové zkoušky.

Všechny tři metody (analytické výpočty, výpočtový program a vlastní měření na zkušebním zařízení) mají své klady i zápory. Nejpřesnější se jeví metoda analytických výpočtu, ale i tato metoda je ovlivněna přesností, je zapotřebí znát modul pružnosti pro danou deformaci, abychom mohli zjistit napětí σ. Metoda výpočtů pomocí výpočtových programů je ovlivněna potřebou provést další zkoušky, abychom zjistili materiálové data. Poslední metoda měření na zkušebním zařízení se jeví pro zjišťování potřebných hodnot jako nejoptimálnější.

Tab. 30. Srovnání všech tří metod vyhodnocování

Materiál		vypočteno σ (MPa)	MSC. σ (MPa)	naměřeno σ (MPa)	MSC. E_{30} (MPa)	naměřeno E_{30} (MPa)
S1234	hranol plný	1,07	1,16	1,08	31,44	29,13
	hranol s dírou čtverc.	1,00	1,13	1,01	51,60	45,56
	hranol s válc. dírou	0,87	1,14	0,87	46,91	35,65
T426	hranol plný	2,91	2,04	2,92	55,28	78,97
	hranol s dírou čtverc.	2,51	1,98	2,52	90,41	114,68
	hranol s válc. dírou	2,31	2,00	2,32	82,30	95,15
S 1234	válec plný	1,08	1,10	1,09	29,81	29,31
	válec s válcovou dírou	0,81	1,07	0,82	48,85	37,04
	válec s dírou čtverc.	0,98	1,08	0,89	57,14	51,92
T 426	válec plný	2,84	1,94	2,85	52,57	76,83
	válec s válcovou dírou	2,34	1,88	2,35	85,84	106,69
	válec s dírou čtverc.	2,45	1,90	2,46	100,53	129,46

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

ZÁVĚR

Úkolem diplomové práce bylo seznámit se a prostudovat problematiku tvarového faktoru, objasnit si závislost tvarového faktoru pro základní geometrická tělesa. Porovnat jak tvarovou charakteristiku, tak i materiálovou charakteristiku.

Teoretická část byla věnována problematice elastomerních prvků. V této části je obsažena základní charakteristika elastomerů. Dále byly v teoretické části, popsány základní vlastnosti elastomerních prvků – tvrdost, pevnost, tažnost, modul pružnosti, strukturní pevnost a hyperelasticita. Teoretická část pokračuje popisem namáhání elastomerů, v našem případě statickým namáháním. V závěru této části je popsán tvarový faktor, jeho závislost na modulu pružnosti v tlaku a odvození tvarového faktoru pro základní tvary.

Praktická část diplomové práce je zaměřena na studii tvarového faktoru. První část je věnována návrhu, konstrukci a výrobě lisovací formy. V další části byla zvolena základní geometrická tělesa pro zkoušky, na kterých byla provedena studie tvarového faktoru. Další část byla rozdělena do tří kapitol – analytické výpočty, simulace tlakové zkoušky pomocí výpočtového programu MSC a tlaková zkouška na zkušebním zařízení ZWICK. U výpočtů byly odvozeny tvarové faktory pro všechny zvolená zkušební tělesa . Byla zde popsána pomocí grafů závislost tvarového faktoru na výšce tělesa. Ve druhé části byla provedena simulace tlakové zkoušky. Hodnoty získané touto metodou byly vyhodnoceny a srovnány. Byly zde srovnány hodnoty napětí pro jednotlivé tvary těles. Ve třetí části byla provedena tlaková zkouška na zkušebním zařízení ZWICK. Naměřené hodnoty byly mezi sebou porovnány v tabulkách a grafech. Z grafů je patrné, jak tvarový faktor ovlivňuje velikost napětí. V závěru diplomové práce jsou jednotlivé metody mezi sebou porovnány.

Hlavní myšlenkou této diplomové práce bylo seznámit se s problematikou tvarového faktoru a ukázat, jaký vliv má tvar a rozměr při namáhání tělesa. Diplomová práce se nezabývala jenom studii, ale také byla věnována konstrukci a výrobě lisovací formy. Forma byla konstruována s ohledem na univerzálnost, takže při výměně tvarových části by se na formě mohla vyrobit tělesa ještě o jiných tvarech hranolů, např.: trojúhelníkového průřezu, šestiúhelníkového průřezu apod.. Takže v budoucnu by mohla byt tato diplomová práce rozšířena o studii dalších tvarů.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] Brown, R. Physical testing of Rubber, USA, 2006, ISBN 100-387-2828-6

[2] Franta, I. Gumárenská technologie I. SNTL, Praha, 1979.

[3] Franta, I. Gumárenská technologie II. SNTL, Praha, 1979.

[4] Gent, A. N. Engineering with Rubber, USA, 2001, ISBN 1-56990-299-2.

[5] Holub, J. Gumárenská technologie VII. SNTL, Praha, 1967.

[6] Leinveber, J. Řasa, J. Vávra, P. Strojnické tabulky. Brno, 2000, ISBN 80-7183-164-6.

[7] Mahlovský, J. Černý, J. Kobylík, L. Příručka pro gumárenskou praxi, Praha,1974.

[8] Meisner, B. Zilvar, V. Fyzika polymerů, SNTL , Praha ,1987.

[9] Morton, M. Rubber technology, Sekond Edition, 1973, ISBN 0-442-25565-9

[10] Růžička, K a Pospíšil, L. Směrnice pro konstrukci vstřikovacích forem I. ČSVTS, Zlín, 1979

[11] Prekop, Š. Várkoly, L. Gumárenská technologia I. EDIS, Žilina, 1998.

[12] Svoboda, P. Brandejs, J. Prokeš, F. Základy konstruování, [skripta], Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno, 2003.

[13] Tomis, F. Formy a přípravky, VUT, Brno, 1979

[14] Vávra, P. Strojírenská příručka, Brno, 1994, ISBN 80-85827-X

[15] Zámorský, Z. Nauka o polymerech II. VUT, Brno, 1980.

[16] MSC. SOFTWARE CORPORATION, PATRAN, [online]. [cit. 2007-04-03]. Dostupný z WWW: <http://www.mscsoftware.com/products/patran.cfm>.

[17] MSC. SOFTWARE CORPORATION, MARC, [online]. [cit. 2007-04-03]. Dostupný z WWW: < http://www.mscsoftware.com/products/marc.cfm >.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

τ průměrné smykové napětí [MPa]

F velikost zatěžovací sily [N]

S čelní plocha zkušebního tělesa [m^2]

γ zkos [radián]

f velikost deformace [m]

σ napětí v tahu nebo tlaku [MPa]

τ smykové napětí [MPa]

ε poměrná deformace [%]

γ poměrná smyková deformace

E modul pružnosti (v tahu nebo v tlaku)[MPa]

G modul elasticity ve smyku [MPa].

k tvarový faktor

D průměr válce [mm]

a strana hranolu [mm]

d průměr válcové díry [mm]

b strana díry čtvercového průřezu [mm]

l výška zkušebního tělesa [mm]

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Příčné vazby……12

Obr. 2. Vulkanizační křivka……..…….17

Obr. 3. Tahová křivka…….24

Obr. 4. Pracovní diagram dvou různých elastomerů shodných fyzikálních vlastností při rozdílné tažnosti…….…….…….31

Obr. 5. Opakované pravidelné zatěžování eleastomeru……...……...…….32

Obr. 6. Opakované zatížení elastomeru s prodlevou……...…….33

Obr. 7. Časová závislost výšky deformovaného vzorku namáhaného tlakem (platí pro každou deformaci)…….…..35

Obr. 8. Modul pružnosti v tlaku v závislosti na teplotě pro vulkanizáty s kaučuky a - NR, b - SBR, c - NBR, d – CR…….…..38

Obr. 9. Vliv teploty na změnu modulu pružnosti v tlaku, trvalou deformaci a tok vulkanizátu pro stejný vulkanizát……38

Obr. 10. Smykové namáhání……..……40

Obr.11. Modul pružnosti vulkanizátu v tlaku v závislosti na tvarovém faktoru pro vulkanizáty o různé tvrdosti (deformace 0-20%)……..……...43

Obr.12. Modul pružnosti vulkanizátu v tahu v závislosti na tvarovém činiteli - faktoru pro vulkanizáty o různé tvrdosti (deformace 0-20%)…….….44

Obr.13. Modul pružnosti vulkanizátu ve smyku v závislosti na tvarovém činiteli - faktoru pro vulkanizáty o různé tvrdosti (deformace 0-20%)…….….44

Obr. 14. Univerzální frézka FHV – 50 PD……...49

Obr. 15. Soustruh univerzální hrotový TOS žebrák – S32…….50

Obr. 16. Bruska rovinná BRH 20.03 F ……..50

Obr. 17. Upínací deska ……51

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Obr. 18. Tvarová deska s válcovou dutinou ……51

Obr. 19.Tvarová deska s čtvercovou dutinou ……..52

Obr. 20. Schéma odvodu přebytečného materiálu ……...52

Obr. 21. Spodní dutina formy se stojkami ……...53

Obr. 22. Stojka s půlkruhovou drážkou pro umístěn jádra……...53

Obr. 23. Jádro čtvercového průřezu ……53

Obr. 24. Jádro kruhového průřezu……54

Obr. 25. Spodní část formy s jádrem……54

Obr. 26. Spodní část formy s vodícími čepy……..……54

Obr. 27. Lisovací forma ……..……55

Obr. 28. Spodní a horní část lisovací formy ……55

Obr. 29. Použité zkušební tělesa ……56

Obr. 30. Označení tvarů ……..57

Obr. 31. Označení délek ……..57

Obr. 32. Lis……58

Obr. 33. Zkušební těleso……69

Obr. 34. Zkušební těleso před a po nafukování ……....70

Obr. 35. Průběh zkoušky……..…70

Obr.36. Plný čtverec, napětí σ (MPa)……..……71

Obr. 37. Hranol s dírou čtverc. průřezu, napětí σ (MPa) ……...…….……71

Obr. 38. Hranol s válcovou dírou, napětí σ (MPa) ……..……72

Obr. 39. Plný hranol, napětí σ (MPa) ……..……72

Obr. 40. Hranol s dírou čtverc. průřezu, napětí σ (MPa)……...……..72

Obr. 41. Hranol s válcovou dírou, napětí σ (MPa)……..……73

Obr. 42. Plný válec, napětí σ (MPa)……73

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Obr. 43. Válec s válcovou dírou, napětí σ (MPa) ……...73

Obr. 44. Válec s dírou čtverc. průřezu, napětí σ (MPa) ……..……74

Obr. 45. Plný válec, napětí σ (MPa) ……..…….74

Obr. 46. Válec s válcovou dírou, napětí σ (MPa) ……74

Obr. 47. Válec s dírou čtverc. průřezu, napětí σ (MPa)……..…….75

Obr. 48. Zkušební stroj ZWICK 1456…….….76

Obr. 49. Ukázka zatížení zkušebních těles …….76

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Hodnoty tvar. faktoru pro plný hranol……....59

Tab. 2. Hodnoty tvar. faktoru pro hranol s dírou čtverc. průřezu ……...60

Tab. 3. Hodnoty tvar. faktoru pro hranol s válc. dírou……..60

Tab. 4. Hodnoty tvar. faktoru pro plný válec……...61

Tab. 5. Hodnoty tvar. faktoru pro válec s válc. dírou……..62

Tab. 6. Hodnoty tvar. faktoru pro válec s dírou čtverc. průřezu ……..……62

Tab. 7. Hodnoty výšky x pro plný hranol……63

Tab. 8. Hodnoty výšky x pro hranol s dírou čtverc. průřezu ……..……64

Tab. 9. Hodnoty výšky x pro hramol s válc. dírou……...64

Tab. 10. Hodnoty výšky x pro plný válec……65

Tab. 11. Hodnoty výšky x pro válec s válc. dírou……66

Tab. 12. Hodnoty výšky x pro válec s dírou čtverc. průřezu……66

Tab. 13. Výpočet napětí σ……68

Tab. 14. Výsledné hodnoty tlakové zkoušky pro hranol..……71

Tab. 15. Výsledné hodnoty tlakové zkoušky pro hranol ……72

Tab. 16. Výsledné hodnoty tlakové zkoušky pro válec……...72

Tab. 17. Výsledné hodnoty tlakové zkoušky pro válec……74

Tab. 18. Hranol o délce l = 100mm, materiál S 1234 ……..……..77

Tab. 19. Hranol o délce l = 50mm, materiál S 1234 ……..…... 77

Tab. 20. Hranol o délce l = 25mm, materiál S 1234 ……..……...77

Tab. 21. Hranol o délce l = 100mm, materiál T 426 ……..…… 77

Tab. 22. Hranol o délce l = 50mm, materiál T 426 ……..……78

Tab. 23. Hranol o délce l = 25mm, materiál T 426 ……..……...78

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Tab. 24. Válec o délce l = 100mm, materiál S 1234 ……..78

Tab. 25. Válec o délce l = 50mm, materiál S 1234 ……...78

Tab. 26. Válec o délce l = 25mm, materiál S 1234 ……...78

Tab. 27. Válec o délce l = 100mm, materiál T426 ……...79

Tab. 28. Válec o délce l = 50mm, materiál T426 ……..79

Tab. 29. Válec o délce l = 25mm, materiál T426 …….. 79

Tab. 30. Srovnání všech tří metod vyhodnocování ……91

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1. Závislost tvar. faktoru na výšce pro plný hranol……59

Graf 2. Závislost tvar. faktoru na výšce pro hranol s dírou čtverc. průřezu ……...…...60

Graf 3. Závislost tvar. faktoru na výšce pro čtverec válc. dírou……61

Graf 4. Závislost tvar. faktoru na výšce pro plný válec ……..61

Graf 5. Závislost tvar. faktoru na výšce pro válec s válc. dírou ……62

Graf 6. Závislost tvar. faktoru na výšce pro válec s dírou čtverc. průřezu ……...……..63

Graf 7. Závislost tvar. faktoru na výšce pro plný hranol ……..……..63

Graf 8. Závislost tvar. faktoru na výšce pro plný hranol ……..…..64

Graf 9. Závislost tvar. faktoru na výšce pro hranol s válc. dírou ……..…..65

Graf 10. Závislost tvar. faktoru na výšce pro plný válec ……...65

Graf 11. Závislost tvar. faktoru na výšce pro válec s válc. dírou ……..…..66

Graf 12. Závislost tvar. faktoru na výšce pro válec s dírou čtverc. průřezu ……..…….....67

Graf 13. Plný hranol o různých délkách……..….80

Graf 14. Hranol s dírou čtverc. průřezu o různých délkách……..……80

Graf 15. Hranol s válcovou dírou o různých délkách…….……..…81

Graf 16. Plný hranol o různých délkách…….…….……81

Graf 17. Plný válec o různých délkách…….……82

Graf 18. Válec s válcovou dírou o různých délkách…….……82

Graf 19. Válec s dírou čtverc. průřezu o různých délkách…….…….83

Graf 20. Plný válec o různých délkách ……..…..83

Graf21. Srovnání hranolů o délce l = 100mm……...…….…….….84

Graf 22. Srovnání hranolů o délce l = 50mm……...…….……...84

Graf 23. Srovnání hranolů o délce l = 25mm……...…….…...85

Graf 24. Srovnání válců o délce l = 100mm……..…..85

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

Graf 25. Srovnání válců o délce l = 50mm……..…..86

Graf 26. Srovnání válců o délce l = 25mm……..…..86

Graf 27. Plný hranol ze směsi S 1234 a T 426 ……..……..…….87

Graf 28. Hranol s dírou čtverc. průřezu ze směsi S 1234 a T 426 ……...88

Graf 29. Plný válec ze směsi S 1234 a T 426 ……..… 88

Graf 30. Válec s válcovou dírou ze směsi S 1234 a T 426 ……..... 89

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

SEZNAM PŘÍLOH

P I	Lisovací forma 1
P II	Lisovací forma 2
P III	Bočnice horní
P IV	Upínací deska horní
P V	Bočnice spodní
P VI	Upínací deska spodní
P VII	Tvarová deska spodní 1
P VIII	Vodící čep
P IX	Tvarová deska horní 1
P X	Jádro 1
P XI	Tvarová deska spodní 2
P XII	Tvarová deska horní 2
P XIII	Jádro 2
P XIV	Bočnice spodní čistá
P XV	Tahová zkouška, materiál S 1234
P XVI	Tahová zkouška, graf S 1234
P XVII	Tahová zkouška, materiál T 426
P XVIII	Tahová zkouška, graf T 426
P XIX	Nafukování, naměřené hodnoty pro program MSC, materiál S 1234
P XX	Nafukování, naměřené hodnoty pro program MSC, materiál T 426
P XXI	Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 1
P XXII	Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 2
P XXIII	Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 3
P XXIV	Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 4
P XXV	Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 5
P XXVI	Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 6

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

P XXVII Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 7

P XXVIII Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 8

P XXIX Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 9

P XXX Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 10

P XXXI Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 11

P XXXII Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 12

P XXXIII Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 13

P XXXIV Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 14

P XXXV Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 15

P XXXVI Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 16

P XXXVII Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 17

P XXXVIII Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 18

P XXXIX Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 19

P XL Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 20

P XLI Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 21

P XLII Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 22

P XLIII Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 23

P XLIV Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 24

P XLV Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 25

P XLVI Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 26

P XLVII Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 27

P XLVIII Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 28

P IL Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 29

P L Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 30

P LI Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 31

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

P LII Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 32

P LIII Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 33

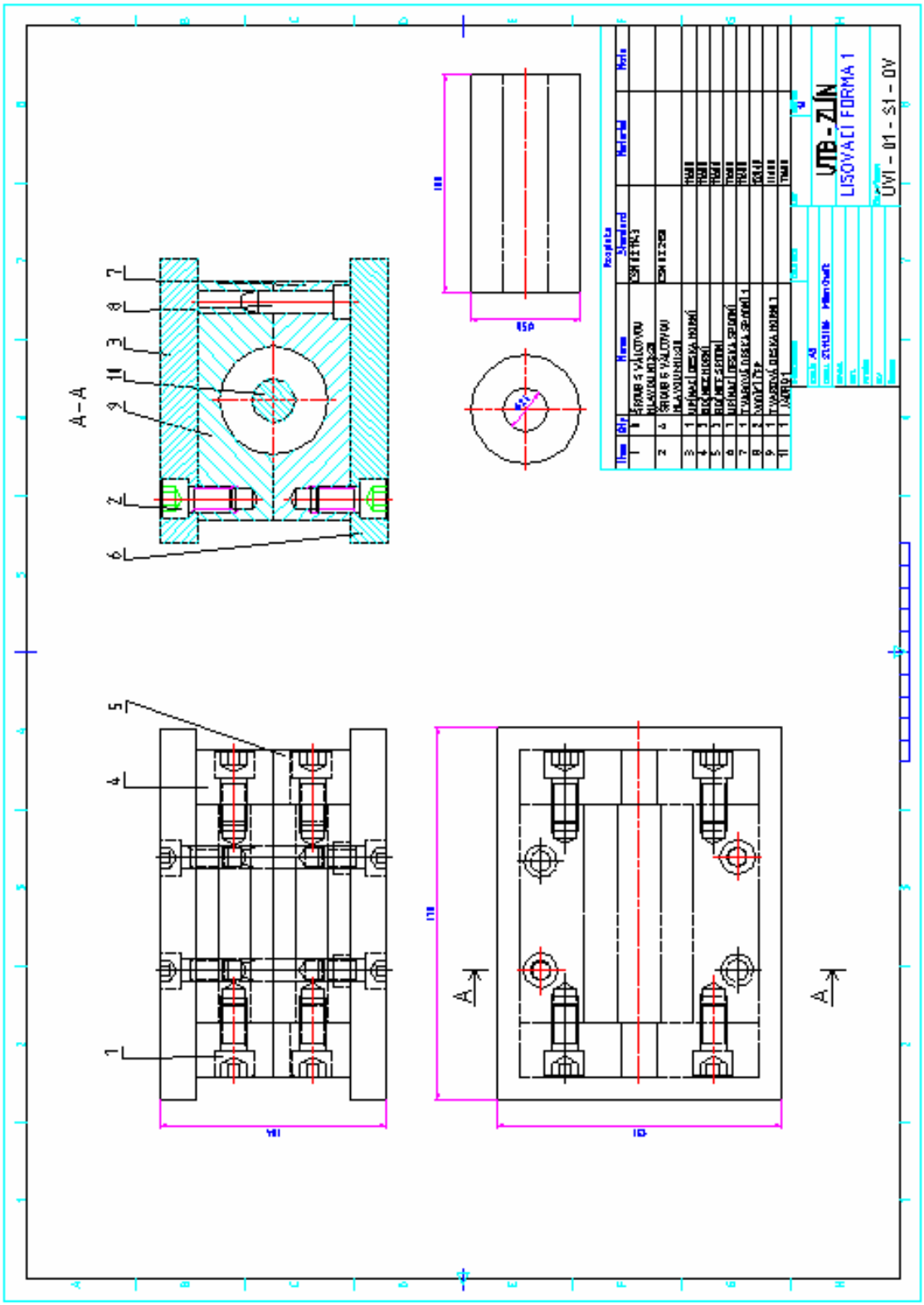
P LIV Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 34

P LV Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 35

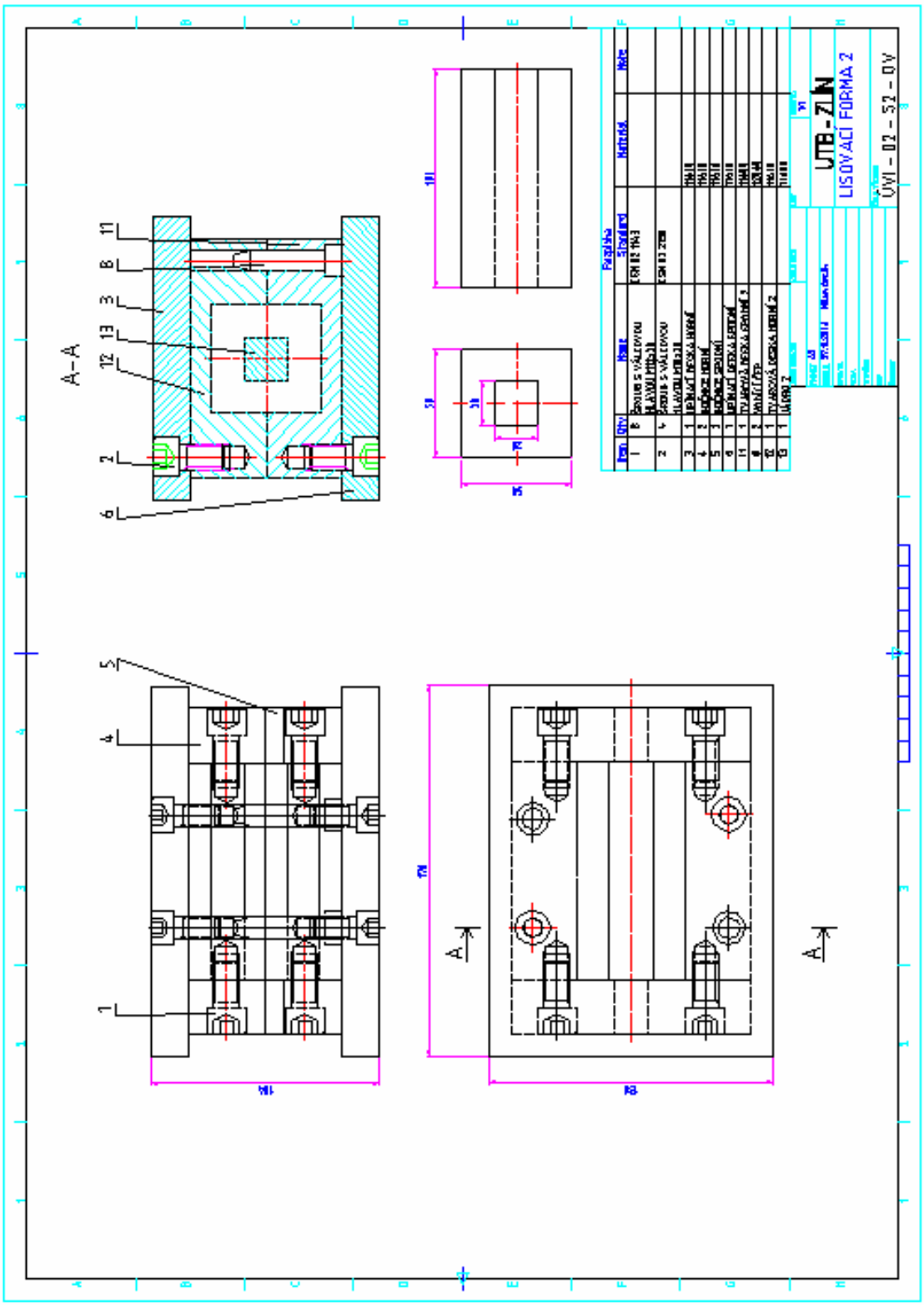
P LVI Naměřené hodnoty, tlak. Zkouška č. 36

Přílohy jsou uvedeny v přiloženém CD.

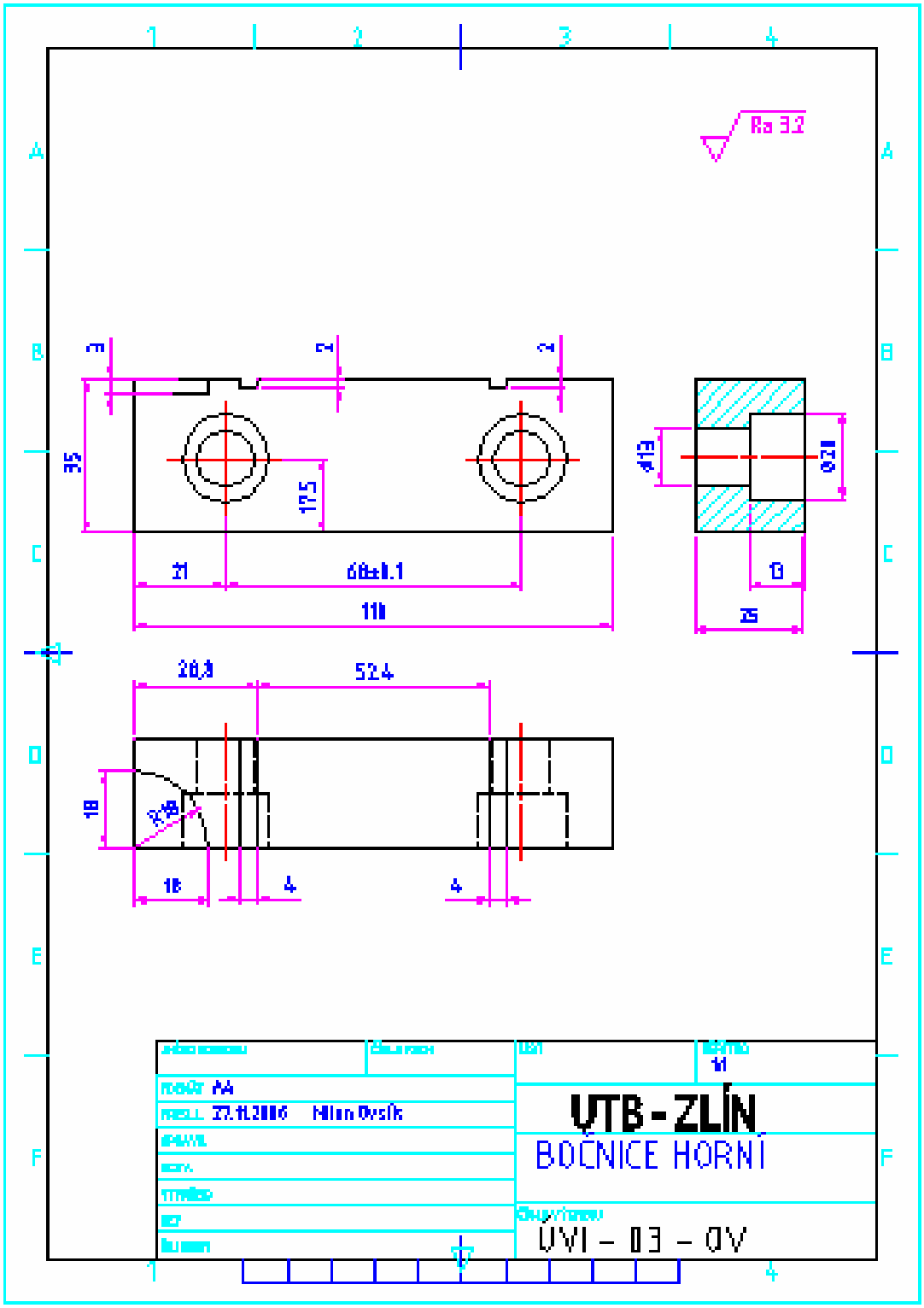
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



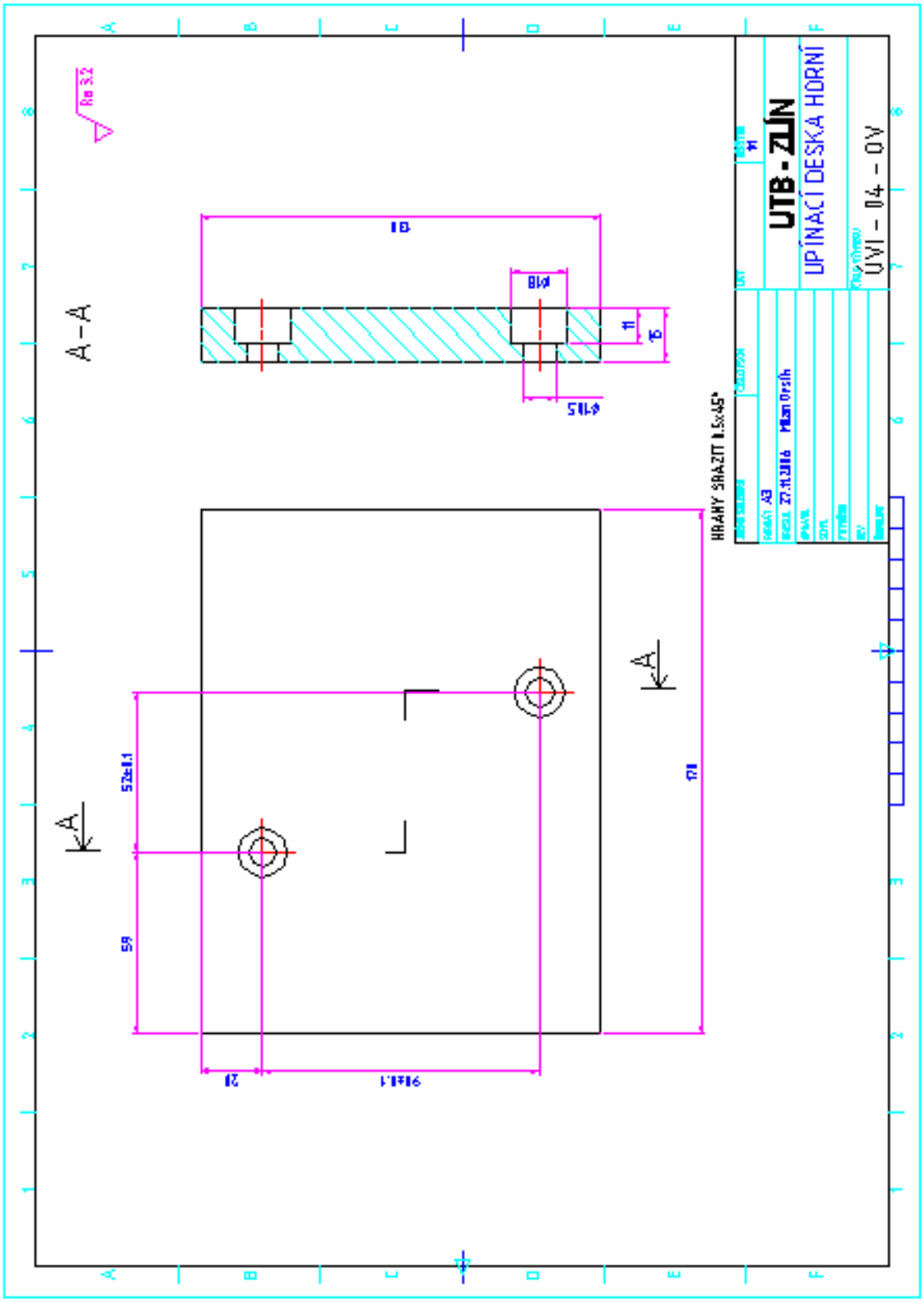
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



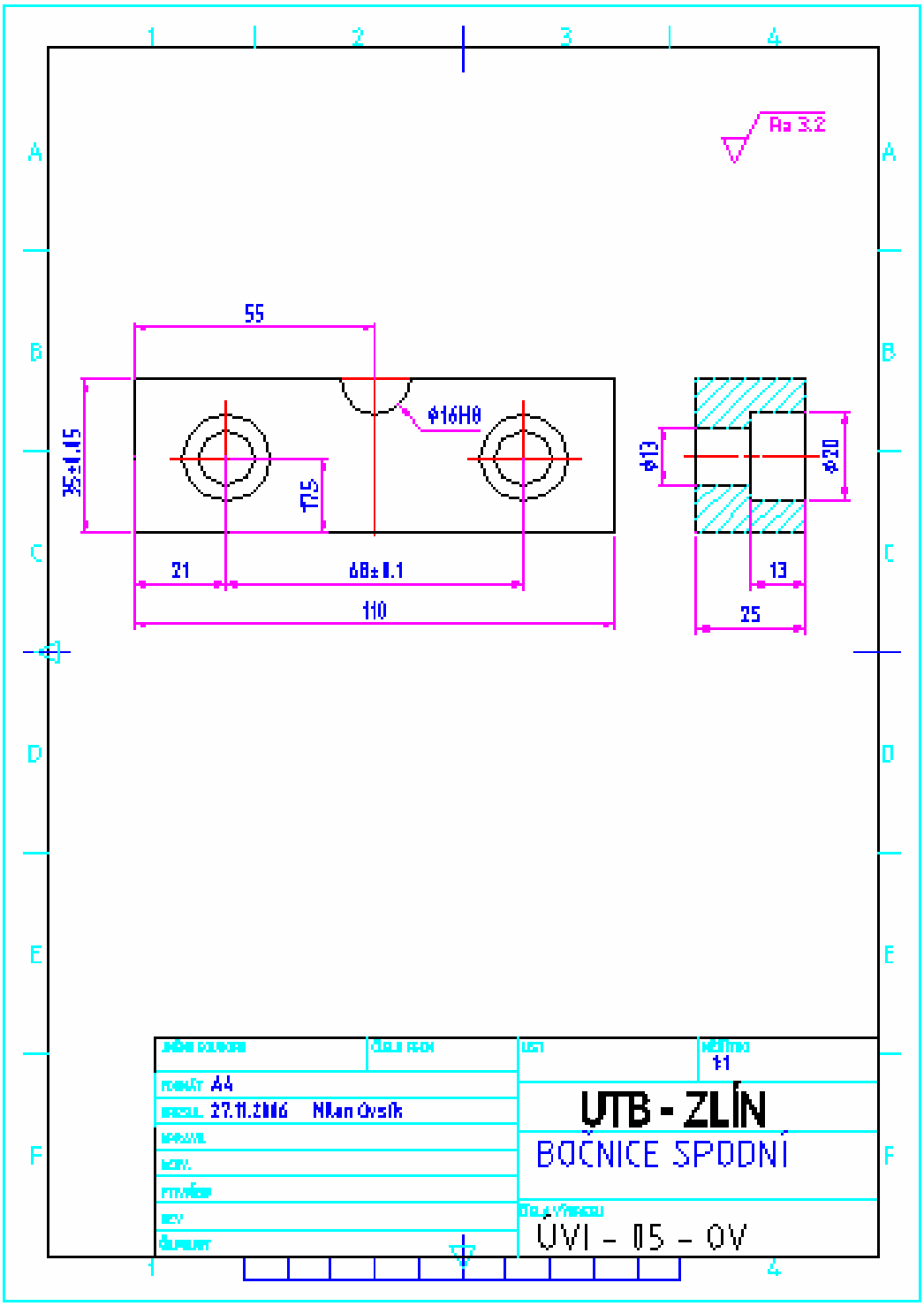
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



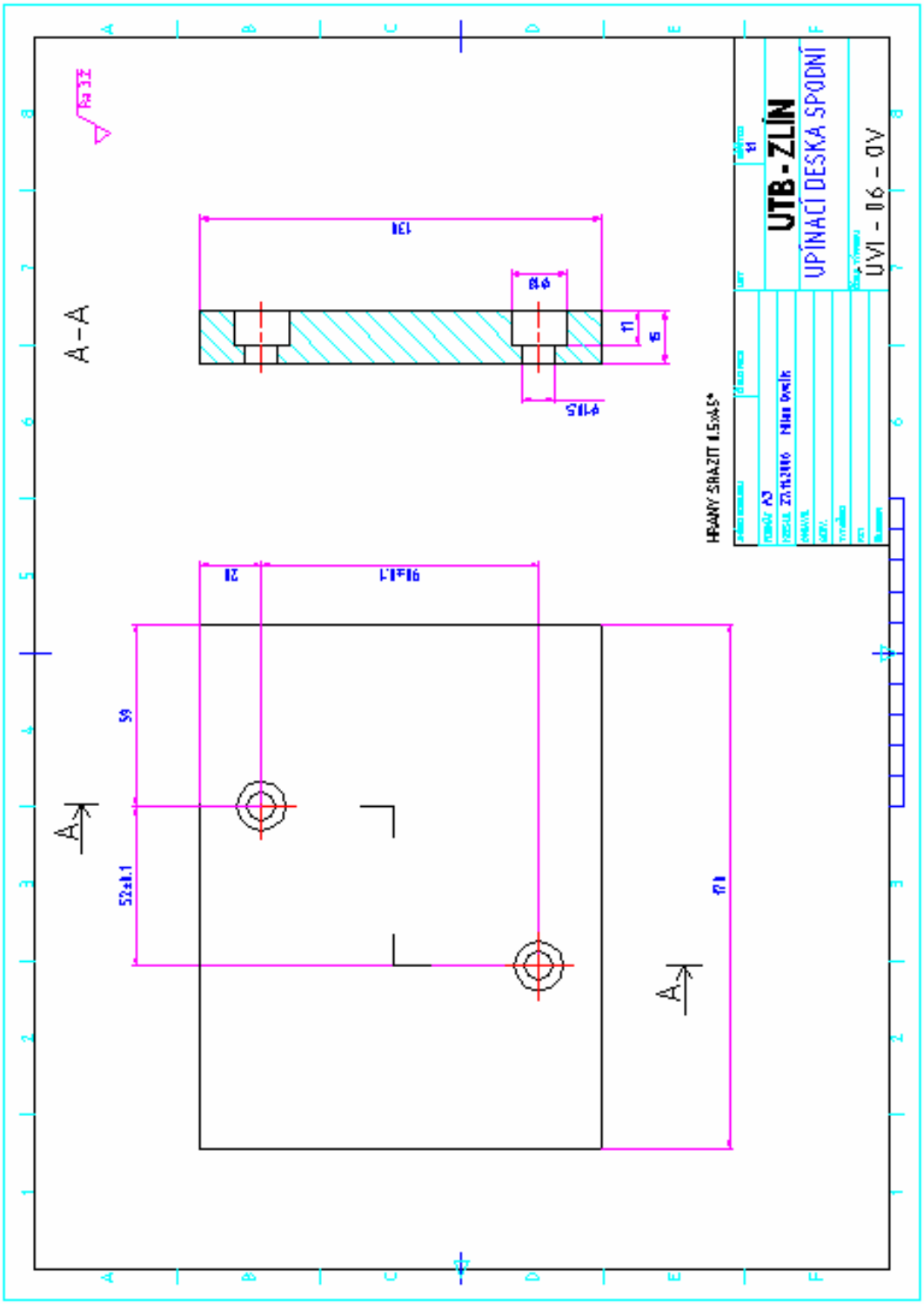
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



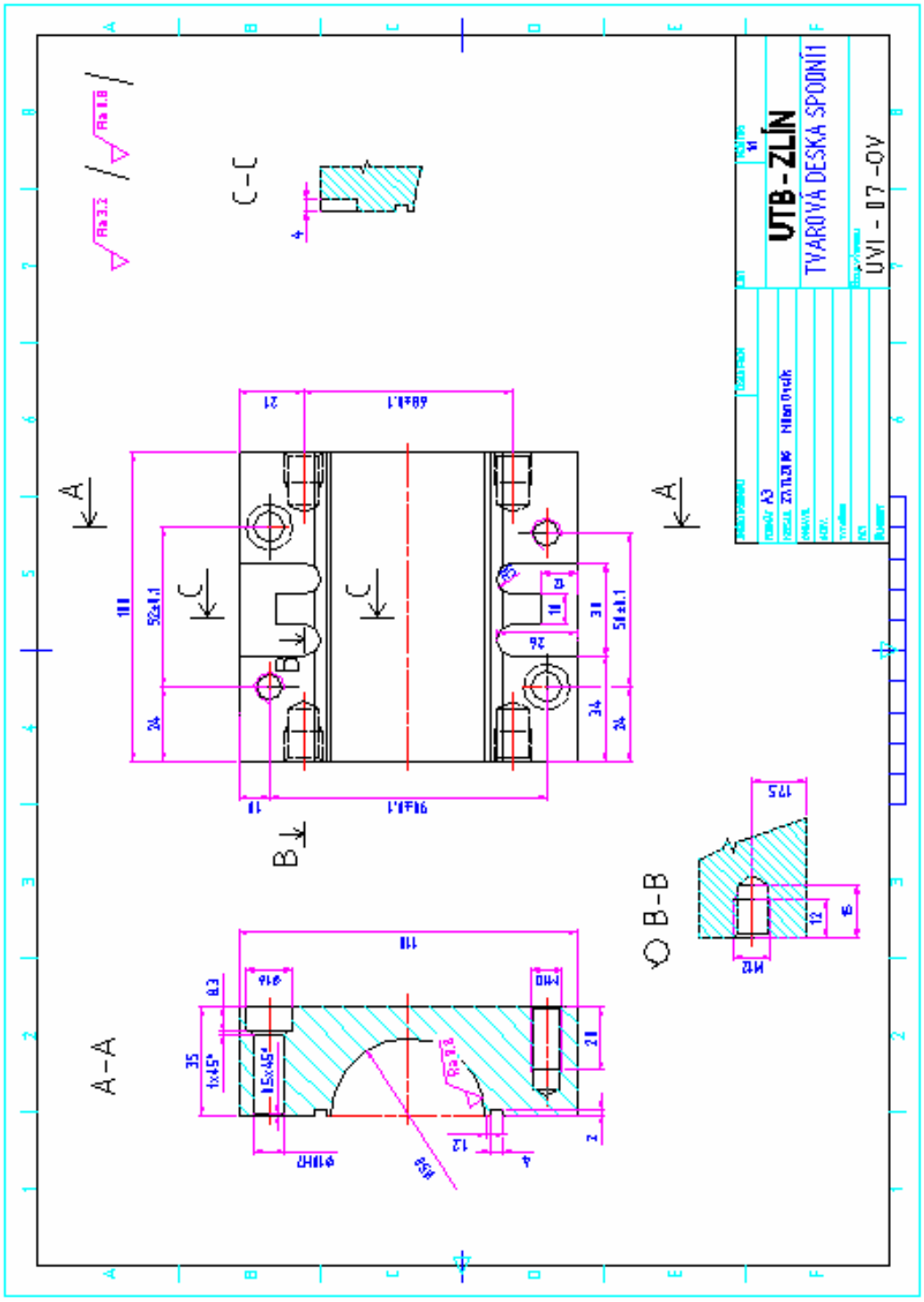
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



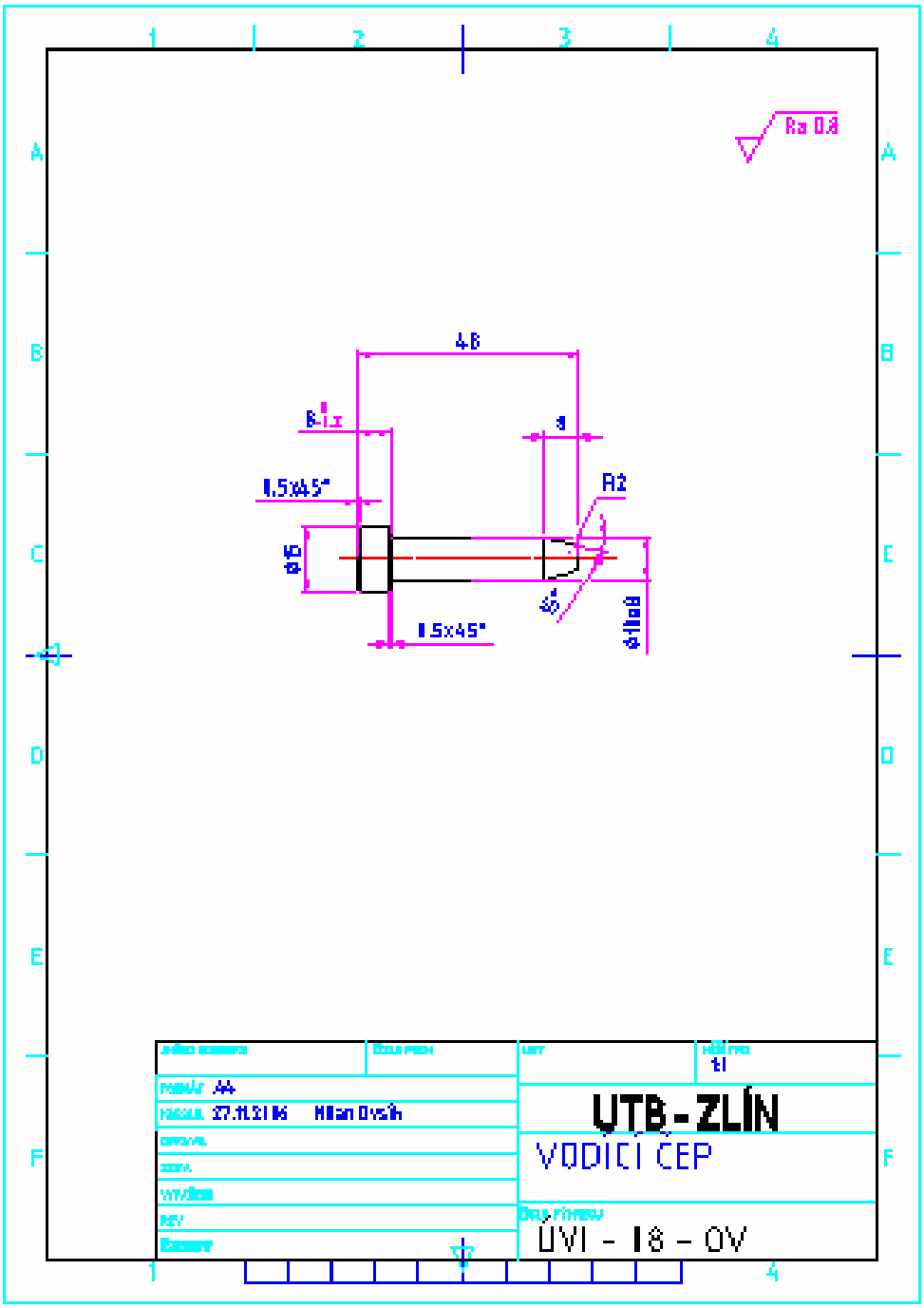
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



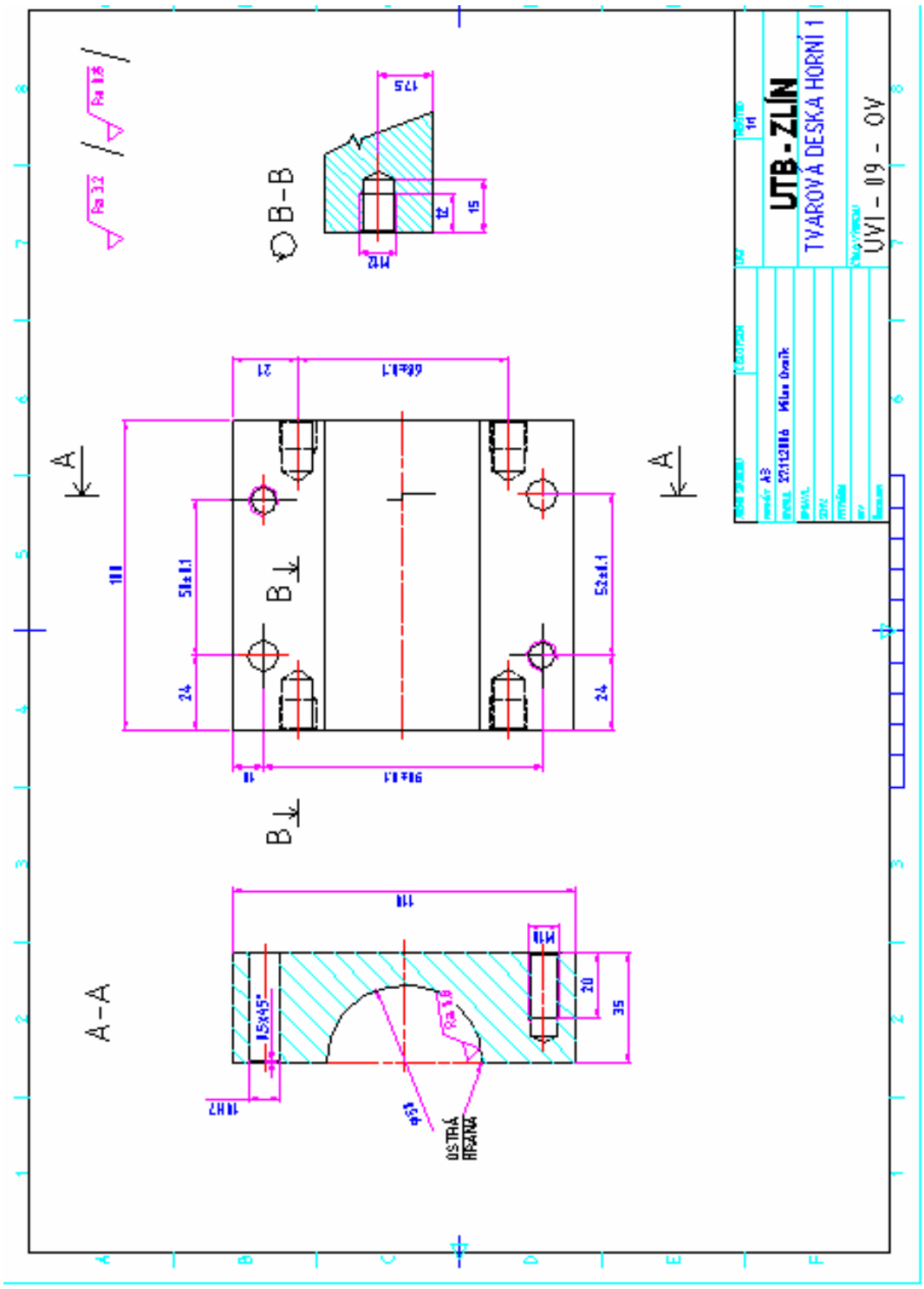
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



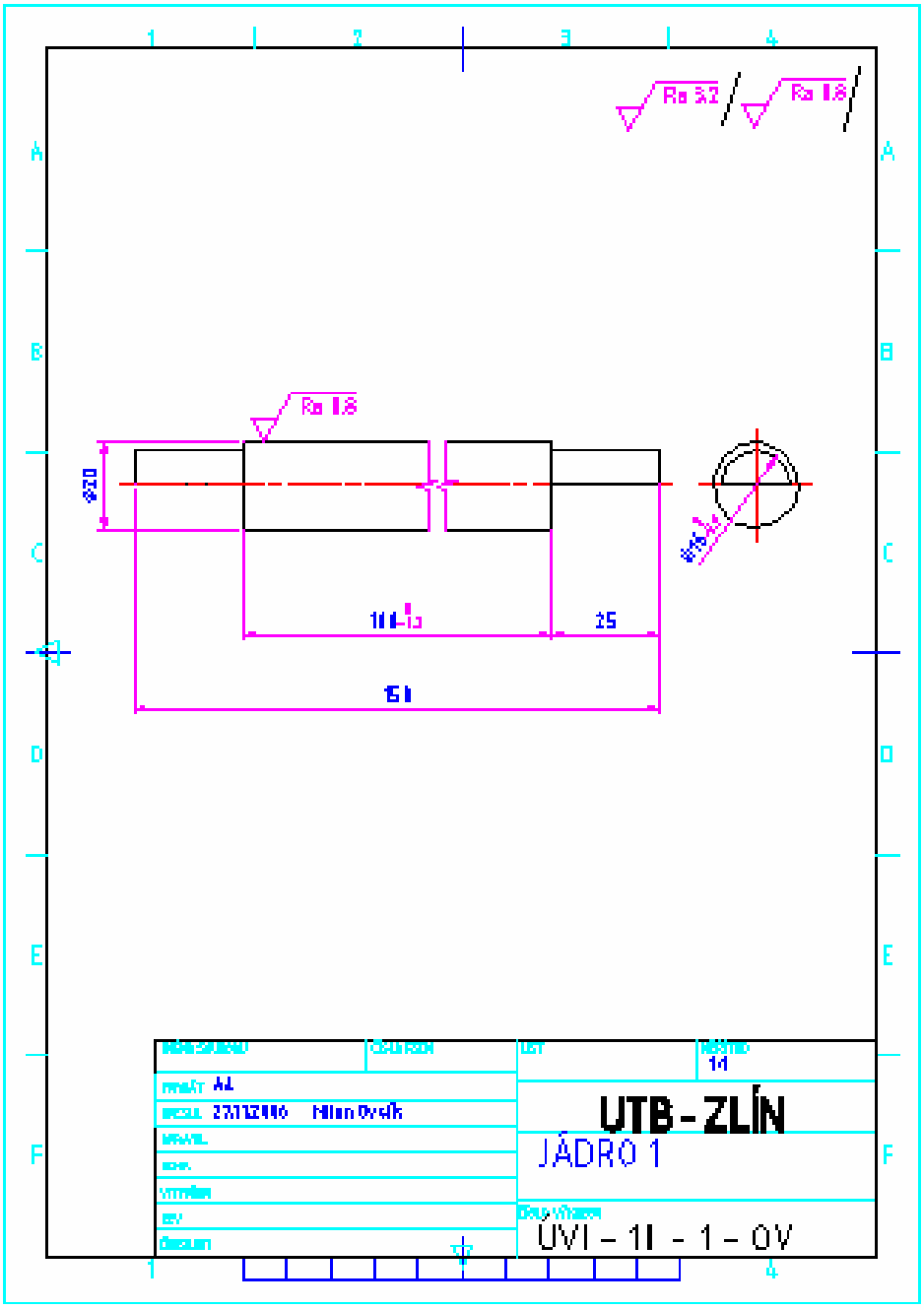
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



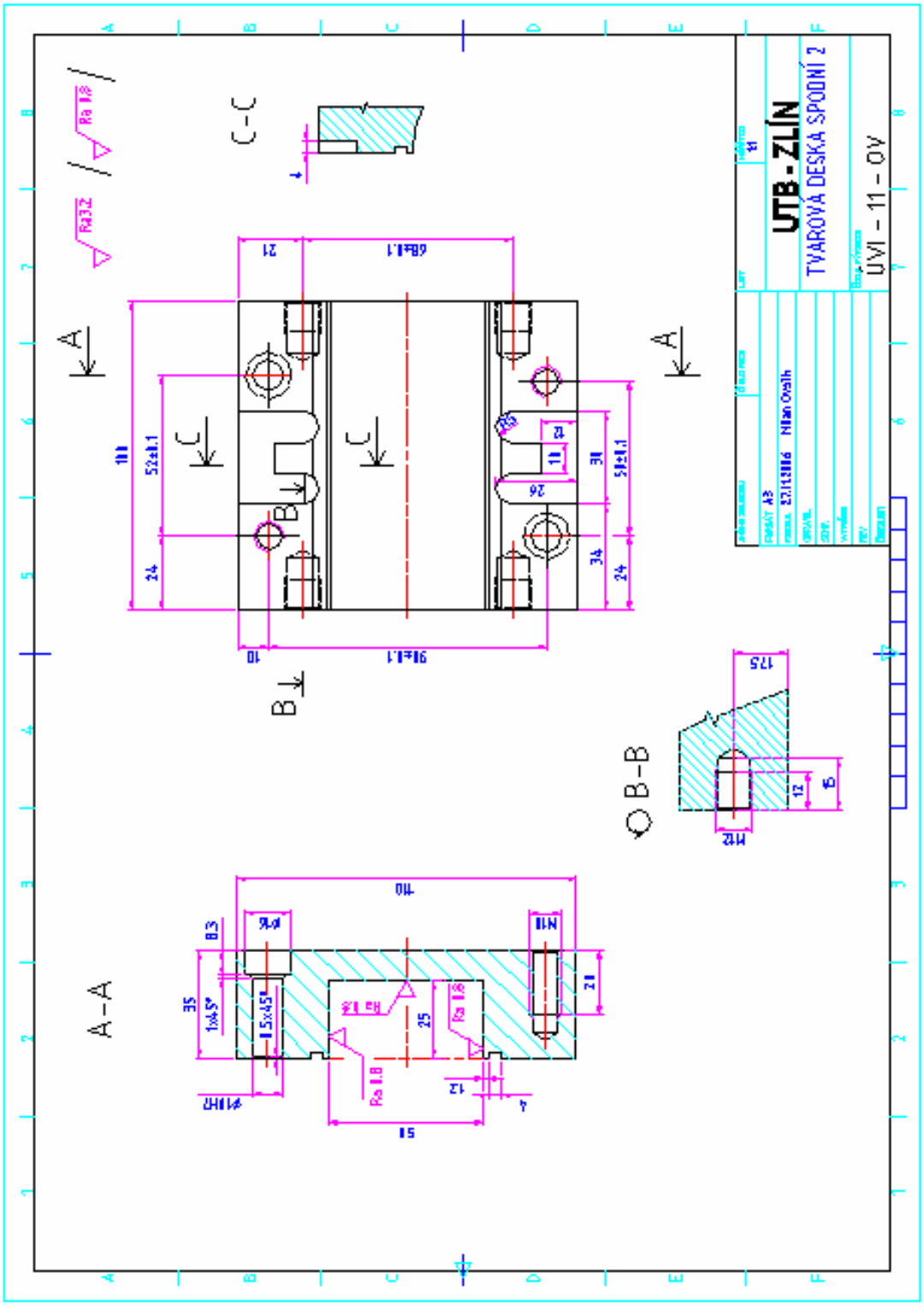
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



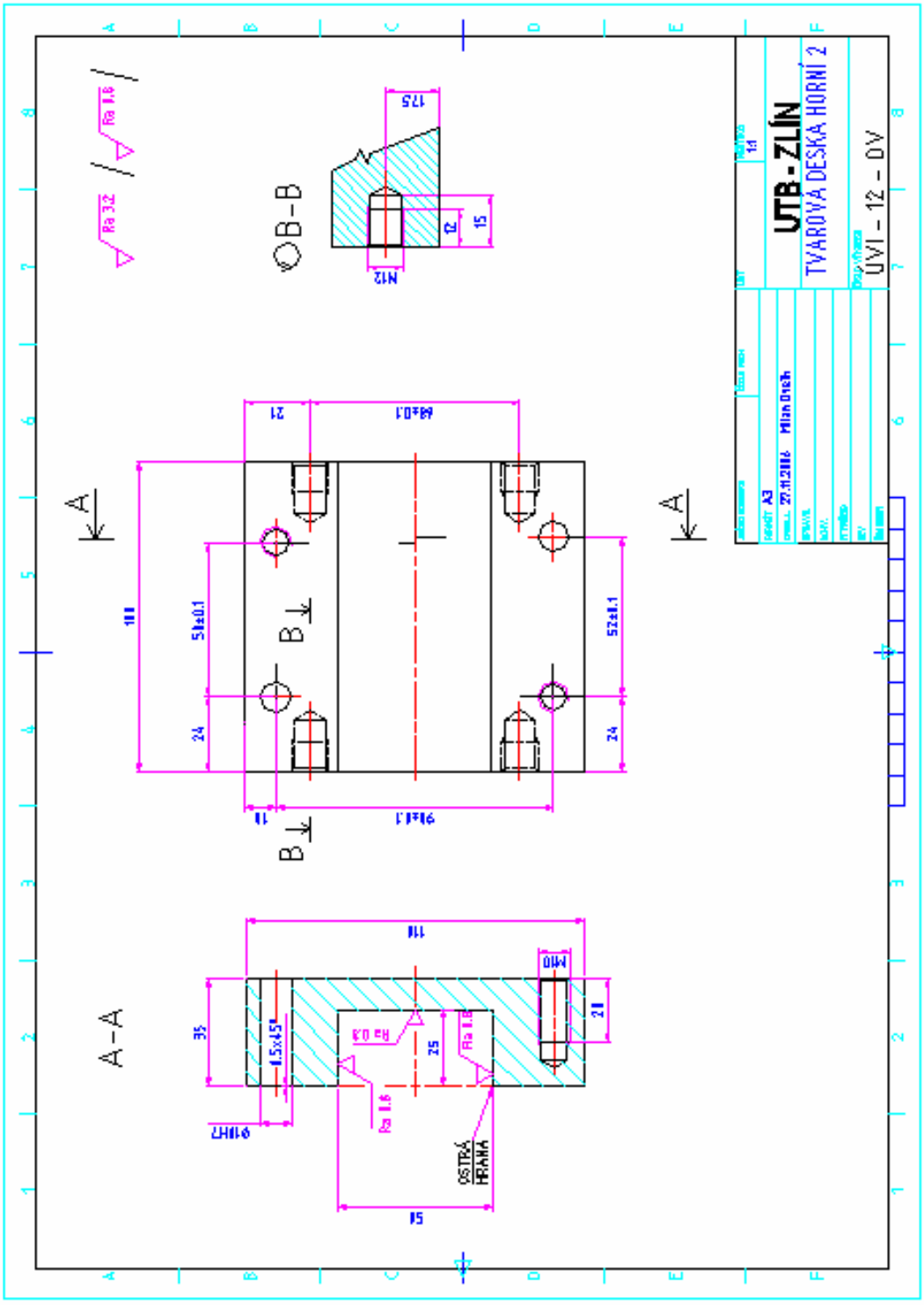
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



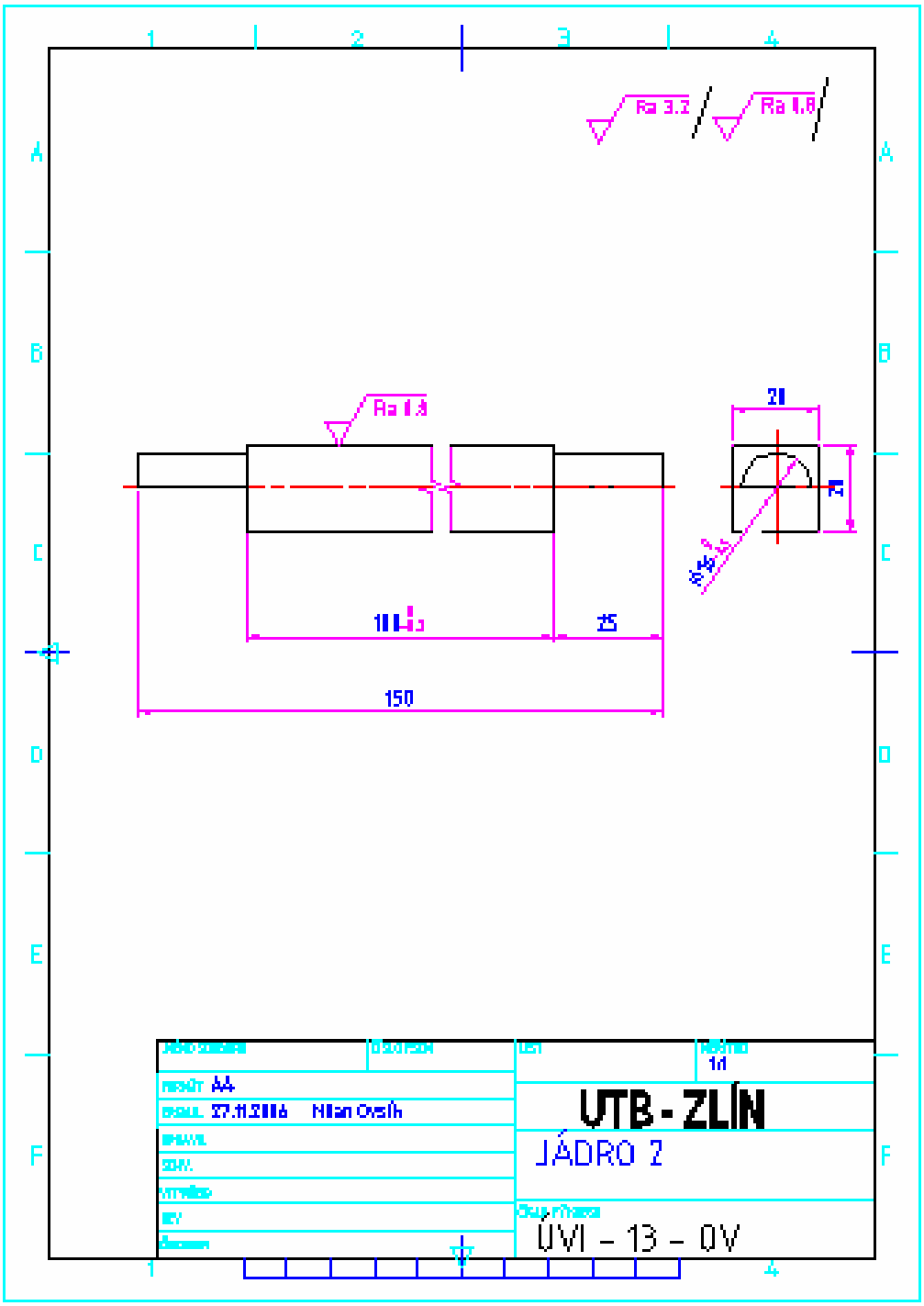
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



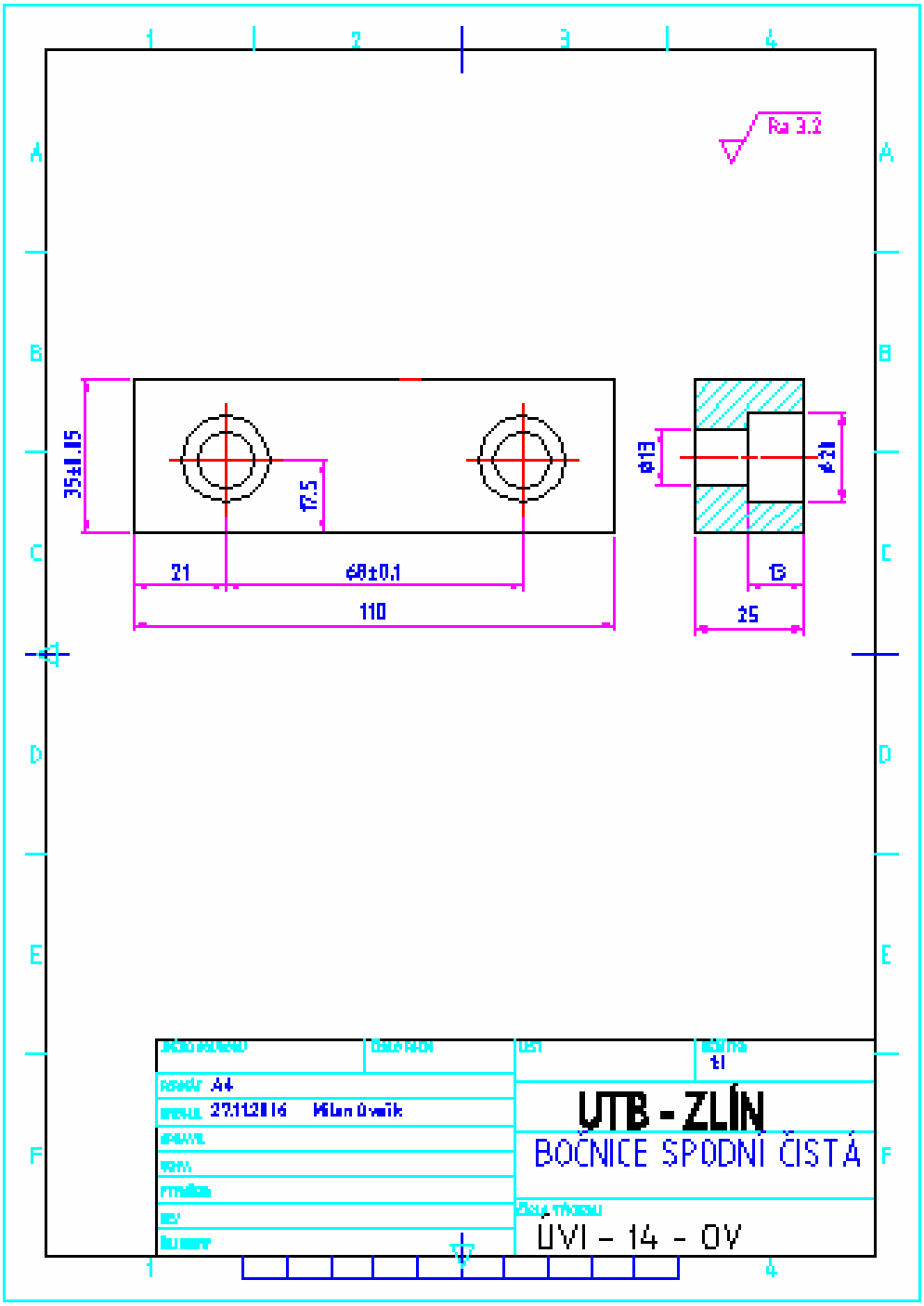
PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P XV: TAHOVÁ ZKOUŠKA, MATERIAL S 1234

UVI FT
Diplomova prace

Alpha Technologies T2000 - Page 1
1234_1_kolmo_00_16-02-07 08.36.

Compound:	1234	Name:	Supervisor
Number:	1	Test Type:	tahove zkousky
Direction:	kolmo	Test Name:	Sumbera_knife_6mm
Vzorek:	00	Test Date:	16-02-07
Datum:	16-02-07 08.36.	Test Time:	08.36.51

Sample 002

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61001
Serial Number: 82SIG1363
Tension Rubber Dumbbell
Number of Specimens: 5
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 40 MPa)
Extension measured by: high extensometer (Gauge Length 25.000 mm)
Stage 1 speed: 500.0 mm/min

Specimen details

	Width mm	Thickness mm	Area mm2	Range N	Utilisation %
Specimen 1	6.0000	2.4467	14.680	500	58.72
Specimen 2	6.0000	2.4867	14.920	500	59.68
Specimen 3	6.0000	2.4943	14.966	500	59.86
Specimen 4	6.0000	2.4553	14.732	500	58.93
Specimen 5	6.0000	2.3567	14.140	500	56.56

Specimen results

	Break Stress MPa	Break Strain %	Peak Stress MPa	Peak Strain %	Mod @ 50% MPa	Mod @ 100% MPa
Specimen 1	17.914	684.70	17.914	684.70	0.814	1.249
Specimen 2	18.214	679.80	18.214	679.80	0.830	1.263
Specimen 3	17.949	677.70	17.949	677.70	0.813	1.241
Specimen 4	18.120	683.10	18.120	683.10	0.828	1.255
Specimen 5	18.717	699.50	18.717	699.50	0.800	1.212

	Mod @ 200% MPa	Mod @ 300% MPa	Mod @ 500% MPa
Specimen 1	2.773	5.307	11.571
Specimen 2	2.787	5.344	11.789
Specimen 3	2.734	5.244	11.653
Specimen 4	2.788	5.313	11.666
Specimen 5	2.650	5.127	11.594

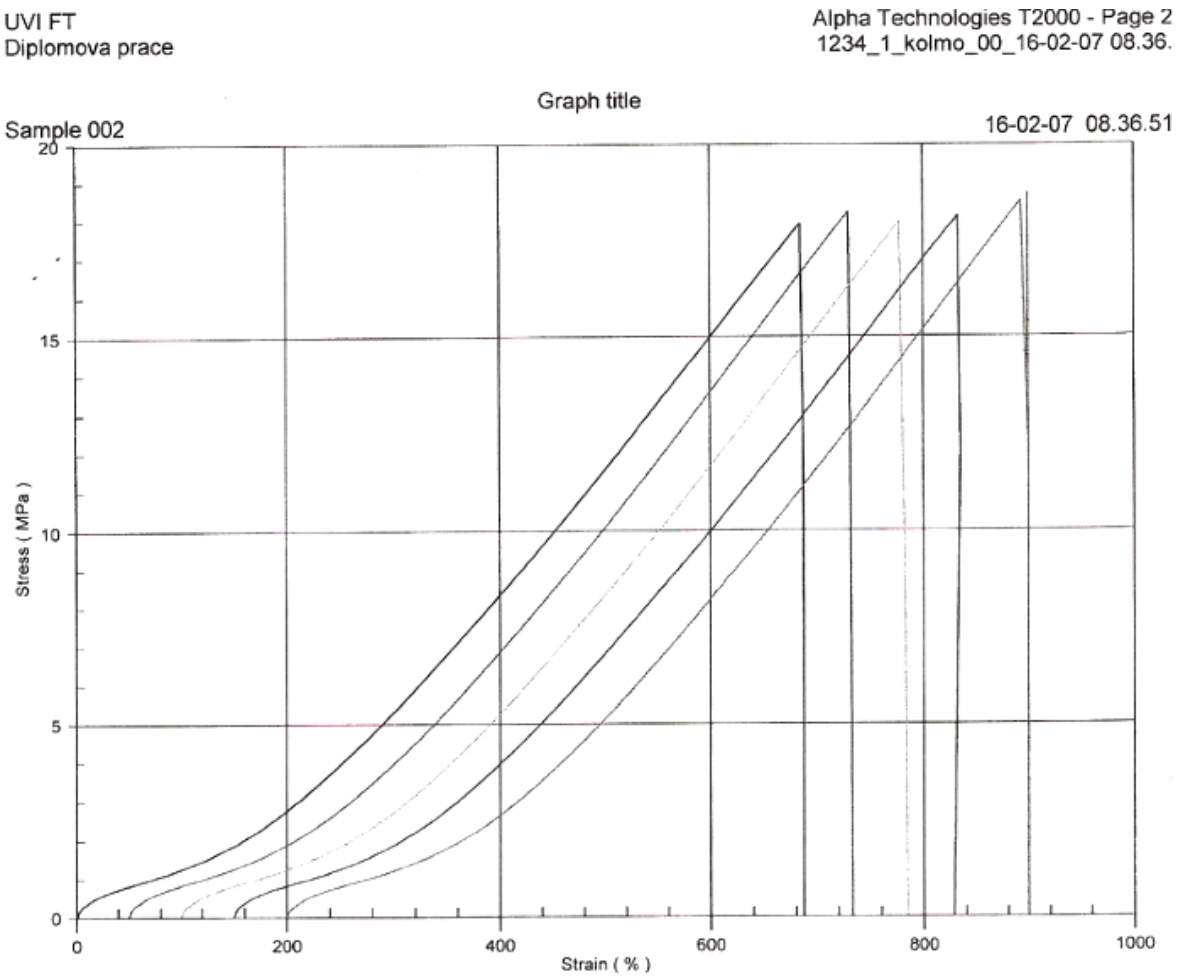
Multi-specimen results

	Break Stress MPa	Break Strain %	Peak Stress MPa	Peak Strain %	Mod @ 50% MPa	Mod @ 100% MPa
Median	18.120	683.10	18.120	683.10	0.814	1.249
Average	18.183	684.96	18.183	684.96	0.817	1.244
Range	0.803	21.800	0.803	21.800	0.030	0.051
Highest	18.717	699.50	18.717	699.50	0.830	1.263
Lowest	17.914	677.70	17.914	677.70	0.800	1.212

	Mod @ 200% MPa	Mod @ 300% MPa	Mod @ 500% MPa
Median	2.773	5.307	11.653
Average	2.746	5.267	11.655
Range	0.138	0.217	0.219
Highest	2.788	5.344	11.789
Lowest	2.650	5.127	11.571

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P XVI: TAHOVÁ ZKOUŠKA, GRAF S 1234



Graf závislost napětí σ na deformaci ε pro materiál S 1234

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P XVII: TAHOVÁ ZKOUŠKA, MATERIAL T 426

UVI FT
Diplomova prace

Alpha Technologies T2000 - Page 1
246_1_kolmo_01_16-02-07 09.06.

Compound:	246	Name:	Supervisor
Number:	1	Test Type:	tahove zkousky
Direction:	kolmo	Test Name:	Sumbera_knife_6mm
Vzorek:	01	Test Date:	16-02-07
Datum:	16-02-07 09.06.	Test Time:	09.06.29

Sample 002

Version PV7.60/MV2.06 Test code: 61001
Serial Number: 82SIG1363
Tension Rubber Dumbbell
Number of Specimens: 5
Loadcell: 1000N 100kgf 200lbf (Range: 40 MPa)
Extension measured by: high extensometer (Gauge Length 25.000 mm)
Stage 1 speed: 500.0 mm/min

Specimen details

	Width mm	Thickness mm	Area mm2	Range N	Utilisation %
Specimen 1	6.0000	2.2280	13.368	500	53.47
Specimen 2	6.0000	2.2843	13.706	500	54.82
Specimen 3	6.0000	2.2863	13.718	500	54.87
Specimen 4	6.0000	2.3093	13.856	500	55.42
Specimen 5	6.0000	2.3823	14.294	500	57.18

Specimen results

	Break Stress MPa	Break Strain %	Peak Stress MPa	Peak Strain %	Mod @ 50% MPa	Mod @ 100% MPa
Specimen 1	12.431	310.20	12.431	310.20	1.137	2.472
Specimen 2	12.517	291.10	12.517	291.10	1.452	2.857
Specimen 3	11.592	271.80	11.592	271.80	1.473	2.879
Specimen 4	12.331	298.60	12.331	298.60	1.451	2.738
Specimen 5	11.882	314.70	11.882	314.70	1.319	2.451

	Mod @ 200% MPa	Mod @ 300% MPa	Mod @ 500% MPa
Specimen 1	6.860	11.951	***.***
Specimen 2	7.708	***.***	***.***
Specimen 3	7.719	***.***	***.***
Specimen 4	7.253	***.***	***.***
Specimen 5	6.463	11.217	***.***

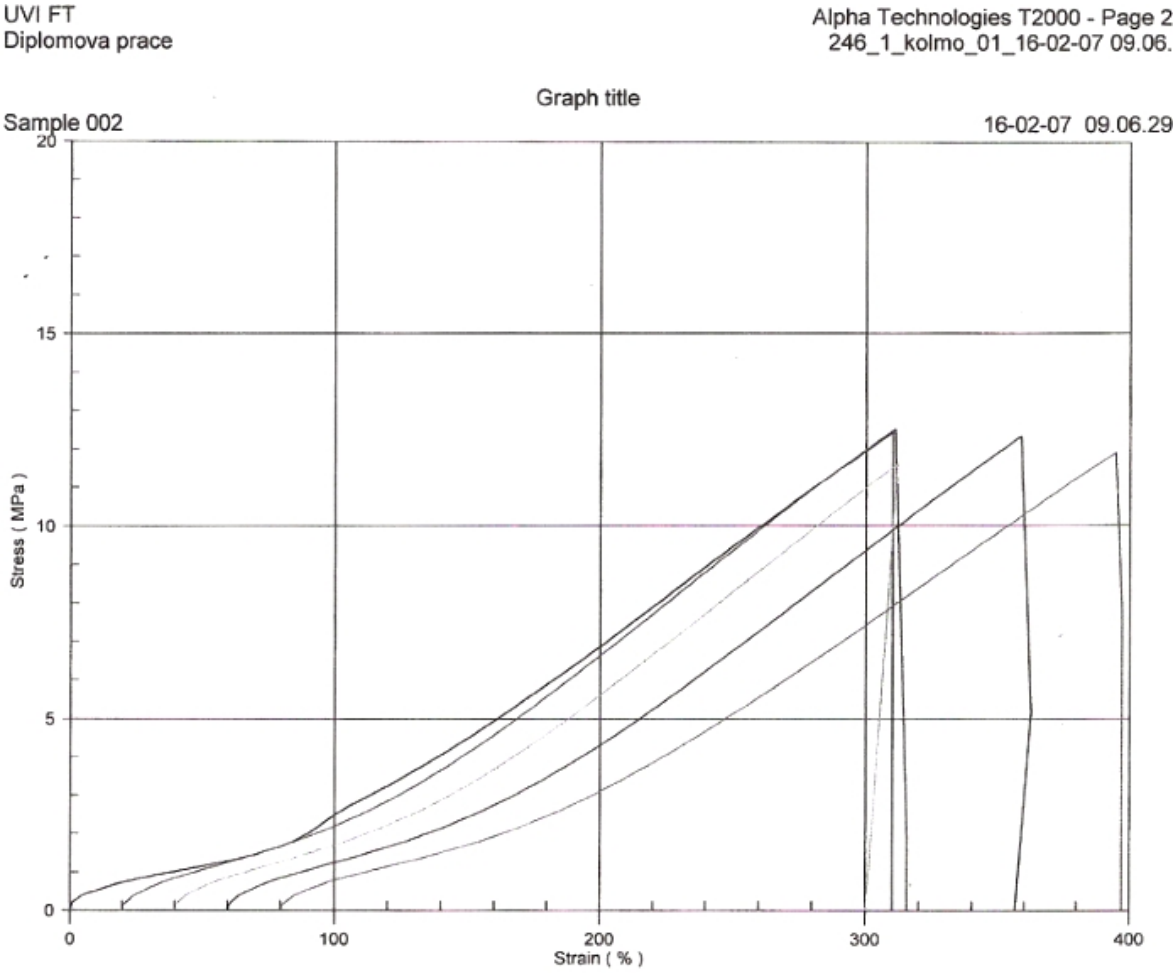
Multi-specimen results

	Break Stress MPa	Break Strain %	Peak Stress MPa	Peak Strain %	Mod @ 50% MPa	Mod @ 100% MPa
Median	12.331	298.60	12.331	298.60	1.451	2.738
Average	12.151	297.28	12.151	297.28	1.366	2.679
Range	0.925	42.900	0.925	42.900	0.336	0.428
Highest	12.517	314.70	12.517	314.70	1.473	2.879
Lowest	11.592	271.80	11.592	271.80	1.137	2.451

	Mod @ 200% MPa	Mod @ 300% MPa	Mod @ 500% MPa
Median	7.253	11.584	***.***
Average	7.201	11.584	***.***
Range	1.257	0.734	***.***
Highest	7.719	11.951	***.***
Lowest	6.463	11.217	***.***

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P XVIII: TAHOVÁ ZKOUŠKA, GRAF T 426

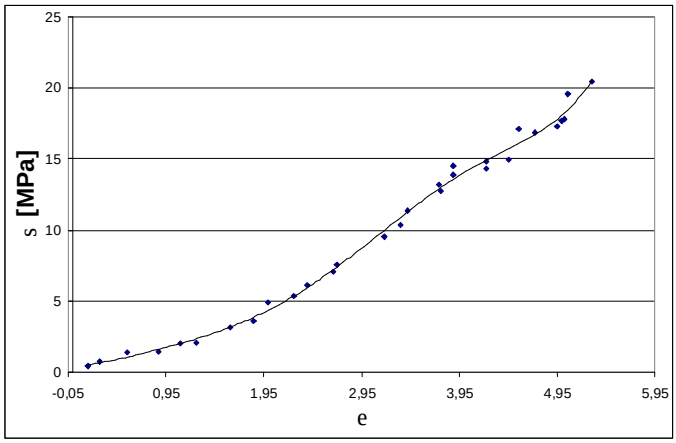


Graf závislost napětí σ na deformaci ε pro materiál T 426

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P XIX: NAFUKOVÁNÍ,NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO PROGRAM MSC, MATERIAL S 1234

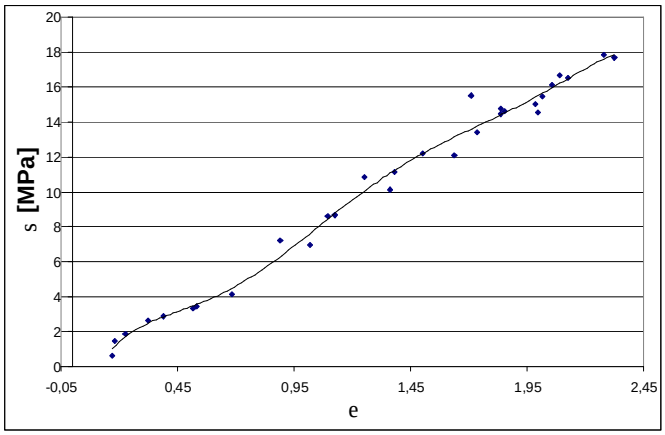
Délka	Tlak	Poloměr	Protažení	Napětí- true	Prodloužení	Napětí - I
L [mm]	P [MPa]	r [mm]	λ [-]	σtrue [MPa]	ε [-]	σ [MPa]
11,53	0,05	28,71	1,15	0,48	0,15	0,41
12,71	0,08	30,89	1,27	0,96	0,27	0,76
15,59	0,12	31,56	1,56	2,21	0,56	1,41
18,71	0,12	24,74	1,87	2,66	0,87	1,42
20,97	0,13	29,66	2,10	4,24	1,10	2,02
22,59	0,13	27,19	2,26	4,65	1,26	2,06
26,04	0,15	32,82	2,60	8,29	1,60	3,18
28,46	0,15	32,94	2,85	10,27	1,85	3,61
29,95	0,17	39,96	3,00	14,79	2,00	4,94
32,56	0,17	38,25	3,26	17,54	2,26	5,39
33,98	0,18	39,70	3,40	20,74	2,40	6,10
36,62	0,19	41,51	3,66	25,88	2,66	7,07
36,96	0,19	43,00	3,70	27,90	2,70	7,55
41,85	0,20	46,74	4,19	39,91	3,19	9,54
43,48	0,20	48,17	4,35	45,08	3,35	10,37
44,18	0,20	51,56	4,42	50,07	3,42	11,33
47,61	0,20	53,82	4,76	60,69	3,76	12,75
47,40	0,20	55,89	4,74	62,47	3,74	13,18
48,85	0,20	57,04	4,89	67,72	3,89	13,86
48,92	0,20	59,98	4,89	71,05	3,89	14,52
52,28	0,20	57,70	5,23	77,67	4,23	14,86
52,30	0,20	55,82	5,23	74,82	4,23	14,30
54,60	0,19	56,39	5,46	81,53	4,46	14,93
55,56	0,19	63,52	5,56	95,10	4,56	17,12
57,25	0,19	61,09	5,73	96,61	4,73	16,87
59,49	0,19	60,80	5,95	102,75	4,95	17,27
60,01	0,19	61,95	6,00	105,97	5,00	17,66
60,25	0,19	62,51	6,03	107,22	5,03	17,80
63,05	0,19	69,08	6,31	129,07	5,31	20,47
60,64	0,19	69,49	6,06	118,82	5,06	19,59



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P XX: NAFUKOVÁNÍ,NAMĚŘENÉ HODNOTY PRO PROGRAM MSC, MATERIAL T 426

Délka	Tlak	Poloměr	Protažení	Napětí-true	Prodloužení	Napětí - I
L [mm]	P [MPa]	r [mm]	λ [-]	σtrue[MPa]	ε [-]	σ [MPa]
11,82	0,18	27,83	1,18	1,73	0,18	1,46
12,26	0,20	29,84	1,23	2,27	0,23	1,85
13,22	0,26	30,30	1,32	3,48	0,32	2,63
13,89	0,30	27,93	1,39	4,01	0,39	2,89
15,18	0,31	28,04	1,52	5,07	0,52	3,34
15,31	0,36	25,17	1,53	5,25	0,53	3,43
16,84	0,41	24,23	1,68	6,96	0,68	4,13
18,92	0,48	31,47	1,89	13,63	0,89	7,20
20,19	0,51	27,00	2,02	14,06	1,02	6,96
20,93	0,55	30,22	2,09	18,07	1,09	8,63
21,24	0,57	28,83	2,12	18,40	1,12	8,66
22,54	0,60	32,36	2,25	24,46	1,25	10,85
23,61	0,60	28,61	2,36	23,92	1,36	10,13
23,83	0,60	31,19	2,38	26,57	1,38	11,15
25,03	0,60	32,52	2,50	30,56	1,50	12,21
26,37	0,60	30,52	2,64	31,83	1,64	12,07
27,09	0,60	38,16	2,71	42,01	1,71	15,51
27,37	0,60	32,66	2,74	36,70	1,74	13,41
28,37	0,60	34,74	2,84	41,94	1,84	14,78
28,39	0,60	34,00	2,84	41,11	1,84	14,48
28,55	0,60	34,10	2,86	41,69	1,86	14,60
29,84	0,60	33,55	2,98	44,81	1,98	15,02
29,96	0,60	32,35	3,00	43,56	2,00	14,54
30,15	0,60	34,25	3,02	46,70	2,02	15,49
30,59	0,60	35,15	3,06	49,34	2,06	16,13
30,92	0,60	35,98	3,09	51,60	2,09	16,69
31,26	0,60	35,26	3,13	51,68	2,13	16,53
32,80	0,60	36,26	3,28	58,51	2,28	17,84
33,24	0,60	35,44	3,32	58,74	2,32	17,67

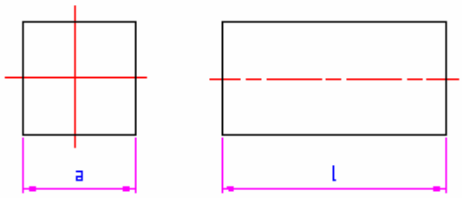


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P XXI: NAMĚŘENÉ HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.1

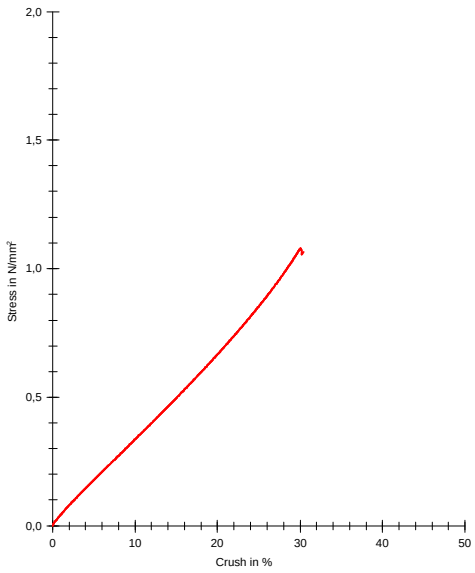
Materiál 1234, a = 49, l = 100

Označení tělesa: 111A



zkouš.č.	a (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	1,08	30,12	30,4	4,39
2	49	1,08	30,01	30,15	4,34
3	49	1,08	29,99	30,1	4,29
4	49	1,09	30,09	30,13	4,34
5	49	1,09	30,14	30,13	4,32
6	49	1,09	30,15	30,13	4,29

n = 6	a (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	1,08	30,14	30,31	4,47
s	0	0,01	0,16	0,37	0,39
v	0	0,87	0,52	1,23	8,73
P(μ ≤)=0,95	49	1,09	30,28	30,66	4,84
P(μ ≤)	49	1,07	29,99	29,96	4,11

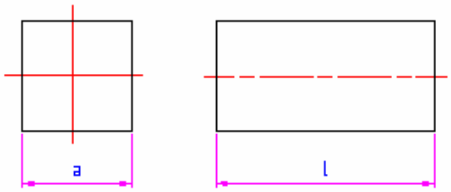


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P XXII: NAMĚŘENÉ HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.2

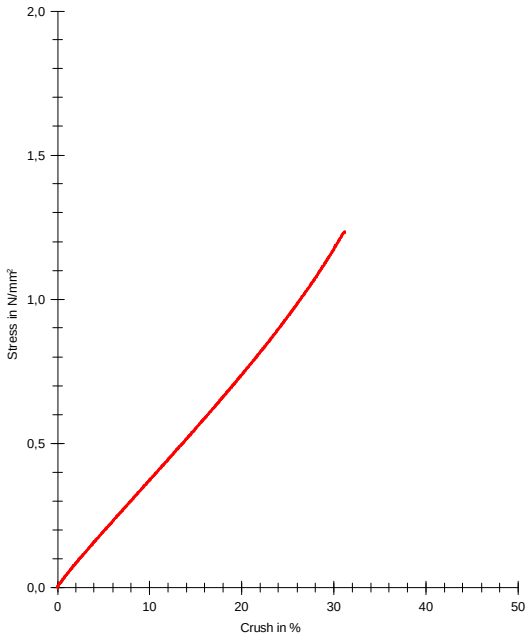
Materiál 1234, a = 49, l = 50

Označení tělesa: 112A



zkouš.č.	a (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	1,16	30,09	15,9	3,34
2	49	1,18	30,24	15,94	3,84
3	49	1,13	29,15	15,35	3,87
4	49	1,24	31,17	16,4	4,08
5	49	1,18	30,17	15,87	3,99
6	49	1,18	30,12	15,82	4,21

n = 6	a (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	1,18	30,16	15,88	3,93
s	0	0,03	0,58	0,3	0,3
v	0	2,78	1,94	1,92	7,64
P(μ ≤)=0,95	49	1,21	30,7	16,16	4,21
P(μ ≤)	49	1,15	29,62	15,59	3,65

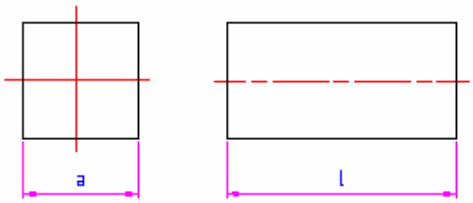


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXXIII: NAMĚŘENÉ HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.3

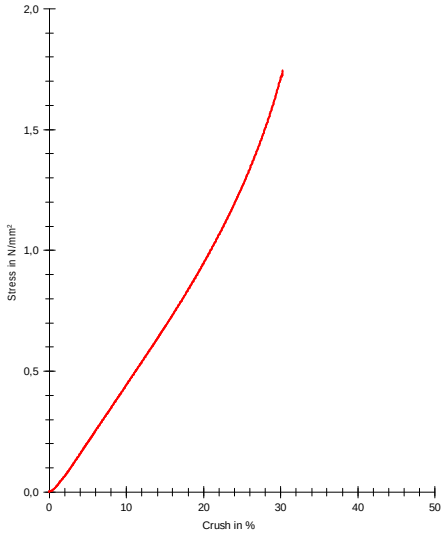
Materiál 1234, a = 49, l = 25

Označení tělesa: 113A



zkouš.č.	a (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	1,78	30,47	8,74	0,92
2	49	1,73	30,3	8,69	0,92
3	49	1,73	30,33	8,69	0,93
4	49	1,75	30,4	8,69	0,89
5	49	1,74	30,36	8,68	0,87
6	49	1,75	30,43	8,69	0,87

n = 6	a (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	1,74	30,38	8,71	0,9
s	0	0,02	0,06	0,05	0,03
v	0	1,3	0,19	0,54	3
P(μ ≤)=0,95	49	1,76	30,43	8,76	0,93
P(μ ≤)	49	1,72	30,32	8,67	0,88

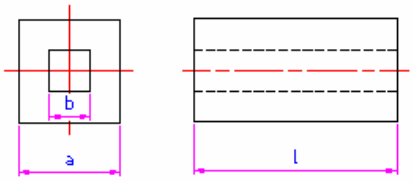


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXXIV: NAMĚŘENÉ HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.4

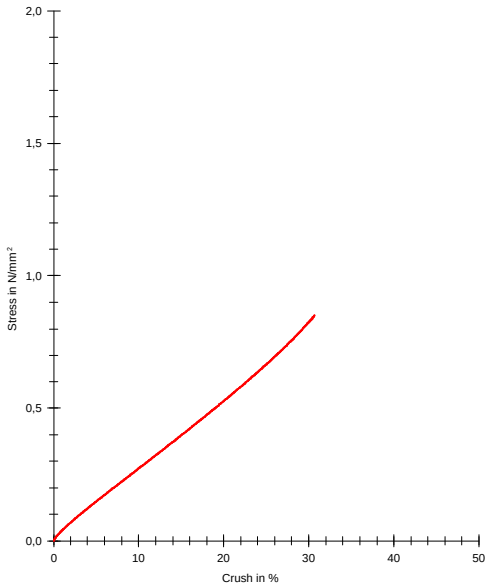
Materiál 1234, a = 49, b = 20, l = 100

Označení tělesa: 121A



zkouš.č.	a (mm)	b (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	20	0,84	30,23	30,15	4,19
2	49	20	0,84	30,33	30,15	4,16
3	49	20	0,84	30,34	30,12	4,14
4	49	20	0,84	30,35	30,14	4,09
5	49	20	0,84	30,41	30,15	4,09
6	49	20	0,85	30,7	30,38	4,12

n = 6	a (mm)	b (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	20	0,84	30,37	30,26	4,22
s	0	0	0,01	0,16	0,23	0,24
v	0	0	1,31	0,52	0,75	5,63
P(μ ≤)=0,95	49	20	0,85	30,52	30,48	4,44
P(μ ≤)	49	20	0,83	30,23	30,05	4

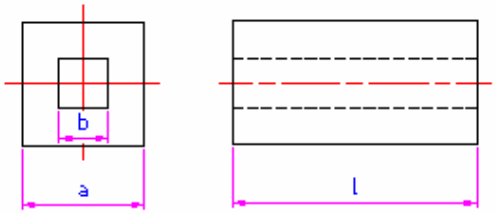


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXXV: NAMĚŘENÉ HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.5

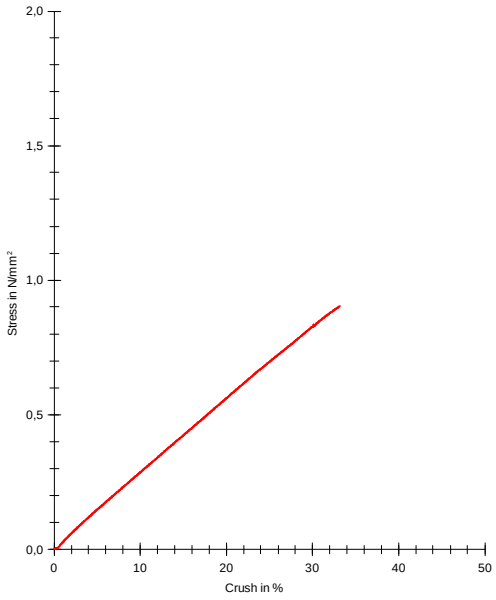
Materiál 1234, a = 49, b = 20, l = 50

Označení tělesa: 122A



zkouš.č.	a (mm)	b (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	20	0,84	29,95	15,8	0,68
2	49	20	0,84	30,18	15,91	0,68
3	49	20	0,84	30,16	15,86	0,63
4	49	20	0,83	30,25	15,9	0,65
5	49	20	0,9	33,25	17,48	0,66
6	49	20	0,81	30,15	15,82	0,62

n = 6	a (mm)	b (mm)	MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	20	0,84	30,59	16,13	0,72
s	0	0	0,03	1,18	0,61	0,16
v	0	0	3,53	3,85	3,76	22,84
P(μ ≤)=0,95	49	20	0,87	31,68	16,69	0,87
P(μ ≤)	49	20	0,82	29,5	15,57	0,56

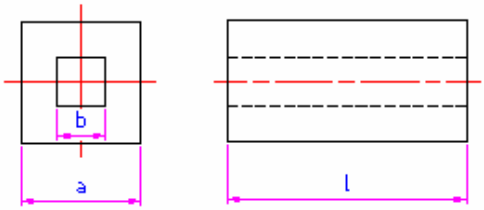


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXXVI: NAMĚŘENÉ HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.6

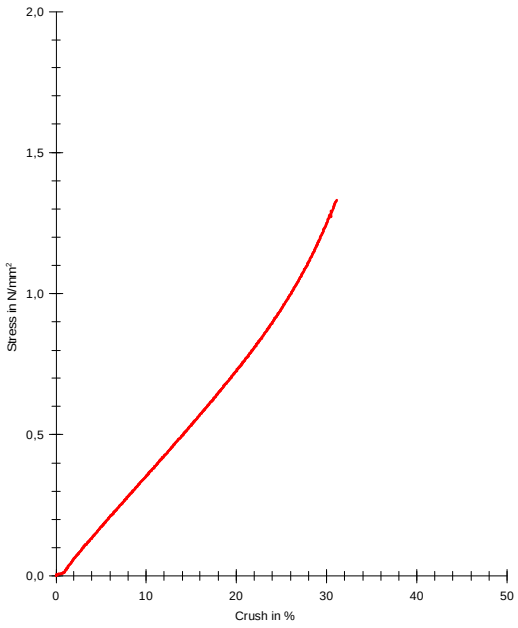
Materiál 1234, a = 49, b = 20, l = 25

Označení tělesa: 123A



zkouš.č.	a (mm)	b (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	20	1,3	30,58	8,58	0,71
2	49	20	1,33	30,98	8,68	0,71
3	49	20	1,34	31,07	8,69	0,69
4	49	20	1,27	30,45	8,51	0,73
5	49	20	1,28	30,51	8,52	0,73
6	49	20	1,24	30,05	8,4	0,68

n = 6	a (mm)	b (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	20	1,29	30,58	8,57	0,73
s	0	0	0,04	0,35	0,1	0,07
v	0	0	2,91	1,15	1,19	9,79
P(μ ≤)=0,95	49	20	1,32	30,9	8,67	0,8
P(μ ≤)	49	20	1,25	30,25	8,48	0,67

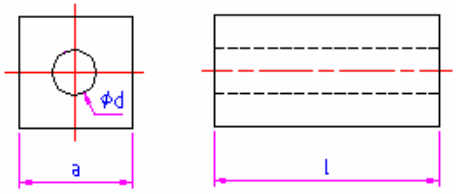


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXXVII: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.7

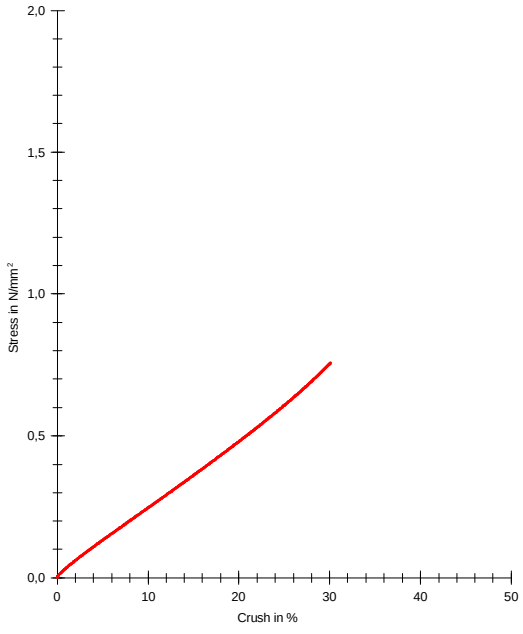
Materiál 1234, a = 49, d= 20, l = 100

Označení tělesa: 131A



zkouš.č.	a (mm)	d (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	20	0,76	30,12	28,75	3,38
2	49	20	0,75	30,15	28,87	3,4
3	49	20	0,76	30,11	28,62	3,32
4	49	20	0,76	30,16	28,62	3,33
5	49	20	0,76	30,14	28,57	3,3
6	49	20	0,76	30,13	28,61	3,28

n = 6	a (mm)	d (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	20	0,76	30,13	28,74	3,44
s	0	0	0,01	0,02	0,21	0,29
v	0	0	1,11	0,07	0,74	8,36
P(μ ≤)=0,95	49	20	0,76	30,15	28,94	3,71
P(μ ≤)	49	20	0,75	30,11	28,55	3,18

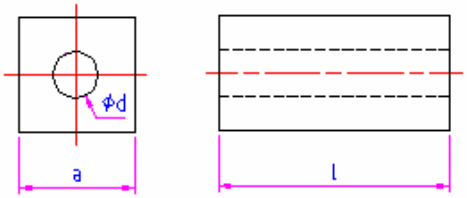


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA XXVIII: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.8

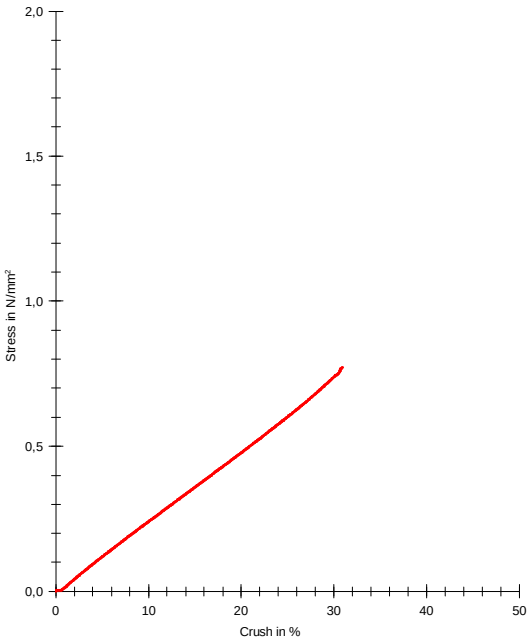
Materiál 1234, a = 49, d = 20, l = 50

Označení tělesa: 132A



zkouš.č.	a (mm)	d (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	20	0,76	30,21	14,59	0,34
2	49	20	0,77	30,94	14,92	0,35
3	49	20	0,76	30,5	14,67	0,32
4	49	20	0,76	30,68	14,74	0,39
5	49	20	0,75	30,23	14,5	0,35
6	49	20	0,74	30,19	14,48	0,35

n = 6	a (mm)	d (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	20	0,75	30,46	14,7	0,36
s	0	0	0,01	0,28	0,2	0,04
v	0	0	1,51	0,92	1,37	11,85
P(μ ≤)=0,95	49	20	0,76	30,72	14,89	0,4
P(μ ≤)	49	20	0,74	30,2	14,52	0,32

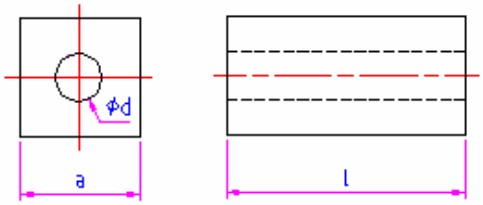


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXXIX: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.9

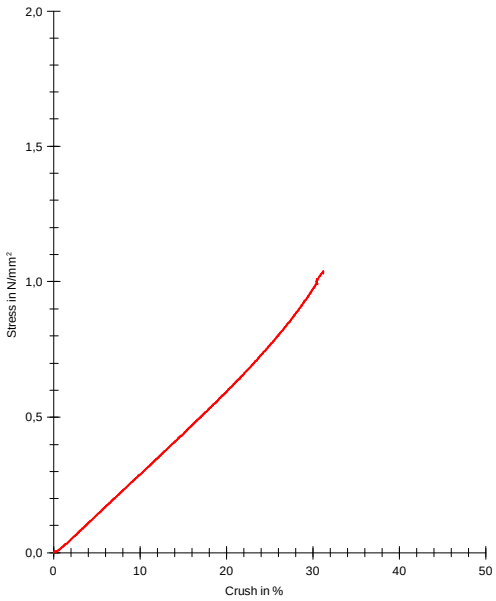
Materiál 1234, a = 49,d = 20, l = 25

Označení tělesa: 133A



zkouš.č.	a (mm)	d (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	20	1,03	30,81	6,99	0,68
2	49	20	1,04	31,21	7,06	0,69
3	49	20	1	30,47	6,88	0,78
4	49	20	1	30,48	6,89	0,72
5	49	20	1	30,53	6,89	0,79
6	49	20	0,99	30,44	6,87	0,73

n = 6	a (mm)	d (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	20	1,01	30,64	6,94	0,75
s	0	0	0,02	0,28	0,08	0,07
v	0	0	1,88	0,9	1,15	9,67
P(μ ≤)=0,95	49	20	1,02	30,9	7,02	0,82
P(μ ≤)	49	20	0,99	30,39	6,87	0,69

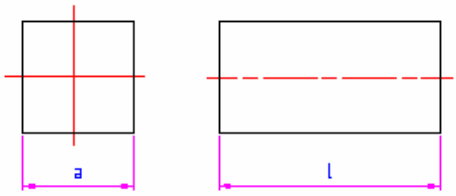


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXXX: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.10

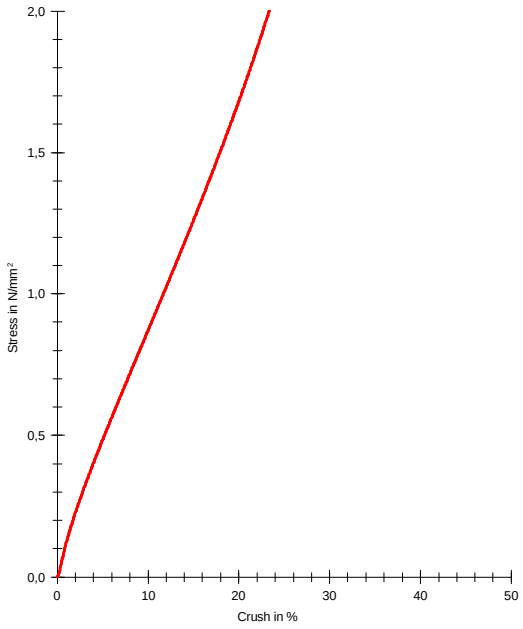
Materiál 426, a = 49, l = 100

Označení tělesa: 111B



zkouš.č.	a (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	2,97	30,09	30,35	8,48
2	49	2,97	30,19	30,37	7,05
3	49	2,97	30,27	30,41	7,31
4	49	2,92	30,11	30,23	7,12
5	49	2,94	30,22	30,32	7,24
6	49	2,92	30,15	30,23	7,19

n = 6	a (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	2,92	30,06	30,3	8,65
s	0	0,08	0,31	0,08	3,35
v	0	2,74	1,02	0,26	38,72
P(μ ≤)=0,95	49	3	30,34	30,38	11,75
P(μ ≤)	49	2,85	29,78	30,23	5,55

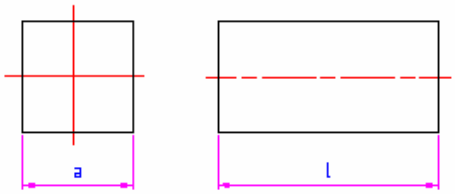


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXXXI: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.11

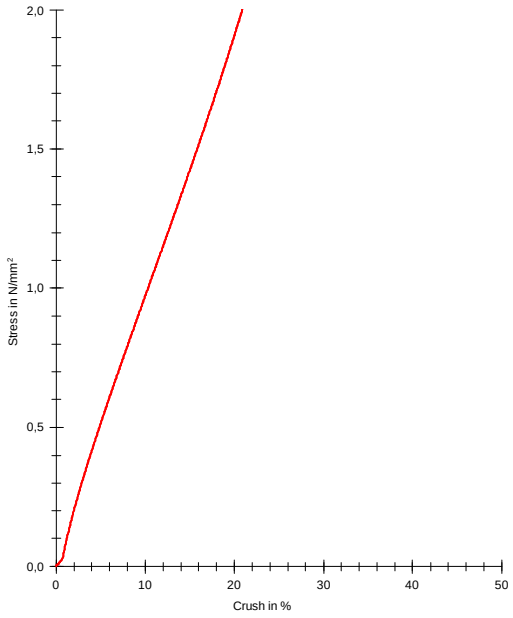
Materiál 426, a = 49, l = 50

Označení tělesa: 112B



zkouš.č.	a (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	3,45	30,24	16,03	3,67
2	49	3,42	30,26	16,02	3,31
3	49	3,37	30,23	16	3,32
4	49	3,38	30,23	15,97	3,18
5	49	3,36	30,2	15,95	3,23
6	49	3,4	30,31	15,99	3,34

n = 6	a (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	3,39	30,27	16,05	3,65
s	0	0,04	0,06	0,15	0,82
v	0	1,1	0,2	0,95	22,45
P(μ ≤)=0,95	49	3,42	30,32	16,19	4,4
P(μ ≤)	49	3,35	30,21	15,91	2,89

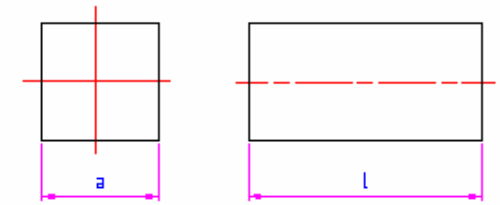


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXXXII: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.12

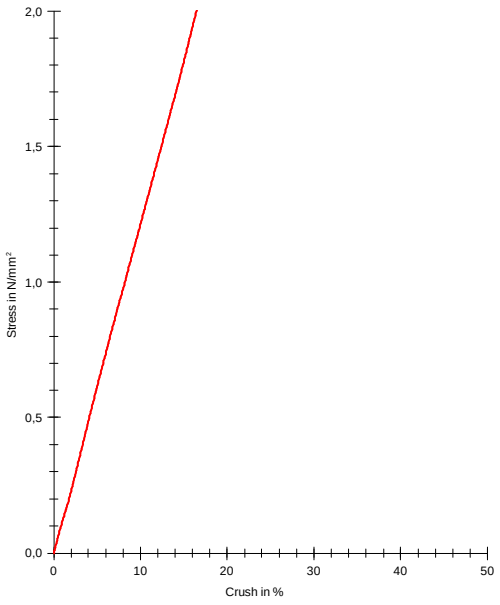
Materiál 426, a = 49, l = 25

Označení tělesa: 113B



zkouš.č.	a (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	5,15	30,44	8,66	13,19
2	49	5,05	30,4	8,64	13,06
3	49	4,98	30,38	8,63	13,52
4	49	5,01	30,48	8,66	13,39
5	49	4,98	30,35	8,6	12,84
6	49	5,04	30,54	8,65	13,03

n = 6	a (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	5,03	30,43	8,66	13,52
s	0	0,06	0,06	0,06	0,95
v	0	1,28	0,21	0,7	7,02
P(μ ≤)=0,95	49	5,08	30,49	8,72	14,4
P(μ ≤)	49	4,97	30,38	8,61	12,64

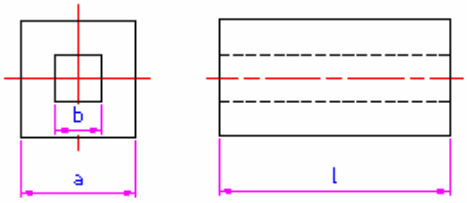


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXXXIII: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.13

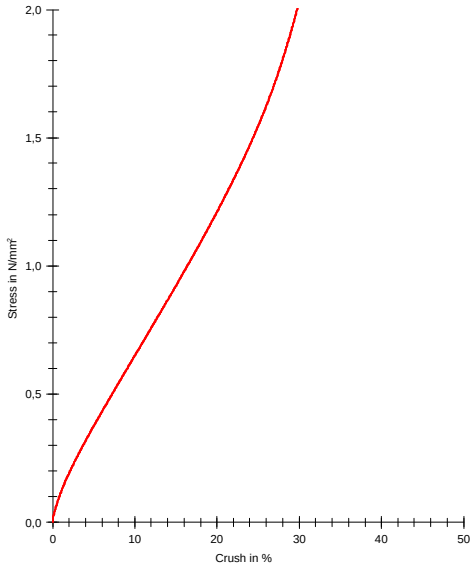
Materiál 426, a = 49, b = 20, l = 100

Označení tělesa: 121B



zkouš.č.	a (mm)	b (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	20	2,1	30,1	30,12	12,17
2	49	20	2,14	30,73	30,68	11,89
3	49	20	2	30,15	30,21	13,13
4	49	20	2,03	30,12	30,05	11,94
5	49	20	2,04	30,15	30,04	11,82
6	49	20	2,04	30,14	30	11,8

n = 6	a (mm)	b (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	20	2,05	30,22	30,27	13,14
s	0	0	0,05	0,23	0,34	2,74
v	0	0	2,56	0,75	1,12	20,82
P(μ≤)=0,95	49	20	2,1	30,43	30,59	15,68
P(μ ≤)	49	20	2	30,01	29,96	10,61

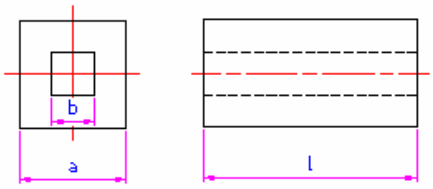


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXXXIV: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.14

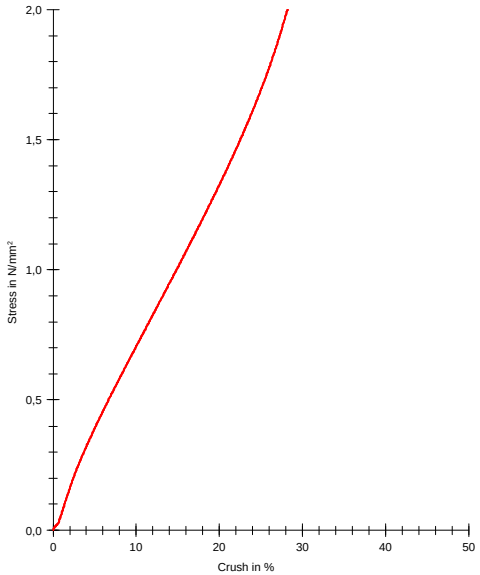
Materiál 426, a = 49, b = 20, l = 50

Označení tělesa: 122B



zkouš.č.	a (mm)	b (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	20	2,36	30,26	15,84	4,02
2	49	20	2,37	30,63	16,01	3,9
3	49	20	2,34	30,67	16,01	3,84
4	49	20	2,23	30,16	15,74	3,86
5	49	20	2,24	30,23	15,76	3,77
6	49	20	2,23	30,25	15,77	3,74

n = 6	a (mm)	b (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	20	2,29	30,34	15,9	4,34
s	0	0	0,06	0,21	0,17	1,28
v	0	0	2,78	0,7	1,05	29,46
P(μ ≤)=0,95	49	20	2,35	30,54	16,05	5,52
P(μ ≤)	49	20	2,23	30,15	15,74	3,15

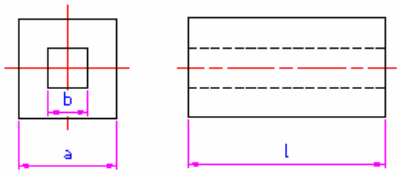


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXXXV: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.15

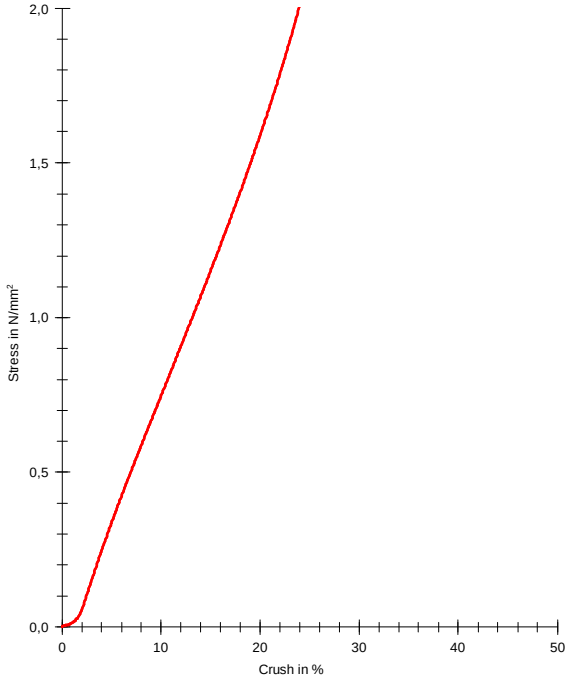
Materiál 426, a = 49, b = 20, l = 25

Označení tělesa: 123B



zkouš.č.	a (mm)	b (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	20	3,27	30,55	8,74	0,57
2	49	20	3,2	30,43	8,69	0,66
3	49	20	3,23	30,64	8,75	0,7
4	49	20	3,14	30,4	8,67	0,71
5	49	20	3,01	30,33	8,68	0,36
6	49	20	3	30,37	8,71	0,74

n = 6	a (mm)	b (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	420	3,13	30,46	8,74	0,61
s	0	0	0,11	0,11	0,08	0,13
v	0	0	3,47	0,35	0,92	21,64
P(μ ≤)=0,95	49	20	3,23	30,56	8,81	0,73
P(μ ≤)	49	20	3,03	30,36	8,66	0,49

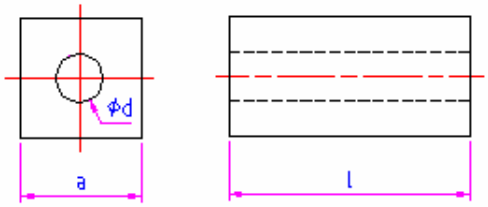


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXXXVI: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.16

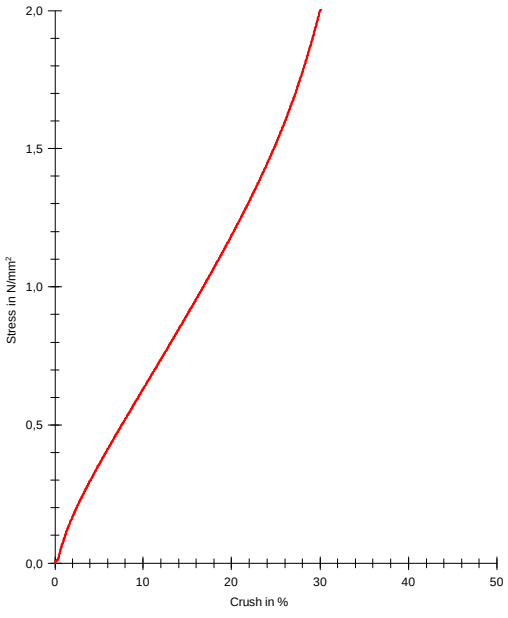
Materiál 426, a = 49, d = 20, l = 100

Označení tělesa: 131B



zkouš.č.	a (mm)	d (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	20	2,06	30,1	28,72	3,22
2	49	20	2,04	30,1	28,66	3,21
3	49	20	2,02	30,13	28,69	3,1
4	49	20	2,02	30,16	28,67	3,04
5	49	20	2,01	30,15	28,65	2,98
6	49	20	2,01	30,25	28,73	2,99

n = 6	a (mm)	d (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	20	2,02	30,14	28,79	3,19
s	0	0	0,03	0,05	0,27	0,27
v	0	0	1,47	0,17	0,93	8,5
P(μ ≤)=0,95	49	20	2,04	30,19	29,04	3,44
P(μ ≤)	49	20	1,99	30,09	28,54	2,93

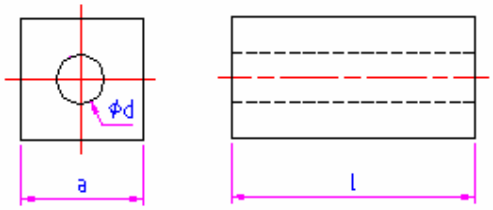


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXXXVII: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.17

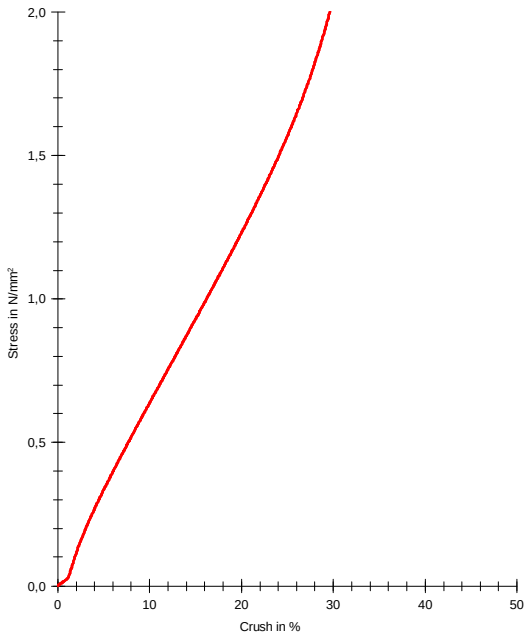
Materiál 426, a = 49, d = 20, l = 50

Označení vzorku: 132B



zkouš.č.	a (mm)	d (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	20	2,17	30,65	15,21	1,63
2	49	20	2,09	30,25	14,99	1,54
3	49	20	2,14	30,72	15,2	1,4
4	49	20	2	29,83	14,74	1,43
5	49	20	2,05	30,18	14,91	1,43
6	49	20	2,05	30,27	14,95	1,62

n = 6	a (mm)	d (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	20	2,08	30,3	15,04	1,62
s	0	0	0,06	0,31	0,2	0,31
v	0	0	2,81	1,01	1,3	19,18
P(μ ≤)=0,95	49	20	2,13	30,58	15,22	1,91
P(μ ≤)	49	20	2,03	30,01	14,86	1,33

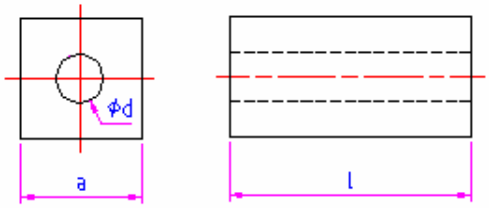


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXXXVIII: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.18

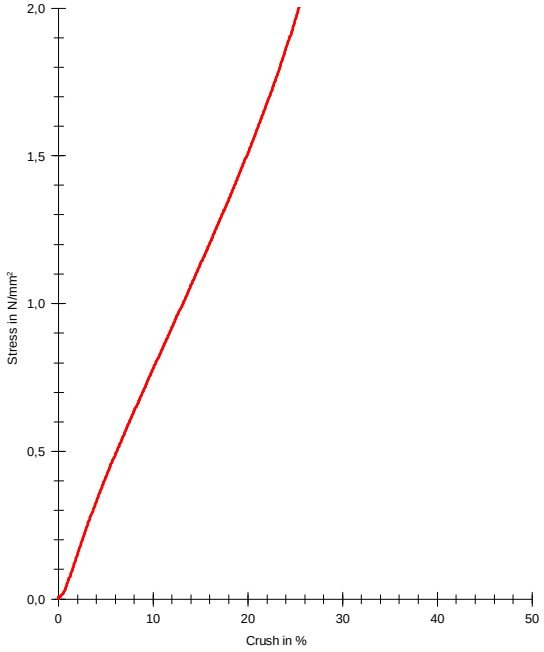
Materiál 426, a = 49, d = 20, l = 25

Označení tělesa: 133B



zkouš.č.	a (mm)	d (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	49	20	2,79	30,54	7,02	1,64
2	49	20	2,75	30,52	7,01	1,56
3	49	20	2,76	30,65	7,03	1,58
4	49	20	2,82	31,03	7,11	1,59
5	49	20	2,69	30,55	7	1,55
6	49	20	2,71	30,71	7,04	1,57

n = 6	a (mm)	d (mm)	σ(MPa)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	49	20	2,76	30,74	7,07	2,01
s	0	0	0,04	0,25	0,11	1,13
v	0	0	1,61	0,82	1,5	56,15
P(μ ≤)=0,95	49	20	2,8	30,97	7,17	3,05
P(μ ≤)	49	20	2,72	30,5	6,98	0,96

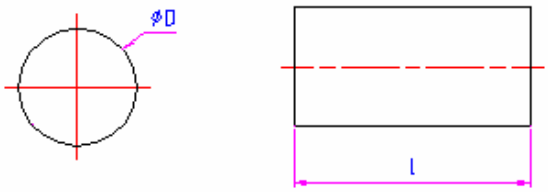


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXXXIX: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.19

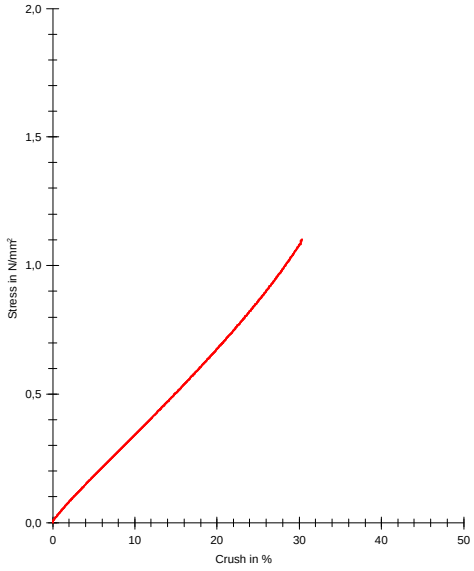
Materiál 1234, D = 49, l = 100

Označení tělesa: 211A



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	1,1	49,5	30,28	29,17	4,41
2	1,08	49,5	30,15	29,1	4,41
3	1,09	49,5	30,09	28,91	4,35
4	1,11	49,5	30,4	29,15	4,4
5	1,09	49,5	30,18	28,93	4,4
6	1,1	49,5	30,35	29,07	4,39

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	1,09	49,5	30,23	29,11	4,5
s	0,02	0	0,12	0,19	0,28
v	1,46	0	0,39	0,64	6,23
P(μ ≤)=0,95	1,1	49,5	30,34	29,29	4,76
P(μ ≤)	1,07	49,5	30,12	28,94	4,24

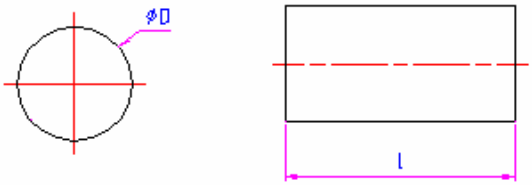


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P XL: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.20

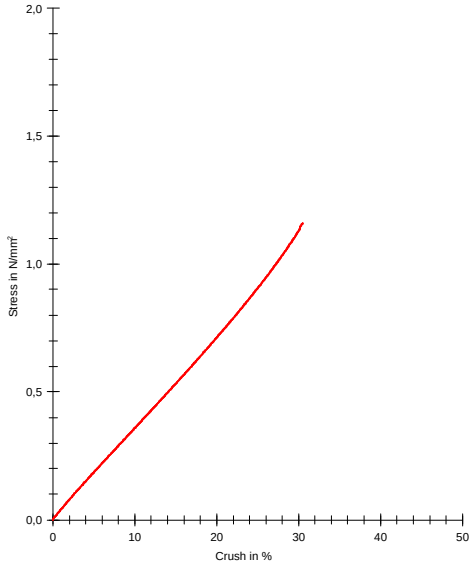
Materiál 1234, D = 49, l = 50

Označení vzorku: 212A



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	1,15	49	30,25	14,97	4,05
2	1,15	49	30,22	14,92	4,02
3	1,16	49	30,49	15,03	4,09
4	1,14	49	30,19	14,87	4,02
5	1,14	49	30,19	14,86	3,94
6	1,14	49	30,21	14,87	3,97

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	1,14	49	30,26	14,95	4,1
s	0,01	0	0,11	0,1	0,22
v	1,09	0	0,35	0,7	5,28
P(μ ≤)=0,95	1,15	49	30,35	15,05	4,3
P(μ ≤)	1,13	49	30,16	14,86	3,9

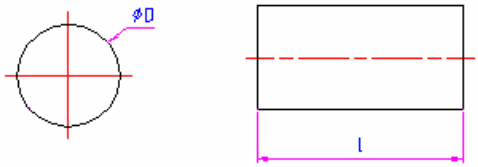


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P XLI: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.21

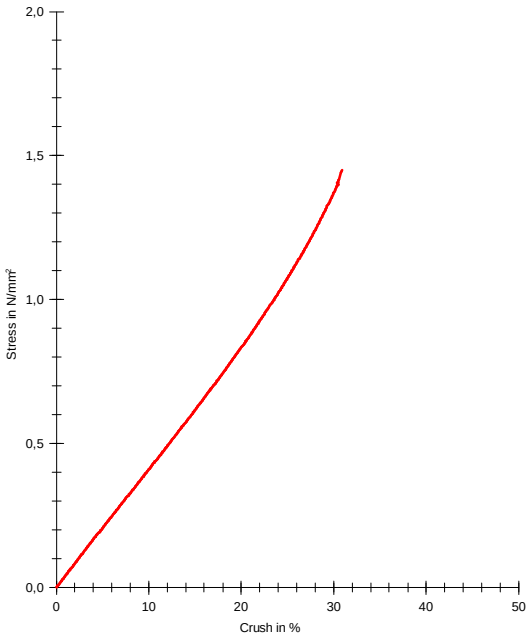
Materiál 1234, D = 49, l = 25

Označení tělesa: 213A



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	1,41	49,5	30,36	7,16	4,1
2	1,42	49,5	30,47	7,18	3,92
3	1,38	49,5	30,04	7,07	3,96
4	1,45	49,5	30,89	7,26	3,97
5	1,41	49,5	30,52	7,17	3,9
6	1,41	49,5	30,46	7,15	3,96

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	1,41	49,5	30,46	7,18	4,09
s	0,02	0	0,25	0,06	0,32
v	1,53	0	0,83	0,89	7,91
P(μ ≤)=0,95	1,43	49,5	30,69	7,24	4,39
P(μ ≤)	1,39	49,5	30,23	7,12	3,79

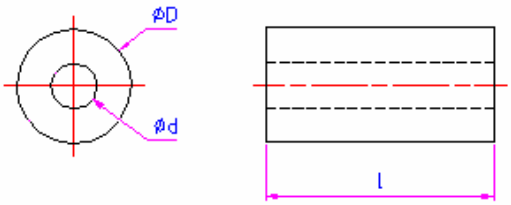


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P LXII: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.22

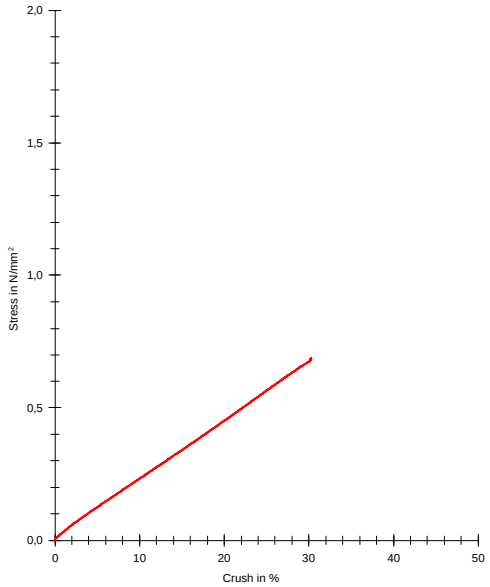
Materiál 1234, D = 49, d = 20, = 100

Označení tělesa: 221A



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	0,7	49	30,12	28,8	3,04
2	0,69	49	30,39	29,01	3,01
3	0,68	49	30,14	28,75	3,02
4	0,67	49	30,3	28,81	3,04
5	0,66	49	30,1	28,66	2,94
6	0,66	49	30,12	28,59	3,07

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	0,68	49	30,18	28,86	3,1
s	0,01	0	0,11	0,26	0,2
v	2,14	0	0,37	0,91	6,45
P(μ ≤)=0,95	0,69	49	30,29	29,1	3,28
P(μ ≤)	0,66	49	30,08	28,61	2,91

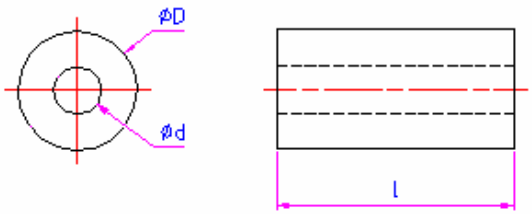


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P LXIII: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.23

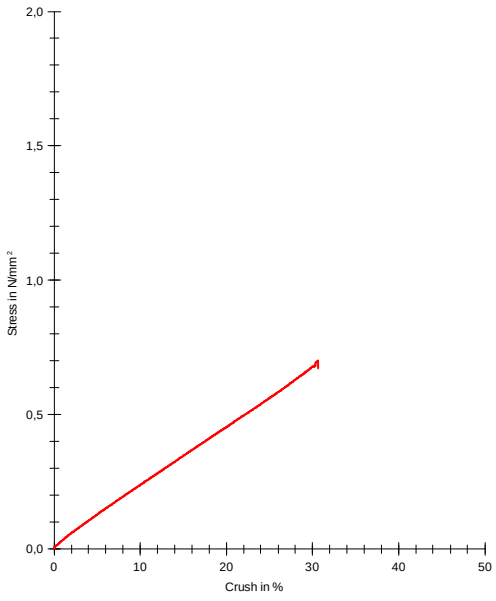
Materiál 1234, D = 49, d = 20, l = 50

Označení tělesa: 222A



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	0,69	49	30,2	14,76	2,81
2	0,7	49	30,69	14,94	2,62
3	0,68	49	30,26	14,66	2,48
4	0,68	49	30,26	14,67	2,46
5	0,68	49	30,32	14,68	2,46
6	0,68	49	30,16	14,6	2,47

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	0,68	49	30,3	14,76	2,59
s	0,01	0	0,18	0,15	0,17
v	1,31	0	0,61	1,01	6,74
P(μ ≤)=0,95	0,69	49	30,47	14,89	2,76
P(μ ≤)	0,67	49	30,13	14,62	2,43

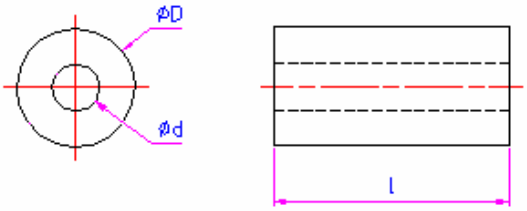


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P XLIV: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.24

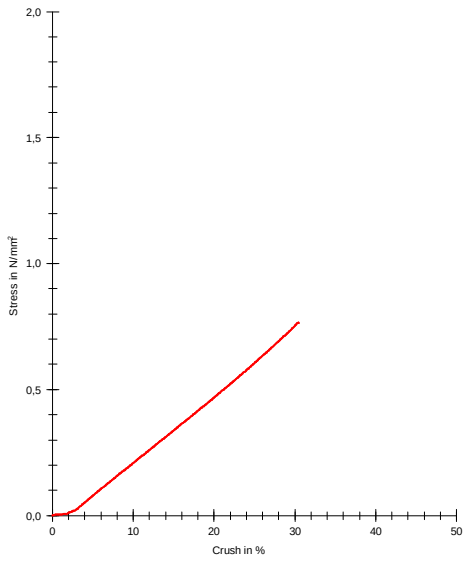
Materiál 1234, D = 49, d = 20, l = 25

Označení vzorku: 223A



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	0,77	49	30,53	7,19	0,2
2	0,76	49	30,48	7,21	0,21
3	0,77	49	30,48	7,17	0,2
4	0,77	49	30,41	7,14	0,2
5	0,77	49	30,35	7,12	0,16
6	0,77	49	30,32	7,11	0,19

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	0,77	49	30,43	7,16	0,19
s	0,01	0	0,08	0,04	0,01
v	0,67	0	0,25	0,55	7,55
P(μ ≤)=0,95	0,77	49	30,5	7,2	0,21
P(μ ≤)	0,76	49	30,36	7,13	0,18

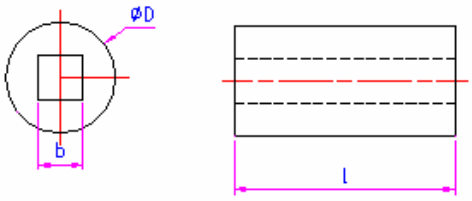


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P XLV: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.25

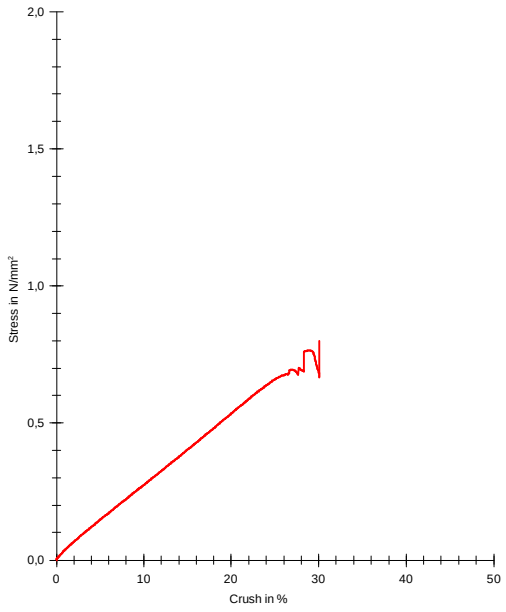
Materiál 1234, D = 49, b = 20, l = 100

Označení tělesa: 231A



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	0,75	49	28,51	27,36	3,78
2	0,68	49	26,81	25,79	2,81
3	0,68	49	26,55	25,43	3,61
4	0,67	49	26,48	25,42	3,29
5	0,65	49	25,89	24,79	2,98
6	0,65	49	25,87	24,76	2,89

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	0,7	49	27,18	26,12	3,39
s	0,06	0	1,57	1,65	0,57
v	8,06	0	5,76	6,3	16,8
P(μ ≤)=0,95	0,75	49	28,63	27,64	3,92
P(μ ≤)	0,64	49	25,72	24,59	2,87

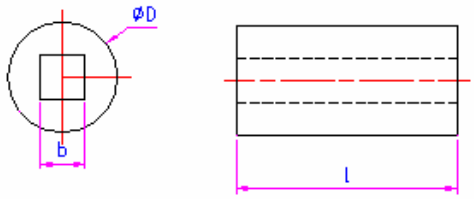


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P XLVI: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.26

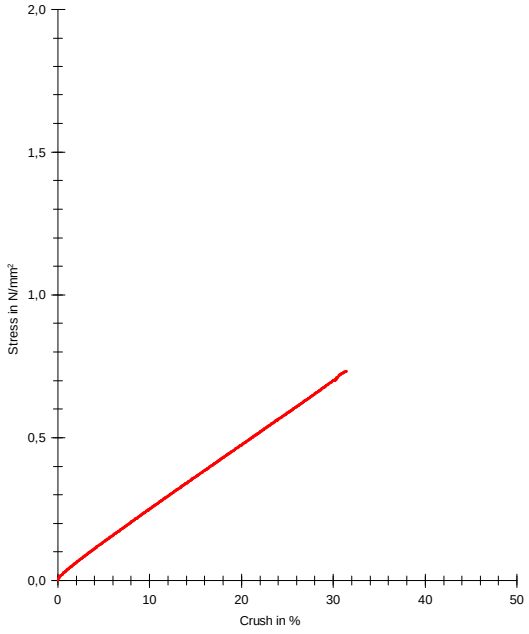
Materiál 1234, D = 49, b = 20, l = 50

Označení tělesa: 232A



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	0,71	49	30,19	15,07	3,52
2	0,73	49	31,46	15,69	3,46
3	0,71	49	30,4	15,11	3,45
4	0,7	49	30,2	15	3,38
5	0,71	49	30,48	15,12	3,43
6	0,7	49	30,32	15,04	3,42

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	0,71	49	30,47	15,19	3,52
s	0,01	0	0,45	0,24	0,21
v	1,67	0	1,48	1,6	6,01
P(μ ≤)=0,95	0,72	49	30,89	15,42	3,72
P(μ ≤)	0,7	49	30,05	14,97	3,33

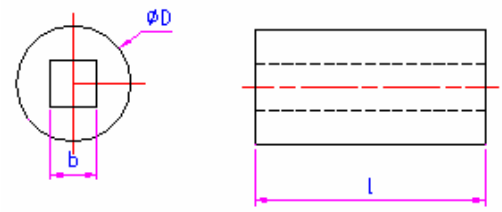


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P XLVII: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.27

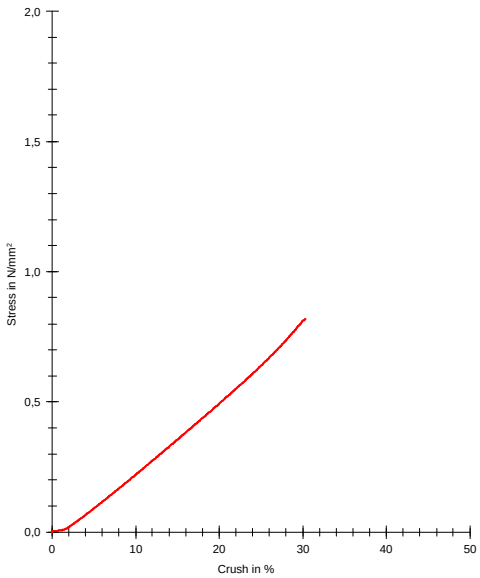
Materiál 1234, D= 49, b = 20, d = 20, l = 25

Označení tělesa: 233A



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	0,82	49	30,29	6,77	0,25
2	0,83	49	30,39	6,77	0,25
3	0,83	49	30,43	6,77	0,25
4	0,83	49	30,52	6,78	0,26
5	0,82	49	30,3	6,73	0,24
6	0,83	49	30,52	6,78	0,26

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	0,82	49	30,41	6,78	0,26
s	0,01	0	0,09	0,04	0,03
v	1,03	0	0,31	0,66	9,71
P(μ ≤)=0,95	0,83	49	30,49	6,82	0,29
P(μ ≤)	0,81	49	30,32	6,74	0,24

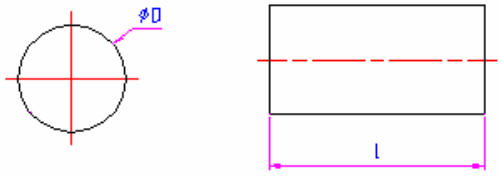


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA PXLVIII: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.28

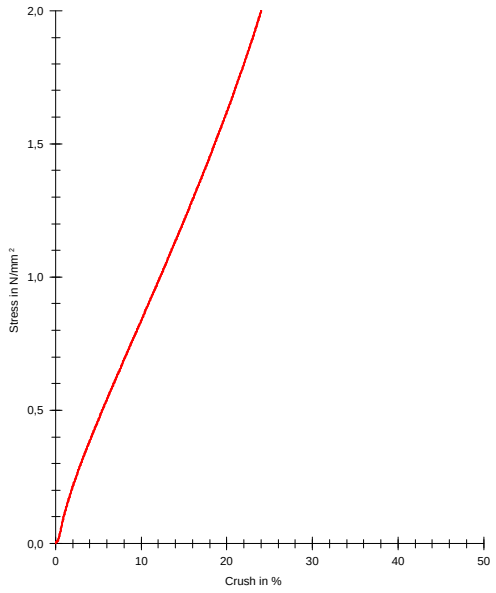
Materiál 426, D = 49, l = 100

Označení tělesa: 211B



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	2,85	49	30,16	28,92	2,64
2	2,86	49	30,16	28,83	2,6
3	2,89	49	30,41	29,04	2,84
4	2,85	49	30,24	28,85	3,06
5	2,87	49	30,46	29,09	3,01
6	2,81	49	30,12	28,72	3,24

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	2,85	49	30,24	28,93	2,92
s	0,03	0	0,14	0,13	0,24
v	0,91	0	0,46	0,47	8,08
P(μ ≤)=0,95	2,87	49	30,37	29,05	3,14
P(μ ≤)	2,83	49	30,11	28,8	2,7

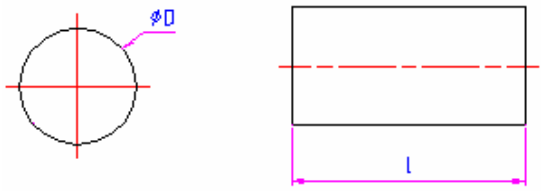


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P IL: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.29

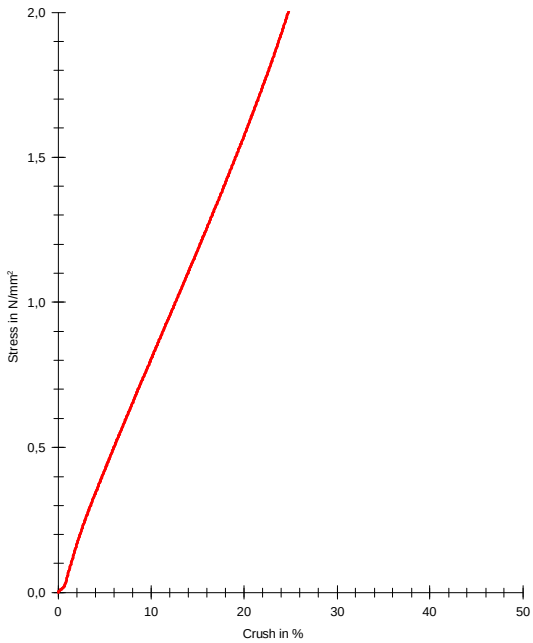
Materiál 426, D = 49, l = 50

Označení tělesa: 212B



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	2,75	49	30,21	14,54	2,44
2	2,74	49	30,28	14,55	2,36
3	2,72	49	30,28	14,54	2,3
4	2,69	49	30,24	14,52	2,37
5	2,71	49	30,31	14,54	2,34
6	2,7	49	30,27	14,51	2,31

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	2,7	49	30,23	14,56	2,59
s	0,04	0	0,1	0,07	0,63
v	1,41	0	0,35	0,5	24,34
P(μ ≤)=0,95	2,74	49	30,32	14,63	3,18
P(μ ≤)	2,67	49	30,13	14,49	2,01

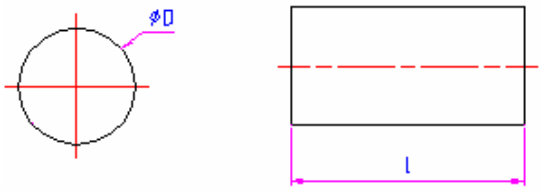


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P L: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.30

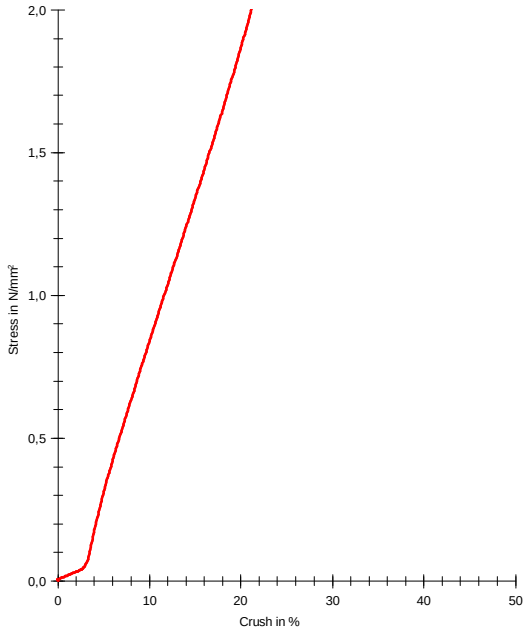
Materiál 426, D = 49, l = 25

Označení tělesa: 213B



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	3,58	49	30,42	7,04	1,26
2	3,58	49	30,62	7,07	1,37
3	3,56	49	30,59	7,05	1,31
4	3,47	49	30,44	7,02	1,34
5	3,52	49	30,56	7,04	1,3
6	3,49	49	30,56	7,04	1,3

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	3,52	49	30,53	7,06	1,36
s	0,06	0	0,08	0,06	0,14
v	1,59	0	0,25	0,83	9,95
P(μ ≤)=0,95	3,57	49	30,6	7,12	1,49
P(μ ≤)	3,47	49	30,46	7,01	1,24

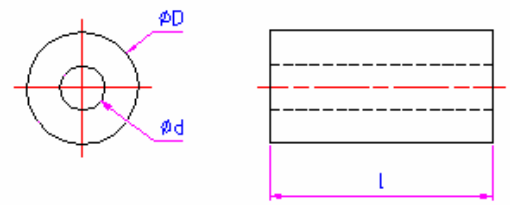


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P LI: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.31

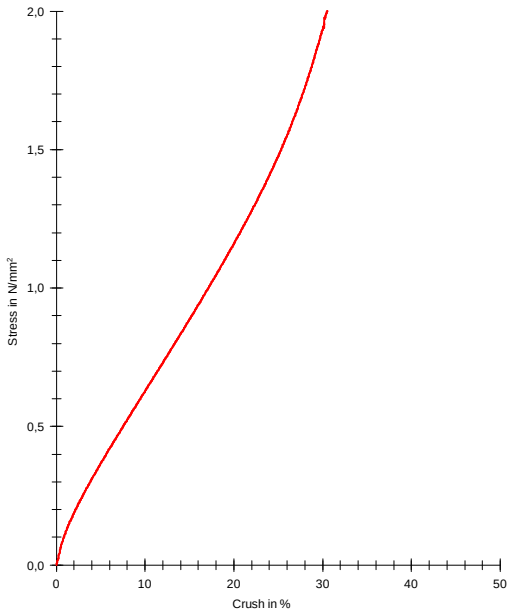
Materiál 426, D = 49, d = 20, l = 100

Označení tělesa: 221B



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	1,99	49	30,1	28,78	10,65
2	1,99	49	30,2	28,77	10,58
3	1,96	49	30,15	28,71	10,68
4	2	49	30,5	29	10,6
5	1,94	49	30,13	28,63	10,61
6	1,94	49	30,2	28,68	10,6

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	1,96	49	30,2	28,86	12,01
s	0,03	0	0,14	0,29	3,69
v	1,78	0	0,45	1,01	30,74
P(μ ≤)=0,95	1,99	49	30,33	29,13	15,43
P(μ ≤)	1,93	49	30,08	28,59	8,59

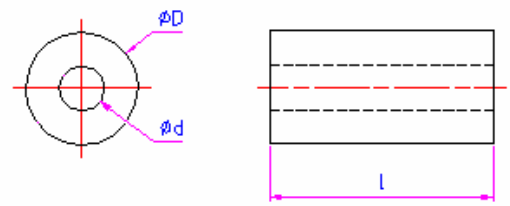


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P LII: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.32

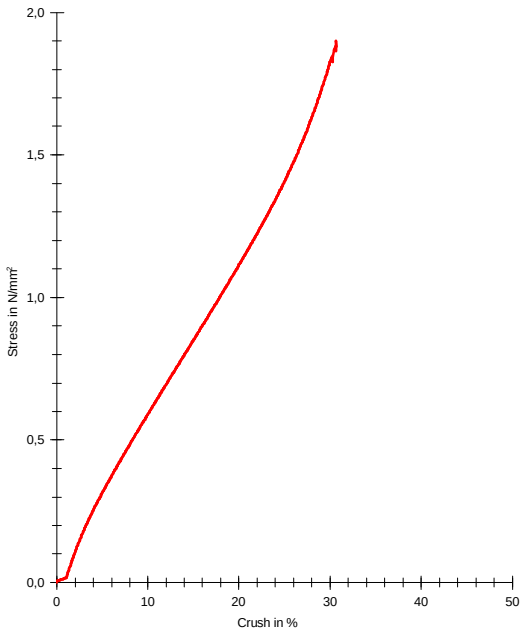
Materiál 426, D = 49, d = 20, l = 50

Označení tělesa: 222B



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	1,9	49	30,28	15	1,41
2	1,87	49	30,26	14,95	1,41
3	1,9	49	30,69	15,15	1,41
4	1,84	49	30,26	14,91	1,44
5	1,87	49	30,6	15,07	1,47
6	1,83	49	30,32	14,92	1,46

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	1,86	49	30,38	15,06	1,57
s	0,04	0	0,18	0,17	0,36
v	1,99	0	0,61	1,15	23,12
P(μ ≤)=0,95	1,89	49	30,55	15,22	1,9
P(μ ≤)	1,83	49	30,21	14,9	1,23

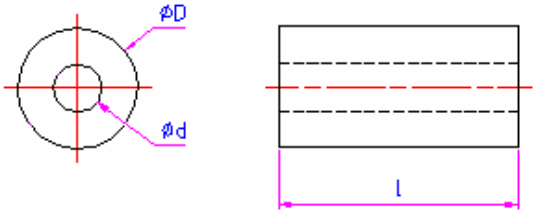


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P LIII: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.33

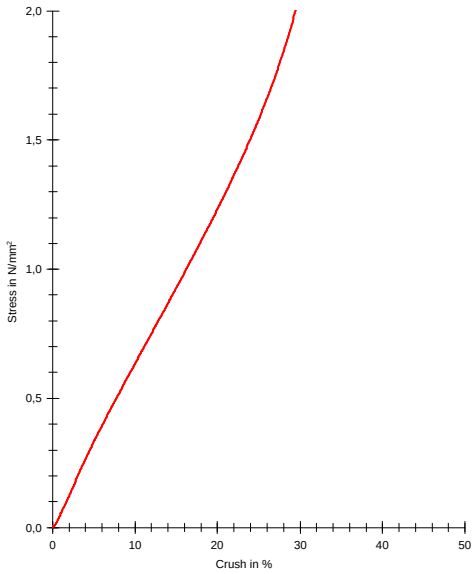
Materiál 426, D = 49, d = 20, l = 25

Označení tělesa: 223B



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	2,5	49	32,93	8,12	0,95
2	2,06	49	30,39	7,48	0,9
3	2,05	49	30,33	7,46	0,9
4	2,09	49	30,58	7,51	0,86
5	2,06	49	30,43	7,48	0,86
6	2,08	49	30,52	7,49	0,86

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	v
$\bar{x}$	2,15	49	30,82	7,6	2,04
s	0,16	0	0,94	0,24	3,04
v	7,49	0	3,04	3,15	149,3
P(μ ≤)=0,95	2,3	49	31,68	7,82	4,86
P(μ ≤)	2	49	29,95	7,38	-0,78

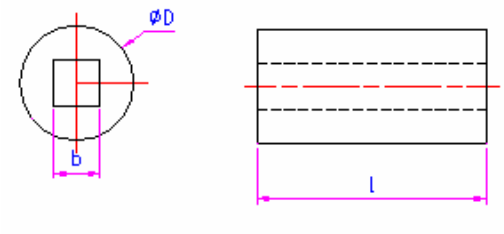


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P LIV: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.34

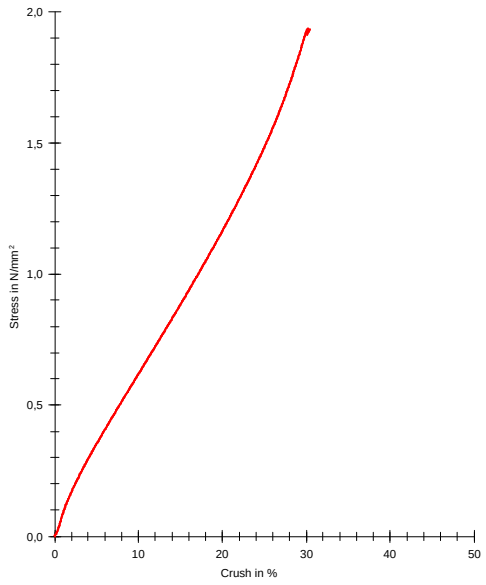
Materiál 426, D = 49, b = 20, l = 100

Označení tělesa: 231B



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	2	49	30,12	28,87	1,84
2	1,97	49	30,2	28,89	2,04
3	1,94	49	30,14	28,8	2,42
4	1,95	49	30,3	28,91	3,16
5	1,94	49	30,45	29,07	2,83
6	1,88	49	30,08	28,7	2,44

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	1,94	49	30,2	28,96	4,08
s	0,04	0	0,13	0,25	4,34
v	1,91	0	0,44	0,85	106,23
P(μ ≤)=0,95	1,98	49	30,32	29,19	8,1
P(μ ≤)	1,91	49	30,08	28,73	0,07

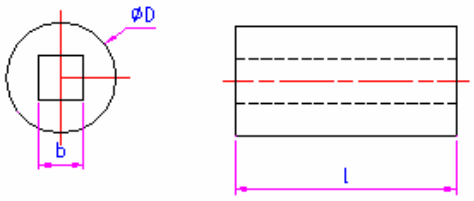


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P LV: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.35

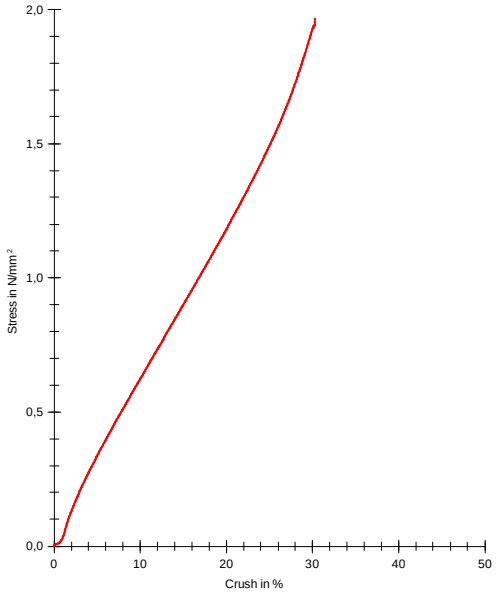
Materiál 426, D = 49, b = 20, l = 50

Označení tělesa: 232B



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	1,98	49	30,24	14,85	1,63
2	1,99	49	30,39	14,85	1,42
3	1,95	49	30,2	14,74	1,4
4	1,96	49	30,39	14,83	1,41
5	1,94	49	30,23	14,73	1,36
6	1,92	49	30,26	14,76	1,5

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	1,95	49	30,27	14,83	1,55
s	0,03	0	0,09	0,11	0,28
v	1,31	0	0,29	0,73	17,98
P(μ ≤)=0,95	1,98	49	30,35	14,93	1,81
P(μ ≤)	1,93	49	30,19	14,73	1,29

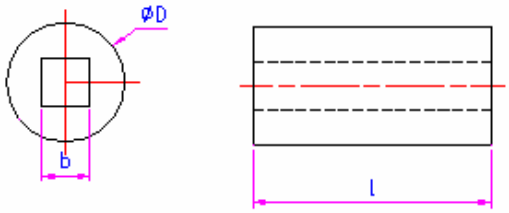


PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

PŘÍLOHA P LVI: NAMĚŘ. HODNOTY,TLAK. ZKOUŠKA Č.36

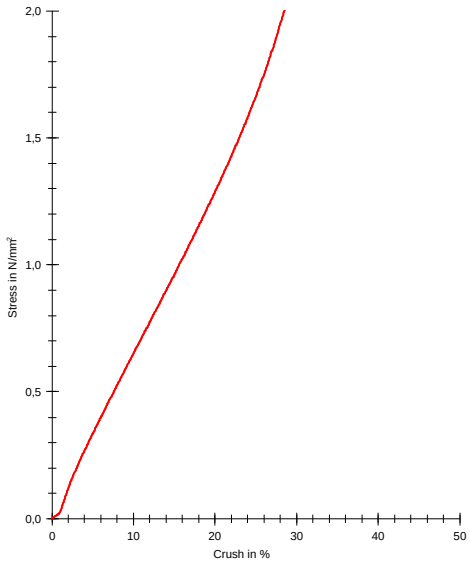
Materiál 426, D = 49, b = 20, l = 25

Označení tělesa: 233B



zkouš.č.	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
1	2,61	49	32,43	7,39	2,09
2	2,25	49	30,57	6,96	2,13
3	2,32	49	30,93	7,02	2,06
4	2,36	49	31,22	7,09	2,07
5	2,15	49	29,89	6,78	2,06
6	2,24	49	30,54	6,93	2,08

n = 6	σ(MPa)	∅ d(mm)	ε (%)	ε (mm)	E0(MPa)
$\bar{x}$	2,32	49	30,85	7,03	2,21
s	0,15	0	0,81	0,19	0,33
v	6,34	0	2,64	2,67	14,79
P(μ ≤)=0,95	2,45	49	31,6	7,2	2,51
P(μ ≤)	2,18	49	30,1	6,86	1,9



PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com