



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA MĚLKÉHO VÝTAŽKU PRYŽÍ

THE MANUFACTURING OF SHALLOW DRAWING PART BY RUBBER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PATRIK KLEPÁČ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ

BRNO 2008

## **ABSTRAKT**

KLEPÁČ Patrik: Výroba mělkého výtažku pryží

---

Cieľom tejto diplomovej práce je návrh variant riešenia výroby zadanej súčiastky a výber vhodnej technológie pre kusovú výrobu zadanej súčiastky z nerezovej ocele 17240. V prvej časti práce je stručné zhodnotenie tvárnenia plechu klasickým spôsobom a v ďalších častiach práce je podrobne rozoberaná problematika tvárnenia „nepevným nástrojom“ (pryž, polyuretan), tvárnenia pomocou tlaku kvapaliny a návrh vhodného nástroja pre zadanú súčiastku. V závere práce bude uvedené ekonomické zhodnotenie vybranej technológie a navrhnutého nástroja.

Klíčová slova: ťahanie, pryž, polyuretan, výtažek

## **ABSTRACT**

KLEPÁČ Patrik: The manufacturing of shallow drawing part by rubber

---

An object of this master thesis is the proposal of variants solving a manufacturing of required part and the selection right technology for single part production of required part from stainless steel 17240 (DIN 1.4301). At the first part of this thesis is briefly reviewed conventional forming and at rest of this thesis is closely reviewed the technology using the elastic tools (rubber, urethane), hydroforming technology and design of proper tool for required part. At the end of this work will be release economics estimation of fine technology and designed tool.

Keywords: drawing, rubber, urethane, drawing part

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

KLEPÁČ, P. *Výroba mělkého výtažku pryží*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 63 s. Vedúci diplomovej práce Ing. Kamil Podaný.

## ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Týmto prehlasujem, že predkladanú diplomovú prácu som vypracoval samostatne, s využitím uvedenej literatúry a podkladov, na základe konzultácií a pod vedením vedúceho diplomovej práce.

V ..... dne 20.5.2008

.....  
Podpis

## **POĎAKOVANIE**

Týmto ďakujem pánovi Ing. Kamilovi Podanému za cenné pripomienky a rady týkajúce sa spracovania diplomovej práce.

Zadanie  
Abstrakt  
Bibliografická citácia  
Čestné prehlásenie  
Pod'akovanie  
Obsah

	Str.
1. ÚVOD .....	8
2. POPIS VYRÁBANEJ SÚČIASTKY .....	9
2.1 Materiál vyrábanej súčiastky .....	10
3. ŤAHANIE KONVENČNÝM SPÔSOBOM .....	11
3.1 Ťahanie nerotačných výť'ažkov .....	13
3.1.1 Technologické parametre pri ťahaní .....	14
3.1.2 Ťažná sila a práca .....	17
3.1.3 Stanovenie veľkosti a tvaru prístrihu .....	18
3.2 Mazanie .....	19
3.2.1 Trenie .....	19
3.2.2 Maziva .....	20
4. ŤAHANIE NEPEVNÝM NÁSTROJOM .....	22
4.1 Všeobecné vlastnosti pryže a polyuretanu .....	23
4.1.1 Technologické využitie pri tvárnení .....	24
4.2 Deformačné chovanie polyuretanu .....	27
4.2.1 Zložky celkovej tvárniacej sily .....	28
4.2.2 Deformačný odpor elastomeru .....	29
4.3 Metódy ťahania elastickým nástrojom .....	32
4.3.1 Metóda GUERIN .....	32
4.3.2 Metóda MARFORM .....	34
4.3.3 Systém HIDRAW .....	35
4.4 Ťahanie kvapalinou .....	36
4.4.1 Systém VERNON – WHEELON .....	36
4.4.2 Metóda FLUIDFORM .....	37
4.4.3 Metóda HYDROFORM .....	38
4.4.4 Hydromechanické ťahanie (HMT) .....	39
4.5 Technologicko – konštrukčná koncepcia nástrojov .....	40
5. NÁVRH VÝROBY SÚČIASTKY .....	42
5.1 Varianty riešenia .....	42
5.2 Zhodnotenie možnosti výroby a výber vhodnej technológie .....	44
5.3 Výber vhodného tvárniaceho média .....	45
6. TECHNOLOGICKÉ A KONŠTRUKČNÉ VÝPOČTY .....	47
6.1 Výpočet celkovej ťažnej sily .....	47
6.2 Stanovenie ťažnej práce .....	47
6.3 stanovenie sily pre razenie .....	48
6.4 Návrh nástroja .....	49
6.5 Návrh lisu [18] .....	53
7. EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE .....	54
8. ZÁVER .....	58
Zoznam použitej literatúry	
Zoznam použitých symbolov	
Zoznam príloh	

## 1. ÚVOD [8], [15]

Strojárska technológia – tvárnenie je priemyslovým odvetvím, ktoré sa neustále rozvíja a to ako v oblasti tvárniacich strojov, tak aj v oblasti technológie tvárnenia.

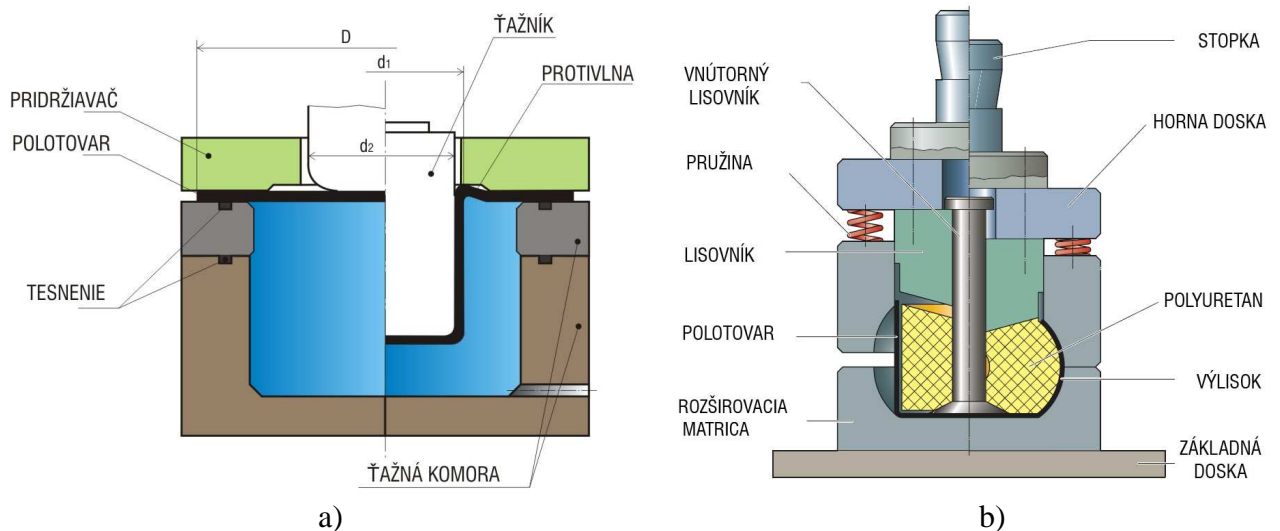
Tvárnením rozumieme technologický proces, pri ktorom dochádza k požadovanej zmene tvaru polotovaru tak, že vzniká požadovaný tvar súčiastky v dôsledku pôsobenia vonkajších síl. Podstatou tvárnenia je vznik plastických deformácií, ku ktorým dochádza v okamžiku prekročenia napätia na medzi klzu pred daný materiál.

Pri tvárnení je dôležitá dvojica nástroj – tvárnený materiál. Túto dvojicu môžeme ovplyvniť konštrukciou nástroja, výberom materiálu nástroja i tvárneného materiálu, výrobou, tepelným spracovaním, alebo oteruvzdornými vrstvami nástroja. Pri návrhu tvárniaceho systému sa musia uvažovať všetky vzájomne sa ovplyvňujúce faktory – vzájomné pôsobenie nástroja a tvárneného materiálu, namáhanie tvárniaceho stroja, plastické chovanie materiálu, zanedbateľná nie je ani ekonómia a ekológia procesu.

Z ekonomického hľadiska voľba technológie, konštrukcie materiálu nástroja závisí na tvárnenom materiály, počtov výlisok a podmienkach výrobcu. Vedľa konvenčných spôsobov tvárnenia v ťahadlách, narastá význam a sú neustále vyvíjané nové spôsoby ťahania nepevnými nástrojmi. Tieto nekonvenčné metódy spočívajú vo využívaní rôznych druhov tlakového prostredia, kam spadá tvárnenie elastickým (Marform, Guerin, a pod.) a kvapalinovým prostredím (Hydroform, Verson - wheelon), alebo tvárnenie vnútorným pretlakom kvapaliny pri tvárnení dutých profilov.

Čo sa týka používaných materiálov pre konštrukciu nástrojov v stále väčšej miere sa používa nekovových materiálov na báze polyuretanových a epoxidových pryskyříc a to hlavne pre oblasť výroby prototypových dielov v leteckom a automobilovom priemysle a malých sérii, kde je ich použitie značným ekonomickým prínosom. Na druhej strane však pre tvárnenie nepevným nástrojom využíva niekoľko násobne vyšších tlakov (4x), ako pri tvárnení klasickým spôsobom. Preto z hľadiska produktivity a technických možností nie dosť dobré hodnotiť všetky technológie využívajúce nepevného nástroja globálne.

Cieľom práce bude zhodnotenie tvárnenia konvenčným a nekonvenčným, teda nepevným nástrojom, porovnanie jednotlivých metód a výber vhodnej technológie tak, aby boli z hľadiska kvality splnené požiadavky na zadanú súčiastku, a navrhnúť efektívny nástroj za čo možno najnižšie náklady, vypracovať technologickú a konštrukčnú dokumentáciu a taktiež ekonomické zhodnotenie navrhovaného nástroja.



Obr. 1 - tvárnenie nepevným nástrojom, a) kvapalinou [8], b) polyuretanom [15]

## 2. POPIS VYRÁBANEJ SÚČIASTKY

Úlohou je navrhnuť postup výroby dielca „zrkadlo“ (obr.2, výkres – príloha 1). Ide vlastne o zadn kryt zrkadiel pouivanch na motocykloch. Jedná sa o kusov výrobu (zhruba 200ks/rok) krytov zrkadiel, a to z toho dôvodu že kady potencionalny zákazník si môže na kryt zrkadla nechať vyraziť logo, i už vlastne, alebo logo továrenskej značky motocyklu, ktorého je vlastníkom. Poadovan je vysok kvalita výtťažku bez zvlnenia a vrások a minimálnych stopách po lokálnom dotvarovan.

Súčiastka by mala byť vyrábané z takej ocele, ktor bude odoln voči poveternostným podmienkam a taktiež je poadovan pekny leskl vzhľad súčiastky.

Tolerancie rozmerov :

- priemer kruhového otvoru :  $\pm 0,3 \text{ mm}$



Obr. 2 – využitie zadanej súčiastky

## 2.1 Materiál vyrábanej súčiastky

Ako materiál splňujúci požiadavky z hľadiska funkcie a vzhľadu bola zvolen chromniklov austenitick ocelí 17240. Ocel je dobre letiteln a obzvláště dobre tvrna ťahaním, ohraovanm, zakruovanm at.

Ocel je odoln proti vode, vodnej pare, vlhkosti vzduchu a m veľmi rozlin možnosti použitia ako napr. v potravinárskom priemysle, vo farmaceutickom a kozmetickom priemysle, pri stavbe chemických prístrojov, v oblasti stavby motorových vozidiel, pre ozdobn predmety a pod.

Chemick zloženie, označovanie materiálu v určitých normách a mechanick vlastnosti materiálu sú uveden v tabuľke 1 a 2.

Tab. 1 – chemick vlastnosti a značenie oceli [17]

ČSN	DIN	EN	C [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Si [%]
17240	1.4301	X5CrNi18-10	max 0,08	18	10	2	max 0,045	max 0,030	1

Tab. 2 – mechanick vlastnosti materiálu [17]

Medz klzu Re alebo Rp 0,2	220 MPa
Medz pevnosti – Rm	580 MPa
Ťažnosť - A [50%]	43%
Modul pružnosti – E	210000 MPa

Možnosti výroby súčiastky :

- konvennm sposobom (ťahanie, vtanie, razenie)
- nekonvennm : pryžou, polyuretanom, kvapalinou

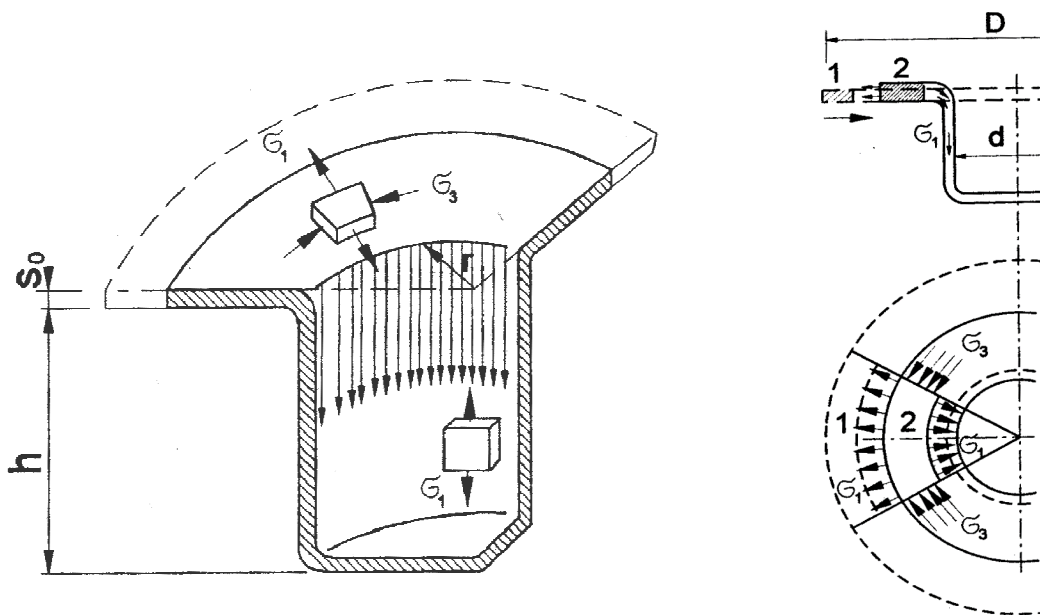
### 3. ŤAHANIE KONVENČNÝM SPÔSOBOM [2]

Ťahanie plechu je známy technologický proces tvárnenia, pri ktorom z rovinného prístrihu zhotovíme v jednej alebo viac operáciách výťahky – duté telesá. Výťahky sa využívajú v strojárstve, v elektrotechnickom i spotrebnom priemysle. Slúžia tiež často ako východzí polotovary pre ťahanie štvorcových výťahkov. Výpočtové vzťahy, odvodené pre rotačne symetrické výťahky sú základom pre výpočty zložitejších tvarov.

Ťahanie je technologický proces, pri ktorom z rovinatej plochy – prístrihu získame priestorové teleso. Z hľadiska zmeny hrúbky materiálu môžeme ťahanie rozdeliť do dvoch hlavných skupín, a to :

- ťahanie bez stenčenia steny
- ťahanie so stenčením steny

Pri ťahaní bez stenčenia steny k malým zmenám hrúbky materiálu vplyvom rozdielneho napätia (obr.3) dochádza, ale vo výpočtoch sa tento jav obvykle neuvažuje.



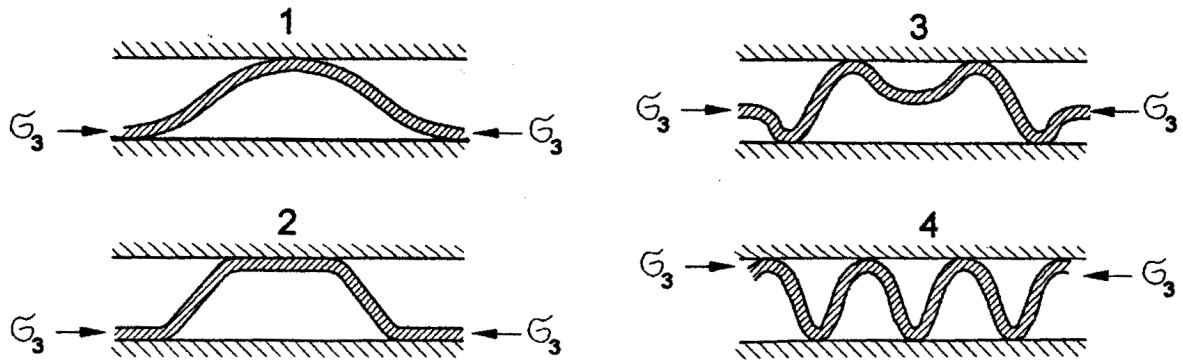
Obr. 3 - schéma napätí pri ťahaní (vľavo) [1]

Obr. 4 - schéma premiestňovania materiálu pri ťahaní (vpravo) [2]

Pri ťahaní v ťahadle s pridržiavačom dochádza ku zložitej plastickej deformácii (obr.4)

Východzí materiál sa z tvaru a pozície 1 dostáva do tvaru a pozície 2. Pri tomto posune dochádza k predĺžovaniu materiálu v radiálnom smere a skrátenie v smere tangenciálnom, za súčasného nepatrného zväčšenia hrúbky. Na hrane ťažnice k radiálnej a tangenciálnej deformácii pristupuje ešte priestorový ohyb. Potom, čo materiál prejde cez hranu ťažnice je ďalej predĺžovaný v smere ťažnej sily a dochádza k nepatrnému stenčeniu steny. Z uvedených skutočností vyplýva, že k presúvaniu najväčšieho objemu kovu dochádza v príрубе výťahku.

Okrem, už vyššie uvedeného zväčšenia hrúbky materiálu, môže v oblasti príruby vplyvom tangenciálneho napätia  $\sigma_3$  dochádzať k zvlnieniu materiálu. Postupné tvorenie vln je na obr.5

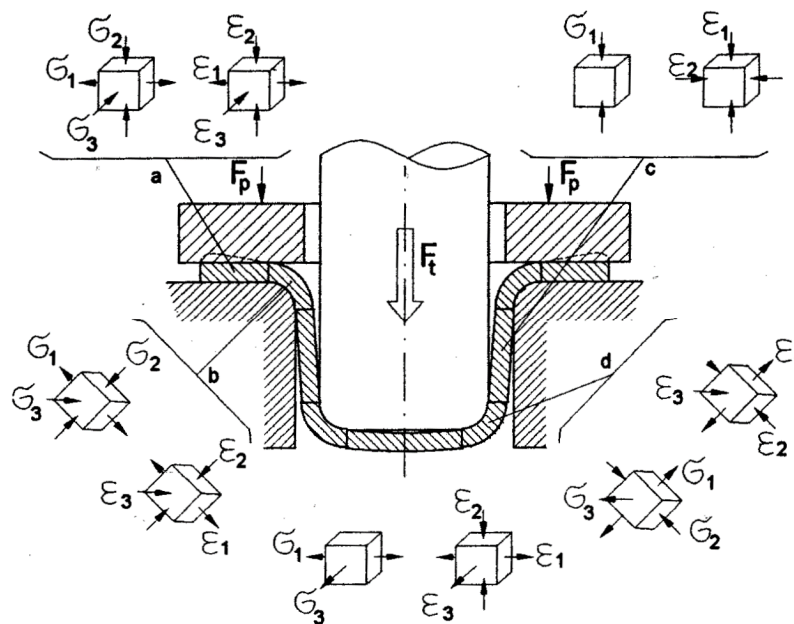


Obr. 5 - tvorenie vln v prírube výťazku [2]

Toto zvlnenie môže mať za následok vznik vrások na povrchu výťazku a tým znehodnotenie výťazku, alebo sa vzniknuté vlny môžu preložiť a pri ich prechode medzi ťažníkom a ťažnicou môže napätie  $\sigma_1$  vzrásť tak, že dôjde k utrhnutiu dna výťazku [8].

Z týchto dôvodov je nutné tvorenie vln minimalizovať nastavením správnej veľkosti pridržiavacieho tlaku (pri ťahaní bez pridržiavača je nutná špeciálna úprava ťažnej hrany na ťažnici).

Na obr.6 sú znázornené mechanické schémy napätí a príslušných deformácií pri ťahaní s pridržiavačom pre jednotlivé oblasti výťazku a ÷ e

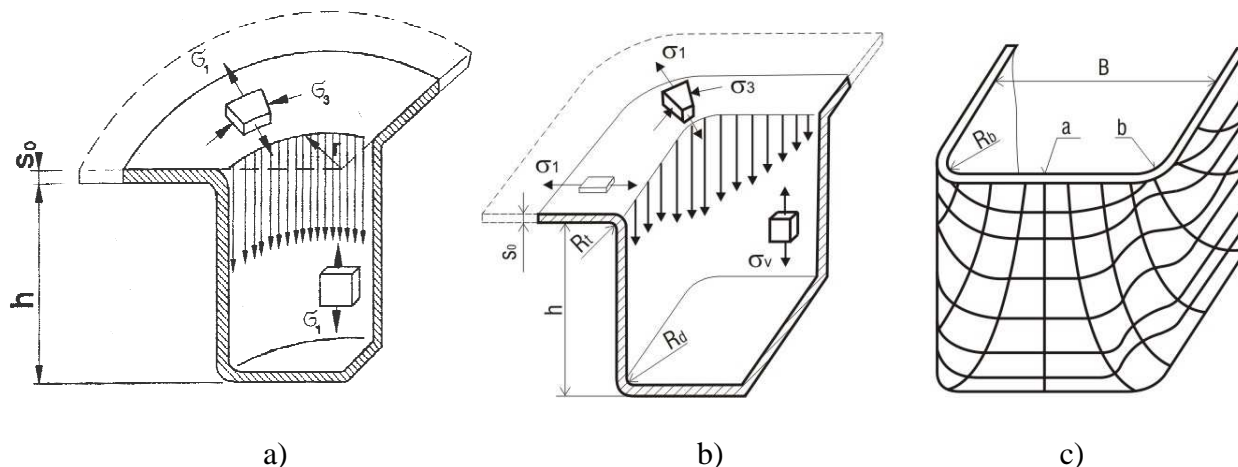


Obr. 6 - mechanické schémy napätí a deformácií [2]

### 3.1 Ťahanie nerotačných výtlačkov [1]

Pri ťahaní výtlačkov nerotačných tvarov, napr. výtlačkov štvorcového, obdĺžnikového alebo nepravidelného tvaru, sú technologické podmienky odlišné v porovnaní s ťahaním valcových výtlačkov.

Rovnako ako pri ťahaní rotačných výtlačkov vychádzame z predpokladu, že počas ťahania nedochádza k podstatným zmenám hrúbky ťahaného plechu. Stav napätia je v rohovom zaoblení a vo zvislých stenách rozdielny. Na rovných stenách je stav napätia podobný ako pri ohybe. Najväčšie ťahové napätie je v rohoch a najmenšie na priamych stenách výtlačkov (obr. 7b).



Obr. 7 - napätové schéma pri ťahaní valcového výtlačku, pravouhlého výtlačku, deformačné siete na pravouhlom výtlačku [1]

V oboch prípadoch môžeme predpokladať, že v prírube je plošný stav napätia ( $\sigma_1$  – ťahové,  $\sigma_3$  - tlakové). U valcového výtlačku napätie svoju hodnotu ani smer nemení a sú rozložené rovnomerne. V rohovej oblasti pravouhlého výtlačku sa veľkosť aj smery napätia menia, klesajú a odchyľujú sa od radiálneho smeru k navezujúcim bočným stenám. V rohovej časti výtlačku je napätie maximálne, avšak toto napätie je menšie, ako maximálne napätie v plášti valcového výtlačku.

Na obr. 7c, je znázornená deformácia pravouhlej siete, nanesej na východzí prístrih. Je vidieť, že bočné steny výtlačku sa nielen ohýbajú, ale vznikajú v nich zložitejšie deformácie, ktoré sa skladajú zo stlačenia (skrátienia) časti pozdĺž obvodu, z predĺženia vo zvislom smere a z určitého zväčšenia hrúbky steny vo vrchnej časti výtlačku. Rozšírená predstava o tom, že toto ťahanie prebieha iba v rohoch výtlačku, zatiaľ čo priame steny sa len ohýbajú, nie je teda úplne presná. Približné hodnoty pomernej deformácie a stlačenia pozdĺž obvodu, merané uprostred vrchného okraja rovnej steny (bod a – obr.7c) a na okraji rohového zaoblenia (bod b – obr.7c), sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tab.3 – približné hodnoty pomernej deformácie [1]

Pomerná výška výlisku	Pomerná deformácia		
	u obdĺžnikového výtlačku		u valcové výtlačku
	bod a	bod b	
$h = B$	25 – 30	45 – 50	55
$h = 0,5.B$	15 – 20	33 – 48	42
$h = 0,3.B$	5 - 8	25 - 30	32

Boční steny majú pri deformácii pravouhlých výťážkov kladný vplyv v tom, že:

- maximálna deformácia, tj. deformácia v rohoch je v porovnaní s ťahaním valcových výťážkov rovnakých rozmerov omnoho nižšia
- tangenciálne napätia v prírubu sú menšie, prírubu je stabilnejšia

### 3.1.1 Technologické parametre pri ťahaní [1], [2], [5], [6], [8]

a) použitie pridržiavača

Optimálne nastavenie tlaku pridržiavača zamedzuje tvorbe záhybov a vrások na výťážku. Rozhodnutie o použití pridržiavača vyplýva z empirických vzťahov overených praxou. Použitie pridržiavača je nutné ak [5] :

- je  $k_p \geq \frac{100 \cdot d_1}{D}$  (1)

$k_p$  – súčiniteľ určujúci nutnosť použitia pridržiavača

$$k_p = 50 \cdot \left( Z - \sqrt{\frac{s_0}{D}} \right) \quad (2)$$

Z – materiálová konštanta – tabuľka 4

Tab. 4 – materiálové konštanty vybraných plechov [2]

Materiálová konštanta	Oceľový hlboko-ťážný plech	Mosadzný plech	Hliníkový plech
Z	1,90	1,95	2,00

- pri druhom, prípadne ďalšom ťahu je  $m < 0,9$  [5]

Podľa Freidlinga sa vychádza z pomernej hrúbky [1]

$$\Delta s = \frac{s_0}{D} \cdot 100 \quad (3)$$

$\Delta s < 1,5$  je nutné použiť pridržiavač

$\Delta s > 2$  je možné ťahať bez pridržiavača

$\Delta s < 1,5 ; 2 >$  je nutné spôsob ťahania overiť

Podľa Šofmana – ak je splnená podmienka

$$D_0 - d \leq 18 s_0 - \text{je možné ťahať bez pridržiavača} \quad [1] \quad (4)$$

Výpočet sily pridržiavača [5]

$$F_p = S \cdot p \quad (5)$$

kde : S – činná plocha pridržiavača

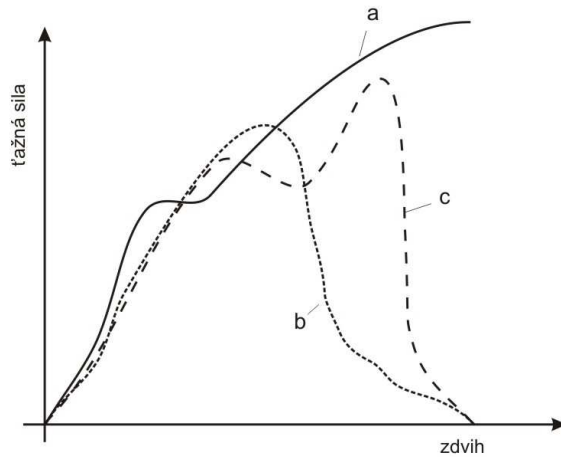
p – merný tlak pridržiavača

Doporučené merné tlaky pridržiavača pre rôzne materiály sú v tabuľke 5

Tab. 5 – merné tlaky rôznych materiálov [1]

Materiál	MPa
Oceľový hlbokoťážný plech	2,0 až 3,0
Nerezový plech	2,0 až 5,0
Medený plech	1,2 až 1,8
Mosadzný plech	1,5 až 2,0
Hliníkový plech	0,8 až 1,2

Ak je tlak pridržiavača nedostatočný, príruha sa vlní a v priebehu ťažnej sily sa objaví nebezpečné druhé maximum (obr.8 – krivka C).



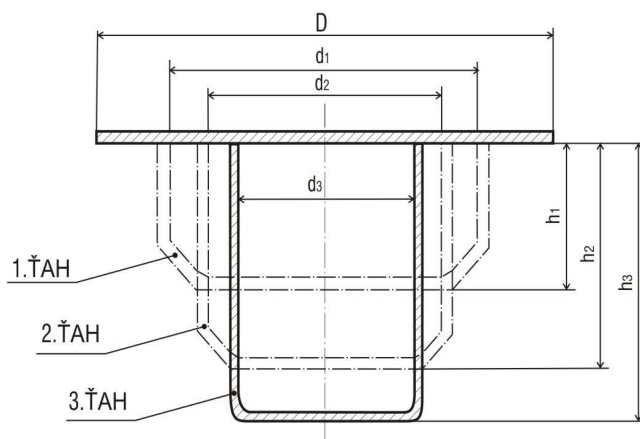
$p_a = 0$  - bez pridržiavača  
 $p_b, p_c$  - s pridržiavačom  
kde  $p_b > p_c$

Obr. 8 - vplyv pridržiavacieho tlaku na priebeh ťažnej sily [8]

Číselné určenie veľkosti pridržiavacieho tlaku ma hlavný význam pre výpočet celkovej ťažnej sily a dimenzovania pridržiavača. V praxi sa nastavuje tlak pridržiavača tak, že sa na prvých výťahoch vyskúša optimálna hodnota, keď sa netvoria vlny, prípadne trhliny na výťazku. Pre ťahanie s pridržiavačom sú najvhodnejšie špeciálne ťažné lisy tzv. dvojčinné. Ich výhodou je možnosť jemného nastavenia dosadnutia pridržiavača, ktorý bez toho, aby materiál zvieral zbytočne veľkou silou dokonale zabraňuje zvlneniu, čo umožňuje maximálnu redukciu. Drobné a stredné veľké výťahy môžeme ťahať pomocou jednoduchých pružinových prípadne mechanických alebo špeciálnych pridržiavačov pneumatických alebo hydraulických [6].

b) určenie počtu ťažných operácií [1]

Počet ťažných operácií závisí na tvárnosti materiálu výťazku. Ukazovateľom deformácie u ťahania je súčiniteľ ťahania  $m$ . Pokiaľ je súčiniteľ v prvej operácii  $m_1$  nižší ako doporučená hodnota pre prvý ťah, je nutné ťahanie rozložiť na niekoľko operácií (obr. 9).



Určenie počtu ťahov

1. ťah  $d_1 = m_1 \cdot D$
2. ťah  $d_2 = m_2 \cdot d_1 = m_2 \cdot m_1 \cdot D$
3. ťah  $d_3 = m_3 \cdot d_2 = m_3 \cdot m_2 \cdot m_1 \cdot D$

Pretože súčinitele pre druhý a ďalší ťah sú rovnaké  $m_2 = m_3 \dots m_n$  môžeme napísať pre posledný ťah

$$n. \text{ ťah } d_n = (m_n)^{n-1} \cdot m_1 \cdot D \quad (6)$$

Po zlogaritmovaní a úprave získame vzťah :

$$n = 1 + \frac{\ln d_n \cdot \ln(m_1 \cdot D)}{\ln m_n} \quad (7)$$

Obr. 9 – odstupňovanie ťahov [1]

Doporuen hodnoty pre prv tan operáciu valcového výtťažku sú v rozmedzí  $m = 0,48$  až  $0,60$  podľa druhu tahanho materiálu. Súčiniteľ tahania sa doporučuje volt v rozmedzí od :

$$m = \frac{50 + 0,01D}{100} \quad \text{do} \quad m = \frac{60 + 0,01D}{100} \quad (8)$$

V prípade, že pre konkrétny vtak vyjde hodnota súčiniteľu mena ako je hodnota doporuena, je nutné taha na viac operácií.

Pre druh príp. daliu tan operáciu sa doporučuje volt súčiniteľ tahania v rozmedzí od :

$$m = \frac{70 + 0,01d_n - 1}{100} \quad \text{do} \quad m = \frac{80 + 0,01d_n - 1}{100} \quad (9)$$

Na volbu súčiniteľu odstupovovania tahov má vplyv hrúbka plechu, jeho mechanick vlastnosti, kvalita povrchu plechu, druh použitého maziva. Pri väčšej hrúbke plechu a lepšej kvalite maziva je mon volt nižšie súčinitele, za predpokladu dostatočnej drsnosti povrchu plechu.

### c) tan medzera [5]

Tan medzera  $t_m$  medzi tankom a tanicou by mala byť väčšia ako hrúbka plechu plus prírastok hrúbky v oblasti konca výtťažku ( $15 \div 25\%$  podľa [8]), aby nedochádzalo k nadmernému peovaniu materiálu. Tiež musíme brať ohľad na vrobn tolerancie plechu.

$$t_m = (1,2 \div 1,3) s_0 \text{ – pre prv tah} \quad (10)$$

$$t_m = (1,1 \div 1,2) s_0 \text{ – pre posledn tah} \quad (11)$$

Príliš vk tan medzera spôsobuje vlnenie plášťa výtťažku. Pre kalibrovanie sa vol  $t_m = s_0$ , prípadne o niečo mlo mena, pre dosiahnutie hladkej plochy bez vln.

### d) súčiniteľ tahania, stupeň tahania :

Pomern pretvorenie pre prv tah pri tahan valcového výtťažku je dan vztahom :

$$\varepsilon_1 = \frac{D - d_1}{D} = 1 - \frac{d_1}{D} = 1 - m_1 \quad (12)$$

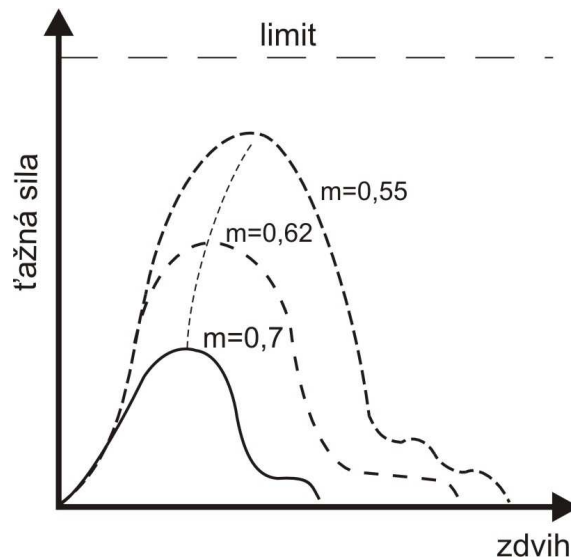
Pre dalie tahy :

$$m_n = \frac{d_n}{d_n - 1} \quad (13)$$

Prevrten hodnota  $m$  je stupeň tahania  $K$  :

$$K = \frac{1}{m} \quad (14)$$

Súčiniteľ tahania (stupeň tahania), m vždy pre dan tah maximálnu hodnotu. Pri prekroen tejto hodnoty dôjde k vyčerpaniu plasticity materiálu a k poškodeniu výtťažku (obr.10)



Obr. 10 - vplyv súčiniteľa ťahania na priebeh ťažnej sily [8]

### 3.1.2 Ťažná síla a práca [2], [5], [7]

Celková ťažná síla  $F_c$  sa vypočíta [2]:

$$F_c = F_t + F_p + F_{vyh} \quad (15)$$

kde:  $F_t$  - ťažná síla

$F_p$  - síla pridržiavača

$F_{vyh}$  - síla vyhadzovača

Výpočet celkovej sily podľa [5] neuvažuje sily vyhadzovača

$$F_c = F_t + F_p \quad (16)$$

Maximálnu veľkosť ťažnej sily, pri ktorej sa vytrháva dno výtlačku, vypočítame rovnako ako pri ťahaní rotačných súčastí, a to súčinom obvodu, hrúbky materiálu a pevnosťou ťahaného materiálu v ťahu. Porovnaním so skutočnou veľkosťou ťažnej sily potom uvážime možnosti ťahania.

$$F_{tmax} = \pi \cdot o \cdot s_0 \cdot R_m \quad (17)$$

Pri výpočte veľkosti ťažnej sily u výtlačku štvorcového alebo obdĺžnikového tvaru musíme rozlišovať silu potrebnú k tvárneniu priamej časti steny výtlačku, ktorá sa iba ohýba, a silu potrebnú k tvárneniu rohovej časti, kde nastáva vlastné ťahanie.

- pre štyri rohy je veľkosť ťažnej sily:

$$F_1 = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot t \cdot R_m \cdot C_1 \quad (18)$$

- pre priame časti stien výtlačku

$$F_2 = L \cdot t \cdot R_m \cdot C_2 \quad (19)$$

- celkov velkost' ťažnej sily získame súčtom

$$F_t = F_1 + F_2 = t.R_m.(2\pi.R.C_1 + L.C_2) \quad (20)$$

kde:  $F_t$  – ťan sily  
 $t$  – hrúbka ťahaného plechu  
 $R_m$  – pevnosť ťahaného materiálu v ťahu  
 $L$  – súčet dlok priamych ast stien výtťažky  
 $C_1, C_2$  – konštanty

Velkost' konštanty pre veľmi plytk (meľk) výtťažky je  $C_1=0,5$  a so zvaujcou hĺbkou výtťažky stúpa ( $C_1=2$  pre výtťažky 5 až 6 násobku velkosti zaoblenia rohov R)

Konštanty  $C_2 = 0,2$  je pre správny tvar ťažnej hrany, dostatočnou vôľou medzi ťažníkom a ťažnicou a nulov pridriavac tlak, alebo  $C_2 = 0,3$  pre rovnak podmienky a normálny tlak pridržiavača.

Ťan práca je údaj potrebn pre stanovenie alebo kontrolu velkosti lisu. Podľa [5] je ťan práca :

$$A = \frac{C.F_c.h}{1000} \quad (21)$$

kde :  $h$  – vntorn výška výtťažky  
 $C$  – súčiniteľ zaplnenia diagramu uren z praktických meran  
 – pri ťahan bez kalibrácie dna  $C = 0,66$   
 – pri ťahan s kalibráciou dna  $C = 0,8$

### 3.1.3 Stanovenie velkosti a tvaru prístrihu [7], [14]

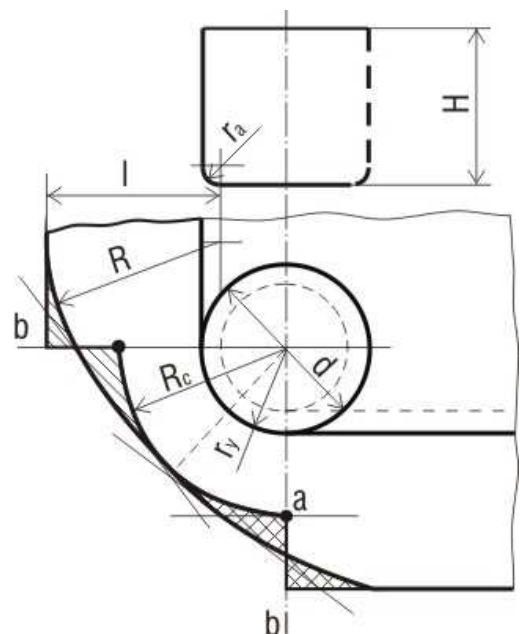
Pre najjednoduchší prípad výtťažky ťahaného v jednej operacii je možné tvar polotovaru stanoviť podľa obr.11, kde polomer  $R_c$  dostaneme podľa [14] zo vzťahu :

$$R_c = \sqrt{r_y^2 + 2.r_y.H - 0,86.r_a.(r_y + 0,16.r_a)} \quad (22)$$

Ak poznáme velkost' polomeru  $R_c$ , je možné nakresliť obdľnik (iarkovane) v mierke 1:1, ktorého rozmery sú dané obecnými kótami uvedenými na obr.11. Tento obdľnik predstavuje ploch časť dna výtťažky. Predľenm jeho strán o hodnotu :

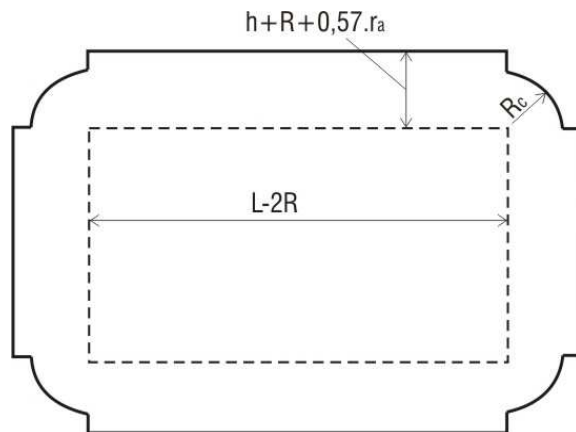
$$l = h + R + 0,57.r_a \quad (23)$$

sa obdrží tvar prístrihu pre obdľnikov výtťažok bez rohových ast, tto časť je tvrnen iba ohýbaním. Z bodu A sa opíše tvrť kružnica o polomere  $R_c$  (obr. 12). Tm vznikne teoretick tvar prístrihu so správnym množstvom kovu pre ťahanie výtťažky, ktor vak nejde použiť, pretože materiál uniká do stien tvárnených iba ohbom. Tm by chýbal v rohoch a v stenách by bol nadbytok. Preto sa prechody zaoblia polomerom podľa obr. 11. Tto grafick metóda pomerne presne určí tvar prístrihu



Obr. 11 - zostrojenie obrysu prístrihu pre nízke pravouhľ výtťažky ťahan jedným ťahom [15]

pre tenké plechy. U hrubších materiálov vznikajú nerovnosmerné posuny vnútorných a povrchových vrstiev materiálu. Preto ju nemôžeme použiť.



Obr. 12 - teoretický tvar prístrihu pre ťahanie obdĺžnikového výťazku [7]

Ak má výťazok prírubu, postupuje sa pri určovaní tvaru prístrihu podobne, iba pri výpočte polomeru  $R_c$  sa musí uvažovať aj plocha príruby. Ďalej môžeme veľkosť prístrihu vypočítať podľa normy ČSN 22 7303. V praxi sa prevedie predbežný výpočet veľkosti plochy výťazku a na lise sa prevedie 1 ÷ 2 kusy skusmo. Z výsledkov ťahania sa posúdi, kde je treba pridať či ubrať materiál, aby nebolo nutné výťazok ostrihovať. Ďalej sa posudzuje šírka príruby, pokiaľ ju má výťazok mať, aby sa zabránilo prípadnému zvlnieniu. Alebo sa prírubu navrhne, kvôli lepšiemu ťahaniu výťazku.

### 3.2 Mazanie [2],[3], [5]

Mazivo je dôležitým prostriedkom v procesoch technológie tvárnenia. Pri voľbe maziva berieme v úvahu nie len jeho chemické vlastnosti, ale i ekonomické a ekologické ukazovatele.

#### 3.2.1 Trenie [3], [5]

V reálnych tvárniacich procesoch pôsobia dva typy zaťaženia :

- primárne – od účinku tvárniacich síl (výťazok – nástroj - stroj)
- sekundárne – od účinku trecích síl (kontaktné dvojice)

Kontaktnú plochu pri tvárnení vytvára nekonečné množstvo prevýšenia a prehĺbenia plastickou deformáciou neustále obnovovaných a pohyblivých dotykov medzi nástrojom a tvárneným materiálom. Relatívny odpor na kontaktných plochách sa nazýva trenie [3].

Trecia sila  $F_f$  pri ťahaní sa skladá zo zložiek :

$$F_f = F_{fp} + F_{fr} + F_{fd} \quad (28)$$

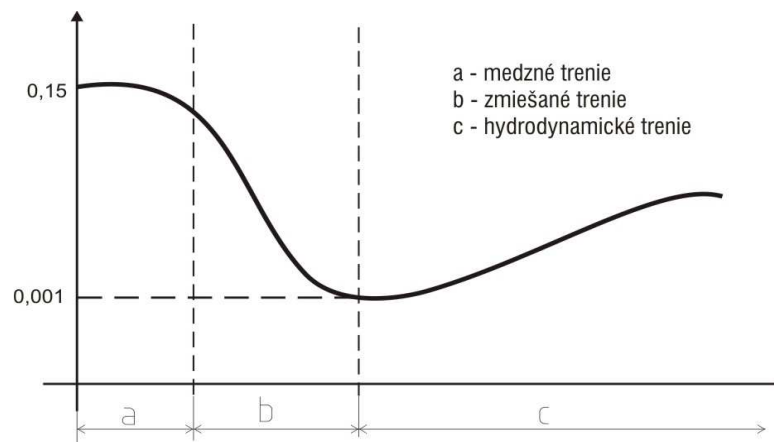
kde :  
 $F_{fp}$  – trecia sila pod pridržiavačom  
 $F_{fr}$  – trecia sila na ťažnom polomere  
 $F_{fd}$  – trecia sila na stene výťazku

Sila  $F_{fr}$  predstavuje asi 75% z celkového súčtu, sila  $F_{fp}$  je asi 20% a sila v ťažnej medzere je najmenšia, asi 5% [5].

Pri ťahaní rozlišujeme tieto druhy klzného trenia [3] :

- Suché trenie - bezprostredný styk plôch bez prítomnosti akéhokoľvek maziva (riziko tlakového zvarenia – difúzny spoj)
- Medzné trenie - je charakterizované prítomnosťou súvislého filmu na kontaktnom rozhraní nástroj – materiál
- Zmiešané (polo kvapalinové) trenie - je charakteristické prítomnosťou oblasti s mazacím filmom i mazacej vrstvy na kontaktnom rozhraní nástroj – materiál.
- Hydrodynamické trenie - je charakterizované prítomnosťou súvislej mazacej vrstvy, ktorá sa riadi zákonmi hydrodynamiky.

Trenie prebieha vo vrstve maziva, nezávisí na povrchu plôch a ich materiály.



Obr. 13 - Striebeckov diagram trenia [3]

Sily vonkajšieho trenia môžu mať ako kladný, tak aj záporný vplyv na priebeh ťahania. V prípade, že trecie sily bránia žiadanej zmene tvaru polotovaru, snažíme sa ich minimalizovať mazaním. Naopak, ak umožňujú získanie predpísaného tvaru, sú žiadúce a podľa potrieb ich upravujeme (napr. použitím brzdiacich rebier) [3].

### 3.2.2 Maziva [2]

Hlavnou funkciou mazív je schopnosť dobrého mazania, teda znižovania koeficientu trenia medzi pohybujúcimi sa plochami. Sortiment mazív môžeme rozdeliť podľa rôznych atribútov. Dodávatelia delia mazivá podľa doporučených účelov použitia alebo podľa charakteristických vlastností a fyzikálne – chemických parametrov. Pri posudzovaní podmienok použitia sa vyčleňujú tieto kategórie :

- Materiál výrobkov – ocele a neželezné kovy
- Geometria výrobkov – jednoduchá, zložitá, komplikovaná
- Náročnosť práce – nízka, stredná, vyššia až extrémna
- Typy operácií – jemné tvárnenie, strihanie, dierovanie, razenie, vysekávanie, ohýbanie, valcovanie, hlboké ťahanie...

Mazivá pri ťahaní znižujú koeficient trenia medzi materiálom a pracovnými časťami ťahadla, chránia materiál pred vznikom povrchových väd a nástroj proti opotrebeniu a umožňujú ťahanie s vyšším stupňom deformácie. Ťahanie bez mazania môže vyvolať zväčšenie potrebných síl pri ťahaní až o 45%.

Základné požiadavky na maziva pre hlboké ťahanie sú :

- a) schopnosť vytvoriť pevný súvislý film
- b) mazacia schopnosť
- c) schopnosť udržania na trecích plochách
- d) chemická stálosť
- e) tepelná stálosť
- f) tepelná odolnosť
- g) chemická netečnosť
- h) jednoduchá aplikácia a odstránenie
- i) hygienická a ekologická nezávadnosť
- j) ekonomická výhodnosť

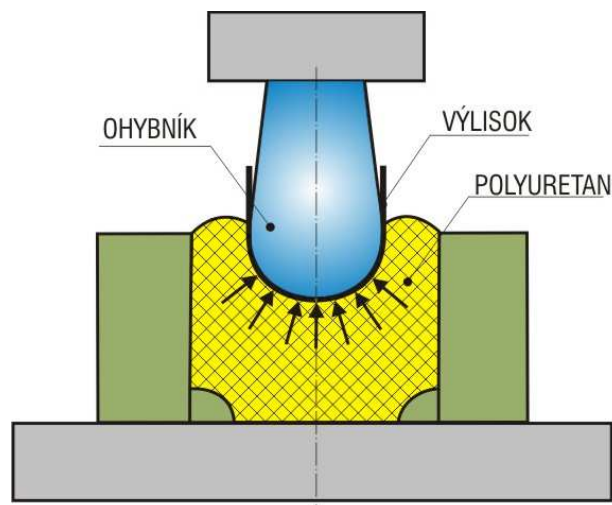
Rozdelenie mazív [2] :

- *Kvapalné mazivá*  
Minerálne a organické oleje a oleje vyrobené synteticky. Najlepšie sú oleje syntetické. Perspektívne sú mazivá riediteľné a emulgovateľné vodou, ktorá sa jednoducho odstraňuje a mazivá, ktoré sa po tvárnenej operácii odparia. Mydlové emulzie – roztoky sodných a draselných mydiel – výhodou je veľký chladiaci účinok a jednoduché odstránenie z výlisku. Tukové emulzie – roztoky tukov rozpustných vo vode a voľných mastných kyselín.
- *Konzistenčné maziva*  
Jedná sa o mazacie tuky – rastlinné, živočíšne, vyrábané z olejov a mydiel. Rozdeľujú sa na vodou rozpustné (pre emulzie) a nerozpustné (pasty). Nositeľom mazacích schopností je minerálny olej a mastná prísada.
- *Tuhé mazivá*  
Majú malú šmykovú pevnosť a nepatrnú tvrdosť a veľkú afinitu ku kovu. Väčšinou sa používajú ako prísady k bežným mazivám pre hlboké a zložité výťahy. Najčastejšie sa používa grafit, siričok molybdeničitý (molyka), mastek.

#### 4. ŤAHANIE NEPEVNÝM NÁSTROJOM [7]

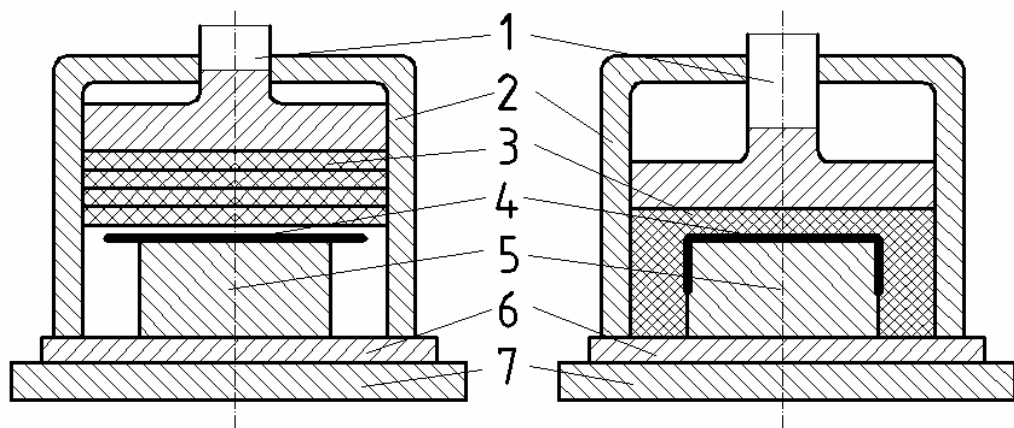
Tvárnenie plechu nepevným nástrojom sa používa stále viac. Táto technológia je predovšetkým uplatňovaná v leteckom a automobilovom priemysle pri výrobe malých sérií a prototypových dielov. Pri tejto výrobe je väčšinou nutné zhotoviť malý počet výťažkov v krátkom časovom úseku. Väčšinou sa jedná o výťažky pomerne veľkých rozmerov, takže náklady na zhotovenie klasických oceľových ťahadiel by boli neúnosne vysoké. Výhodou je, že pri výrobe ťažníkov nie je nutné používať oceľ, väčšinou sa vystačí s ľahkými zliatinami, tvrdým drevom, tvrdou tkaninou (textil), plastmi (Sika Block M 900, LAB 900 Axson), pretože pryžou sa zaťaženie ťažníka stlmí. Ďalšou prednosťou tohto spôsobu je zhotovenie iba jednej pracovnej časti, ťažníku alebo ťažnice, druhá časť je nahradená pryžou. Toto nám umožňuje jednoduchú opravu tvaru pri konštrukčnej alebo technologickej zmene. Z obecného hľadiska môžeme tvárnenie nepevným nástrojom rozdeliť na :

- tvárnenie v otvorenom nástroji (obr.14)
- tvárnenie v uzavretom nástroji (obr.15)



Obr. 14 - otvorený nástroj pre ťahanie [11]

1 – baran lisu, 2 – rám, 3 – pryžový vankúš, 4 – východzí prístrih, 5 – ťahadlo 6 – stôl lisu



Obr. 15 - ťahanie v uzavretom nástroji [7]

1 – horná doska      3 – pryžový vankúš      5 – ťažník,      7 – stôl  
2 – rám,      4 – tvárnený prístrih,      6 – základná doska,

Ťahanie v uzavretom nástroji patrí medzi najobvyklejšie spôsoby ťahania pryžou. Ťažník je pevne spojený so základnou doskou, ktorá sa upína na stôl lisu. Rám pryžového vankúša má obvykle štvorcový, alebo obdĺžnikový prierez, vyrobený zvaraním alebo



Polyuretany patria do rozsiahlej skupiny polyesteramidov, teda polymérov, ktoré sú z chemického hľadiska kombináciou polyesterov a polyamidov. Je možné ich pripraviť z rôznych viacfunkčných izokyanátov a látok obsahujúce hydroxylové zlúčeniny. Najvýznamnejšie sú polyuretany vyrábané polyadící hexametylendiizokyanátu a 1,4 butylenglykolu. Sú tiež technicky najľahšie prístupné. Vyrábajú sa zo zmesi obidvoch zložiek buď priamo alebo v prostredí rozpúšťadla. Polyuretany sú silne kryštalické hmoty o teplote tavenia okolo 180°C, pri teplotách okolo 220°C sa rozkladajú na svoje zložky. V porovnaní s polyamidami majú polyuretany nižšiu navlhavosť, lepšie elektroizolačné vlastnosti a väčšiu odolnosť voči vode, kyselinám a poveternosti [12].

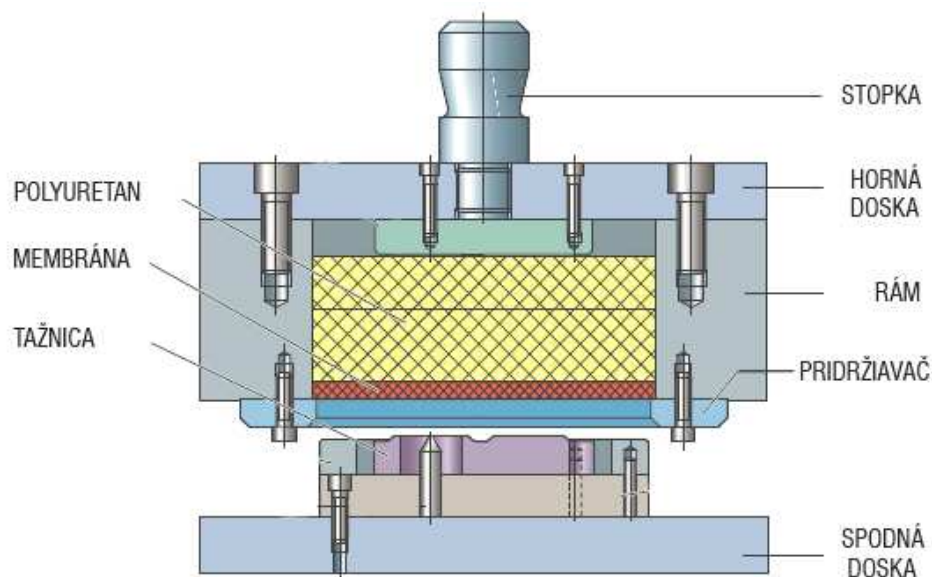
Polyuretan môže plniť funkciu strižníc, ohybníc, ťažníc, avšak oproti pryži a jej odpovedajúcim tlakom (30-40 MPa) môžeme v prípade polyuretanu realizovať tlaky 100 až 200 MPa. Tomuto zaťaženiu musí odpovedať aj konštrukcia puzdra, ktorá je väčšinou zložená z prstencov, vyrobených z materiálov schopných k zušľachteniu na vyššie hodnoty medze klzu. Uvedený puzdrový nástroj má oproti konvenčným nástrojom značné prednosti :

- rovnomerné rozloženie tlaku
- možnosť regulácie tlaku
- nepoškodený povrch tvárneného dielca
- univerzálnosť jednej časti nástroja, tzv. puzdra (plní funkciu strižnice, ohybnice atd.)
- odpadá zriaďovanie ťažnej medzery medzi nástrojmi

Vysoká oteruvzdornosť a šmyková presnosť polyuretanu vyniká tiež, ak je použitý ako tesniaca membrána alebo vak pre kvapalinu, v zariadeniach ktoré využívajú vysokého tlaku kvapalného média k tvárneniu. Typickým predstaviteľom takéhoto zariadenia je lis QUINTUS ASEA.

#### 4.1.1 Technologické využitie pri tvárnení [8], [15]

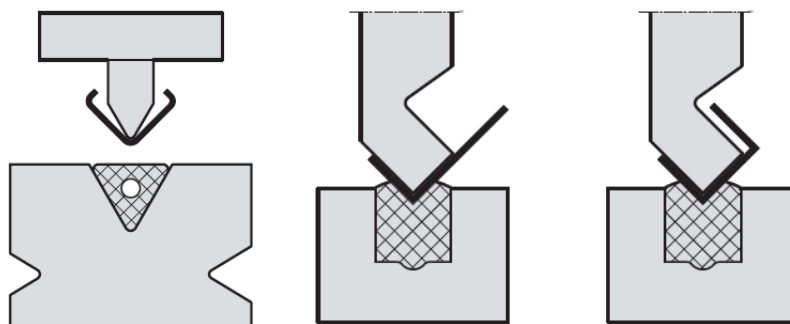
Typickým predstaviteľom plošného tvárnenia využívajúceho nepevného nástroja je ťahanie (obr. 16).



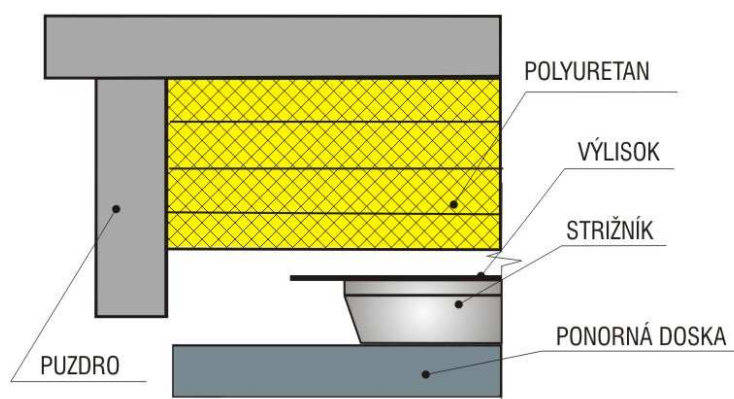
Obr. 16 - ťahanie nepevným nástrojom [15]

Do tejto technológie spadá tvárnenie dielcov väčších rozmerov, avšak parabolických, guľových, kužeľových, resp. valcových s parabolickým dnom. Môžu to byť napr. úseky palivových nádrží, časti difúzorov a iné [8].

Ďalšou aplikáciou využívajúc polyuretán je ohyb plechu na ohraňovacích lisoch (obr.17)



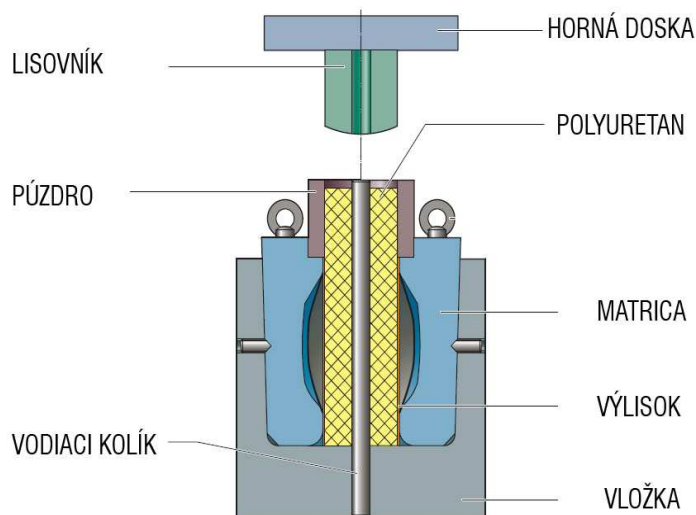
Obr. 17 - ohyb na ohraňovacích lisoch s využitím polyuretánu [15]



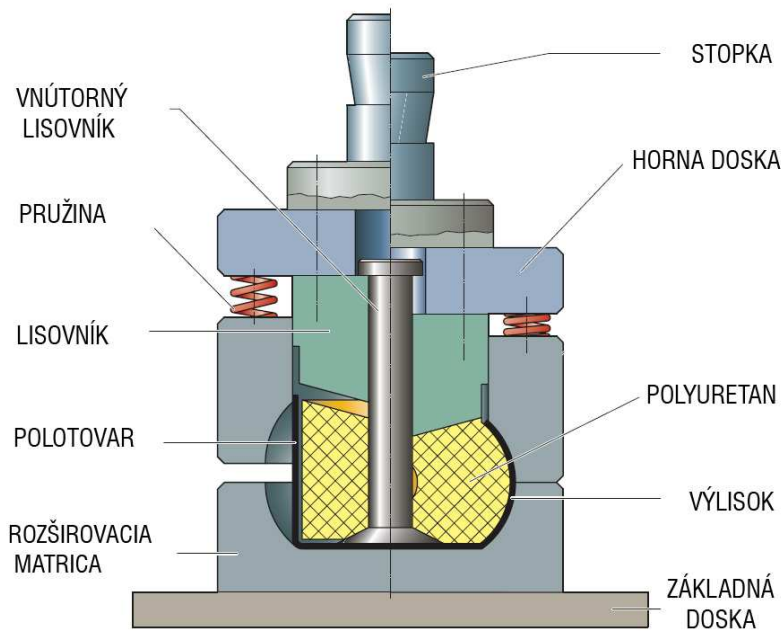
Obr. 18 - strihanie polyuretánom [8]

Taktiež nesmieme zabudnúť na operáciu strihania pomocou pryže resp. polyuretánu. Táto metóda sa hodne využíva pri malosériovom charaktere výroby, kde znižuje výrobné náklady a zvyšuje úsporu materiálu. Metóda je vhodná pre výrobu nástrihov väčších a nepravidelných obrysov. Univerzálny nástroj predstavuje puzdro, v ktorom je vložený polyuretánový vankúš zložený z niekoľkých dosiek. Strižník je upevnený na ponornej doske, na ktorého čelnej ploche je uložený polotovár (obr.18).

Do ďalšej skupiny môžeme zaradiť dielce, ktoré vzhľadom k ich rozmerom a tvarom nejde vyrobiť bežnými metódami ohybu či ťahania. Jedná sa o tzv. radiálne vypínanie (obr.19), kde v prípade dielcov s uzavretým tvarom typu nádob, prstencov, ktorých geometrický tvar v meridiálnom reze má viac či menej zložitú krivosť. Cieľom tejto metódy je dosiahnuť na vnútornom povrchu polotovarov dielcov, potrebné hodnoty rovnomerne rozloženého tlaku. Dochádza ku zväčšeniu priečných rozmerov, pôvodne valcového polotovaru, zmenšenie jeho výškového rozmeru a zmenšenie hrúbky steny.



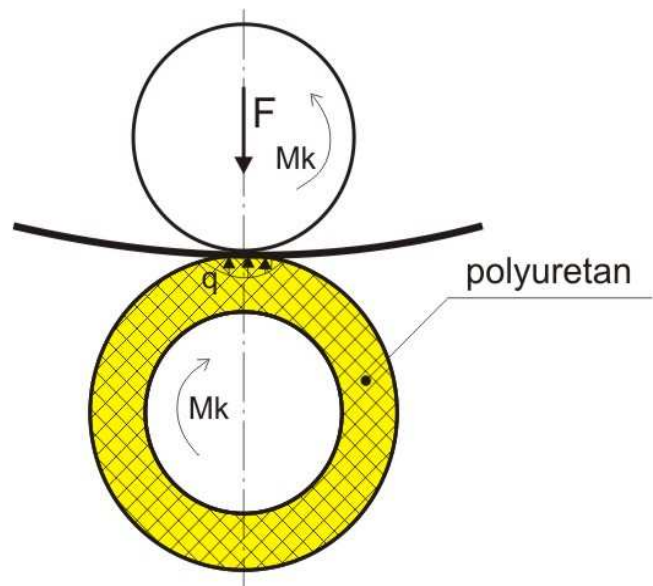
Obr. 19 - radiálne vypínanie trubiek polyuretánom [15]



Zvláštnu aplikáciu polyuretanu predstavuje rozširovanie polotovaru (obr.20), ktorý má tvar valcového výťazku s dnom. V princípe ide o radiálne vypínanie tohto polotovaru pomocou tlaku média, ktoré sa nachádza vo vnútri polotovaru. Je možné použiť tak kvapalinu, ako aj polyuretan, ktorý má však výhodu v tom, že nevyžaduje nákladné tesnenie pracovného priestoru, pomocné hydrosystémy alebo špeciálne riešené prípravky.

Obr. 20 - rozširovanie pomocou polyuretanu [15]

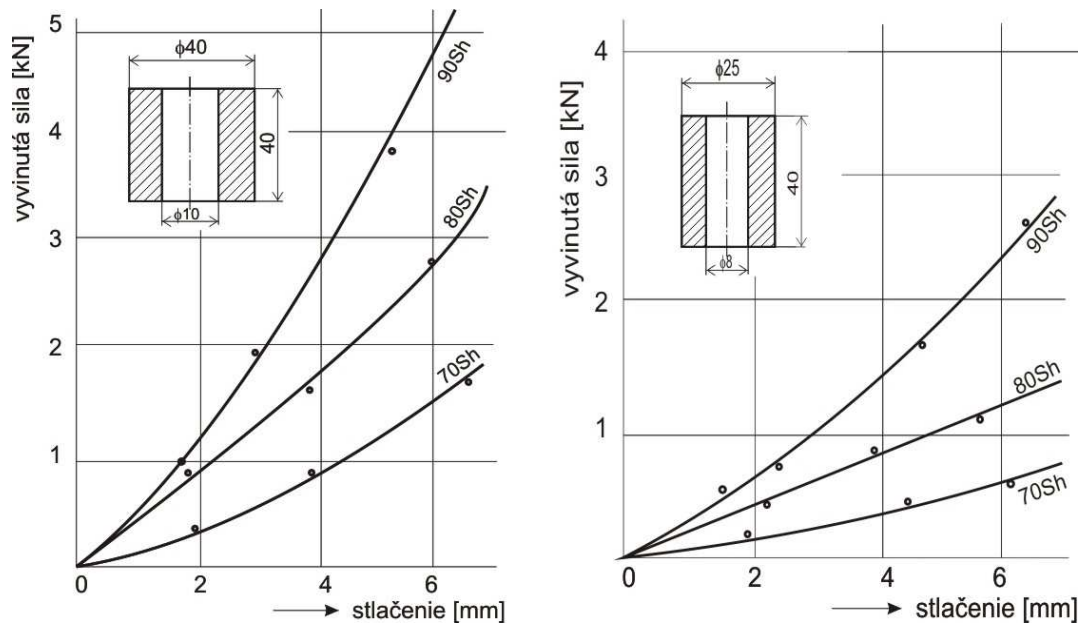
Ďalšou technológiou je ohyb plechu zakružovaním. Zakružovanie je proces plynulý, postupný voľný ohyb rozvinutého polotovaru sústavou troch alebo štyroch valcov horizontálne uložených, ktoré môžu zaujať symetrické alebo nesymetrické usporiadanie. Potrebného polomeru zakruženia sa dosiahne prisúvaním spodného alebo horného valca v priebehu ohybu. Vývojovou tendenciou sú dvojvalcové zakružovačky, u ktorých je spodný valec pokrytý vrstvou polyuretanu hrúbky asi 40mm (obr.21). Tlakom horného valca je materiál vtlačný do tohto pružného povrchu a ohýba sa pôsobením merného tlaku  $q$ . Polomer zakruženia závisí na hĺbke vtlačenia, teda zmene osovej vzdialenosti oboch valcov [8].



Obr. 21 - zakružovanie pomocou polyuretanu [8]

## 4.2 Deformačné chovanie polyuretanu [6]

Pri stlačovaní elastomerov dostávame progresívny priebeh závislosti sily na stlačení (obr.22).



Obr. 22 - síla vyvinutá stlačením elastickej pružiny z polyuretanu rôznych tvrdostí [6]

To znamená, že s rastúcim stlačením sa zvyšuje aj vnútorné napätie elastomeru. Elasticita nie je daná len tvrdosťou hmoty, ale i tvarom vyjadreným tvarovým koeficientom  $K_T$  [6].

Až do určitého zaťaženia je vzrast sily takmer lineárny. Ďalšie zväčšenie stupňa deformácie spôsobuje nelineárny priebeh, ktorého dôsledkom je vznik trvalých deformácií. Popisovaný jav je možno objasniť zmenou zostavenia reťazca molekúl zaťaženého elastomeru. Prejaví sa skrátením životnosti pružiny.

Pomerná deformácia  $\varepsilon$  je hodnota vhodného stlačenia pružiny. Pre každý druh elastomeru je iná. Je ovplyvnená jeho tvrdosťou. Napríklad :

- u tvrdosti 70Sh A sa volí  $\varepsilon = 0,3$
- u tvrdosti 80Sh A sa volí  $\varepsilon = 0,2$
- u tvrdosti 90Sh A sa volí  $\varepsilon = 0,1$

Výrobca väčšinou pomernú deformáciu nestanoví. Jej vhodnú veľkosť je treba určiť vzhľadom k nutnosti presného dodržania sily, životnosti pružín, trvalej deformácie atď.

Pomocou  $\varepsilon$  sa vypočíta výška pružiny zo vzťahu :

$$\varepsilon = \frac{H_0 - H}{H_0} \quad (24)$$

kde :  $H_0$  – výška nezaťaženej pružiny  
 $H$  – výška zaťaženej pružiny

Tlak –  $p$  pri zvolenej pomernej deformácii sa vypočíta zo vzťahu :

$$p = \frac{E_E \cdot (1 - K_T) \cdot \varepsilon}{1 - \varepsilon} \quad (25)$$

kde :  $E_E$  – modul pružnosti (MPa); určí sa z tabuľky 6  
 $\varepsilon$  – pomerná deformácia  
 $K_T$  – tvarový koeficient

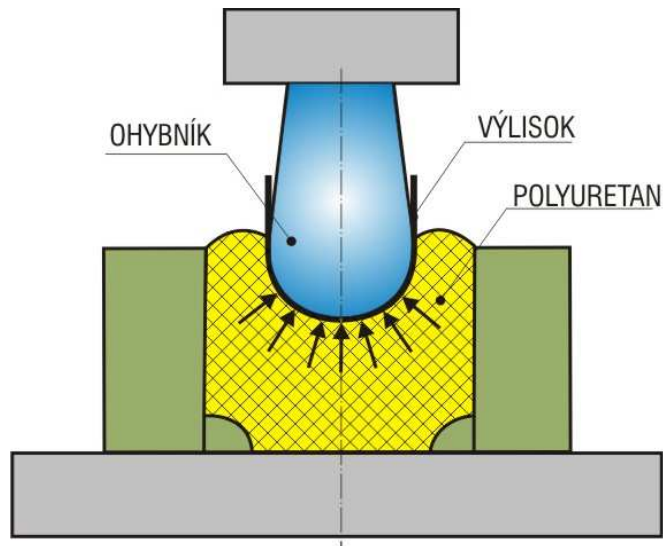
Tab. 6 – mechanick vlastnosti vybraných elastomerov [6]

Typ Polyuretanu	Tvrdosť (°Sh)	$E_E$ (MPa)	anos (%)	Pevnosť v ťahu [MPa]	Doporuen deformácia [%]
18/40	65	500	600	3000	30
18	80	2000	650	3000	25
25	90	6000	600	3000	10
30	93	9000	450	3000	5

Vypoitane hodnoty sú len pribline. Presnosť ť je ovplyvnen faktormi, ktore nie sú do vypotu zahrnute, alebo sa počas svojej funkcie menia.

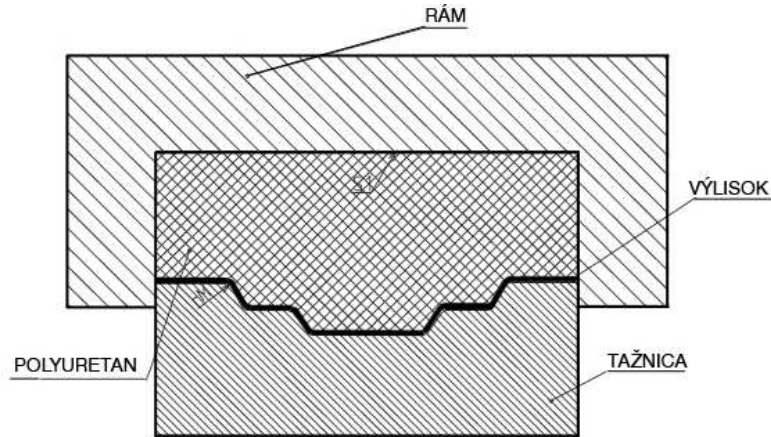
#### 4.2.1 Zložky celkovej tvárniacej sily [11]

Z hľadiska mechaniky dea a taktiež silovej bilancie môžeme rozoznávať dva zkladne pracovne schema. V prvom pripade sa jedna o ohyb do tvaru U elastomerom (obr.23), ktoreho pohyb i rozloženie tlaku  $q$  na vylisok je priaznivo ovplyvnen presadením dna puzdra ĉi vloženými tyčami v rohoch. Premiestňovanie polyuretanu je viac menej vone, pretože nie je uzavrety do ohraničeného priestoru.



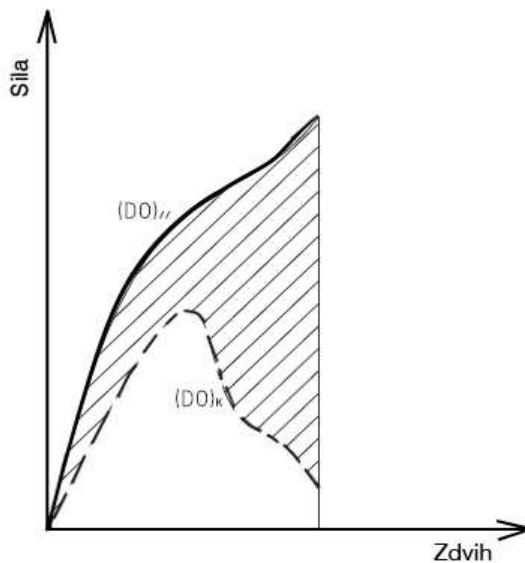
Obr. 23 - tvárnenie plechu elastomerom [11]

Druhy priklad (obr. 24) uvádza operáciu plytkeho ťahania elastomerovm ťažníkom do kovovej dutiny ťažnice. Zo ziatku sa elastomer premiestňuje vone, avak v závere zdvihu je celkom uzavrety v priestore puzdra. Prestane sa premiestňovať a dalej sa môže už len pružne deformovať. Je zrejme, že v druhom pripade bude nárast sily intenzvneji a to hlavne v závere zdvihu.



Obr. 24 - tvárnenie plechu elastomerom [11]

Charakter priebehu tvárniacej sily bude v oboch prípadoch rovnaký, ale odlišný od priebehu sily potrebnej pre tvarovanie rovnakého výlisok konvenčným nástrojom. Schematicky je tento rozdiel uvedený na obr.25, kde krivka  $(DO)_k$  pripadajúca konvenčnému nástroju, má v závere zdvihu klesajúcu tendenciu, zatiaľ čo krivka sily nepevného nástroja vykazuje väčšiu prácu, lebo určitý objem elastomeru musí byť premiestnený a je zrejme, že určitú úlohu bude hrať aj jeho tvarová zmena, práve tak ako aktívne alebo pasívne trecie sily.



Obr. 25 - charakter tvárniacej sily [11]

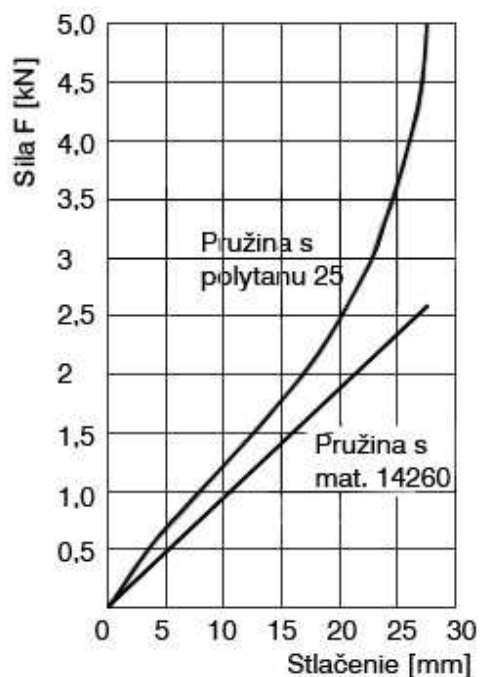
Obecne môžeme teda uviesť, že celková tvárniaca sila je daná súčtom troch zložiek: sily  $F_{tv}$  potrebnej pre samotné tvárnenie, (ohýbanie, ťahanie), ďalej sily  $F_f$  nutnej k prekonaniu trecích odporov a nakoniec sily  $F_E$  potrebnej k premiestneniu a tvarovej zmene elastomeru, čiže :

$$F_C = \vec{F}_{tv} + \vec{F}_f + \vec{F}_E \quad (26)$$

Vcelku bezproblémovo sa určuje sila  $F_{tv}$ , zatiaľ čo stanovenie ďalších dvoch zložiek má svoje úskalie. V rámci tejto práce bude poukázané na niektoré vyjadrenia zložky  $F_E$ . Obecne ide teda o vyjadrenie deformačného odporu, a to bez uváženia vonkajšieho trenia.

#### 4.2.2 Deformačný odpor elastomeru [8], [11]

Problém pri určovaní deformačných charakteristík spočíva v tom, že elastomery sa pri stlačovaní „chovajú naprosto pružne“, závislosť sily na stlačení predstavuje vlastne pracovný diagram elastomerovej pružiny, ktorej deformačná krivka má špecifický priebeh (obr.26). Chovanie elastomeru, napr. polyuretanu, je preto nutné analyzovať na základe poznatkov o pryžových pružinách.



Obr. 26 - deformačná krivka elastomerovej pružiny [11]

Sila pre stlačenie pryžovej či elastomerovej pružiny, v prípadoch jednoosého stlačenia a pri veľkých deformáciách je :

$$F_{pr} = \beta \cdot \frac{1}{3} \cdot E_E \cdot S_0 \cdot \left( \frac{1}{\lambda^2} - \lambda \right) \quad (27)$$

Kde  $S_0$  je počiatková plocha čelnej pružiny,  $E_E$  je modul pružnosti elastomeru,  $\lambda = \frac{h_0 - \Delta h}{h_0} = 1 - \varepsilon$  je

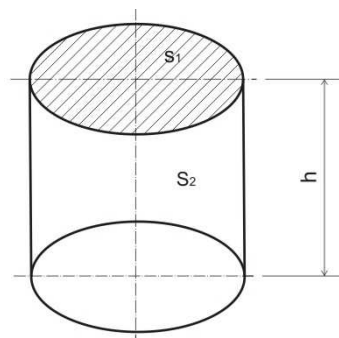
deformačný súčiniteľ,  $\Delta h$  absolútne stlačenie pôvodnej výšky pružiny  $h_0$ ,  $\beta$  súčiniteľ upnutia alebo voľnosti čela pružiny, resp. tvaru (zohľadňuje prípad keď je čelo voľné alebo upnuté napr. tým, že sú k nemu navulkanizované kovové príruby, môže zohľadňovať tiež tvar kruhový, štvorcový a pod.)

Hodnoty  $E_E$ ,  $\beta$  sa stanovujú experimentálne. Bolo preukázané, že súčiniteľ  $\beta$  je vhodné viazať na koeficient tvaru bloku elastomeru  $K_T$ , pri ktorom približne platí [8]:

$$a) \quad K_T = \frac{S_1}{S_2} \quad (28)$$

kde :  $S_1$  – zaťažená plocha [mm<sup>2</sup>]  
 $S_2$  – nezaťažená plocha [mm<sup>2</sup>]

Príklad stanovenia zaťaženej a nezaťaženej plochy pre tvarové pružiny sú znázornené na obr.27.



$$S_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (29)$$

$$S_2 = D \cdot h \quad (30)$$

Obr. 27 - spôsob stanovenia zaťaženej a nezaťaženej plochy [8]

stanovenie tvarového koeficientu pre obdĺžnikový tvar pružiny

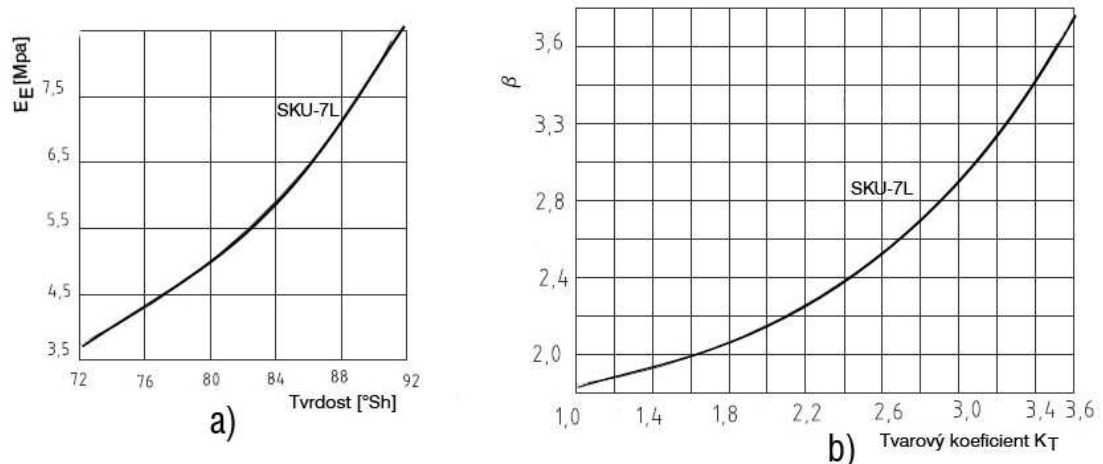
$$K_T = \frac{a \cdot b}{2 \cdot (a + b) \cdot h_0} \quad [-] \quad (31)$$

b) modul pružnosti – spravidla je uvažovaný ako funkcia  $E_E = f(K_T, Sh)$

$$E_E = \left[ \left( \frac{Sh}{10} \right)^{\frac{5,7Sh}{1000} + 2} + 10 \right] \cdot \left[ K_T^{1,62} + 0,82 \cdot \left( \frac{Sh}{10} \right)^2 + 10 \right] \cdot 0,1 \text{ [MPa]} \quad (32)$$

vzťah 32 rešpektuje experimentálne závislosti, predpokladá sa, že pružiny pracujú v lineárnom úseku priebehu  $F_{pr} = f(\Delta h)$

Pre ukážku je na obr. 28a uvedená závislosť  $\beta = f(K_T)$  pre polyuretan typu SKU-7L a ďalej závislosť modulu pružnosti  $E_E = f(\text{tvrdosti})$  (obr. 28b).



Obr. 28 - deformačné charakteristiky elastomeru [11]

S prihliadnutím k vyššie uvedenému a ďalej k priebehu závislosti  $F_E = f(\Delta h)$  (obr.26) je zrejmé, že len pre malé hodnoty  $\Delta h$  je možné pripustiť určitú linearitu v krivke. Iba za týchto podmienok by bolo možné vyjadriť silu k stlačeniu bloku vzťahom :

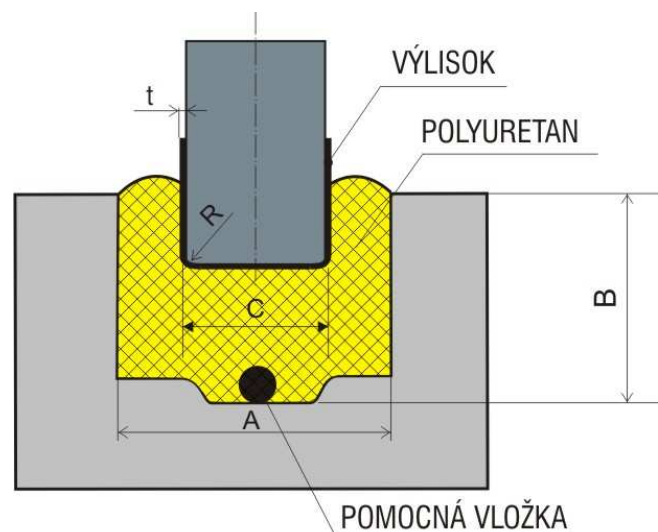
$$F_{pr} = E_E \cdot S_0 \cdot \varepsilon \quad (33)$$

Deformačné charakteristiky elastomerov pri väčších pretvoreniach môžeme premietnuť do obcej rovnice (ppp) a formulovať konkrétny výraz pre silu  $F_E$  :

$$F_E = E_E \cdot K_T \cdot S_r \cdot \frac{V_e}{V} \quad (34)$$

kde  $S_r$  je prierezová plocha razníku (odpovedá približne ploche zaťaženej tlakom  $q$ ),  $v_e$  je premiestňovaný objem elastomeru a  $V$  je celkový objem elastomerového bloku.

Zvyšovanie hodnôt všetkých členov rovnice znamená teda zvýšenie deformačnej sily elastomeru, napr. čím viac sa blíži pomer ( $v_e / V$ ) k 1,0 tým väčšie percento elastomeru z celkového objemu je nutné premiestniť, to znamená, že je za potreby viac energie a väčšiu silu. Taktiež čím vyšší je blok elastomeru  $h$ , zväčšuje sa aj jeho objem  $V$ , avšak klesá hodnota  $K_T$  a tiež sila potrebná k stlačeniu. Vysoká hodnota  $K_T$  znamená vzorku o malej výške  $h$ , pričom svoju rolu hrá aj tvrdosť elastomeru,



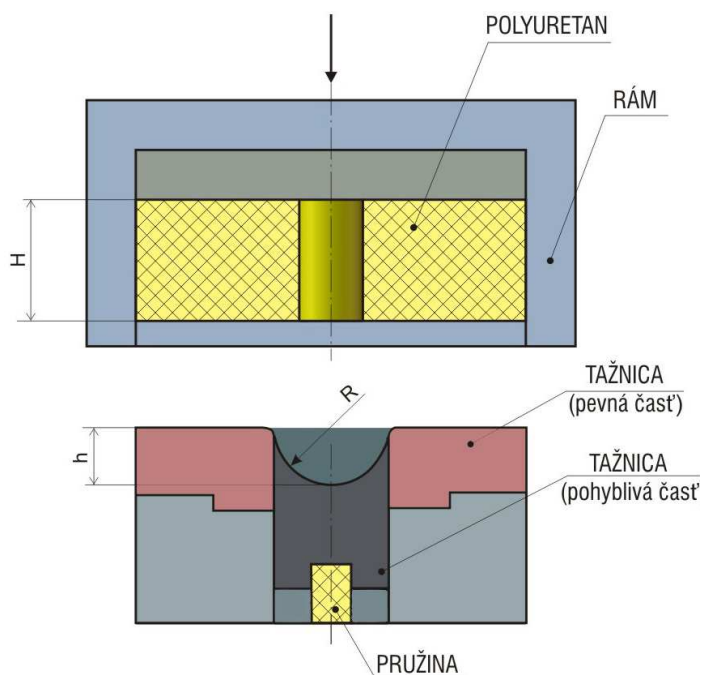
Obr. 29 - razník s obdĺžnikovým pôdorysným tvarom [11]

pretože tvrdší elastomer vyžaduje väčší objem bloku, teda výšku  $h$ , ako dosvedčuje konštrukčné odporúčenie na obr. 29.

V objeme premiestňovaného elastomeru  $v_e$  je implicitne zohľadnená hĺbka ponorenia razníku, čiže jeho efektívny zdvih a tiež jeho geometrické parametre. Preto môžu mať výrazy pre definíciu sily  $F_E$  aj iné tvary, ktoré podrobnejšie zohľadňujú vplyv zdvihu a rozmerových veličín. V prípade razníku s obdĺžnikovým pôdorysným tvarom  $a/b$  (obr. 29), je doporučené počítať silu nutnú k premiestneniu elastomeru zo vzťahu :

$$F_E = \frac{1,5 \cdot Z \cdot \sqrt{S_r} \cdot E_E}{\gamma \cdot [1 + 1,33 \cdot E_E \cdot \alpha \cdot (r + t)]} \quad (35)$$

kde  $\alpha = f(E_E)$  a zohľadňuje odpory elastomeru v dôsledku jeho premiestňovania okolo rádiusu  $(r + t)$  a zároveň závisí na tvrdosti elastomeru,  $\gamma$  zohľadňuje vplyv pôdorysného tvaru razníku (pre kruhový, štvorcový  $\gamma = 1$ ).



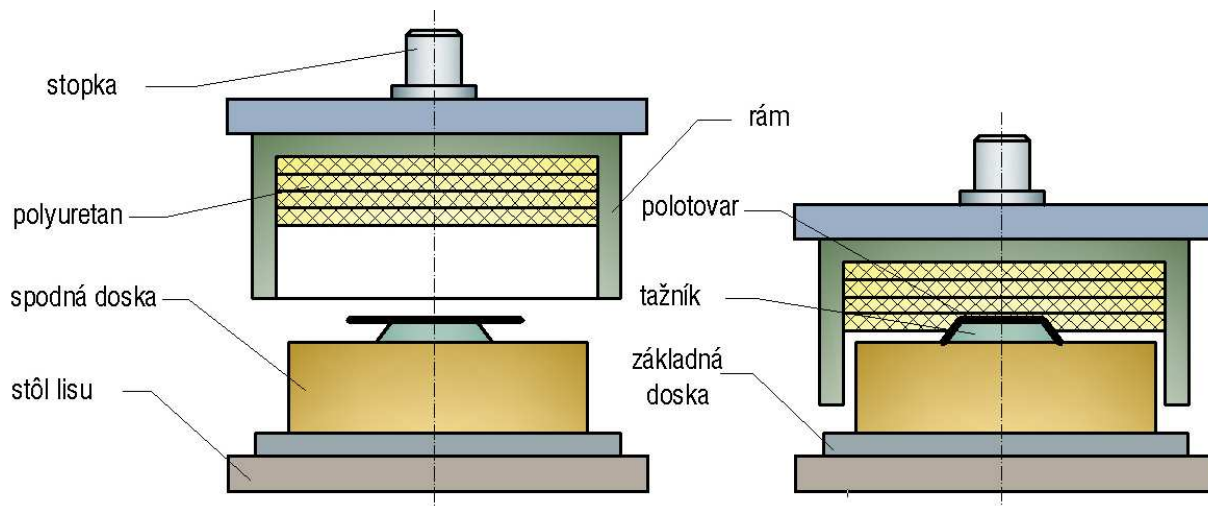
Obr. 30 - schéma nástroja s centrálnym odľahčením polyuretánového nástroja [11]

Pri opačnej konštrukčnej variante (elastomerový razník, kovová matrica s dutinou) je nutné počítať s tým, že elastomer obtiažnejšie zalieha do ostrých dutín, drážok, čomu je možné predísť rôznymi tvarovými úpravami nástroja. Jednou z nich je odľahčenie elastomerového bloku stredovým otvorom (obr.30). Tým je uľahčené premiestňovanie elastomeru do dutiny matrice, ktorá zároveň „nesie“ aj polotovar a to v dôsledku pozitívnych trecích síl medzi touto dvojicou, ktoré sú spravidla vyššie ako trecie sily medzi polotovarom a čelom matrice. Do jej dutiny sa hneď na začiatku procesu premiestni dostatočný objem polotovaru k vytváraniu vnútorných polomerov. V závere operácie, keď tlak  $q$  narastá je možné totiž zablokovanie posuvu u polotovaru v oblasti príruby výlisku.

### 4.3 Metódy ťahania elastickým nástrojom

#### 4.3.1 Metóda GUERIN [7]

Metóda Guerin, (obr.31) pracuje s pryžovým vankúšom (3), ktorý je pevne vložený v dutine ocelej dosky, ktoré ho z väčšej časti obopína. Doska je upevnená k baranu lisu upínacou stopkou (1). Horná časť ťahadla sa teda skladá z časti 1, 2 a 3 a pohybuje sa s baranom lisu. Pokiaľ je lis používaný výhradne pre ťahanie s pryžou, je možné ocelej dosku (2) vypustiť a pryžový vankúš zapustiť priamo do vhodnej dutiny v barane lisu. Výška pryžového vankúša je približne  $\frac{3}{4}$  celkovej hĺbky dutiny, čím sa zaistí dostatočné vedenie medzi otvorom dosky (2) a spodnou doskou (6). Prípustná vôľa býva obvykle 1 až 3 mm.

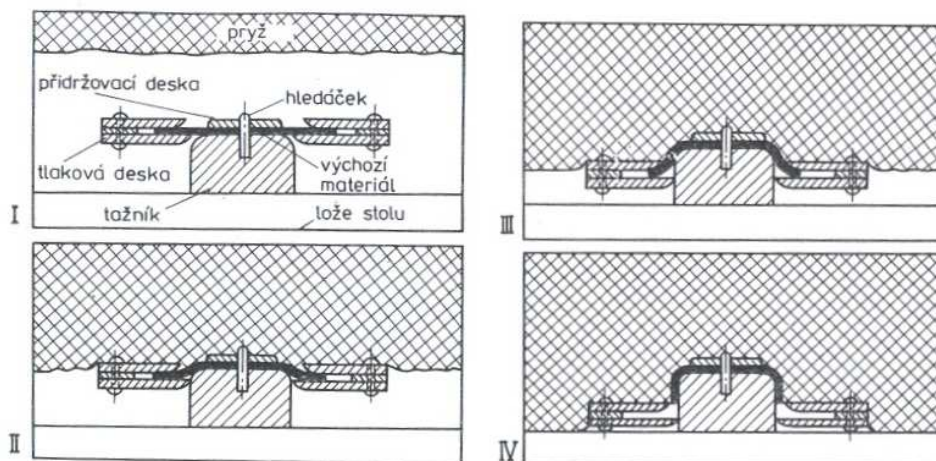


Obr. 31 – tvárnenie Metódou GUERIN [7]

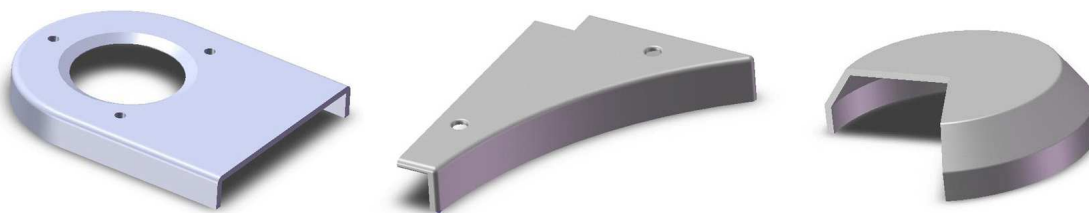
Na spodnej doske (6) je pripevnený ťažník (5), ktorý môže byť zhotovený z rôznych materiálov. Doska (6) je upevnená na stôl lisu základnou doskou (7). U tohto spôsobu tvárnenia spodná časť nástroja zostáva počas ťahania nepohyblivá.

Toto ťahanie plechu je vhodné hlavne pre tvárnenie, ktorá sa blíži k procesu ohýbania alebo kde plech je ťahaný zoslabovaním svojej hrúbky, pretože sa pri tom nezvlňuje. Avšak ak ťaháme týmto spôsobom výťazky väčšej hĺbky, dochádza ku zvlnieniu plechu, čo znemožňuje úspešné ťahanie.

Zvlňovanie materiálu pri ťahaní je spôsobené niekoľkými faktormi. Jedným z nich je tlak v pryži, ktorý nedosiahne dostatočne rýchlo veľkosti potrebnej k tomu, aby sa zvlňovaniu zabránilo. Tento tlak stúpa vníkaním spodnej časti ťahadla s prístrihom do pryže, pričom presahujúca časť prístrihu nie je pridržiavaná. Tým sa na okraji prístrihu začnú tvoriť vlnky, ktoré sa ďalším postupom ťahania nedajú odstrániť. Čiastočne je tomu možné zabrániť pridržiavačom zvláštného prevedenia (obr.32)



Obr. 32 – jednotlivé fázy (I, II, III, IV) ťahania pryžou pri použití pridržiavača [7]



Obr. 33 – príklady výlískov ťahaných metódou GUERIN [7]

Doporučený technologický limit pre výťazok, ktorého lem sa postupne vyťahuje udáva pomer maximálnej hĺbky – h výťazku a jeho max. rozmeru v pôdoryse – l

- pre dural  $h/l \leq 0,5$
- pre oceľ, nerez oceľ  $h/l \leq 0,6$

Metódou GUERIN sa obvykle ťahne na hydraulických lisoch, na ktorých je možné ľahko dosiahnuť potrebných vysokých tlakov.

Výhody :

- jednoduchá konštrukcia nástroja, ľahká adaptácia na zmeny v malosériovej výrobe
- väčšinou si vystačíme, podobne ako u predchádzajúcej metódy s jednočinnými lisami (ťahá sa bez pridržiavača, ktorého úlohu preberá pryž)

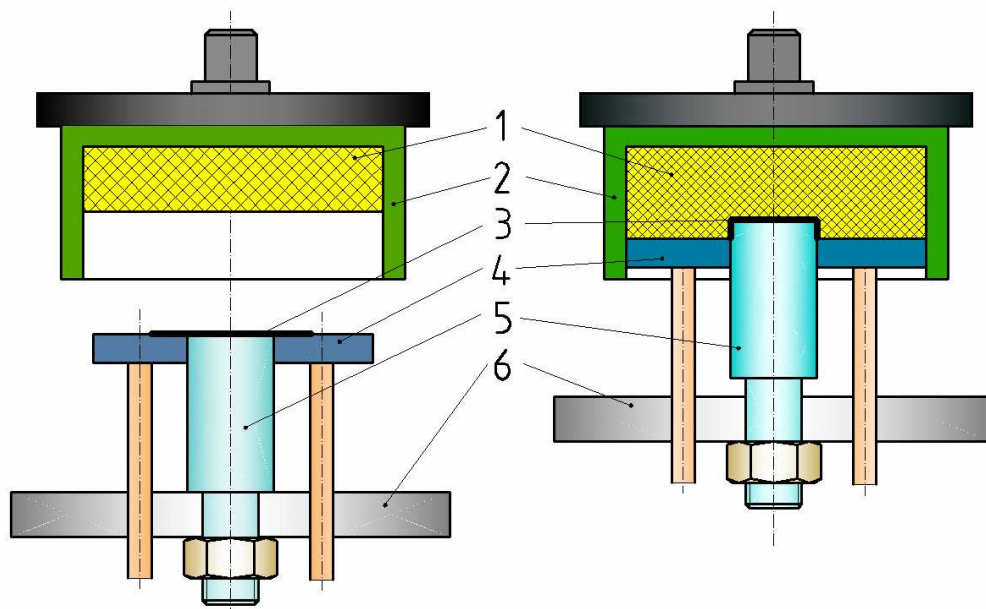
Nevýhody :

- tendencia ku tvoreniu vln, hlavne pri hlbokom ťahaní
- nerovnomerné stenčenie steny výťazku, hlavne v stredných úsekoch

#### 4.3.2 Metóda MARFORM [7]

Na rozdiel od metódy GUERIN je metóda MARFORM (obr.34) vhodnejší pre hlbšie výťazky. Jedná sa o kombináciu ťahania s pryžou s klasickým ťahaním s pridržiavačom. Horná časť ťahadla je tvorená jednak rámom (2) vyplneným pryžou a upevnená stopkou k baranu lisu, jednak z nepohyblivého ťažníku (5) upevneného základnou doskou (6) na stole lisu. Navyše má toto ťahadlo ešte pridržiavač (4), ktorý je ovládaný hydraulicky tak, že zdvíhacie kolíky sú podopreté piestom zdvíhaným tlakovým olejom.

Zdvihnutie dosky pridržiavača je riadené množstvom tlakového oleja vo valci. Olej môže z valca odtekať odpadovým otvorom, ktorého odtok je riadený vačkou, kladičkou a tiahom. Odtok oleja vlastne umožňuje upravovať tlak pridržiavača na ťahaný materiál súbežne s okamžitou polohou dosky pridržiavača.



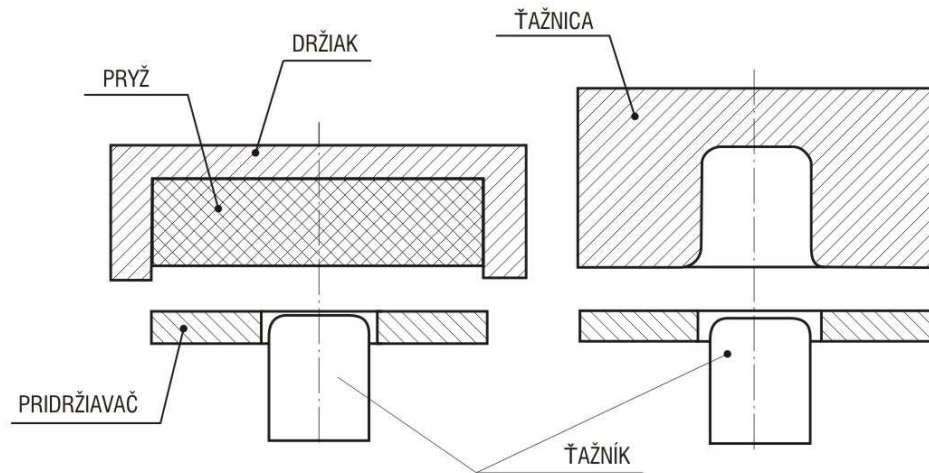
1 – pryžový vankúš, 2 – rám, 3 – prístrih, 4 – pridržiavač, 5 – ťažník, 6 – základná doska

Obr. 34 – tvárnenie metódou MARFORM [7]

Postup ťahania : prístrih sa vloží na dosku pridržiavača, rám s pryžou pomaly zostupuje dole, pôsobí na prístrih a stlačuje pridržiavač a prístrih sa ťahne na požadovaný tvar (tlak

v pryži dosahuje 40 – 50 MPa). Pri spätnom pohybe baranu lisu sa uvoľní tlak pryže a výťažok je doskou pridržiavača zdvíhanou spodným hydraulickým piestom zotretý z ťažníka.

Na obr.35 je schematicky znázornené porovnanie ťahania metódou MARFORM s klasickým spôsobom ťahania. Pri systéme MARFORM je ťažnica nahradená pryžovou vložkou. Výťažok môžeme zarovnávať na požadovanú dĺžku tak, že do ťažníka sa urobí zárez a tým pádom sa materiál ostrihuje.



Obr. 35 - porovnanie ťahania metódou MARFORM a klasickým spôsobom ťahania [7]

Výhody :

- vhodný pre hlboké ťahanie
- zárezom v ťažníku môžeme výťažok odstrihnúť na požadovaný rozmer
- nižšia zriaďovacia cena i výrobný čas ťahadla

Nevýhody :

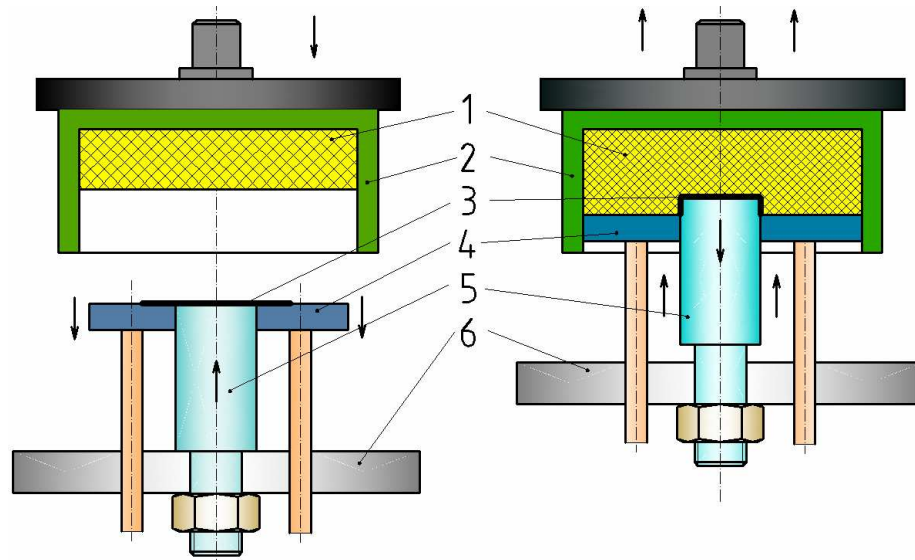
- nutnosť hydraulického zariadenia pre ovládanie pridržiavača
- obmedzená životnosť pryže

#### 4.3.3 Systém HIDRAW [7]

Tento spôsob je menej známy. Je vhodný hlavne pre výťažky väčších rozmerov. Tento systém je vlastne kombináciou systémov MARFORM a HYDROFORM. Vyznačuje sa pohyblivým pridržiavačom, ťažníkom a ťažnicou. Schéma tohto systému je uvedená na obr.36.

Do otvoreného ťahadla sa vloží prístrih materiálu (3) na pridržiavač (4), ktorý je v rovine s čelom ťažníku (5). Pohybom baranu lisu smerom dole dosadne pryžový vankúš na materiál (3), ten začne stlačovať dosku pridržiavača, pričom sa súčasne zdvíha aj ťažník (5), ktorý tak vniká do pryžového vankúša a postupne ťahá výťažok. Po dokončení ťahu sa jednotlivé súčasti vrátia do pôvodnej polohy.

Tento systém nemá oproti iným spôsobom tvárnenia pryží žiadne výrazné výhody, nakoľko u neho sú všetky súčasti pohyblivé, sú ťahadlá drahšie ako pri iných systémoch. To je dôvodom jeho malého rozšírenia.



1 – rám, 2 – pryžový vankúš, 3 – prístrih, 4 – pridržovač, 5 – ťažník, 6 – zák.doska

Obr. 36 - tvárnenie metódou HIDRAW [7]

Výhody :

- vhodný pre veľké výtlačky

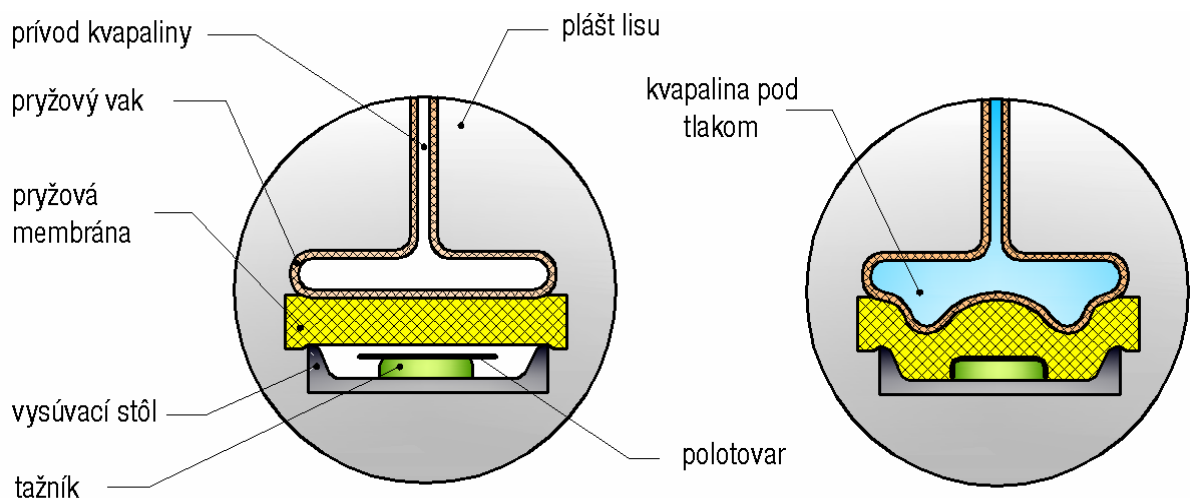
Nevýhody :

- zložitejšia konštrukcia ťahadla, kde sú všetky hlavné súčasti pohyblivé, podstatne predražuje túto metódu vzhľadom k predchádzajúcim metódam
- malá rozšírenosť metódy

#### 4.4 Ťahanie kvapalinou

##### 4.4.1 Systém VERNON – WHEELON [7]

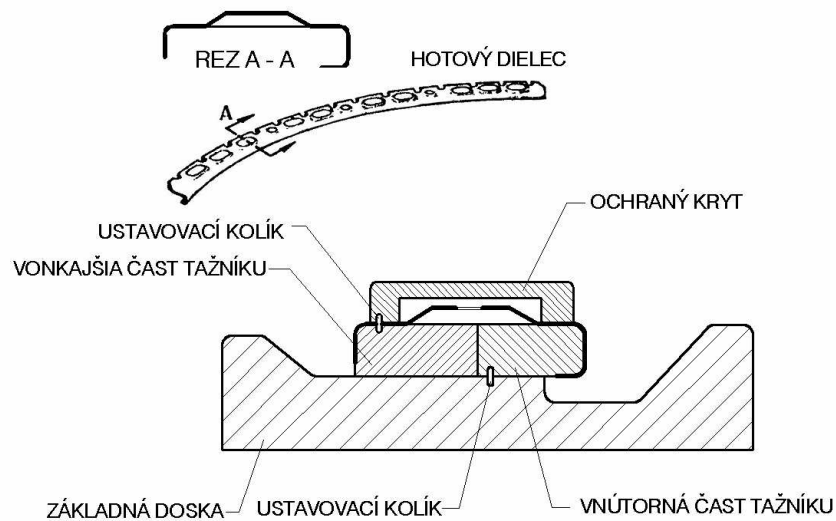
Proces VERNON – WHEELON využíva vysokých tlakov, ktoré nie sú dosahované klasickým vertikálnym lisom, ale horizontálnym priamotlakým kvapalinovým lisom. Lis je tvorený oceľovým silnostenným valcovým plášťom, vo vnútri ktorého je tlaková komora. V tlakovej komore je pryžová membrána, nad ktorou sa nachádza pryžový vak. Do tlakovej komory zájde pracovný stôl s ťažníkom a do pryžového vaku sa vysokotlakovými čerpadlami napustí kvapalina. Pôsobením tlaku kvapaliny vak zväčšuje svoj objem, vyplňuje priestor komory a ťahá materiál podľa tvaru ťažníka (obr. 37)



Obr. 37 - ťahanie metódou VERNON – WHEELON [7]

Týmto lisom môžeme vykonávat' asi 10 prevádzkových cyklov za hodinu. Vzhľadom k možnostiam vysokých tlakov môžeme touto metódou tvrniť obtiažne tvarovaten vlysky s ostrými ohybovými hranami z hliníku, duralu, mkk i nerezov ocele.

Vhodným tvarom lisovacieho náradia môžeme lisovať aj diely s uzavretm lemom (obr. 38).



Obr. 38 – príklad lisovania dielov s uzavretm lemom

Výhody :

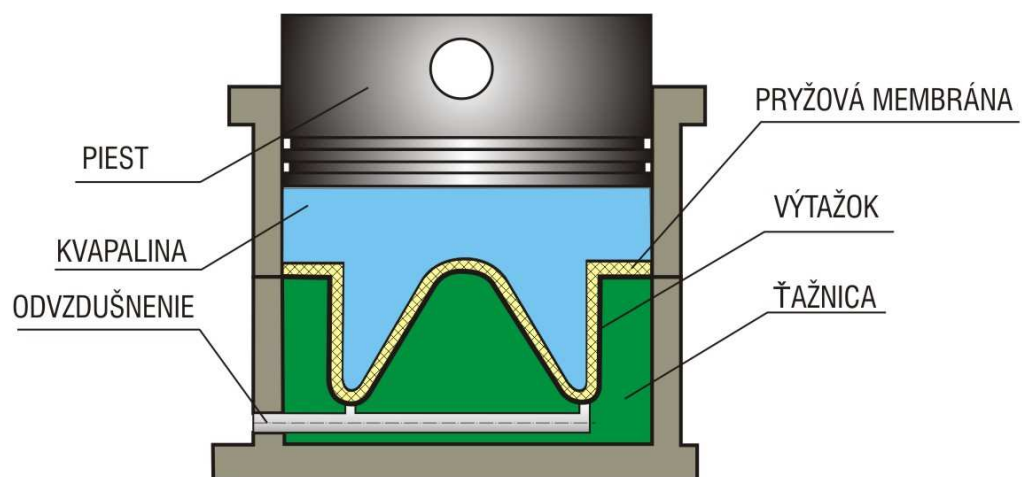
- možnosť tvárnenia tvarovo zložitých dielov
- vzhľadom k pomerne veľkej ploche pracovného stola môžeme tvrniť rozmerovo včšie diely alebo niekoľko dielov naraz
- rovnako ako u predchdzajcch metód môžeme ťanky vyrobiť z ľahko obrobitench materiálov

Nevýhody :

- vysok zriaďovacia cena lisu, vysok cena pryžového vaku
- pomerne malý počet pracovných cyklov za hodinu

#### 4.4.2 Metóda FLUIDFORM

U tejto metódy tvárnenia rovnako ako pri metóde VERNON – WHEELON sa tu tiež využíva tlakov kvapalina v komore uzavretej pryžovou membránou. Princíp metódy je obdobn, ale tlak v kvapaline nie je dosiahnut ťerpadlom, ale priamo tlakom piestu na kvapalinu v tlakovej komore (obr.39).

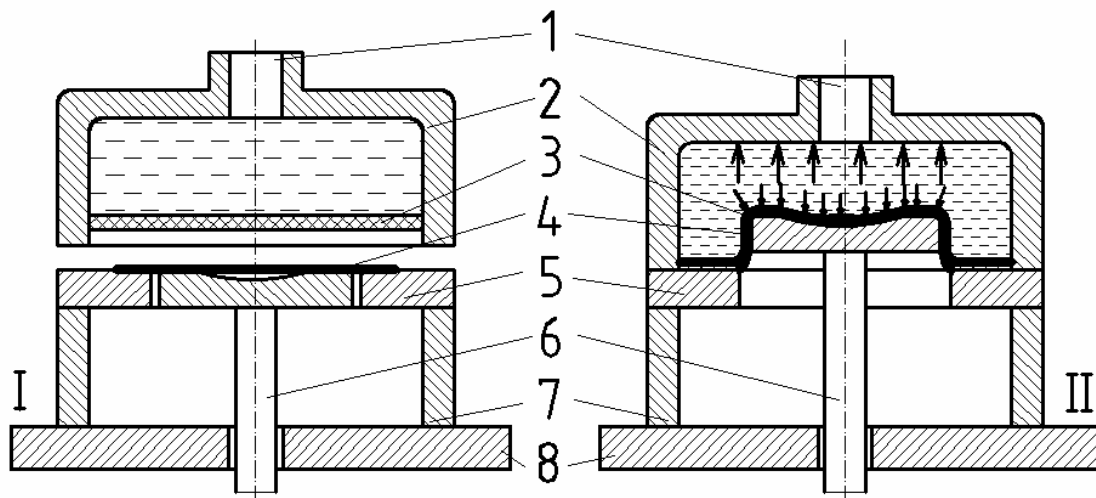


Obr. 39 – ťahanie metódou FLUIDFORM

Pri tomto ťahaní môžeme v tlakovej komore dosiahnuť tlaku až 150 MPa (špeciálne lisu Quintus ASEA), čo je výhodou tejto metódy a umožňuje výrobu veľmi presných výťazkov a tvarovo komplikovaných dielov opatrených lokálnymi rebrami.

#### 4.4.3 Metóda HYDROFORM [7]

Pri tomto spôsobe ťahania je pryžový vankúš nahradený tlakovou komorou, ktorá je uzavretá pryžovou membránou (3) o hrúbke asi 25 mm. Táto metóda sa predovšetkým líši od metódy MARFORM tým, že je tu použitý pohyblivý ťažník (6), ale pridržiavacia doska (5) je nehybná. Pohybom ťažníka sa prístrih materiálu tiahne pôsobením tlaku oleja na piest. V tlakovej komore uzavretej pryžovou membránou pôsobí pri ťahaní tlak okolo 60 MPa a niekedy stúpa až na hodnotu 100 MPa. Po dokončení ťahania sa horná časť ťahadla zdvihne, ťažník sa zasunie dole a výťazok zostane na pridržiavacej doske.



1 – otvor pre reguláciu tlaku v komore, 2 – tlaková komora, 3 – pryžová membrána, 4 – prístrih, 5 – doska pridržiavača, 6 – pohyblivý ťažník, 7 – operné dosky, 8 – základová doska

Obr. 40 – ťahanie metódou HYDROFORM [7]

Tlak, ktorý pôsobí na membránu, je na počiatku ťahania najnižší a s hĺbkou výťazku sa postupne zväčšuje. Veľkosťou tlaku sa mení aj myslený ťažný polomer ťažnice, ktorý je pri najmenšom tlaku na počiatku ťahania najväčší. Tým sa v tomto kritickom okamžiku ťahania zjednoduší plastická deformácia kovu. To je veľká výhoda pri porovnaní s klasickými oceľovými ťažnicami, kde ťažný polomer počas ťahania zostáva konštantný. Ak je ťažný polomer malý, ťahaný materiál sa trhá, a naopak ak je príliš veľký materiál sa začne zvlňovať. Pri systéme HYDROFORM môžeme kontrolou tlaku dosiahnuť plynulú zmenu ťahaného polomeru a tým sa tak prispôbiť meniacim sa podmienkam v priebehu ťahania.

Výhody :

- zníženie počtu ťahaných operácií (vrátane prípadného medzioperačného žihania)
- úspora zriaďovacích nákladov na ťahadlá, vzhľadom ku klasickým ťahadlám je úspora až 95% !
- výťazky majú takmer rovnakú hrúbku materiálu

Nevýhody :

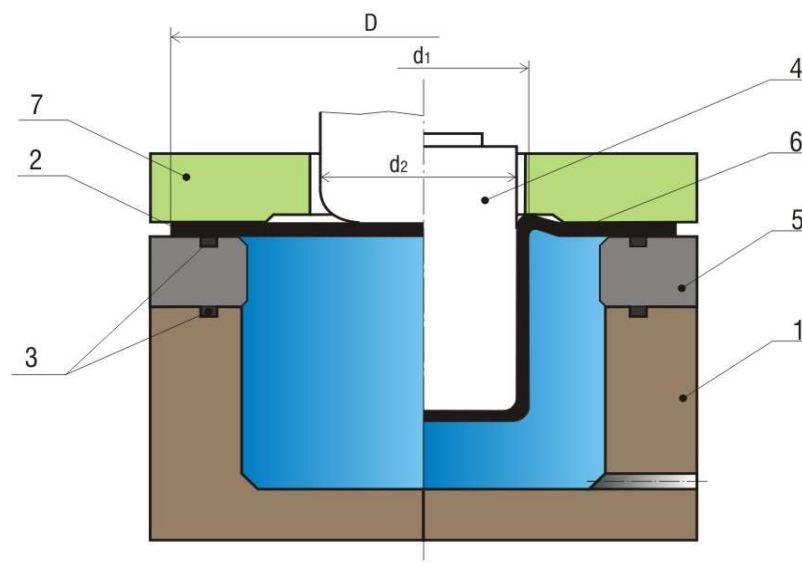
- vysoká zriaďovacia cena lisu

#### 4.4.4 Hydromechanické ťahanie (HMT) [8]

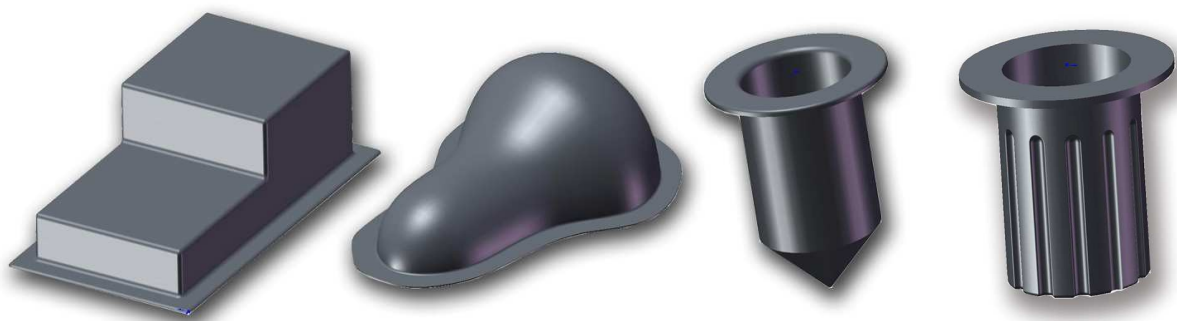
U tohto spôsobu ťahania nie je na rozdiel od predošlých metód Hydroform, Fluidform, Verson – Wheelon, tlaková kvapalina oddelená pryžovou membránou, ale je v styku s tvárneným materiálom.

Hydromechanické ťahanie (HMT) je určené predovšetkým pre hlboké ťahanie a ťahanie členitých súčiastok. Nástroj na hydromechanické ťahanie tvorí ťažná komora ustavená na stole, ťažník uchytený na ťažnom barane. Princíp HMT spočíva v tom, že rovinný prístrih plechu, zovretý medzi horným pridržiavačom a ťažnou komorou, je ťažníkom vťahovaný do ťažnej komory nástroja naplnenej kvapalinou. Tým je v kvapaline vyvolaný tlak, ktorý spôsobí vytvarovanie ťahaného plechu podľa ťažníka (obr.41). Tlak kvapaliny je v priebehu ťahania udržiavaný na požadovanej hodnote riadiacim ventilom.

Plynulá regulácia tlaku v nástroji v závislosti na zdvihu barana umožňuje široké technologické využitie. Môžeme ťahať súčiastky valcového tvaru, tvaru komolého kužela, rotačných paraboloidov i súčiastok nerotačných z materiálov ako je oceľ, nerezová oceľ, hliník, meď a pod.



1,5 – ťažná komora, 2 – prístrih, 3 – tesnenie, 4 – ťažník, 5 – protivlna, 7 – pridržiavač  
Obr. 41 - hydromechanické ťahanie [8]



Obr. 42 – príklady výťažkov hydromechanického ťahania [8]

Výhody :

- podstatne priaznivejší ťahový pomer a tým možnosť zníženia počtu ťahových a medziťahacích operácií
- možnosť využitia ťažnej komory pre rôzne druhy podobných výliskov

- priaznivé tvárniace podmienky pri ťahaní – ťažná hrana je vytvorená tlakovou kvapalinou
- podoprenie prístrihu pri ťahaní po celej ploche tlakovou kvapalinou, čo sa prejaví predovšetkým pri kužeľových a parabolických výťazkov, možnosťou prenášať väčšie tvárniace sily a tým zníženie počtu ťahov
- kvalitný povrch výťazkov bez dokončovacích operácií
- rovnomerná hrúbka výliskov s minimálnym stenčením
- dosiahnutie veľkej presnosti výliskov bez nutnosti kalibrovania

Nevýhody :

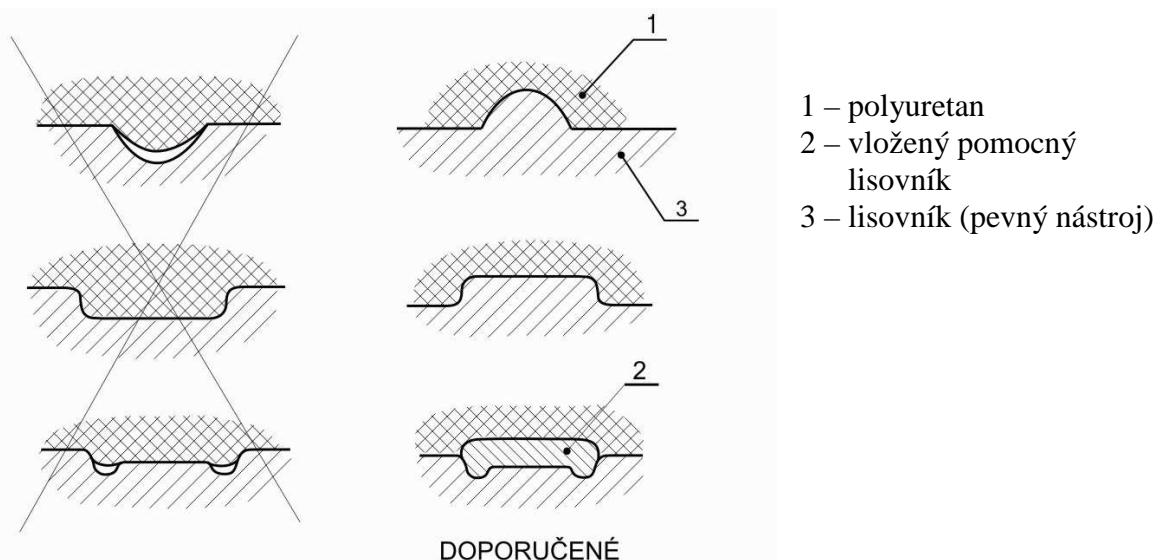
- potreba lisu s veľkou ťažnou hranou a veľkou pridržiavacou silou

#### 4.5 Technologicko – konštrukčná koncepcia nástrojov [10]

Pri konštrukčnom riešení nástroja pre izostatické tvárnenie polyuretanom je nutné rešpektovať niektoré odporúčenia, ktoré súvisia s vlastnosťami uvedeného tvárniaceho média a taktiež s podmienkami izostatického tvárnenia.

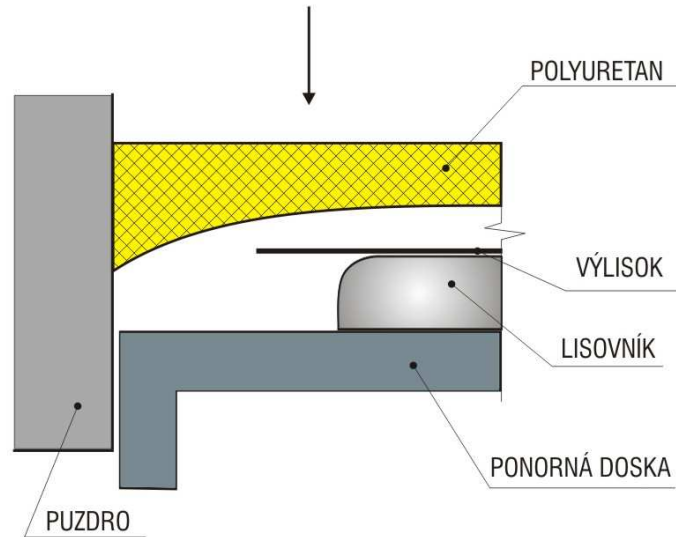
Nižšie budú uvedené niektoré obecné formulované vývody, ktoré boli získane previerkou vlastností polyuretanu.

- a) Polyuretan 18 alebo 25 je relatívne tuhší ako pryž o tvrdosti 65 až 85 Shore, používaná pri technológiách tvárnia ťahaním alebo ohýbaním. K pretvoreniu polyuretanu, k jeho premiestnení do zúžených priestorov lisovacích nástrojov, je za potreby vyšších merných tlakov ako by vyžadovala pryž. Z týchto dôvodov materiál obtiažnejšie zateká do užších prelisov. Zvyšovanie merného tlaku, s cieľom získať presnejšie obrysy výliskov je v mnohých prípadoch neefektívne, pretože vedie k zložitejšej konštrukcii nástrojov.
- b) Ak je blok polyuretanu danej výšky rozdelený na viac častí (dosiek), alebo je prevedený z jedného kusu, tak potom v uzavretom nástroji (napr. púzdre) zostáva jeho tuhosť alebo objemová konštanta nezmenená.
- c) Ak sa znižuje výška polyuretanového bloku, potom sa tento blok ľahšie deformuje to znamená, že pri rovnakom mernom tlaku sa nižší blok viac zpečuje a jeho elastické možnosti sú väčšie.
- d) Polyuretan ťažšie zateká do ostrejších dutín, drážok či prelisov, preto je výhodnejšie ako pevný nástroj použiť lisovník (má vypuklý tvar) ako ťažnicu, ako je uvedené na obr.43. Ale ak je ťažnica nutná môžeme presného dotvarovania dosiahnuť pomocou vloženého lisovníku bez toho aby bolo nutné neekonomicky zvyšovať merný tlak.



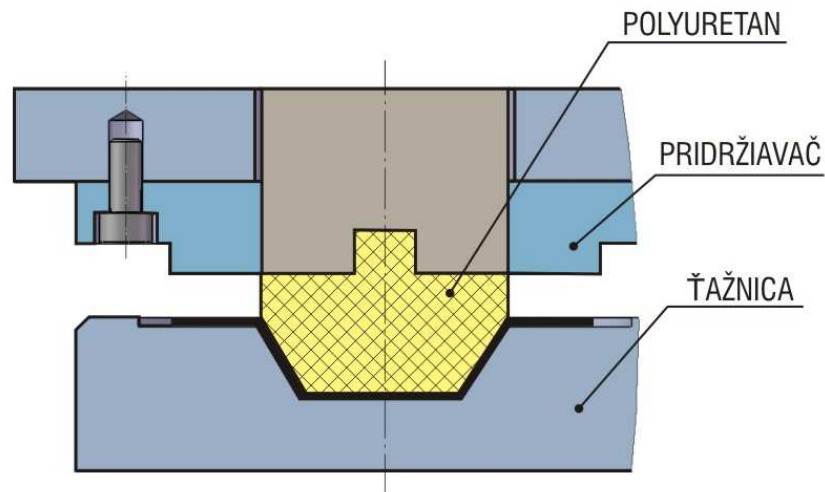
Obr. 43 - príklad vhodnej polohy tvárniaceho dielca s plytkými prelismy [10]

- e) Pri izostatickom tvárnení nepevným nástrojom je treba rozhodnúť, ktoré úseky polotovaru sa majú ťahať v počítačovej fáze, a ktoré majú mať možnosť premiestnenia. Napr. u operácie lemovania sa má najprv ťahať oblasť lemu, čoho môžeme dosiahnuť tvarovaným čelom polyuretánového bloku uzavretého v puzdre (obr.44). Rovinná časť polotovaru má možnosť posuvu.



Obr. 44- znázornenie tvarovaného čela polyuretánového nástroja [10]

- f) Pre tvárnenie hlbších dutín je vhodné použiť tvarovaných ťažníkov, ako znázorňuje obr. 45. Účelný je kovový pridržiavač, pretože súčiniteľ trenia je z oboch strán príruby výlisku rovnaký

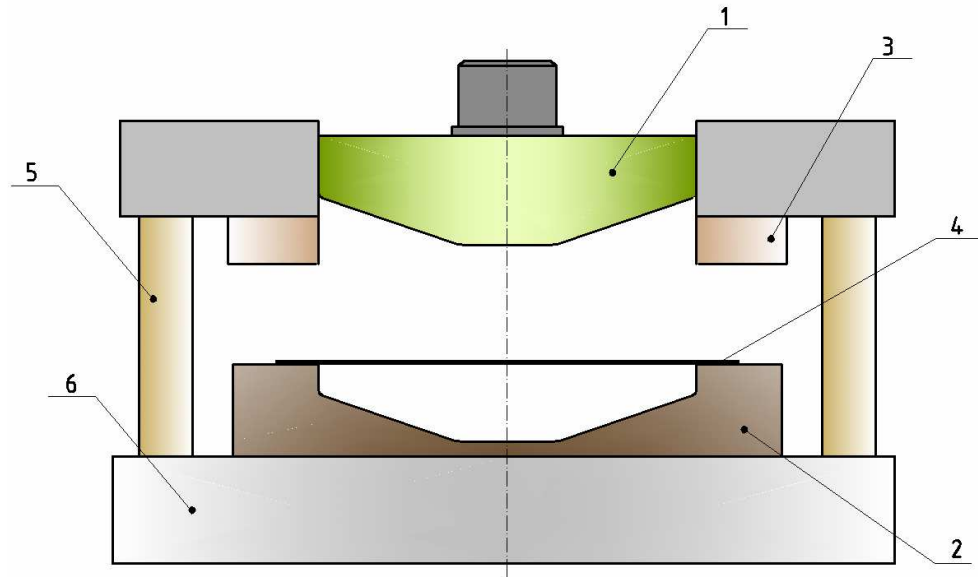


Obr. 45 - schéma nástroja s tvarovaným lisovníkom z polyuretánu [10]

## 5. NÁVRH VÝROBY SÚČIASTKY

### 5.1 Varianty riešenia

- konvenčným (klasickým) spôsobom kde postup výroby by pozostával z 3 základných operácií. Prvá operácia by pozostávala zo samotného ťahania súčiastky (obr.46), v ďalšej operácii by nasledovalo vyvrtanie otvoru  $\Phi 8$  a nakoniec by nasledovalo razenie zvoleného loga



1 – ťažník, 2 – ťažnica, 3 – pridržiavač, 4 – prístrih, 5 – vodiaci stĺpik, 6 – základná doska  
Obr. 46 - výroba súčiastky konvenčným spôsobom (operácia ťahania)



Obr.47 – vrtanie otvoru  $\Phi 8$

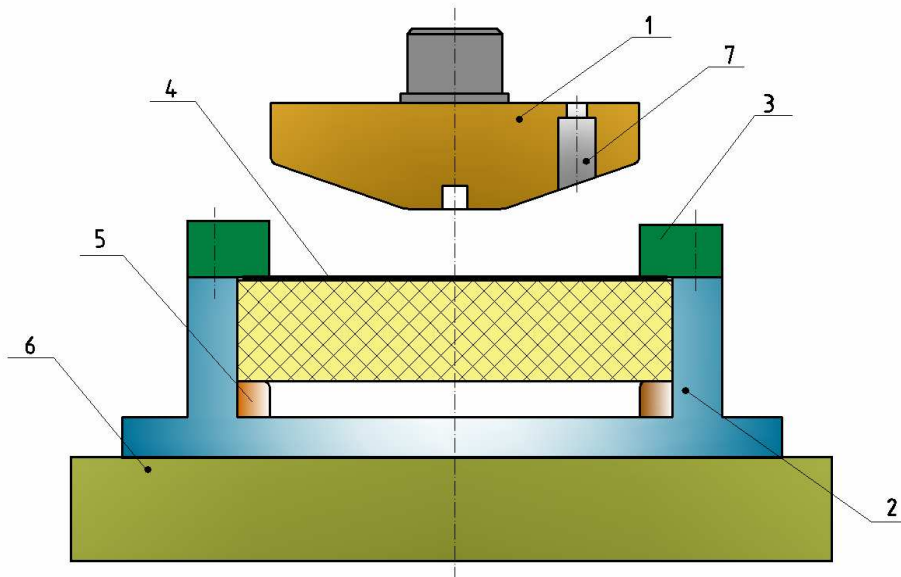


Obr.48 – razenie loga

Technologický postup výroby :

- 005 vložiť prístrih do nástroja
- 010 ťahať a kalibrovať do požadovaného tvaru súčiastky (Obr.46)
- 015 odstrihnúť nadbytočný materiál
- 020 vizuálna kontrola výťažku (tvorba vln, prasklín)
- 025 vložiť do prípravku
- 030 vŕtať otvor  $\Phi 8$  (Obr.47)
- 035 vložiť do nástroja pre razenie
- 040 raziť logo (Obr.48)
- 045 kontrolovať

- nekonvenčným spôsobom teda využitím elastického média na výrobu zadanej súčiastky. Pri tomto spôsobe by bola možnosť zhotoviť operácie ťahania, strihania otvoru a razenia loga na jeden zdvih lisu a to tak, že v prvej fáze by prebiehalo samotné ťahanie, v druhej fáze by sa prestrihla požadovaná diera a nakoniec by prebehlo razenie loga súčiastky a kalibrácia dna.



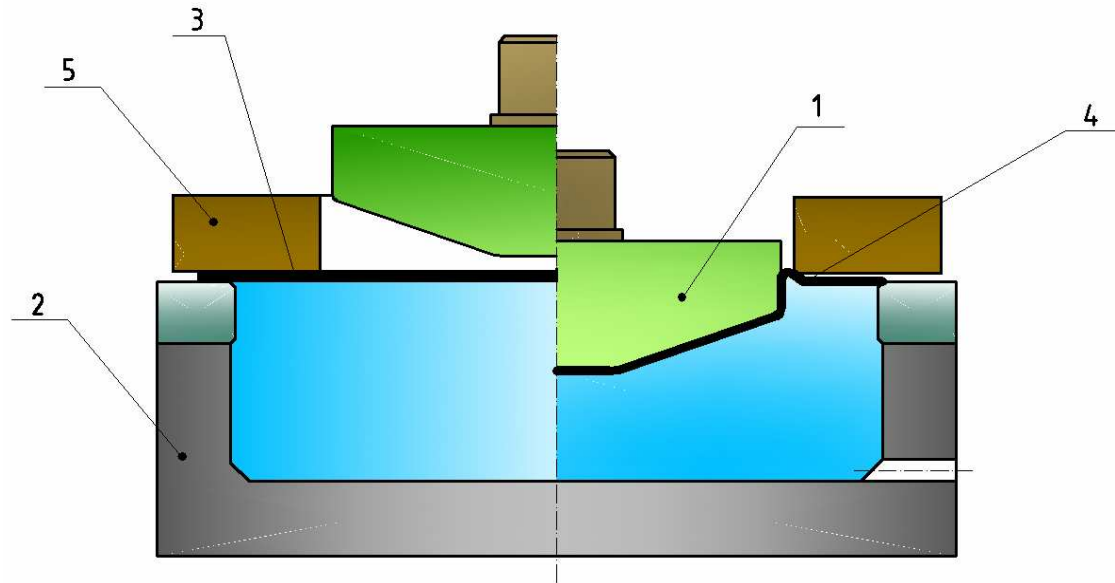
1 – ťažník, 2 – rám, 3 – pridržiavač, 4 – prístrih, 5 – vložka, 6 – zák.doska, 7 - razník

Obr.49 - výroba súčiastky nekonvenčným spôsobom

Technologický postup výroby :

- 005) vložiť prístrih do nástroja
- 010) ťahať a kalibrovať, strihať otvor, raziť logo
- 015) odstrihnúť nadbytočný materiál
- 020) kontrolovať výťažok (tvorba vln, prasklín, rozmerov)

- ďalším spôsobom je možnosť vyrobiť súčiastku s využitím tlaku kvapaliny (obr.50), kde by sme v prvej operácii dostali požadovaný tvar súčiastky, a podobne ako pri prvom spôsobe, by nasledovalo vyvŕtanie resp. prestrihnutie otvoru a nakoniec vyrazenie loga, čiže výroba by tiež pozostávala z troch hlavných operácií.



1 – ťažník, 2 – ťan komora, 3 – polotovar, 4 – protivlna, 5 – pridriava  
Obr.50 – výroba súčiastky pomocou tlaku kvapaliny

Technologick postup výroby :

- 005) vložiť prístrih do nástroja
- 010) ťahať do požadovaného tvaru súčiastky pomocou tlaku kvapaliny (obr.50)
- 015) odstrihnúť nadbytony materiál
- 020) vizuln kontrola vťaku (tvorba vln, prasklín)
- 025) vložiť do prípravku
- 030) vrtať otvor  $\Phi 8$
- 035) vložiť do nástroja pre razenie
- 040) raziť logo
- 045) kontrolovať

## 5.2 Zhodnotenie možnosti výroby a výber vhodnej technológie

Prípad výroby súčiastky konvenčným spôsobom sa javí ako nie príliš správne riešenie a to z niekoľko hlavných dôvodov ako sú :

- asov dôvody, vzhadom na to, že na výrobu budeme potrebovať minimálne 3 nástroje a to nástroj pre ťahanie, prípravok na vyvrtanie otvoru a nástroj na vyrazenie loga
- ekonomick dôvody vzhadom na kusov výrobu vyrábanej súčiastky, kde sú zahrnut náklady na nástroj (obidve hlavne časti nástroja ťažník aj ťažnica vyrbane z ocele), taktiež by bolo treba navrhnuť a zostrojť prípravok na vyvrtanie otvoru, tak isto ako by to bolo aj v prípade razenia

o sa týka tvárnenia pomocou tlaku kvapaliny, podobne ako u predchádzajúceho spôsobu sa nejaví ako správne riešenie a to z dôvodov :

- taktiež nutnosť minimálne 3 nástrojov pre zhotovenie zadanej súčiastky, tm pádom stratu času
- nutnosť pecilnho zariadenia na výrobu súčiastky, tm sa ma na mysli pecilny hydraulick lis na tvárnenie kvapalinou
- náklady na lis a ostatne nástroje

Nakoniec je tu varianta výroby súčiastky s využitím elastického nástroja (pry, polyuretan). Tto varianta je pre nás najvýhodnejšia a to z niekoľko logických dôvodov, ktoré sú:

- zhotovenie súčiastky na jeden zdvih lisu, to znamená že operácie tahania, strihania a razenia budú zhotoven s postupným stlaovanm lisu v univerzálnom nástroji
- odpadajú náklady na zhotovenie prípravku pre vrtanie a nástroja pre razenie
- zhotovenie len jednej funkčnej časti nástroja (tanku), druh bude nahraden pryžou alebo polyuretanom

Pre prehľadnejšie vyhodnotenie uvediem „bodovaci“ tabuľku (tabuľka 6), kde budú bodované všetky tri varianty a tm spôsobom, že každej variante budú ukazovatele (cena, čas a pod.) bodované bodmi od 1 do 5, pričom 1b znamená pre dan variantu ako nevhodne a 5b vhodn.

Tab. 6 – Zhodnotenie jednotlivých technológií

Varianta	cena	obtiaznos	kusov výroba	čas	spolu
<b>Konvenn</b>	2b	2b	2b	1b	<b>9b</b>
<b>Elastick</b>	4b	4b	5b	4b	<b>21b</b>
<b>Kvapalina</b>	1b	1b	1b	2b	<b>5b</b>

Z tohto bodovacieho systému vyplýva, že varianta výroby zadanej súčiastky pomocou elastického nástroja (pryže, polyuretanu) sa javí ako najoptimálnejšie riešenie, preto ju VOLME ako primárnu technológiu zadanej súčiastky.

### 5.3 Výber vhodného tvárniaceho média

Pre výrobu zadanej súčiastky sa nm naskytujú možnosti tvárnenia pryžou, alebo tvárnenia polyuretanom. Pre výber vhodného média budeme vychda z podmienky, i jednotlivé mdim je vlastne schopn prestrihn otvor  $\Phi 8$ , ie :

$$F_S \leq F_{\text{elastomeru max}}$$

- stanovenie strižnej sily na prestrihnutie otvoru  $\Phi 8$

$$F_S = n \cdot S \cdot \tau_{ps} = n \cdot o \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m$$

$$F_S = 1,2 \cdot 25,13 \cdot 1,0 \cdot 8,580$$

$$F_S = 13992,7N$$

kde : S – plocha strihu [mm<sup>2</sup>]  
 o – obvod strihaných ast [mm]  
 t – hrúbka strihaného materiálu [mm]  
 $\tau_{ps}$  – pevnosť v strihu [MPa]  
 n – sinitel otupenia [ - ]

- maximálna sila na prestrihnutie otvoru pryžou

$$F_{p \max} = p_{p \max} \cdot s$$

$$F_{p \max} = 40.50, 24$$

$$F_{p \max} = 2009, 6N$$

kde :  $p_{p \max}$  – max. dosiahnuteľný tlak pryžou [MPa]  
 $s$  – plocha strihaného otvoru [mm<sup>2</sup>]

- maximálna sila na prestrihnutie otvoru polyuretanom

$$F_{U \max} = p_{U \max} \cdot s$$

$$F_{U \max} = 350.50, 24$$

$$F_{U \max} = 17584N$$

kde :  $p_{U \max}$  – max. dosiahnuteľný tlak polyuretanom [MPa]  
 $s$  – plocha strihaného otvoru [mm<sup>2</sup>]

na prestrihnutie otvoru musí byť splnená podmienka:

$$F_s \leq F_{\text{elastomeru max}}$$

pryž : 12063N > 2009,6N – Nevyhovuje

polyuretan : 13992N < 17584 N – Vyhovuje

Konkrétne volím polyuretan typového označenia POLYTAN 15/90, ktorý je vhodný pre strihanie a razenie. Podrobné vlastnosti sú uvedené v Tab. 7.

Tab. 7 – mechanické vlastnosti polyuretanu [16]

Typové označenie	Tvrdosť [°Sh]	Pevnosť v ťahu [N/mm <sup>2</sup> ]	Hustota [g/cm <sup>3</sup> ]	Ťažnosť [%]
<b>POLYTAN 15/65</b>	90	min.35	1,26	min. 580

## 6. TECHNOLOGICK A KONTRUKN VÝPOČTY

### 6.1 Výpočet celkovej tanej sily

#### 1. Sila potrebn na tahanie

$$F_t = F_1 + F_2 = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot t \cdot R_m \cdot C_1 + L \cdot t \cdot R_m \cdot C_2$$

$$F_t = 2 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 1.580 \cdot 0,5 + 280 \cdot 1.580 \cdot 0,25$$

$$F_t = 18221 + 40600 = 58821N$$

kde :  $F_1$  - veľkosť tanej sily pre 4 rohy  
[N]

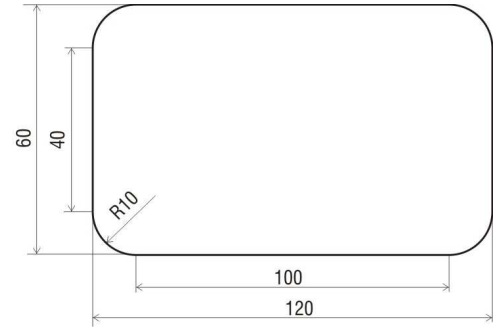
$F_2$  - tan sila pre priame časti výtťažku [N]

$R_m$  - mez pevnosti [MPa]

$L$  - súčet dlok priamych ast stien [mm]

$C_1$  - konštanta (0,5 - 2) [-]

$C_2$  - konštanta (0,2 - 0,3) [-]



#### 2. Sila pridiavaa

$$F_p = S_p \cdot p_{pr} \qquad S = a \cdot b$$

$$F_p = 11200 \cdot 3 \qquad S = 140 \cdot 80$$

$$F_p = 33600N \qquad S = 11300mm^2$$

kde :  $S$  - inn plocha pridiavaa

$p_{pr}$  - mern tlak pridiavaa (podľa tab.4 pre nerezov plech 2 ÷ 5MPa → volm 3MPa)

#### 3. Celkov tan sila

$$F_c = F_t + F_{pr}$$

$$F_c = 58821 + 33600$$

$$F_c = 92421N$$

### 6.2 Stanovenie tanej práce

$$A = \frac{C \cdot F_c \cdot h}{1000}$$

$$A = \frac{0,8 \cdot 92421 \cdot 12}{1000}$$

$$A = 887,24J$$

kde :  $C$  - súčiniteľ zaplnenia diagramu, pre tahanie s kalibráciou dna  $C = 0,8$

$h$  - vntorn výška výtťažku

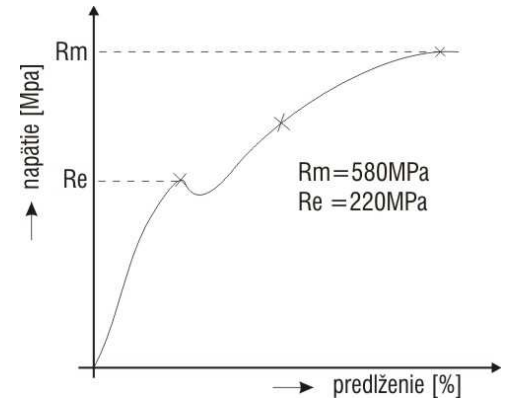
### 6.3 Stanovenie sily pre razenie

Silu potrebnú na vyrazenie loga stanovíme pomocou ťahového diagramu. Aby bolo logo vyrazené hodnota napätia sa musí pohybovať medzi hodnotami medze klzu a medze pevnosti tvárneného materiálu. Pre razenie volíme hodnotu napätia  $\sigma = 350 \text{ MPa}$

$$\sigma = \frac{F}{S_R} \rightarrow F = \sigma \cdot S_R \quad S_R = \pi \cdot R_R^2$$

$$F_R = 350 \cdot 490,87 \quad S_R = \pi \cdot 12,5^2$$

$$F_R = 171805 \text{ N} = 171,8 \text{ kN} \quad S_R = 490,87 \text{ mm}^2$$



kde :  $F_R$  – sila potrebná pre razenie [N]  
 $S_R$  – plocha razníku [ $\text{mm}^2$ ]  
 $\sigma$  – napätie pri razení [MPa]  
 $R_R$  – polomer razníku

*Sila potrebná na premiestnenie polyuretanu -  $F_{pr}$*

a) výpočet modulu pružnosti elastomeru

$$E_E = \left\{ \left[ \left( \frac{^{\circ}Sh}{10} \right)^{\frac{5,7 \cdot ^{\circ}Sh}{1000} + 2} + 10 \right] \cdot K_T^{1,62} + 0,82 \cdot \left( \frac{^{\circ}Sh}{10} \right)^2 + 10 \right\} \cdot 0,1$$

$$E_E = \left\{ \left[ \left( \frac{65}{10} \right)^{\frac{5,7 \cdot 65}{1000} + 2} + 10 \right] \cdot 0,66^{1,62} + 0,82 \cdot \left( \frac{65}{10} \right)^2 + 10 \right\} \cdot 0,1$$

$$E_E = 20,4 \text{ MPa}$$

kde :  $^{\circ}Sh$  – tvrdosť elastomeru  
 $K_T$  – tvarový koeficient

b) Výpočet tvarového koeficientu

$$K_T = \frac{a \cdot b}{2 \cdot (a + b) \cdot h_0}$$

$$K_T = \frac{120 \cdot 60}{2 \cdot (120 + 60) \cdot 30}$$

$$K_T = 0,666$$

$$F_{pr} = \beta \cdot \frac{1}{3} \cdot E_E \cdot S_0 \cdot \left( \frac{1}{\lambda^2} - \lambda \right)$$

$$F_{pr} = 1 \cdot \frac{1}{3} \cdot 20,4 \cdot 7200 \cdot (1 - 0,3)$$

$$F_{pr} = 34266,6 \text{ N}$$

kde :  $E_E$  – modul pružnosti elastomeru  
 $S_0$  – počiatková plocha čelnej pružiny

*Stanovenie veľkosti prístrihu polotovaru*

$$R_c = \sqrt{r_y^2 + 2 \cdot r_y \cdot H - 0,86 \cdot r_a \cdot (r_y + 0,16 \cdot r_a)}$$

$$R_c = \sqrt{10^2 + 2 \cdot 10 \cdot 5 - 0,86 \cdot 3 \cdot (10 + 0,16 \cdot 3)}$$

$$R_c = 13,71 \text{ mm}$$

$$l = H + 0,57 \cdot r_a$$

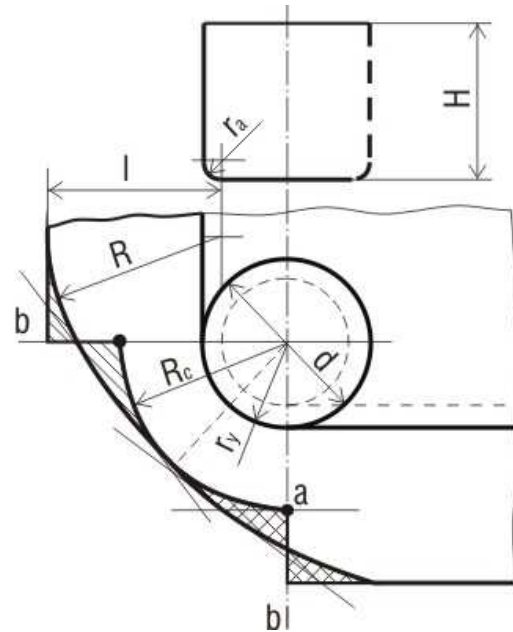
$$l = 5 + 0,57 \cdot 3$$

$$l = 6,71$$

Rozmery súčiastky : 120 x 60 mm

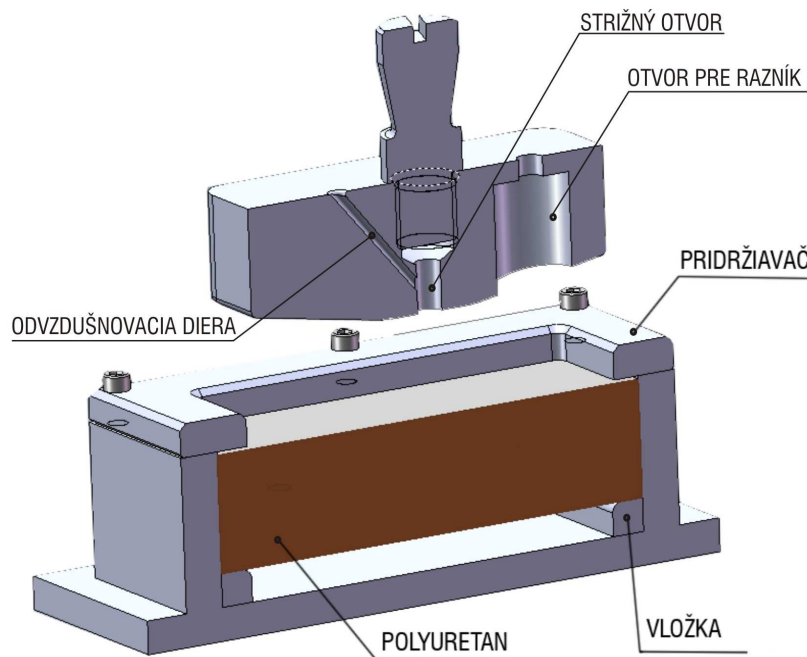
Vypočítaný prístrih : 133,42 x 73,42 mm

Návrh prístrihu : 135 x 75 mm



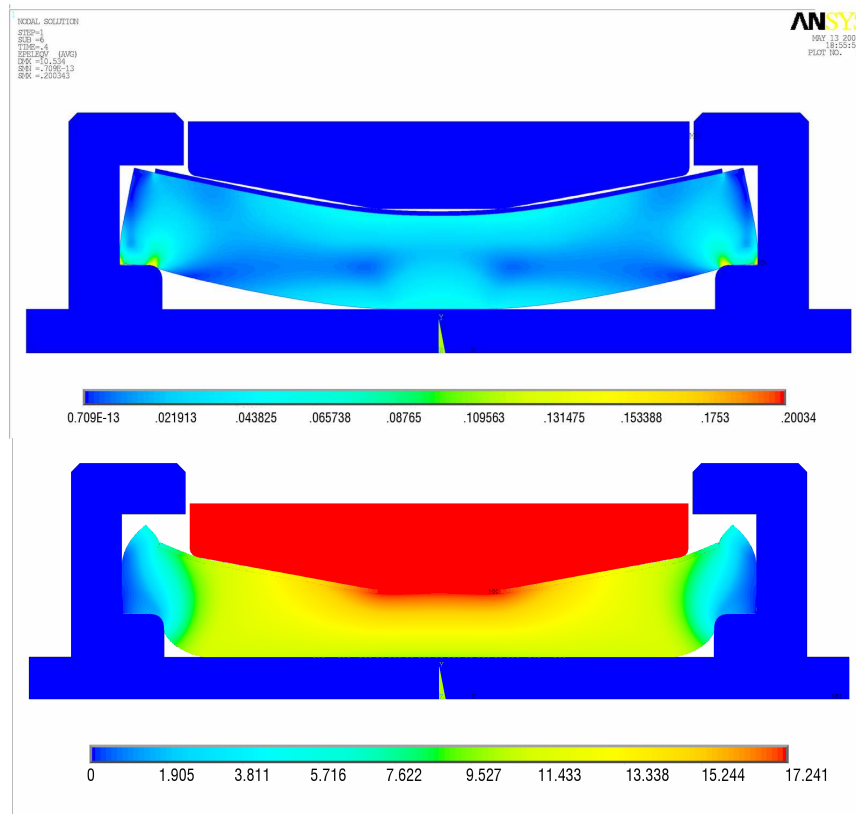
6.4 Návrh nástroja

1. Varianta - v tejto konštrukčnej variante (obr.51) polotovár voľne položíme na polyuretán, z vrchu nato položíme pridržiavač a upevníme pomocou skutkového spoja 6 skrutkami M6. Princíp tejto varianty by bol v tom, že po každom vyrobenom kuse by musel byť pridržiavač odmontovaný. Vzhľadom nato, že sa jedná o kusovú výrobu je táto varianta z tohto hľadiska postačujúca.



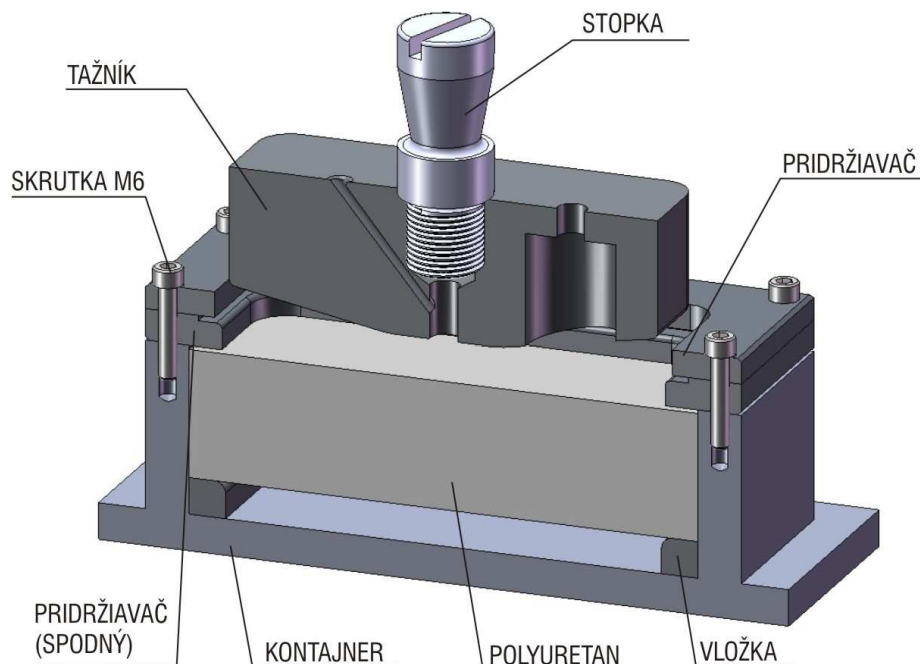
Obr. 51 – varianta 1 návrhu konštrukcie nástroja

Ako však vidíme na obr.52 pridržiavač neplnil svoju úlohu. Ďalším problémom je, že tlak polyuretánu nebol postačujúci aby ohol konce polotovaru do požadovaného tvaru. Na hornom obrázku je na farebnej osi znázornená deformácia polyuretánu a na spodnom obrázku hĺbka stlačenia.

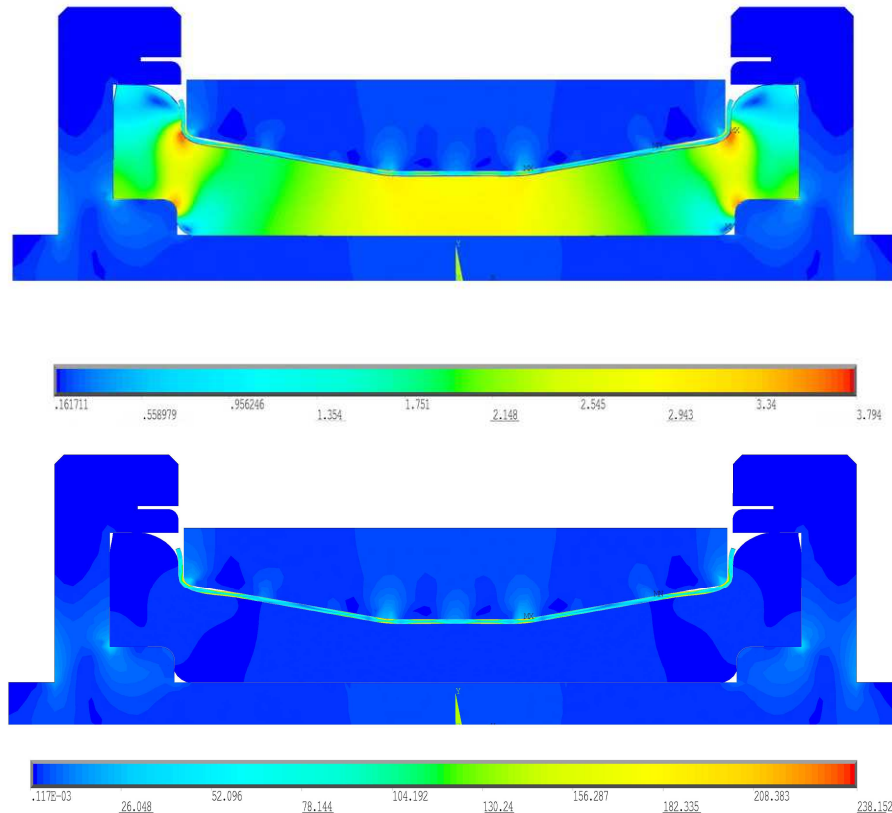


Obr. 52 – simulácie tvárniaceho procesu varianty 1

2. *Varianta* - Jej konštrukčné prevedenie je podobné ako v prvej variante s tým rozdielom, že pridržiavač je vyrobený z dvoch kusov, a na spodnom kuse je vyfrézovaná drážka, na ktorej bude položený polotovár. V tomto konštrukčnom riešení je pridržiavač uchytený pomocou siedmich skrutiek M6. Avšak môže sa to riešiť aj iným spôsobom, napr. pomocou rýchlopínacích prvkov.



Obr. 53 - varianta 2 návrhu konštrukcie nástroja.



Obr. 54 - simulácie tvárniaceho procesu varianty 2

Ako vidíme na obr.54, kde hornom obrázku je zobrazen tlak v polyuretane a na dolnom obrázku je zobrazen napätie v tvárnenom plechu. Pomocou tejto konštrukčnej varianty sa nám podarilo doceliť tvár vyžadovan tvar sistky. Keďže tvrnen plech sa dostal hlboko pod úroveň pridržiavača (anice) mohlo by sa stae pri pohybe lisu spt by sa nm polotovár mohol zaseknt o hranu pridržiavača. Preto by bolo nutne pred spätným pohybom lisu uvonit skrutky pridržiavača, aby sa nm výtťažok nedeformoval, alebo to rieit inou konštrukčnou variantou. Podobne ako v predchádzajúcom prípade, uchytenie pridržiavača môže byt rieene inak ako skrutkami. Ak je to rieene skrutkami treba vypoita, i skrutky vydržia tlak, ktory bude na ne pri tvrneni psobit.

#### Vypoet napt skrutiek M6 triedy 8G

Podla normy je max. dovolen predpätie skrutky M6 = 9290N,

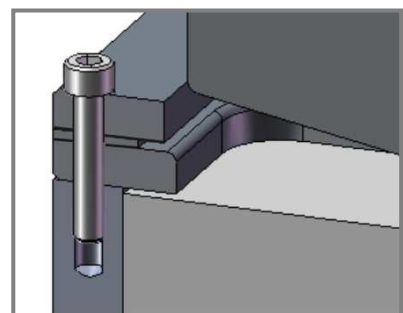
an sila – 58821N

počet skrutiek – 7 ks

silna na jednu skrutku –  $58821/7 = 8403$  N

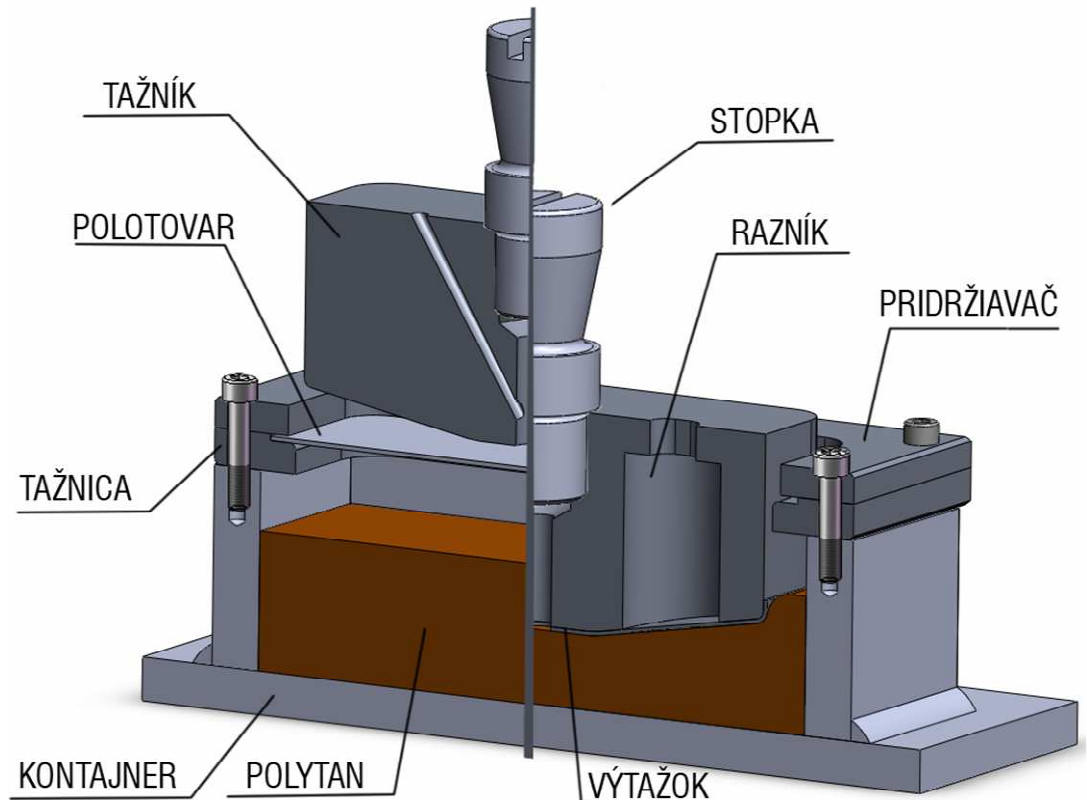
$8403 < 9290$  Vyhovuje

3.Varianta – Je tak isto rieen ako varianta 2 s tým rozdielom, že na spodnej časti pridržiavača nie je vyfrézovaná drážka, ale je medzi tieto dve časti vloen podložka, ktor môže mať rzn hrúbku. Zlei od hrúbky tvárneného materiálu



Obr. 55 – varianta 3

4. Varianta – je obdobou varianty 2, s tím rozdílem, že nie sú použité vložky (obr.56), to znamená že polyuretan je položený na základnej doske. Výška polyuretanu je 35mm, to znamená, že medzi ťažnicou a polyuretanom vznikne medzera 15 mm. Význam tejto medzery je v tom, že pri spätnom pohybe barana sa vlastne výťahok zotrie o spodnú hranu ťažnicu a spadne na polyuretan. Keďže výška medzery je väčšia ako výška výťahku na výrobok tým pádom nebudú pôsobiť žiadne sily. Pridržiavač môže byť aj v tomto prípade uchytený pomocou skrutiek alebo iných rýchlopínacích prvkov. Ťažná medzera je zvolená 1,3 násobok hrúbky materiálu, čiže 1,3 mm.



Obr. 56 – varianta 4 návrhu konštrukcie nástroja

#### Zhodnotenie konštrukčných variánt

Pri navrhovaní konštrukčných variánt bola hlavným ukazovateľom cena nástroja. Tomu odpovedajú jednotlivé varianty. Zamerali sme sa skôr na jednoduchosť výroby nástroja, ako na čas výroby zadanej súčiastky. Preto sa varianty môžu zdať ako nie najoptimálnejšie riešenia, ale vzhľadom na kusovú výrobu súčiastky sú úplne postačujúce.

*Poznámka* : Výkresová dokumentácia bude zhotovená pre variantu 4.

## 6.5 Návrh lisu [18]

Podľa maximálnej tvárniacej sily bol navrhnutý hydraulický lis s maximálnou tvárniacou silou 400 kN

Jedná sa o univerzálny hydraulický lis typu CUPS – D40



Obr. 57 – hydraulický lis

Hlavné technické parametre lisu:

rozmery:	670 x 650 x 1683 mm
hmotnosť :	1480 kg
nominálna sila	400 kN
nominálny tlak	23MPa
zdvih barana	250 mm
upínacia plocha stola	480 x 600 mm
upínacia plocha barana	250 x 470 mm
výkon hlavného elektromotora	5,5 kW
hlučnosť	max. 85dBA
rýchlosť barana	55/35/20 mm/s

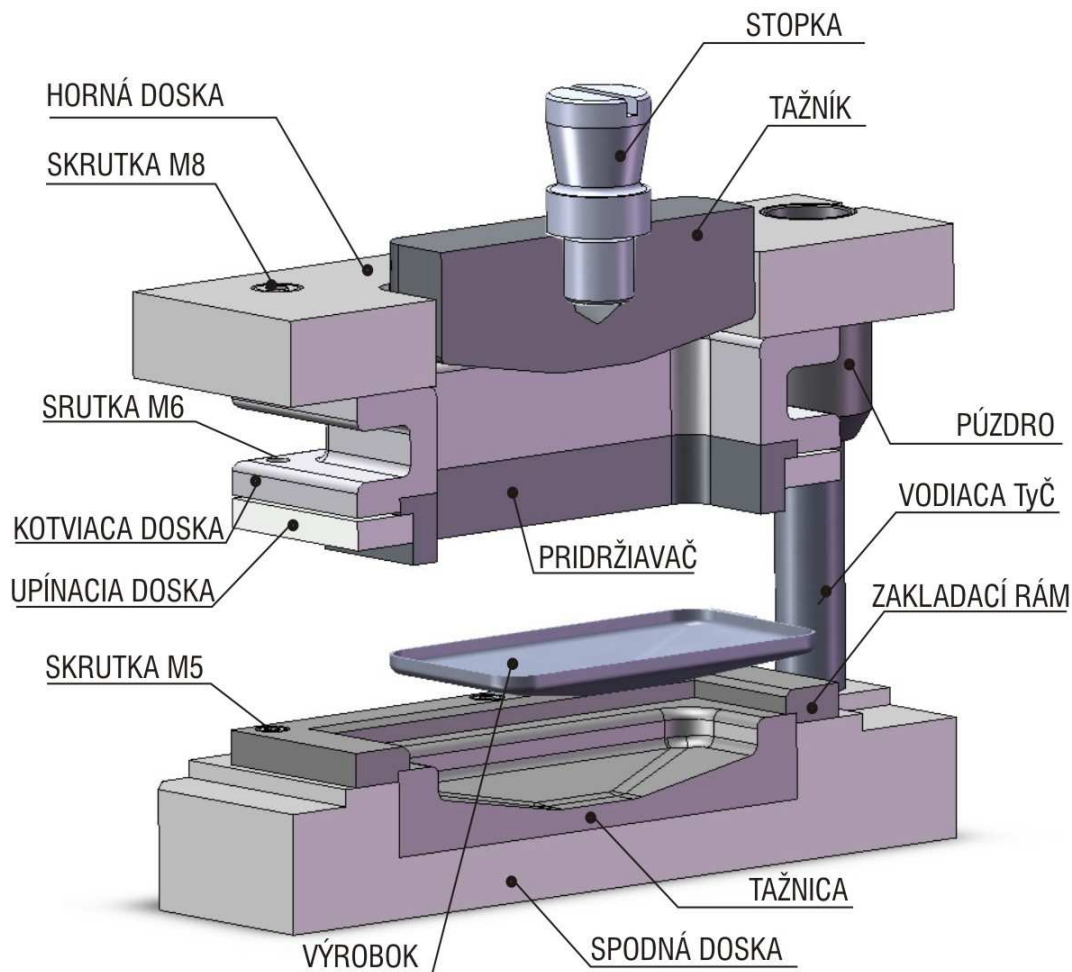
## 7. EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

Ekonomické zhodnotenie je veľmi dôležitou časťou technického riešenia pri navrhovaní nástroja. Bez tohto riešenia nie je možné objektívne posúdiť vhodnosť navrhovaného nástroja a jeho realizácie.

Budeme sa zaoberať nákladmi na výrobu jedného kusu zadanej súčiastky a nákladmi na nástroj pri použití dvoch rôznych technológií a to :

- a) konvenčnou technológiou
- b) nekonvenčnou technológiou

a) náklady na nástroj pri použití konvenčnej technológie –  $N_K$



Obr. 58 – nástroj pre tvárnenie konvenčnou technológiou.

Náklady na nakupované dielce -  $N_{KND}$

dielce	materiál	Cena za 1ks	Počet kusov	Cena celkom [Kč]
Skrutka M8	12 050.6	1.50,-	6	9,-
Skrutka M6	12 050.6	1,-	6	6,-
Skrutka M5	12050.6	1,-	6	6,-
Vodiaca tyč	14 220.2	80,-	2	160,-
Vodiace puzdro	14 220.2	120,-	2	240,-
Stopka	11 600	305,-	1	305,-
<b>Spolu</b>				<b>726,-</b>

Náklady na vyrábané dielce -  $N_{KVD}$

dielce	materiál	Čistá hmotnosť [kg]	Hmotnosť polotovaru [kg]	Cena za 1kg polotovaru [Kč]	Cena polotovaru [Kč]	Cena výroby* [Kč]	Cena celkom [Kč]
Ťažník	19436.3	2	2,8	70,-	196,-	1250,-	996,-
Ťažnica	19436.3	1,9	2,7	70,-	189,-	1050,-	989,-
Zakladací rám	11600	0,61	1,6	35,-	56,-	790,-	606,-
Spodná doska	11500	8,23	11,1	19,-	211,-	1300,-	1061,-
Horná doska	11500	4,9	6,9	19,-	131,-	1450,-	1081,-
Upínacia doska	11523	0,58	1,35	22,-	30,-	750,-	580,-
Kotviaca doska	11523	2,2	5,8	22,-	128,-	1750,-	1478,-
Pridžiavač	11600	0,8	1,4	23,-	32,-	850,-	582,-
<b>Spolu</b>					<b>973,-</b>	<b>9190,-</b>	<b>10163,-</b>

\* v cene sú zahrnuté mzdové aj réžijné náklady

Celkové náklady na nástroj -  $N_K$

$$N_K = N_{KND} + N_{KVD}$$

$$N_K = 726 + 10163$$

$$N_K = 10889 \text{ Kč}$$

*Poznámka:* k tejto sume treba ešte pripočítať náklady na prípravok na vŕtanie otvoru, čo činí zhruba 1000Kč a taktiež nástroj pre operáciu razenia loga, ktorého cena je zhruba 3000Kč. Celková cena pre danú technológiu je  $N_k = 14889 \text{ Kč}$ .

Náklady na výrobu konvenčnou technológiou pri dávke 200ks/rok - PK

I) náklady na materiál

$$PK_{\text{mater}} = S_{\text{mat}} \cdot C_M \cdot n$$

$$PK_{\text{mater}} = 0,12 \cdot 85 \cdot 200$$

$$PK_{\text{mater}} = 2040 \text{ Kč}$$

kde :  $n$  – počet kusov  
 $S_{\text{mat}}$  – spotreba materiálu [kg/ks]  
 $C_M$  – cena materiálu [Kč/kg]

II) mzdové náklady

$$PK_{\text{Mzdy}} = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4) \cdot M_t \cdot n$$

$$PK_{\text{Mzdy}} = (0,016 + 0,0083 + 0,016 + 0,05) \cdot 120 \cdot 200$$

$$PK_{\text{Mzdy}} = 2200 \text{ Kč}$$

kde :  $t_1, t_2$  – časy potrebné pre ťahanie [hod]  
 $t_3$  – čas potrebný na vyvítanie otvoru [hod]  
 $t_4$  – čas potrebný pre razenie [hod]  
 $M_t$  – hodinová mzda [Kč/hod]

$$PK = PK_{\text{mater}} + PK_{\text{Mzdy}}$$

$$PK = 2040 + 2200$$

$$PK = 4240 \text{ Kč}$$

*Celkové náklady pri výrobe 200ks konvenčnou technológiou*

$$N_{CK} = PK + N_K$$

$$N_{CK} = 4240 + 14889$$

$$N_{CK} = 19129 \text{ Kč}$$

b) náklady na nástroj (obr.56) pri použití nekonvenčnej technológie –  $N_N$

Náklady na nakupované dielce –  $N_{NND}$

dielec	materiál	Cena za 1ks	Počet kusov	Cena celkom [Kč]
Skrutka M6	12 050.6	1,-	7	7,-
Polyuretan	-	280,-	1	280,-
Stopka	11 600	305,-	1	305,-
			<b>Spolu</b>	<b>592,-</b>

Náklady na vyrábané dielce –  $N_{NVD}$

dielec	materiál	Čistá hmotnosť [kg]	Hmotnosť polotovaru [kg]	Cena za 1kg polotovaru [Kč]	Cena polotovaru [Kč]	Cena výroby* [Kč]	Cena celkom [Kč]	
Ťažník	19614.3	1,8	2,8	70,-	196,-	1400,-	1596,-	
Kontajner	11373	4,0	5,0	18,-	90,-	600,-	690,-	
Vložka (2ks)	11320	0,08	0,09	22,-	5,-	50,-	55,-	
Pridržiavač spodný	14220	0,57	1,2	30,-	35,-	750,-	785,-	
Pridržiavač	12020	0,47	1,1	23,-	25,-	700,-	725,-	
					<b>Spolu</b>	<b>351,-</b>	<b>3500,-</b>	<b>3851,-</b>

\* v cene sú zahrnuté mzdové aj režijné náklady

*Celkov náklady na nástroj –  $N_N$*

$$\begin{aligned} N_N &= N_{NND} + N_{NVD} \\ N_N &= 592 + 3851 \\ N_N &= 4443 \text{ K} \end{aligned}$$

*Náklady na výrobu nekonvenčnou technológiou pri dávke 200ks/rok - PN*

I) náklady na materiál

$$PN_{\text{mater}} = 2040 \text{ K}$$

II) mzdové náklady

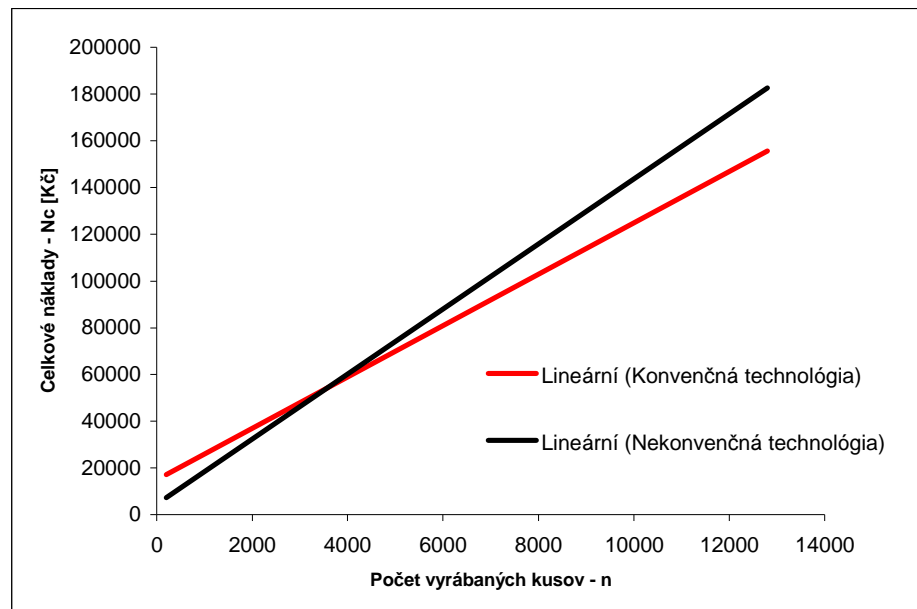
$$\begin{aligned} PN_{\text{Mzdy}} &= (t_1 + t_2) \cdot M_t \cdot n \\ PN_{\text{Mzdy}} &= (0,016+0,1) \cdot 120 \cdot 200 \\ PN_{\text{Mzdy}} &= 2784 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PN &= PN_{\text{mater}} + PN_{\text{Mzdy}} \\ PN &= 2040 + 2784 \\ PN &= 4824 \text{ K} \end{aligned}$$

*Celkov náklady pri výrobe 200ks nekonvenčnou technológiou*

$$\begin{aligned} N_{CN} &= PN + N_N \\ N_{CN} &= 4824 + 4443 \\ N_{CN} &= 9267 \text{ K} \end{aligned}$$

Pre porovnanie jednotlivých technológií uvedieme graf závislosti počtu kusov na celkových nákladoch daných technológií.



Graf 1 – závislosť počtu kusov na celkových nákladoch

Z grafu 1 je jasn, že pri kusovej výrobe zadanej súčiastky je z ekonomického hľadiska pouit nekonvenn technológiu. Rovnovn stav celkových nákladoch nastáva pri dávke 3600 kusov, to znamená že pri uvedenom počte kusov 3600 a väčšie by bolo vhodn pouit technológiu konvenn.

## 8. ZÁVER

Práca je zameran na technológiu tvárnenia ťahaním, kde v prvej časti je stručne zhodnotena technológia konvennho ťahania nesymetrických vtakov. V druhej časti je podrobnejšie rozoberana technológia tvárnenia pomocou elastického média a to hlavne pryže a polyuretanu, zhodnotenie a porovnanie ich chovania pri tvrnen.

Elastomer ako tvárniace mdim je z ekonomického hľadiska pomerne lacny, to je jeden z dôvodov, prečo je v poslednej dobe čoraz častejšie vyuivany. Využitie uplatňuje hlavne pri malých alebo prototypových serich, kde vlastne nahradzuje druhu časť ťvrniaceho nástroja. Avšak pri tvrnen elastomerom sa vyskytujú urite procesne parametre ako sú, deformany odpor, tvarovy suinitel, modul pružnosti elastomeru, premiestňovaný objem elastomeru, ktore su z hľadiska pružného chovania len veľmi ťažko zistitelne. Ich stanovenie vyžaduje zloite experimenty za použitia modernch a vysoko nákladných zariadení.

Ďalej su uvedene technológie vyuivajce na tvárnenie tlak kvapaliny (Hydroform, Verson-Wheelon, HMT). Tieto technológie vyžadujú väčšie náklady na strojne zariadenie ako keby bola pouita konvenna technológia. Veľkou výhodou technológií vyuivajcich kvapalinu je, že pri tvrneni odpada trenie materiálu.

o sa tyka samotného riešenia práce, úlohou bolo navrhnt nástroj a vhodnu technológiu výrobu pre zadan suiastku „zrkadlo“, jedna sa o kusovu výrobu suiastky, preto už na prvy pohľad je viac menej jasne že najvhodnejšou, čím rozumieme najekonomickejou technológiou výroby, by bolo práve využitie elastického média. Pre overenie správnosti voľby technológie bolo navrhnt niekoľko možných technológií výroby a zhodnotil ich bodovacm kritériom (Tab. 6) ktora nm len potvrdila správnosť výberu technológie, teda technológiu vyuivajcu elasticke mdim.

V dalej časti boli prevedene technologicke a kontrukne výpočty, zistila sa sila potrebna na vytiahnutie požadovaného tvaru suiastky, prácu, určili veľkosť prístrihu a navrhli lis vhodny na tvárnenie danej suiastky. Navrhnute boli 4 kontrukne varianty nástroja, kde prva varianta (obr. 52) nesplovala svoj uel a to z toho dôvodu, že tlak v polyuretane nebol dostaujci aby ohol konce polotovarov do požadovaného tvaru a tm pádom ani pridriava nemal žiadnu funkciu. Varianta 2 nm vyhovuje, plech sa vytvrnil do požadovaného tvaru. Avšak pohybujeme sa v teoretickej rovine, v praxi by bolo nutne spravit overovaciu sériu niekoľkých kusov a potom by sme mohli posdit vhodnosť zvoleného konštrukčného riešenia. Tretia varianta pracuje na tom istom princípe ako druha, len je medzi pridriavae vloena podložka, ktora môže mať rôznu hrúbku. Tm pádom môžeme tvrnit plech o různých hrúbkach, ovšem v určitých hraniciach. A nakoniec tvrta varianta, je navrhnta podobne ako varianta 2, s tým rozdielom, že v kontajneri nie su pouite vloky. Tto možnosť je z jednotlivých variánt najoptimálnejšia a boli pre ňu vypracovane vkresove dokumntcie.

V poslednej časti tejto práce bolo ekonomicke zhodnotenie, kde sa zhodnocovala technológia konvenna, spoitala sa cena prípadného nástroja a náklady na výrobu suiastky, kde boli zahrnute mzdove náklady a náklady na materiál. V druhej časti ekonomického zhodnotenia, sa zaoberalo technológiou nekonvenčnou, pouil sa ten isty postup ako pri technológii konvenčnej a z toho dostali celkove náklady pre danu technológiu. Zostrojil sa graf zobrazujúci závislosť počtu kusov na celkových nákladoch. Výsledkom boli 2 krivky, ktore sa pretnju v jednom bode. Tento bod označujeme ako rovnovny bod, kedy celkove náklady pre dany počet kusov su pre obidve technológie rovnake. Z grafu vyplýva že konvennu technológiu by bolo vhodne pouit pre 3600 a viac kusov danej suiastky.

## ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚTY

- [1] NOVOTNÝ, Karel, MACHÁČEK Zdeněk. *Speciální technologie 1 – Plošné a objemové tváření*. 1. vyd. Brno. Nakladatelství VUT. 1986. 168 s. ISBN 55-552/1-86
- [2] Kolektiv autorov: *Lisování*. Ing. Kluna J. 1.vyd. Praha. SNTL. 1971. 544 s. DT 621.979
- [3] BLAŠČÍK, František, POLÁK, Karol. *Teória tvárnenia*. 1. vyd. Bratislava : Alfa, 1985. 376 s. DT 621.97.07.
- [4] ČSN 227301 Lisovací Nástroje. *Tažení dutých valcových výtažku*. Účinnost od 1.11.1969
- [5] STOROŽEV M.V. – POPOV J.A. : *Teória tvárnenia kovov*. Ing. Drozdová M. 1.vyd Bratislava. Alfa. 1978. 488 s.
- [6] BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1983. 216 s.
- [7] TIŠNOVSKÝ, Miroslav, MÁDLE, Luděk. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4
- [8] ŽÁK, Jan, SAMEK, Radko, BUMBÁLEK, Bohumil. *Speciální letecké technologie I*. 1. vyd. Ediční středisko VUT Brno. Brno : Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1990. ISBN 80-214-0128-1. s. 220.
- [9] HOLUB, Josef. *Pryž jako konstrukční materiál*. 1. vyd. Praha : SNTL, Redakce chemické literatury, 1967. 268 s. DT 678.4:621
- [10] SAMEK, Radko.: *Vlastnosti polytanu a konstrukční provedení nástrojů*. In: Sborník VA Brno, řada B, 1989.
- [11] SAMEK, Radko, *Technologické problémy při tváření elastomery*. In: Materiály a technologie ve výrobě speciální techniky, Idet 94. VA Brno,
- [12] DUCHÁČEK, Vratislav, *Polymery, výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 1. vyd. Praha : VŠCHT, 1995. 354 s. ISBN 80-7080-241-3
- [14] ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. *Příručka pro lisování za studena*. 2. vyd. Praha : SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.

### Internetové zdroje :

- [15] FIBRO, [online] [cit. 2008-3-22]  
URL:<[http://www.fibro.de/xdesk\\_neu/ximages/265/1217\\_teilg.pdf](http://www.fibro.de/xdesk_neu/ximages/265/1217_teilg.pdf)>
- [16] VMPLAST s.r.o, [online] [cit. 2008-3-13]  
URL:<<http://www.vmplast.cz/?x=polyuretan-polytan>>
- [17] Materiálová databáza MATWEB, online [cit. 2008-5-2]  
URL:<<http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatID=17573>>
- [18] STROJIMPORT, [online] [cit. 2008-8-5]  
URL:< <http://www.strojimport.cz/segmenty/czech/productframe.html>>

**ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK**

Označenie	Legenda	Jednotka
$^{\circ}\text{Sh}$	tvrdosť elastomeru	[-]
A	ťažnej práca	[J]
$\beta$	súčiniteľ upnutia alebo voľnosti čela	[-]
C	súčiniteľ zaplnenia diagramu	[-]
$C_1$	konštanta	[-]
$C_2$	konštanta	[-]
$C_M$	cena materiálu	[Kč/kg]
D	priemer prístrihu	[mm]
E	modul pružnosti	[MPa]
$E_E$	modul pružnosti elastomeru	[MPa]
$F_1$	veľkosť ťažnej sily pre 4 rohy	[N]
$F_2$	ťažná sila pre priame časti výťažku	[N]
$F_c$	celková ťažná sila	[N]
$F_E$	sila potrebná k premiestneniu polyuretanu	[N]
$F_f$	sila nutná k prekonaniu trecích odporov	[N]
$F_{fd}$	trecia sila na stene výťažku	[N]
$F_{fp}$	trecia sila pod pridržiavačom	[N]
$F_{fr}$	trecia sila na ťažnom polomere	[N]
$F_p$	sila pridržiavača	[N]
$F_{pmax}$	maximálna sila na prestrihnutie otvoru pryžou	[N]
$F_S$	strižná sila	[N]
$F_R$	sila potrebná pre razenie	[N]
$F_t$	ťažná sila	[N]
$F_{tmax}$	sila na utrhnutie dna	[N]
$F_{umax}$	maximálna sila na prestrihnutie otvoru polyuretanom	[N]
$F_{vyh}$	sila vyhadzovača	[N]
h	výška výťažku	[mm]
H	výška zaťaženej pružiny	[mm]
$H_0$	výška nezaťaženej pružiny	[mm]
K	stupeň ťahania	[-]
$k_p$	súčiniteľ určujúci nutnosť použitia pridržiavača	[-]

---

$K_T$	tvarový koeficient	[-]
L	súčet dĺžok priamych častí stien	[mm]
$m_1$	súčiniteľ ťahania	[-]
$M_t$	hodinová mzda	[Kč/hod]
n	súčiniteľ otupenia	[-]
$N_K$	náklady na nástroj pri použití konvenčnej technológie	[Kč]
$N_{KND}$	náklady na nakupované dielce pri použití konvenčnej tech.	[Kč]
$N_{KVD}$	náklady na vyrábané dielce pri použití konvenčnej technológie	[Kč]
$N_N$	náklady na nástroj pri použití nekonvenčnej technológie	[Kč]
$N_{NND}$	náklady na nakupované dielce pri použití nekonvenčnej tech.	[Kč]
$N_{NVD}$	náklady na vyrábané dielce pri použití nekonvenčnej technológie	[Kč]
$PK_{mater}$	náklady na materiál	[Kč]
$PK_{Mzdy}$	mzdové náklady pri použití konvenčnej technológie	[Kč]
PN	náklady na výrobu konvenčnou technológiou	[Kč]
PN	náklady na výrobu nekonvenčnou technológiou	[Kč]
$PN_{Mzdy}$	mzdové náklady pri použití nekonvenčnej technológie	[Kč]
$p_{pmax}$	maximálny dosiahnuteľný tlak pryžou	[MPa]
$p_{pr}$	merný tlak pridržiavača	[MPa]
$p_{Umax}$	max. dosiahnuteľný tlak polyuretanom	[MPa]
q	merný tlak	[MPa]
$R_c$	polomer rohu prístrihu	[mm]
$R_e$	medz klzu	[MPa]
$R_m$	medz pevnosti	[MPa]
$R_R$	polomer razníku	[mm]
S	plocha strihu	[mm <sup>2</sup> ]
S	plocha strihu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_0$	počiatočná plocha čelnej pružiny	[mm <sup>2</sup> ]
$S_1$	zaťažená plocha	[mm <sup>2</sup> ]
$S_2$	nezaťažená plocha	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{mat}$	spotreba materiálu	[kg/ks]
$S_p$	činná plocha pridržiavača	[mm <sup>2</sup> ]
$S_R$	plocha razníku	[mm <sup>2</sup> ]
t	hrúbka strihaného materiálu	[mm]

---

$t_1$	čas potrebný pre ťahanie	[hod]
$t_2$	čas na prípravku súčiastky pred ťahaním	[hod]
$t_3$	čas potrebný na vyvítanie otvoru	[hod]
$t_4$	čas potrebný pre razenie	[hod]
$V$	celkový objem elastomerového bloku	[mm <sup>3</sup> ]
$Z$	materiálová konštanta	[-]
$\alpha$	súčiniteľ zohľadňujúci odpory elastomeru	[-]
$\gamma$	súčiniteľ zohľadňujúci vplyv pôdorysného tvaru	[-]
$\epsilon_1$	počerná deformácia	[%]
$\lambda$	deformačný súčiniteľ	[-]
$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\tau_{ps}$	pevnosť v strihu	[MPa]
$v_e$	premiestňovaný objem elastomeru	[mm <sup>3</sup> ]

## **ZOZNAM PRÍLOH**

- Príloha 1 : Výkres zadanej súčiastky
- Príloha 2 : Dovoľené predpätia skrutiek
- Príloha 3 : Výkres ťažníku
- Príloha 4 : Výkres razníku
- Príloha 5 : Výkres zostavy navrhnutého nástroja