

Únosnost tenkostěnných válcových tvarových výrobků při namáhání tlakem

Zdeněk Holík



Oficiální zadání:

Děkuji mému vedoucímu Ing. Františkovi Rulíkovi,Csc, za ochotu, inspiraci a odbornou pomoc, kterou mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

Dále děkuji Doc. Ing. Oldřichovi Šubovi, CSc, za inspirativní rady a názory.

Také chci poděkovat Ing. Milanovi Žaludkovi,Ph.D. a Ing.Vladimírovi Šumberovi za poskytnuté rady a technickou asistenci.

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

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

Ve Zlíně, 06. 06. 2005

.....

podpis

RESUMÉ

Anotace česky

Ve své práci bych se chtěl zabývat problematikou únosnosti tenkostěnných válcových tvarový výrobků při namáhání tlakem. V teoretické části budu řešit problematiku výroby zkušebních těles a v experimentální části budu sledovat jaké změny zanechá na zkušebních tělesech zatížení.

Anotace v anglickém jazyce

The purpose of graduation thesis is to explore bearing capacity of thin-walled cylindrical formative products in the course of compression stress. In theoretical part there is a description of products making process used in test, experimental part brings the results of testing, which resulted from applying a load at testing products.

OBSAH

ÚVOD	6
1 TEORETICKÁ ČÁST	7
1.1 Mechanické vlastnosti - Zkoušky statické	7
1.1.1 Zkouška tahem.....	8
1.1.2 Zkouška tlakem	10
1.1.3 Zkoušky trubek.....	11
1.2 Plasty.....	12
1.2.1 Houževnatý polystyrén HPS.....	13
1.3. Vakuování.....	15
1.3.1 Vakuové přístroje	15
1.3.2 Postup při vakuování	16
2 PRAKTICKÁ ČÁST.....	19
2.1. Konstrukce přípravku pro vakuování.....	19
2.2. Konstrukce přípravku pro „kalíškovou zkoušku“	21
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST.....	23
3.1 Výroba zkušebních vzorků - kalíšků.....	23
3.2 Zkušební stroj ZWICK 145 665	24
3.3 Výsledky měření.....	25
4 DISKUZE VÝSLEDKŮ	29
4.1 Zkouška tlakem (PVC).....	29
4.2 „Kalíšková zkouška“ (HPS).....	30
4.3 Přípravek pro vakuování - matrice.....	30
4.4 Přípravek pro „kalíškovou zkoušku“	31
ZÁVĚR.....	32
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	33
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	34
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	36
SEZNAM TABULEK	39
SEZNAM PŘÍLOH.....	40

ÚVOD

Vzhledem k dynamickému rozvoji výroby jsou kladeny stále větší požadavky na kvalitu a jakost produktů. Zvláště pak v technické praxi kde s vývojem nových technologií stoupají nároky na mechanické vlastnosti materiálů a jejich zkoušky.

Pro poznání vlastností materiálu se používá mechanických zkoušek. Základem mechanického zkoušení materiálu jsou zkoušky statické, kde nejrozšířenější je zkouška tahem. Používají se také zkoušky tlakem, krutem a ohybem. Data ze zkoušek jsou často stěžejní informace pro výrobce a konstruktéry.

Je třeba přitom zdůraznit nutnost výchovy nových odborníků pro konstrukci technologických zařízení a specialistů pro materiálové inženýrství. Proto inženýr, ať již pracuje jako konstruktér, technolog nebo vývojový pracovník musí mít takové znalosti materiálu, aby při své pracovní činnosti respektoval specifické vlastnosti jejich jednotlivých druhů a na základě poznání obecných zákonitostí v tomto oboru, byl schopen jich tvůrčím způsobem používat v konkrétních podmínkách. Takový přístup dává také předpoklady k tomu, aby vysokoškolsky vzdělaný technik mohl i příští nové vědecké poznatky rychle zvládnout a používat je k realizaci nových metod zpracování a nových konstrukcí.

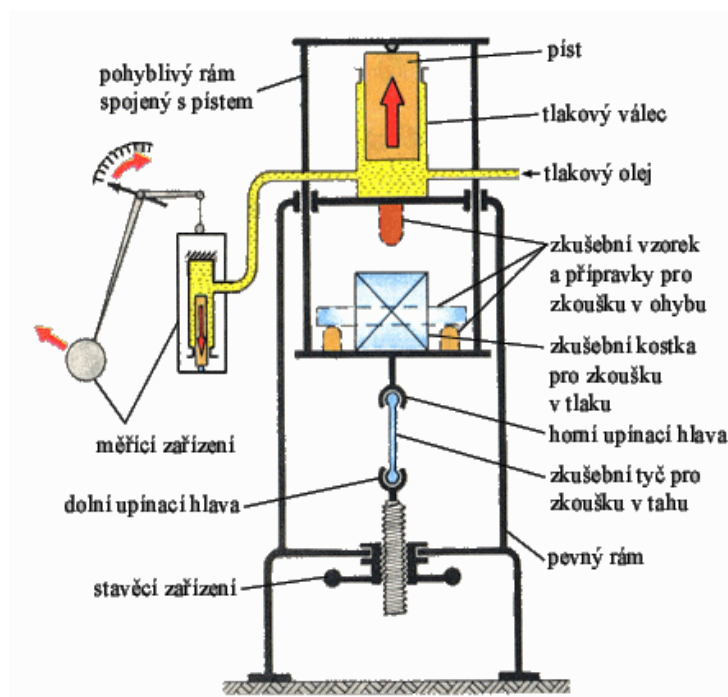
1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Mechanické vlastnosti - Zkoušky statické

Statické zkoušky jsou základem mechanického zkoušení materiálu. Materiál zatěžujeme pozvolna bez rázu, a to buď pouze jednou, nebo zatěžování několikrát opakujeme. Základem těchto zkoušek jsou zkoušky pevností. Podle způsobu působení zatěžující síly rozdělujeme tyto zkoušky na **zkoušky pevnosti v tahu, tlaku, ohybu, krutu a stříhu**.

Zkušební stroje jsou buď **jednouúčelové** (pro jeden druh zkoušek), nebo **univerzální** (pomocí vhodných přípravků lze provádět různé druhy zkoušek).[1]

Na **obr. 1.** je schéma univerzálního zkušebního stroje. Skládá se z rámu, upínacího ústrojí, zatěžovacího ústrojí, z měřicího a registračního (na obr. není zakresleno) zařízení. Do tlakového válce se přivádí tlakový olej, tím se zvedá pohyblivý (vnitřní) rám stroje. Zkušební tyče pro zkoušku pevnosti v tahu se upínají do upínacích hlav. Zkouška pevnosti v tlaku se koná na zkušební kostce nebo válečku, položeném na desce pohyblivého rámu. Při zkoušce pevnosti v ohybu se pokládá zkušební vzorek na dvě podpěry a namáhání je vyvozeno ohýbacím trnem připevněným na horní desku pevného rámu. Měřicí zařízení (tzv. kyvadlový manometr) je spojeno potrubím s pracovním prostorem tlakového válce. Tlak působící na píst měřicího tlakového válečku je vyvážen kyvadlem se závažím.[1]

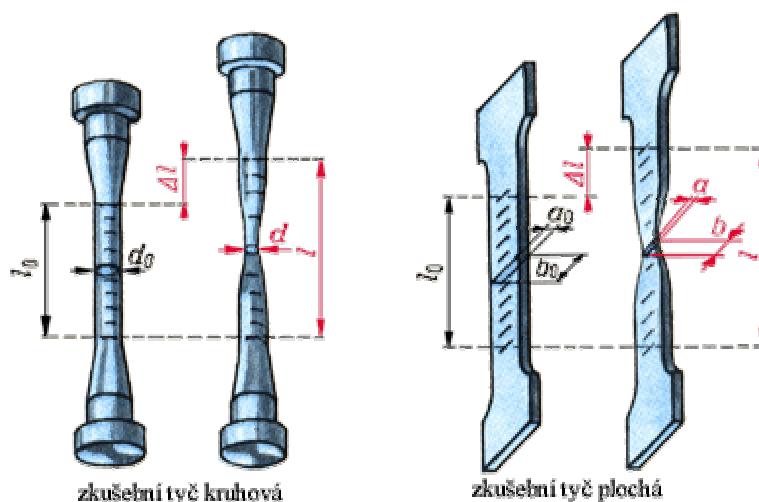


Obr. 1. Schéma univerzálního zkušebního stroje

1.1.1 Zkouška tahem

Je nejrozšířenější statickou zkouškou. V našem případě bude její obdoba použita pro „kalíškovou zkoušku“ (viz. kap. 2.2.) Je nutná téměř u všech technických materiálů, protože jí získáme některé základní hodnoty potřebné pro výpočet konstrukčních prvků a volbu vhodného materiálu. Zkoušky tahem se zpravidla nedělají přímo na vyrobené součásti, ale na zkušebních tyčích, jejichž tvary a rozměry jsou normalizovány (obr. 2.). Vlastní měřená délka l_0 závisí na průřezu zkušební tyče a je při kruhovém průřezu u dlouhé tyče $10 d_0$ a u tyče krátké $5 d_0$ (d_0 = průměr zkušební tyče). Abychom mohli měřit prodloužení zkušební tyče po přetržení, vyznačíme na ní před zkouškou rysky ve vzdálenosti 10 mm. Trhací zkouškou zjišťujeme **pevnost v tahu**, **poměrné prodloužení**, **tažnost** a **zúžení (kontrakci)** zkoušeného materiálu.[1]

Při všech statických zkouškách vzniká v zatížené součásti napětí. Je to míra vnitřních sil, které vznikají v materiálu působením sil vnějších. Rozeznáváme **napětí normálové** σ a **napětí tečné** τ . Podíl síly a skutečné plochy průřezu v kterémkoli stadiu zkoušky nazýváme **skutečným napětím**. Běžně však používáme hodnoty **smluvních napětí**, protože neuvažujeme změnu průřezu tyče a zatížení vztahujeme na původní průřez S_0 . [1]



Obr. 2. Tvary zkušebních tyčí pro zkoušku tahem

U trhací zkoušky můžeme sestavit diagram $\varepsilon - \sigma$ (obr. 3.) a stanovit:

Pevnost v tahu (mez pevnosti v tahu) σ_{Pt} je smluvní hodnota napětí daného podílem největší zatěžující síly F , kterou snese zkušební tyč, a původního průřezu tyče S_0 :

$$\sigma_{Pt} = \frac{F_{\max}}{S_0} \text{ [MPa]} \quad (1)$$

Byla-li původní délka zkušební tyče l_0 a délka zjištěná po přetržení l , je celkové prodloužení (změna délky):

$$\Delta l = l - l_0 \quad [\text{mm}] \quad (2)$$

Poměrné prodloužení ε je dáno poměrem změny délky Δl k původní délce zkušební tyče l_0 :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad [-] \quad (3)$$

Tažnost δ je poměrné prodloužení vyjádřené v procentech původní délky:

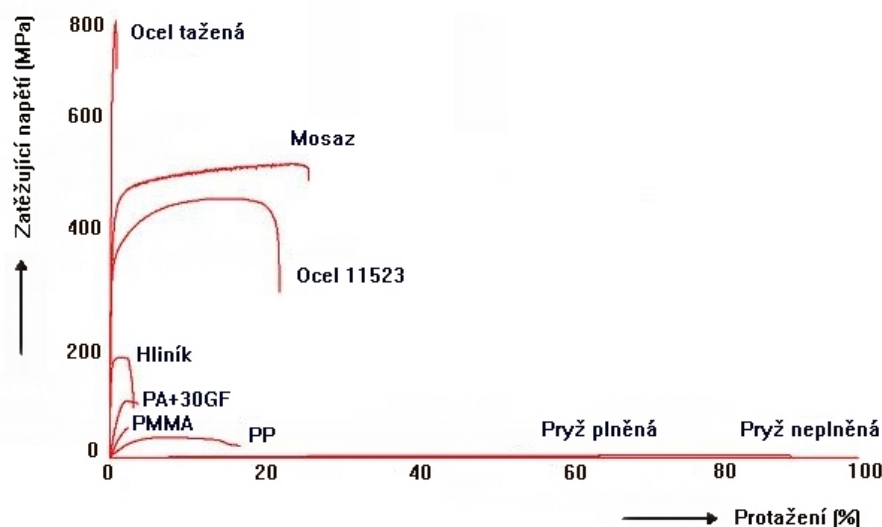
$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (4)$$

Kontrakce (zúžení průřezu) ψ je dána poměrem zúžení průřezu tyče po přetržení ($S_0 - S$) k původnímu průřezu tyče S_0 . Vyjadřujeme ji v procentech:

$$\psi = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (5)$$

Pevnost v kluzu (mez kluzu v tahu) σ_{Kt} je napětí, při němž se zkušební tyč počne výrazně prodlužovat, aniž by stoupala zatěžující síla, nebo při němž nastává prodlužování doprovázené poklesem zatěžující síly. Stanovíme ji ze vztahu :

$$\sigma = \frac{F_K}{S_0} \quad [\text{MPa}] \quad (6)$$

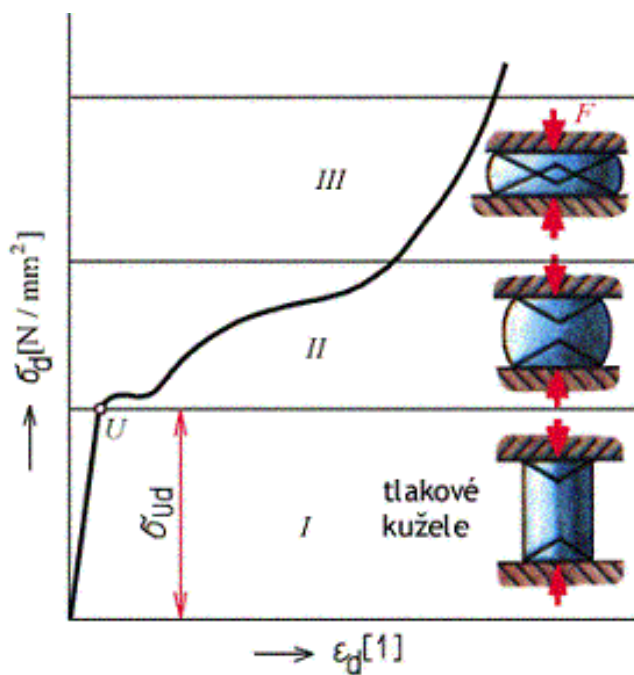


Obr. 3. Příklady pracovních diagramů zkoušky tahem pro různé materiály

1.1.2 Zkouška tlakem

Zkouška tlakem je používána méně často (např. u ložiskových kovů, litiny, vrstvených tvrzených hmot, keramických látek, stavebních hmot apod.). U ocelí nebývá tato zkouška nutná, neboť hodnoty meze úměrnosti a meze kluzu v tahu i tlaku jsou přibližně stejné. Zkušební tělesa mívají obvykle tvar válečku o $\varnothing d = 10$ až 30 mm. Výška válečku h se při hrubých zkouškách rovná průměru d , při přesných měřeních volíme výšku $h = (2.5 \text{ až } 3) d$. Zkušební tělesa z kamene, betonu, dřeva apod. mají tvar krychle.[1]

Průběh tlakové deformace zkušebního válečku z houževnatého materiálu (měkké oceli) je na obr. 4. V prvním údobí zkoušky je křivka napětí strmá, materiál odolává tlaku a tvoří se tzv. **tlakové kužele**. V druhém údobí hmota tělesa lehce klouže po kuželových plochách do stran, což se jeví v tlakovém diagramu menším vzrůstem napětí vzhledem k deformaci.[1]



Obr. 4. Pracovní diagram zkoušky tlakem měkké uhlíkové oceli

Jakmile se tlakové kužele k sobě přiblíží (třetí údobí), vzrůstá odpor proti stlačování a křivka stlačení má opět strmý průběh. Této třetí fázi obvykle u tlakových zkoušek nedosahujeme. U křehkého materiálu nastává rozdrčení (lom) bez plastické deformace.[1]

Stejně jako u trhací zkoušky můžeme i u zkoušky tlakové stanovit:

- **pevnost v tlaku** (mez pevnosti v tlaku)

$$\sigma_{Pd} [MPa]$$

- **prosté zkrácení** (stlačení)

$$\Delta l_d [mm]$$

- **poměrné zkrácení** (stlačení)

$$\varepsilon_d [-]$$

- **poměrné zkrácení (stlačení) v procentech** $\delta_d = \frac{h_0 - h}{h_0} \cdot 100 [\%]$ (7)

- **poměrné příčné rozšíření** $\psi_d = \frac{S - S_0}{S_0} \cdot 100 [\%]$ (8)

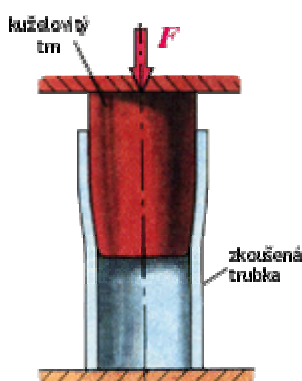
Rozměry i definice těchto hodnot jsou stejné jako pro zkoušku tahem. Mez pevnosti v tlaku se uvádí jen pro křehké materiály, neboť u měkkých a tvárných kovů nelze určit okamžik porušení. Smluvní mez kluzu v tlaku $\sigma_{0,2}$ určujeme obdobným způsobem jako u tahové zkoušky.[1]

1.1.3 Zkoušky trubek

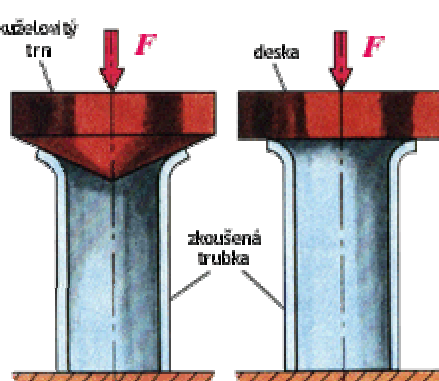
Zkoušky trubek jsou nutné zejména ve stavitelství, kdy se zkoumá míra zatížení při zmáčknutí, rozhánění nebo lemování. Sleduje se tak kdy se na zkoušené trubce objeví praskliny nebo jiné strukturální defekty. Zkoušky zmáčknutím se provádí větší části u trubek, které budou položeny v zemi a to z důvodu působí tlaku zeminy.

- 1) **Zkouška trubek rozháněním a lemováním** zjišťuje zpracovatelnost trub, zvláště tažených za studena (obr. 5., 6.). Trubky vyhovují, nevzniknou-li při zkoušce v místě rozhánění, lemování nebo zmáčknutí na zkušebním vzorku trhliny.[4,5]
- 2) **Zmáčknutím** (obr. 7.) – pro trubky do 400 mm s tloušťkou stěny 15 % vnějšího průměru trubky. Odřezek trubky se zmáčkne pod lisem do určité vzdálenosti H nebo do dosednutí tak, že na okraji jsou mezery o velikosti nejvýše $\frac{1}{4}$ tloušťky stěny trubky.

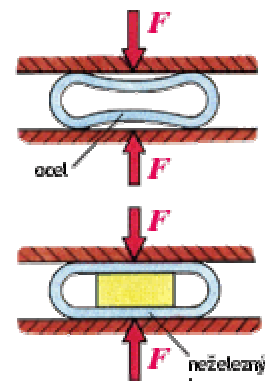
Výsledky jsou vyhovující, jestliže v místech největšího ohybu nevznikne trhlina nebo lom.[6]



Obr. 5. Zkouška trubek rozháněním



Obr. 6. Zkouška trubek lemováním



Obr. 7. Zkouška trubek zmáčknutím

1.2 Plasty

Plastem se nazývá materiál, jehož základní složku tvoří polymer. Kromě polymeru plasty obsahují přísady sloužící k úpravě jejich vlastností: plniva, barviva, stabilizátory, změkčovadla popřípadě nadouvadla.[2]

Dělení plastů na :

termoplasty

reaktoplasty

elastomery

Termoplasty - mají schopnost opakovaně ohřevem měknout a ochlazením tuhnout v teplotním intervalu charakteristickém pro daný plast.[2]

Příklady:

polyethylen PE, polypropylen PP, Polyvinylchlorid PVC, polystyren PS, polyamid PA
polyethylentereftalát PET, polyuretany PUR

Reaktoplasty - jsou materiály, které mohou být převedeny do netavitelného a nerozpustného stavu účinkem tepla, záření nebo katalyzátoru. Při tomto pochodu se vytvářejí kovalentní příčné vazby mezi makromolekulami polymeru za vzniku struktury prostorové sítě. Pro síťování reaktoplastů se v technické praxi používá pojem vytvrzování.[2]

Základní rozdělení reaktoplastů:

Fenoplasty, rezoly, aminoplasty, epoxidy, polyestery, silikonové pryskyřice

Proti termoplastům jsou vysoce tuhé a tvrdé, tepelně odolné i stálé za tepla odolné vůči povětrnosti a korozi za napětí, nevýhodou je malá tažnost.[2]

Použití:

lisovací hmoty, nátěrové hmoty, lepidla, tmely, vrstvené lamináty, zalévací hmoty

Elastomery - jsou polymery, které mají ve svém makromolekulárním řetězci reaktivní místa např. dvojné vazby, umožňující chemickou síťovací reakci - vulkanizaci. Reakcí vulkanizačního činidla za vhodných reakčních podmínek se vytváří prostorová síť, ve které jsou původně lineární makromolekulární řetězce kaučuku pospojovány chemickými vazbami, které nazýváme příčné. Vlastnosti pryže jsou určovány koncentrací příčných vazeb a chemickou strukturou při vulkanizaci se tvárný kaučuk mění na pryž, jejíž základní vlastností je schopnost velké elastické deformace při zatěžování v tahu.[2]

Charakteristické vlastnosti pryže:

Odrazová pružnost, odolnost proti opotřebení a cyklickým deformacím, chemická odolnost, nepropustnost pro plyny a vodu, elektroizolační vlastnosti.[2]

Podle oblastí použití lze dělit kaučuky na kaučuky:

pro všeobecné použití, speciální – olejovzdorné, teplovzdorné

1.2.1 Houževnatý polystyrén HPS

Standardní PS nevyhovuje všem požadavkům, pokud jde o rázovou houževnatost a protažení. Rázuvzdorné druhy PS se liší od standardního PS právě vyšší rázovou a vrubovou houževnatostí a tažností. Protažení při přetržení je u těchto typů PS větší a

v určitém rozsahu úměrné pevnosti v tahu. Obecně je možno říci, že čím je protažení větší, tím menší je pevnost v tahu a materiál má větší schopnost absorbovat energii.

Zpracování houževnatého PS lze provádět téměř všemi postupy jako u normálního PS, zvláště vstřikováním a vytlačováním. Vzhledem k dobrým tokovým vlastnostem hPS lze použít jednošnekových vytlačovacích strojů. Nelze z něj připravovat vlákna a tenké folie vyfukováním. S rostoucím obsahem elastomeru se rozšiřuje oblast měknutí, a proto je potřeba použít při zpracování vyšších teplot a tlaku. Optimální režim je asi při 200 - 220 °C a vstřikovacím tlaku větším než 100 Mpa. Teplotu nelze příliš překročit neboť by došlo k poklesu rázové houževnatosti.

Houževnaté typy jsou dnes nejvíce rozšířeny. Nejsou transparentní, proto se kvůli vzhledu musí vhodně pigmentovat. [7]

Možnost zpracování:

Kašírování, výsek, řezání, lepení, sítotisk, vakuové tvarování.

Desky se vyrábějí v těchto rozměrech:

Standartně: 1000 x 2000, 1200 x 2000, 1500 x 2000 mm

Na objednávku: 1250 x 2050, 1500 x 3000 mm

Hlavním důvodem jeho oblíbenosti je dobrá zpracovatelnost. Houževnatý polystyrén HPS je tuhý a proto lze dosáhnout výborné výsledky při **vakuovém tvarování**, což byla klíčová vlastnost při výběru materiálu pro náš případ. Pro tloušťku do 2 mm lze použít pro výsek.

Hladký rovný povrch desek houževnatého polystyrénu je velmi vhodný pro sítotisk, kdy lze použít většinu sítotiskových barev. Stále častěji je také používán jako podklad pro nalepení plakátů ne zvětšenin fotografií. Výsledkem je trvanlivý a kvalitní výrobek.

HPS se dodává v matném i jednostranně lesklém provedení v řadě barev. K dispozici jsou i číré a opálové desky, které lze například použít pro osvětlenou reklamu v interiérech.

Vlastnosti houževnatých PS se značně liší podle obsahu elastomeru a způsobu výroby a je třeba brát k výpočtům údaje poskytované výrobcem. Pokud jde o závislost mechanických vlastností na teplotě, platí podobné závislosti jako u normálního PS. Se stoupajícím

obsahem elastomeru klesá pevnost v tahu, odolnost za tepla, stoupá tažnost, rázová a vrubová houževnatost. Tokové vlastnosti se zhoršují.

Použití:

Jsou dnes běžné pro výrobu řady předmětů, jako části televizorů, kryty radiopřijímačů, tanky chladniček, telefonní přístroje, součásti přístrojů pro domácnost, nosné panely fotografií apod.

1.3. Vakuování

Vakuování je výrobní proces, který se využívá pro tvarování nejrůznějších profilů zejména tam, kde jsou ostatní metody tvarování nepoužitelné nebo v mnoha případech ekonomicky nákladnější. Metoda je založena na fyzikálním jevu podtlaku, při němž dochází ve chvíli, kdy je z uzavřeného prostoru vzduchovým čerpadlem odsát vzduch. V tomto místě vzniká vakuum a následkem toho okolní atmosférický vzduch má tendenci tento prázdňý prostor zaplnit. Vyvíjí tak tlak na stěnu uzavřeného prostoru (v našem případě natavenou polymerovou desku) což má za následek její deformaci. Deska tak kopíruje prázdňá místa a vyplní je. Po zchladnutí si deska zachová tvar kopírovaného prostoru.

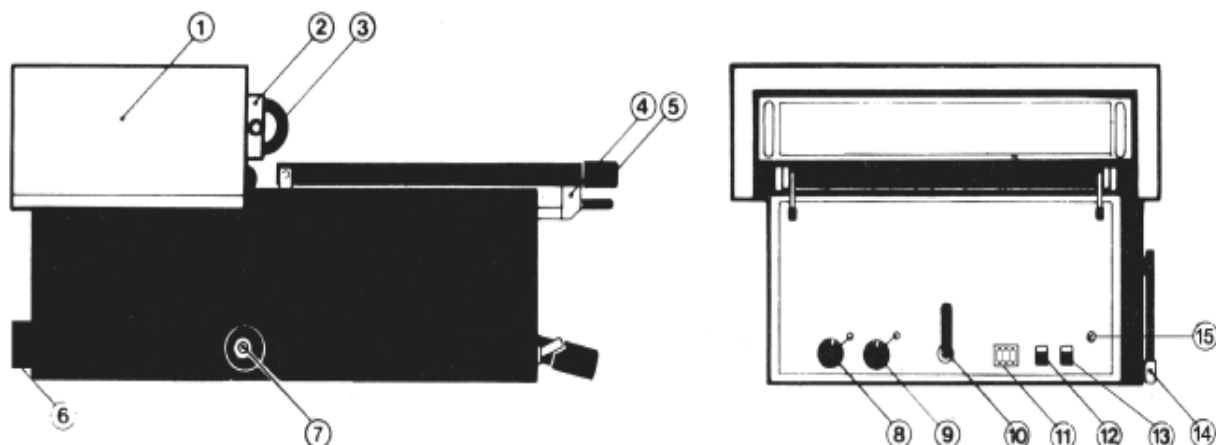
1.3.1 Vakuové přístroje

Pro výrobní proces vakuování se používá řada zařízení. Liší se zejména svou velikostí, od které se také odvíjí použití přístroje a jeho výrobní kapacita.

Pro účely této bakalářské práce byl použit přístroj FORMTECH 300X, který je k dispozici v laboratořích UTB. Schéma přístroje je uvedeno na obr. 8. [3]

Technické Specifikace:

- Velikost materiálu 450 mm x 300 mm
- Formovací oblast 430 mm x 280 mm
- Max hloubka tažení 180 mm
- Max tloušťka materiálu 6 mm
- Vnější šířka 610 mm
- Vnější výška 430 mm
- Váha 60 kg



Obr. 8. Schéma přístroje Formech 300X

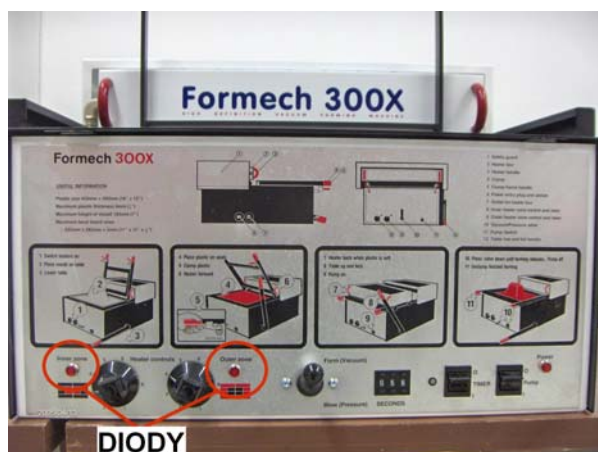
Popis:

1 Bezpečnostní obal	6 Napájení	11 Časomíra ukazatel
2 Topné těleso	7 Napájení topného tělesa	12 Vypínač časomíry
3 Klika	8 Vnitřní zóna – teplota	13 Vypínač vzduchového čerpadla
4 Svorky	9 Vnější zóna – teplota	14 Páka
5 Zajišťovací páka	10 Vypínač vakuování	15 Indikátor zap./vyp. Přístroje

1.3.2 Postup při vakuování

Nechá se dostatečně rozehřát topné těleso v přístroji. O tom zda je přístroj již připraven nás informují diody, které jsou umístěny hned vedle spínačů pro nastavení teploty pro vnitřní a venkovní zónu (obr. 9.).

Na pracovní plochu přístroje se umístí matrice, která bude určovat tvar výsledných odvakovaných výrobků - kalíšků. V našem případě pro výrobu kalíšků je použita deska s kruhovými otvory (viz. kap. 2.1.). Pohybem páky směrem nahoru sjede plošina i s matricí do výchozí polohy (obr. 10.).



Obr. 9. Poloha diod



Obr. 10. Umístění matrice

Do přístroje se upevní plastová deska a zajistí se proti pohybu (obr. 11.). Toho docílíme dvěma svorkami, které jsou upevněné na rámu. Rám přitlačí desku na pogumované manžety čímž docílíme, že do pracovní části přístroje nebude vnikat atmosférický vzduch a bude tak zachováno vakuum. Zajištěné svorky jsou vidět na obr. 12.

Topným tělesem se přijede nad desku a nechá se požadovaný čas prohřát (obr. 12.). Časomíra je součástí přístroje a dá se regulovat po 1s. Uplynutí nastaveného času je akusticky signalizováno.



Obr. 11. Umístění plastové desky



Obr. 12. Pohyb topného tělesa

Po časovém signálu zajedeme zpět s topným tělesem do zajišťovací polohy a pohybem páky dolů vysuneme matrici nahoru. Spínačem uvedeme do chodu vzduchové čerpadlo. Poté co deska dostatečně zchladne, vypneme čerpadlo, odjistíme svorky a sjedeme s matricí zpět do výchozí polohy. Odvakuovaná deska je vidět na obr. 13.



Obr. 13. Odvakuovaná deska

2 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části je popsána konstrukce přípravku pro vakuování a přípravku pro „kalíškovou zkoušku“.

V obou případech jsou přípravky vyrobeny ze dřeva. Přípravek pro vakuování je z dřevotřísky a přípravek pro „kalíškovou metodu“ je vyrobený z překližky. Materiál byl volen z hlediska jeho dostupnosti a vhodnosti pro naše potřeby.

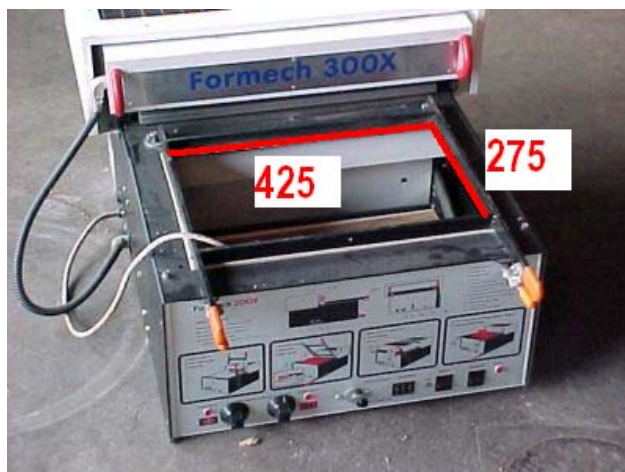
2.1. Konstrukce přípravku pro vakuování

Ke tvarování výrobků ve vakuovém přístroji se používají různé matrice, které pak určují výsledný tvar těchto výrobků.

Pro naše potřeby byla matrice navržena v podobě přípravku složeného z několika dřevěných desek s kruhovými otvory. Základní požadavkem bylo, aby přípravek obsahoval co nejvyšší počet kruhových otvorů čtyř různých průměru - A, B, C, D a umožňoval i vytvoření vzorků o různých výškách. V deskách byly dále vyvrtány diagonálně dvě díry pro kolíky – K, které slouží k zajištění jejich vzájemné polohy. Pro naši potřebu byly vyrobeny 4ks desek. To umožňovalo získat výrobky čtyř výšek: 20, 40, 60 a 80 mm.

Průměry otvorů jsou zvoleny v rozměrech: A = Ø 20 mm; B = Ø 40 mm; C = Ø 50 mm; D = Ø 75 mm.

Navrhl jsem tři různá řešení, kde se ukázalo být řešení č.3 nejvýhodnějším. Limitujícím faktorem byl rozměr samotné desky, který se musel přizpůsobit rozměrům lože vakuového přístroje. Tyto rozměry byly 425x275 mm (obr. 14).



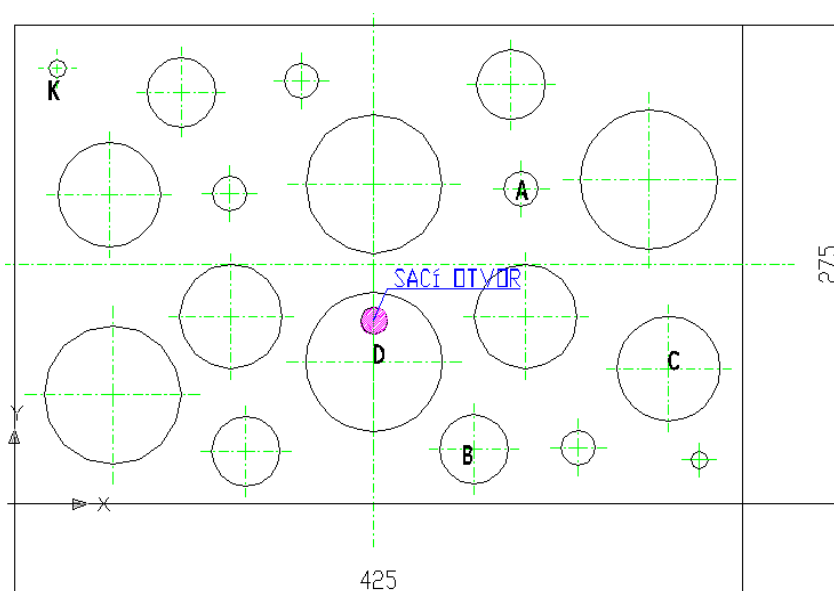
Obr. 14. Rozměry pracovní plochy (lože)

Dalším požadavkem bylo, aby se na desku vešel co největší počet otvorů od každého rozměru a v neposlední řadě otvory musejí být od sebe v co největší vzdálenosti, aby byla umožněna tvorba základny pro výsledný výrobek (obr. 15).



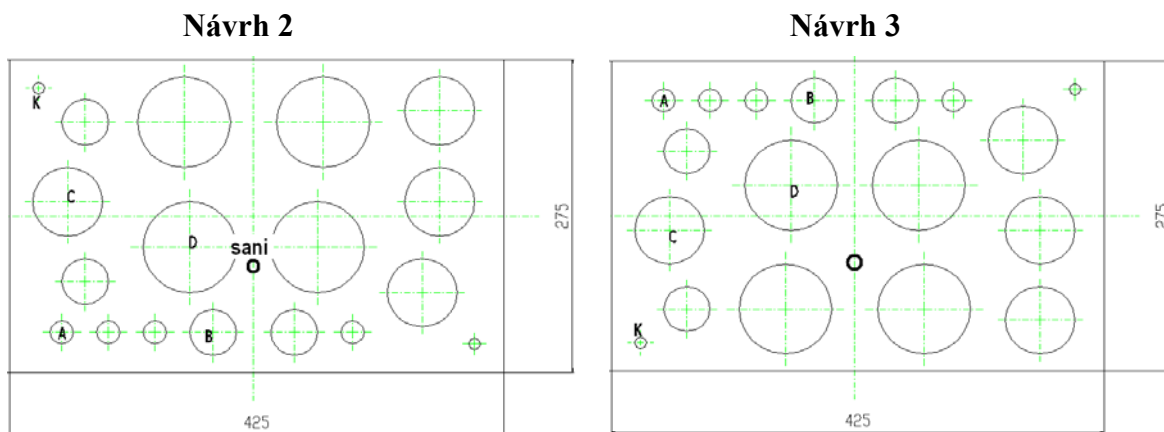
Obr. 15. Odvakuované výrobky (kalíšky)

První návrh nesplňoval několik požadavků – některé díry byly příliš blízko sebe a jedna z děr zasahovala do sacího otvoru stroje, což by v důsledku mohlo zapříčinit ucpání nataveným polymerem a následnou nefunkčnost tvarování zbylých otvorů (obr. 16).



Obr. 16. Poloha sacího otvoru

Druhý návrh splňoval sice všechny předpoklady, ale vzhledem k nutnosti u otvorů D docílit největšího sacího výkonu (z důvodů jejich velikosti), bylo od tohoto návrhu upuštěno a byl realizován návrh 3, který splňoval i tento požadavek. Pro srovnání předkládám oba návrhy 2 a 3 na obrázcích (obr. 17) a (obr. 18). Na obr. 18 je patrné, že otvory D jsou rozmístěny souměrně kolem sacího otvoru.



Obr. 17. Špatná poloha sání

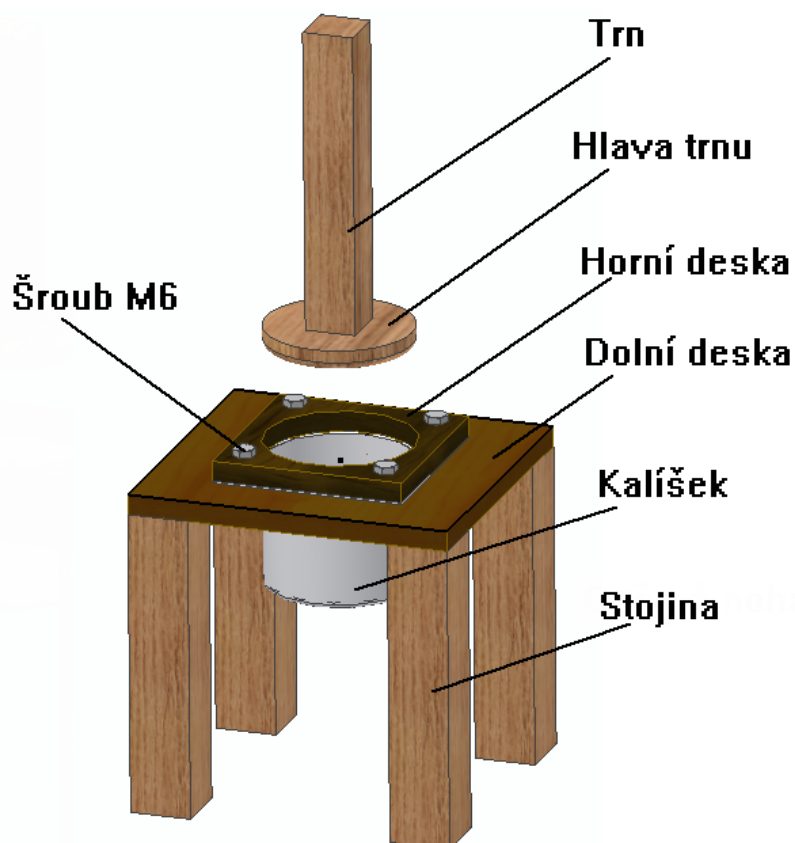
Obr. 18. Dobrá poloha sání

Výrobní výkres vybrané varianty rozmístění otvorů je zpracován v programu AutoCad 2002 a je uveden v příloze.

2.2. Konstrukce přípravku pro „kalíškovou zkoušku“

„Kalíškovou zkouškou“ se rozumí způsob zatěžování zkušební vzorku (v našem případě odvakovaného výrobku – kalíšku). Dochází k silovému působení na dno vzorku tlakovou silou a to do té míry, dokud nedojde k jeho porušení. Zatížení vyvolá ve stěnách kalíšku tahová napětí a následnou deformaci - protažení. Metoda byla rozpracována podle návrhu Doc. Ing. Oldřicha Šuby, CSc, pracovníka ÚVI.

Přípravek (obr. 19.) má jednoduchou konstrukci. Skládá se ze dvou desek (horní a dolní) s vystředěným otvorem, stojin a trnu s kruhovou hlavou. Desky byly vyrobeny ve třech různých rozměrech (pro horní i dolní desku) a liší se od sebe pouze průměry otvorů (obr. 20.). Průměry otvorů pro jednotlivé desky jsou: B = 40 mm, C = 50 mm, D = 75 mm (kap.2.1.). Jejich rozměr je určen požadavkem, aby do desek přesně zapadly odvakované kalíšky (obr. 15). Ve třech rozměrech byly vyrobeny i kruhové hlavy trnu (obr. 21.). Konstrukce přípravku pro „kalíškovou zkoušku“ byla tedy z větší části dána již rozměry kalíšků. Výrobní výkresy jednotlivých součástí přípravku jsou zpracovány v programu AutoCad 2002 a jsou uvedeny v příloze [P 5-16].



Obr. 19. Schéma přípravku



Obr. 20. Dolní desky (větší) a horní desky



Obr. 21. Trny

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Provedení experimentálních měření bylo rozděleno do dvou částí. Tato rozdělení si vyžádaly vlastnosti materiálu použitého na výrobu zkušebních vzorků – kalíšků.

Do první skupiny byly zařazeny vzorky – kalíšky vyrobené z PVC, které byly zatíženy tlakem. Do druhé skupiny pak vzorky – kalíšky z HPS, u kterých byla použita „kalíšková zkouška“.

3.1 Výroba zkušebních vzorků - kalíšků

Kalíšky z PVC byly vyrobeny vakuováním. Jako materiál byla zvolena deska PVC tloušťky 2 mm. Původní předpokladem bylo vytvarovat kalíšky o různých průměrech a výškách podle matrice (kap. 2.1) Při vakuování se však ukázalo, že menší průměry ($\varnothing A = 20$ mm) nejsou vůbec nebo jen velmi těžce tvarovatelné. Při pokusech dosáhnout vyšší výšky kalíšků než 20 mm se často materiál protrhl a došlo tak ke ztrátě vakua (obr. 22). Z uvedených důvodů byly pro zkoušku tlakem použity kalíšky s průměry $B = 40$ mm, $C = 50$ mm a $D = 75$ mm a výškou 20 mm.

Kalíšky z HPS byly vakuovány na stejné matrici jako kalíšky z PVC. Výchozím materiálem byla deska z HPS o tloušťce 1 mm a rozměrech 2000x1000 mm. Na rozdíl od PVC byl materiál daleko lépe tvarovatelný. Přesto však menší průměry při vyšších výškách bylo problematické vytvarovat a tak bylo od nich upuštěno. Byly proto odvakuovány kalíšky následujících rozměrů: výška 20 mm - $\varnothing B = 40$ mm, $\varnothing C = 50$ mm, $\varnothing D = 75$ mm

výška 40 mm - $\varnothing B = 40$ mm, $\varnothing C = 50$ mm, $\varnothing D = 75$ mm

výška 60 mm - $\varnothing C = 50$ mm, $\varnothing D = 75$ mm

výška 80 mm - $\varnothing D = 75$ mm



Obr. 22 Prasklé kalíšky menších průměrů

3.2 Zkušební stroj ZWICK 145 665

Pro realizaci zkoušky tlakem i „kalíškovou zkoušku“ bylo použito zkušebního stroje Zwick 145 665. Zkušební stroj Zwick 145 665 (obr. 23) je umístěn v laboratořích ÚVI a je používán na praktické testování vzorků. Přístroj je určen pro zkoušky tahem, tlakem a ohybem. Součástí přístroje je osobní počítač s programem pro vyhodnocování dat o prováděné zkoušce. [10]

Technické specifikace přístroje:

- maximální zkušební síla	20kN
- strojová výška	1284 mm
- celková výška	2012 mm
- celková šířka	630 mm
- šířka pracovního prostoru	420 mm
- hmotnost	150 kg



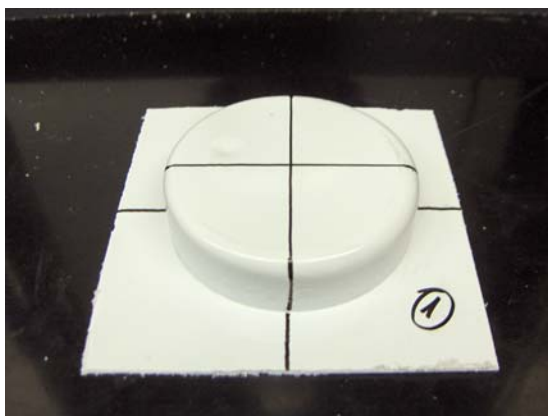
Obr. 23 Zkušební stroj Zwick 145 665

3.3 Výsledky měření

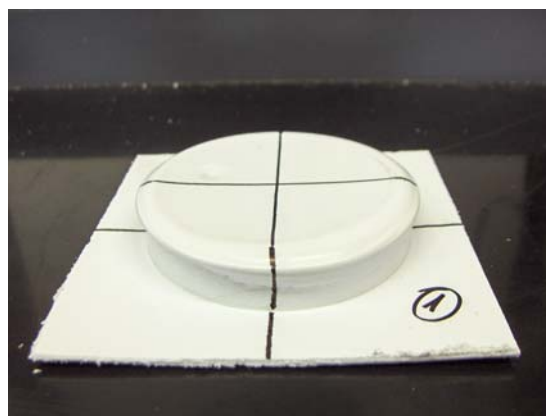
Zkouška tlakem:

Kalíšky z PVC (obr. 24) a (obr. 25) byly zatěžovány na tlak mezi tlakovými čelistmi (obr. 26) zkušebního stroje Zwick 145 665. Zkouška probíhala za rychlosti 5mm/min. Naměřené hodnoty byly sestaveny do tabulek v závislosti na charakteristickém vnějším průměru zkušebního vzorku – kalíšku a zároveň pomocí měřicí aparatury uvedeného zkušebního stroje byly získány grafy závislosti zatěžující síly F [N] na stlačení Δl_d [mm]. Tabulky naměřených hodnot jsou uvedeny v příloze (P 1) a grafy v příloze (P 2).

Pro každý charakteristický průměr bylo provedeno měření pěti vzorků – kalíšků a z nich stanovena průměrná hodnota a směrodatná odchylka – (tab. 1). Grafické porovnání závislosti zatěžující síly F [N] na stlačení Δl_d [mm] pro charakteristické průměry vzorků – kalíšků je na obr. 27



Obr. 24 Kalíšek z PVC před zkouškou



Obr. 25 Kalíšek z PVC po zkoušce

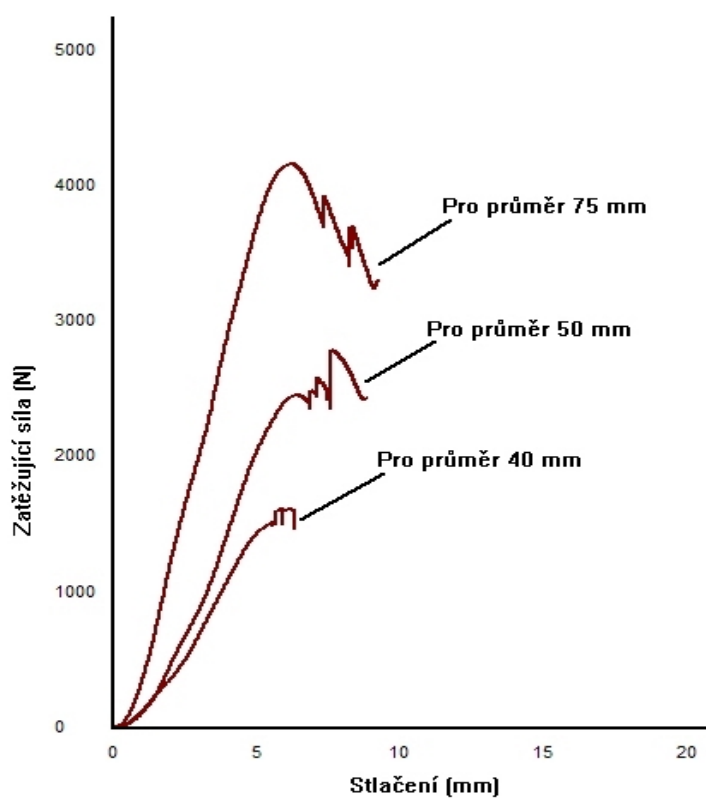


Obr. 26 Tlakové čelisti

Tab. 1 Tabulka naměřených hodnot tlakové zkoušky pro charakteristické průměry

v [mm]	D [mm]	Fmax [N]		Δl_d Fmax [mm]	
		Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka
20	Ø 40	1568,78	72,87	5,82	0,28
	Ø 50	2572,54	209,84	6,33	0,70
	Ø 75	4244,51	268,33	6,20	0,53

Kde : v - výška vzorků – kalíšků
D - průměr vzorků - kalíšků
Fmax - nejvyšší zatížení
 Δl_d Fmax – deformace (stlačení) při maximální síle



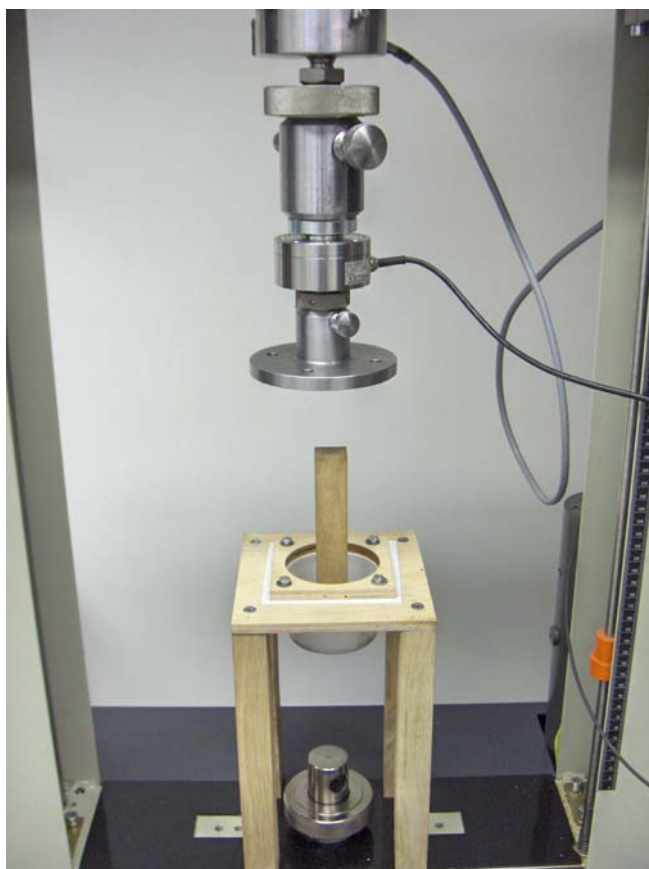
Obr. 27 Srovnání grafů závislosti zatížení na stlačení pro charakteristické průměry

„Kališková zkouška“ :

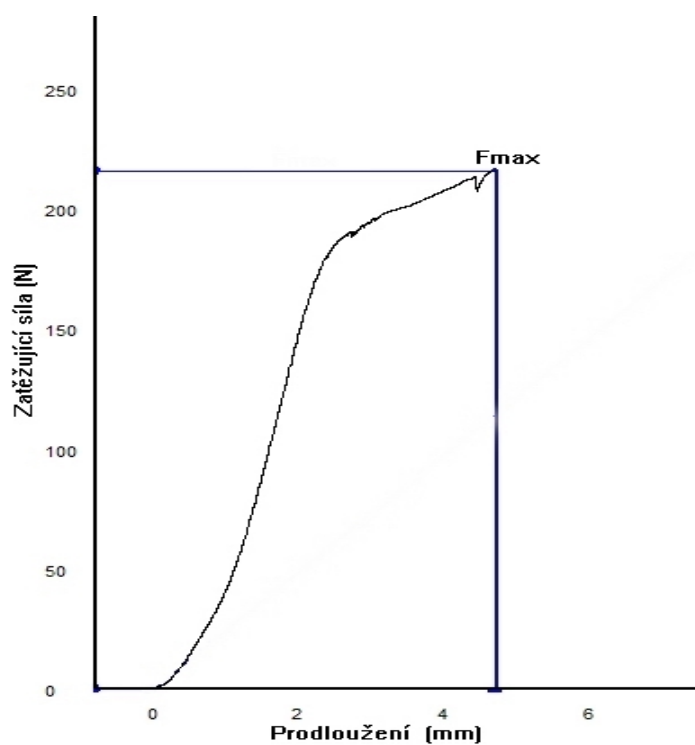
Vzorky - kališky z HPS byly podrobeny „kališkové zkoušce“ pomocí navrženého a vyrobeného přípravku (kap. 2.2). Přípravek byl umístěn pod horní čelist universálního stroje Zwick 145 665 (Obr. 28). Do horní poloviny stroje se upnula tlaková čelist, která vyvinula tlakovou sílu na trn přípravku. Trn přípravku působil tlakovou silou na dno vzorku - kališku. Zkouška probíhala při rychlosti posuvu trnu 5mm/min a skončila v momentě kdy se vzorek – kališek protrhl.

Naměřené hodnoty byly opět sestaveny do tabulek v závislosti na výšce vzorku charakteristickém vnějším průměru zkušební vzorku – kališku a zároveň pomocí měřicí aparatury uvedeného zkušební stroje byly získány grafy závislosti zatěžující síly F [N] na prodloužení Δl [mm] (obr. 29). Tabulky naměřených hodnot jsou uvedeny v příloze (P 3) a grafy v příloze (P 4).

Pro každý charakteristický průměr bylo provedeno měření pěti vzorků – kališků a z nich stanovena průměrná hodnota a směrodatná odchylka – (tab. 2).



Obr. 28 Umístění přípravku



Obr. 29 Graf závislosti zatížení na prodloužení

Tab. 2 Tabulka naměřených hodnot „kalíškovou zkouškou“ pro charakteristické průměry a výšky

v [mm]	D [mm]	Fmax [N]		Δl Fmax [mm]	
		Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka	Průměrná hodnota	Směrodatná odchylka
20	Ø 40	589,60	72,83	4,80	0,35
	Ø 50	651,62	78,94	6,37	0,79
	Ø 75	2199,12	251,52	10,46	1,54
40	Ø 40	263,46	34,77	4,76	1,22
	Ø 50	368,70	160,83	4,70	1,76
	Ø 75	1071,39	203,65	9,05	1,92
60	Ø 50	193,53	47,19	4,78	1,45
	Ø 75	385,96	38,36	4,81	0,34
80	Ø 75	178,19	27,78	3,10	1,16

Kde : v - výška vzorků – kalíšků

D - průměr vzorků - kalíšků

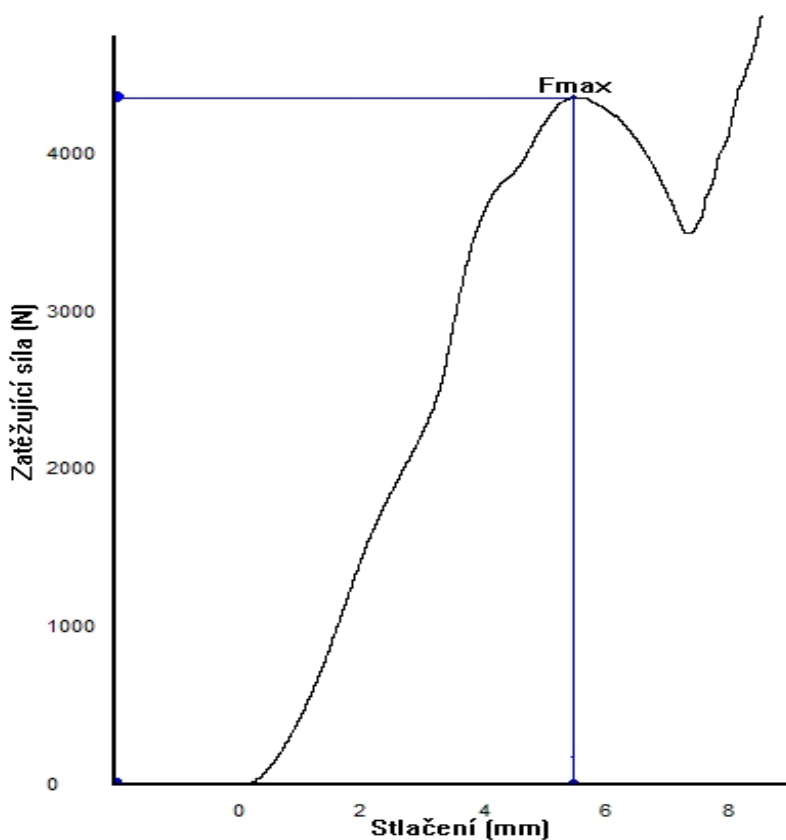
Fmax - nejvyšší zatížení

 Δl Fmax – deformace (prodloužení) při maximální síle

4 DISKUZE VÝSLEDKŮ

4.1 Zkouška tlakem (PVC)

Jak ukazují grafy závislosti zatížení na stlačení – příloha (P 2) a (obr. 30), tak zatěžující síla narůstá až vzorek – kalíšek dospěje do okamžiku, kdy se jeho stěny začínají bortit dovnitř. Následně začne velikost zatížení klesat. Pokles zatížení se zastaví ve chvíli, kdy se nemají stěny vzorku - kalíšku dále kam hroutit. Od tohoto okamžiku zatížení jen dál prudce stoupá. Kalíšky po odlehčení vykazují trvalou deformaci (obr. 25).



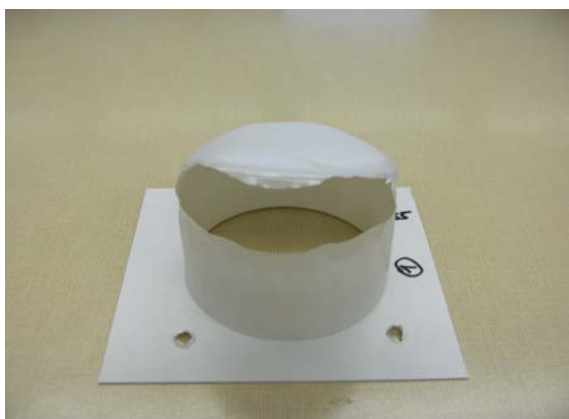
Obr.30 Graf závislosti zatížení na stlačení, Nr.2 ; $\varnothing 75$ mm

Z přílohy 1 i z porovnávací tabulky 1 je patrné, že mez zatížení klesá se zmenšujícím se průměrem kalíšku. Deformace při maximální síle je přibližně stejná u všech testovaných průměrů. Z výsledků lze vyvodit závislost maximální zatěžující síly na velikosti průměru vzorků - kalíšků – zvětší-li se velikost průměru cca o 10 mm, stoupne maximální zatěžující síla asi o 1000 N a opačně.

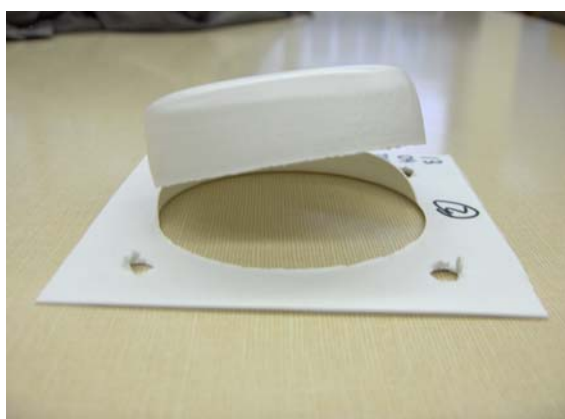
4.2 „Kališková zkouška“ (HPS)

Z průběhu zkoušky vyplynulo, že k porušení vzorků - kališků docházelo nejčastěji v zaoblení na dně kališku (obr. 31), méně často pak u základny (obr. 32). V tom, jestli se vzorek poruší v zaoblení nebo u základny, jsem nevysledoval žádnou zákonitost.

Dalším poznatkem plynoucím z vyhodnocení naměřených hodnot (tab. 2 a tabulky v příloze 3) je, že únosnost zkušebních vzorků - kališků ovlivňuje jak jejich průměr, tak výška. Lze konstatovat, že zvětší-li se výška kališku o 20 mm klesne maximální zatěžující síla cca na polovinu hodnoty než u předchozí výšky. Tato skutečnost je, jak předpokládám, způsobená tím, že materiál vzorků – kališků se více prodlouží a tím se zmenší tloušťka jeho stěny a tím i nosný průřez přenášející zatěžující sílu.



Obr. 31 Roztržení kališku v zaoblení



Obr. 32 Roztržení kališku u základny

4.3 Přípravek pro vakuování - matrice

Navržená a vyrobená matrice pro vakuování využívající možnost skládání jednotlivých desek pro dosažení různých výšek vzorků – kališků splnila všechna očekávání. Volba rozmístění otvorů se ukázala vyhovující. Jediný problém byl s obtížným vyjímáním vzorků -kališků z matrice. Dřevotříska z které byly jednotlivé desky matrice vyrobeny obsahuje miniaturní póry, do kterých materiál na stěnách při vakuování zatekl. Jako ideálnější variantu lze považovat materiál z tvrdšího dřeva.

4.4 Přípravek pro „kalíškovou zkoušku“

Navržený a vyrobený přípravek výborně posloužil našim účelům. Materiál přípravku – překližka odolala všem zátěžovým zkouškám s velkou rezervou. Konstrukční návrh přípravku umožňoval sledování průběhu zkoušky. Nevýhodou byla delší doba potřebná pro výměnu vzorků - kalíšků v přípravku. Kalíšek se uchycoval čtyřmi šrouby mezi horní a dolní desku. Způsob uchycení však plně vyhovoval všem parametrům zkoušky.

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo sledovat únosnost tenkostěnných válcových tvarový výrobků – kalíšků při namáhání tlakem.

Praktická část se zaměřuje na navržení a výrobu přípravku pro vakuování a přípravku pro „kalíškovou zkoušku“. Funkčnost přípravků byla prakticky ověřena a splnila všechny očekávání. V praktické části je dále provedeno rozpracování metody „kalíškové zkoušky“ podle návrhu Doc. Ing. Oldřicha Šuby, CSc – funkčnost metody byla ověřena při experimentálních zkouškách.

V experimentální části jsou podrobeny tlakové zkoušce vzorky – kalíšky vyrobené z PVC a „kalíškové zkoušce“ vzorky – kalíšky vyrobené z HPS. Vyhodnocení naměřených hodnot i navržení a vyrobení přípravků je popsáno v diskusi výsledků (kap. 4).

Závěrem lze konstatovat, že cíl Bakalářské práce byl splněn v plném rozsahu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] *STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE - Nauka o materiálu* , Dostupný z WWW:
< <http://mujweb.atlas.cz/www/pk80/pub/st/data/st1/menu.htm> >.
- [2] *MATERIÁLY VE STROJÍRENSTVÍ* , Dostupný z WWW:
< <http://www.fme.vutbr.cz/opory> >.
- [3] *Installation Operating and Service Manual* , Formech 2001 , Dostupný z WWW:
< <http://www.formech.com> >.
- [4] Technická norma: ČSN 420410
- [5] Technická norma: ČSN 420411
- [6] Technická norma: ČSN 420413
- [7] TOMIS, František. *PLASTIKÁŘSKÁ VÝROBA*. Zlín : FT UTB, 1982. 98 s.
- [8] Švercl, Josef. *Technické kreslení a deskriptivní geometrie – pro školu a praxi*. 1. vyd. Praha : Scientia 2003. 341 s. ISBN 80-7183-297-9
- [9] Leinveber, Jan. Řasa, Jaroslav. Vávra, Pavel. *Strojnické tabulky*. Praha: Scientia, 1999. 984 s. ISBN 80-7183-164-6
- [10] Zwick information , Dostupný z WWW:
< <http://www.zwick.com/> >.
- [11] Lukovics, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie*. Brno: VUT, 1991. 273 s. ISBN 80-214-0399-3

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

l_0	Původní délka zkušební tyče	mm
l	Délka tyče po přetržení	mm
d_0	Průměr zkušební tyče	mm
d	Průměr válečku po stlačení	mm
A	Průměr kruhového otvoru	mm
B	Průměr kruhového otvoru	mm
C	Průměr kruhového otvoru	mm
D	Průměr kruhového otvoru	mm
K	Průměr kruhového otvoru	mm
h	Výška válečku	mm
σ	Napětí normálové	MPa
τ	Napětí tečné	MPa
S_0	Původní průřez tyče	mm ²
S	Průřez tyče po přetržení	mm ²
P_t	Mez pevnosti v tahu	MPa
$\bar{\varepsilon}$	Poměrné prodloužení	-
δ	Tažnost	%
ψ	Kontrakce (zúžení průřezu)	%
σ_{Kt}	Pevnost v kluzu	MPa
$\sigma_{0,2}$	Smluvní mez kluzu v tlaku	MPa
ε_d	Poměrné zkrácení	-
Δl_d	Prosté zkrácení (stlačení)	mm
Δl	Prodloužení	mm
σ_{Po}	Pevnost v tlaku	MPa

ψ_d	Poměrné příčné rozšíření	%
δ_d	Poměrné zkrácení v procentech	%
F	Zatěžující síla	N
F _{max}	Maximální zatěžující síla	N
$\Delta l_{F_{max}}$	Deformace (prodloužení) při maximální síle	mm
$\Delta l_{d_{F_{max}}}$	Deformace (stlačení) při maximální síle	mm

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Schéma univerzálního zkušebního stroje.....</i>	<i>7</i>
<i>Obr. 2. Tvary zkušebních tyčí pro zkoušku tahem.....</i>	<i>8</i>
<i>Obr. 3. Příklady pracovních diagramů zkoušky tahem pro různé materiály.....</i>	<i>9</i>
<i>Obr. 4. Pracovní diagram zkoušky tlakem měkké uhlíkové ocel.....</i>	<i>10</i>
<i>Obr. 5. Zkouška trubek rozháněním.....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 6. Zkouška trubek lemováním.....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 7. Zkouška trubek zmáčknutím.....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 8. Schéma přístroje Formech 300X.....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 9. Poloha diod.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 10. Umístění matrice.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 11. Umístění plastové desky.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 12. Pohyb topného tělesa.....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 13. Odvakuovaná deska.....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 14. Rozměry pracovní plochy (lože).....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 15. Odvakuované výrobky (kalíšky).....</i>	<i>20</i>

<i>Obr. 16. Poloha sacího otvoru.....</i>	<i>20</i>
<i>Obr. 17. Špatná poloha sání.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 18. Dobrá poloha sání.....</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 19. Schéma přípravku.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr.20.Dolní_desky(větší)_a_horní_desky.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 21.Trny.....</i>	<i>22</i>
<i>Obr.22_Prasklé_kalíšky_menších_průměrů.....</i>	<i>23</i>
<i>Obr.23_Zkušební_stroj_Zwick_145_665.....</i>	<i>24</i>
<i>Obr.24_Kalíšek_z_PVC_před zkouškou.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr.25_Kalíšek_z PVC_po zkoušce.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr.26_Tlakové_čelist.....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 27 Srovnání grafů závislosti zatížení na stlačení pro charakteristické průměry.....</i>	<i>26</i>
<i>Obr.28_Umístění přípravku.....-.....</i>	<i>27</i>
<i>Obr.29_Graf_závislosti_zatížení_na_prodloužení.....</i>	<i>28</i>
<i>Obr.30 Graf závislosti zatížení na stlačení, Nr.2 ; Ø 75 mm.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr.31_Roztržení_kalíšku_v zaoblení.....</i>	<i>30</i>

Obr.32_Roztržení_kalíšku_u_základny.....	30
--	----

SEZNAM TABULEK

Tab.1_Tabulka naměřených hodnot tlakové zkoušky pro charakteristické průměry.....	26
Tab. 2 Tabulka naměřených hodnot „kalíškovou zkouškou“ pro charakteristické průměry a výšky.....	28

SEZNAM PŘÍLOH

- P 1 : Výsledky tlakové zkoušky pro charakteristické průměry
- P 2 : Grafy závislosti zatěžující síly F [N] na stlačení Δl_d [mm] pro tlakovou zkoušku
- P 3 : Výsledky „kalíškové zkoušky“ pro charakteristické průměry
- P 4 : Grafy závislosti zatěžující síly F [N] na prodloužení Δl [mm] pro „kalíškovou zkoušku“
- P 5 : Výrobní výkres: Přípravek pro vakuování.....01-A4-Hol
- P 6 : Výrobní výkres: Trn pro $\varnothing 75$ mm.....02-A4-Hol
- P 7 : Výrobní výkres: Hlava $\varnothing 75$ mm.....03-A4-Hol
- P 8 : Výrobní výkres: Hlava $\varnothing 50$ mm.....04-A4-Hol
- P 9 : Výrobní výkres: Hlava $\varnothing 40$ mm.....05-A4-Hol
- P 10 : Výrobní výkres: Deska dolní pro $\varnothing 75$ mm.....06-A4-Hol
- P 11 : Výrobní výkres: Deska dolní pro $\varnothing 50$ mm.....,...07-A4-Hol
- P 12 : Výrobní výkres: Deska dolní pro $\varnothing 40$ mm.....08-A4-Hol
- P 13 : Výrobní výkres: Deska horní pro $\varnothing 75$ mm.....09-A4-Hol
- P 14 : Výrobní výkres: Deska horní pro $\varnothing 50$ mm.....10-A4-Hol
- P 15 : Výrobní výkres: Deska horní pro $\varnothing 40$ mm.....11-A4-Hol

