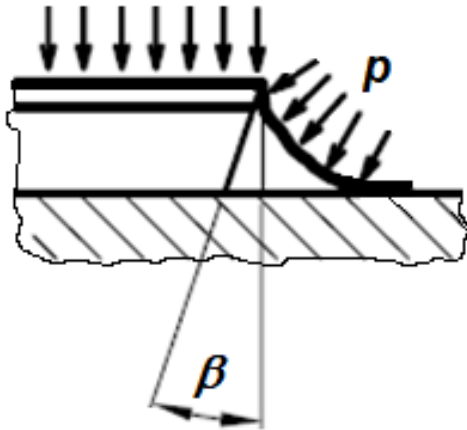


PROGRESÍVNE METÓDY TVÁRNENIA

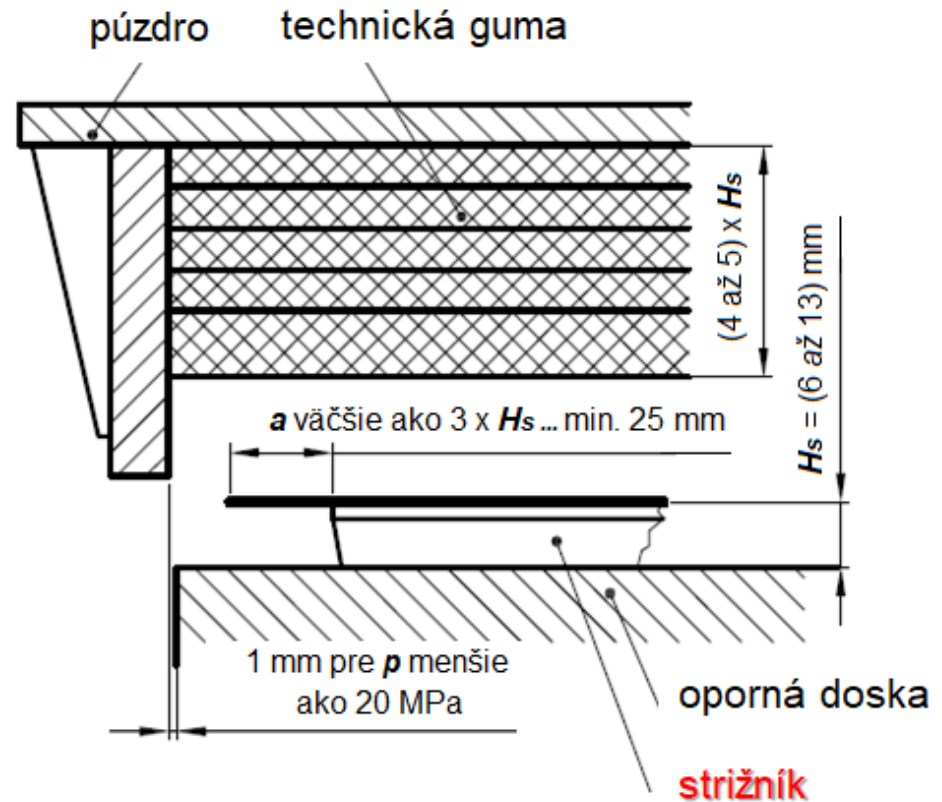
Tvárnenie aplikáciou nepevného prostredia

Strihanie pomocou gummy

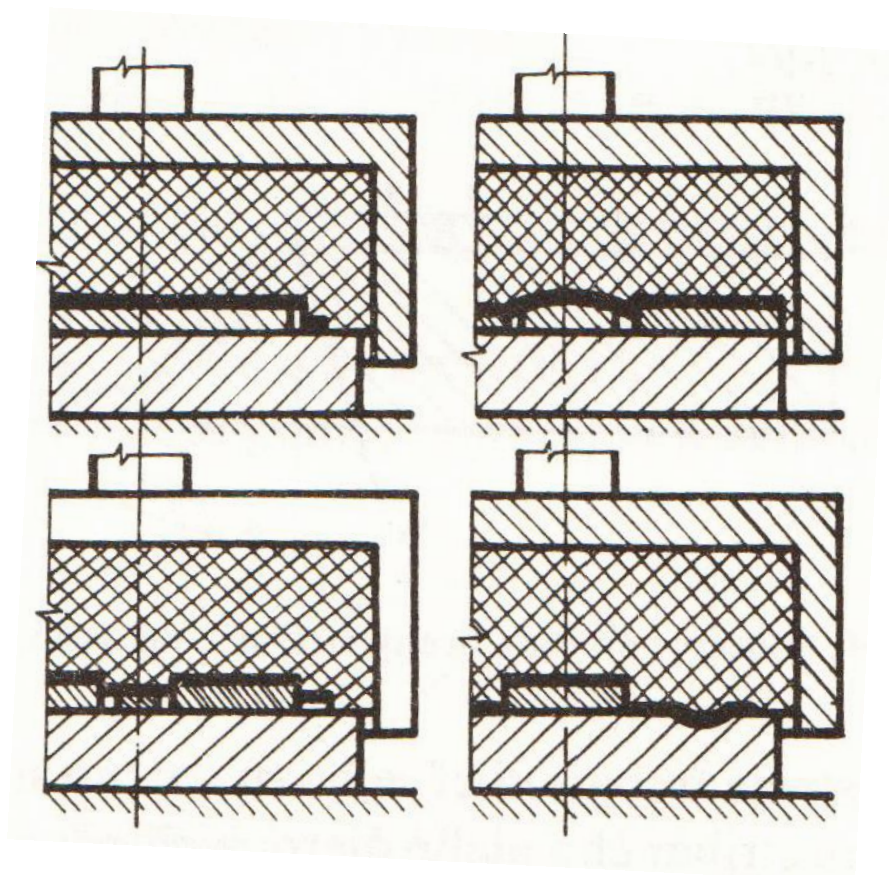


Univerzálny nástroj je púzdro, v ktorom je umiestnený gumový blok zložený zvyčajne z niekoľkých „dosiek“ hrúbky 25 až 30 mm, tvrdosť gummy býva (60)75 až 85(90) °Shore.

Strižník je upevnený na tzv. opornej doske a na jeho čelnej ploche je umiestnený polotovar, centrovaný fixačnými kolíkmi.



Strihanie pomocou gummy



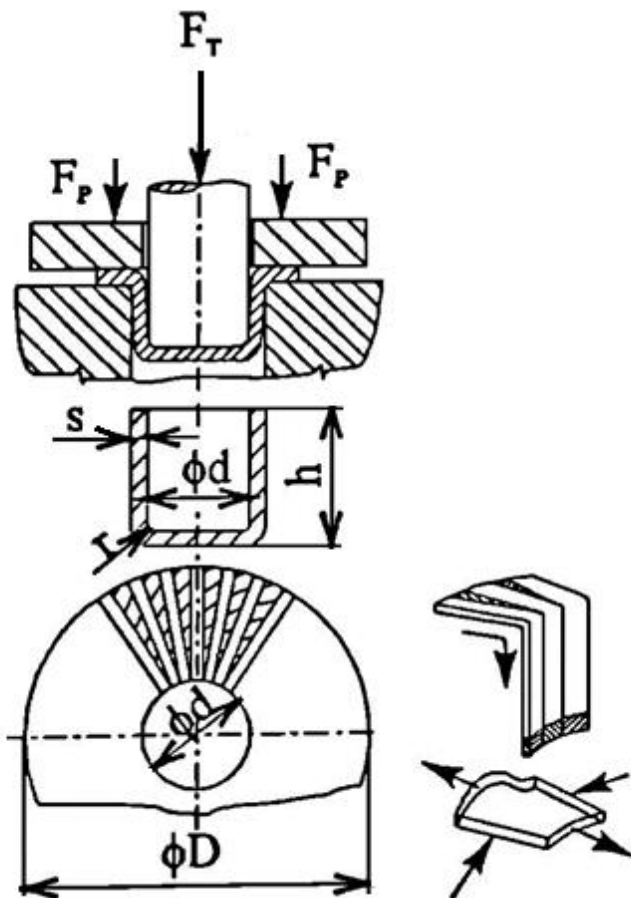
Výhody:

- jednoduché nastavenie nástroja,
- nízka **cena nástroja**,
- **univerzálnosť nástroja**,
- nezvlnenie výstrižky veľkých rozmerov,
- možnosť kombinácie s ohybom či plytkým ťahaním,
- možnosť strihania niekoľkých dielcov na jeden zdvih.

Nevýhody:

- **väčší odpad**,
- relatívne **dlhší výrobný čas**,
- obmedzenie danou hrúbkou plechu,
- nutnosť spresnenia obrysových tvarov frézovaním,
- potreba ťažkých hydraulických lisov,
- rýchle opotrebovanie gummy.

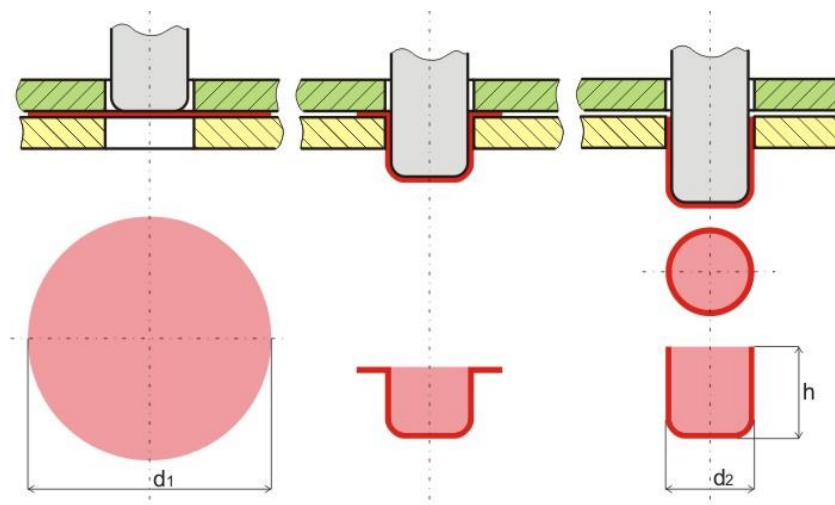
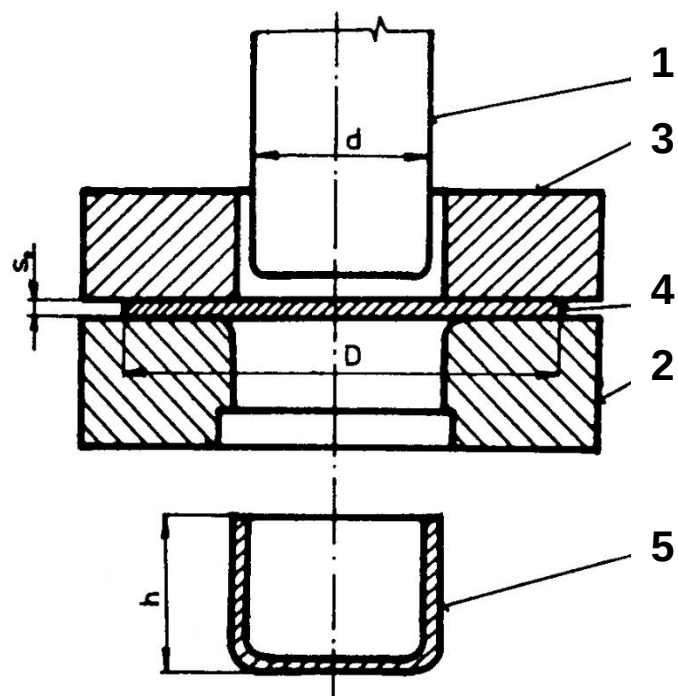
Ťahanie – princíp



Ťahanie valcového výtvarku

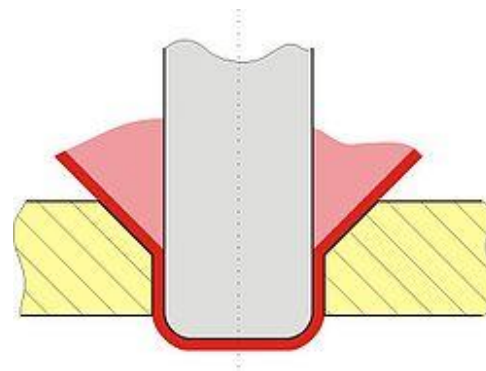
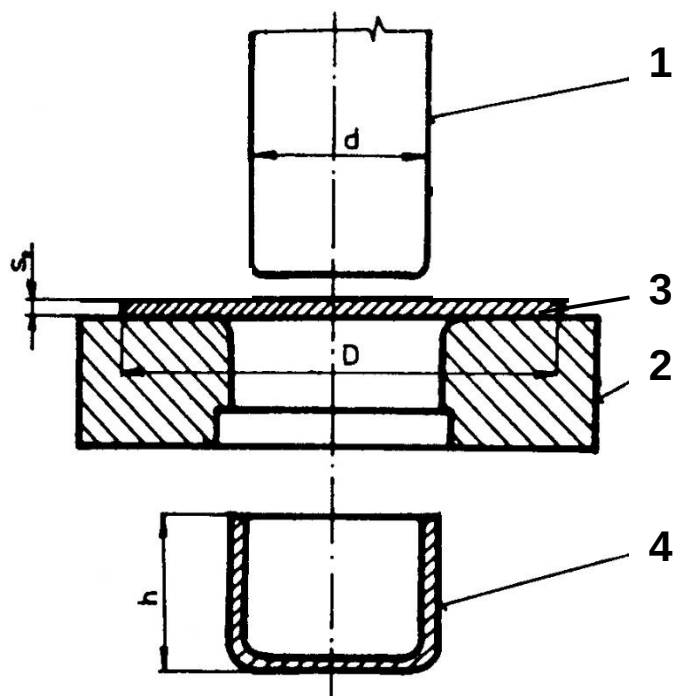
1 – ťažník, 2 – ťažnica, 3 – pridržiavač, 4 – prístrih,
5 – výtvarok

Ťahanie – princíp



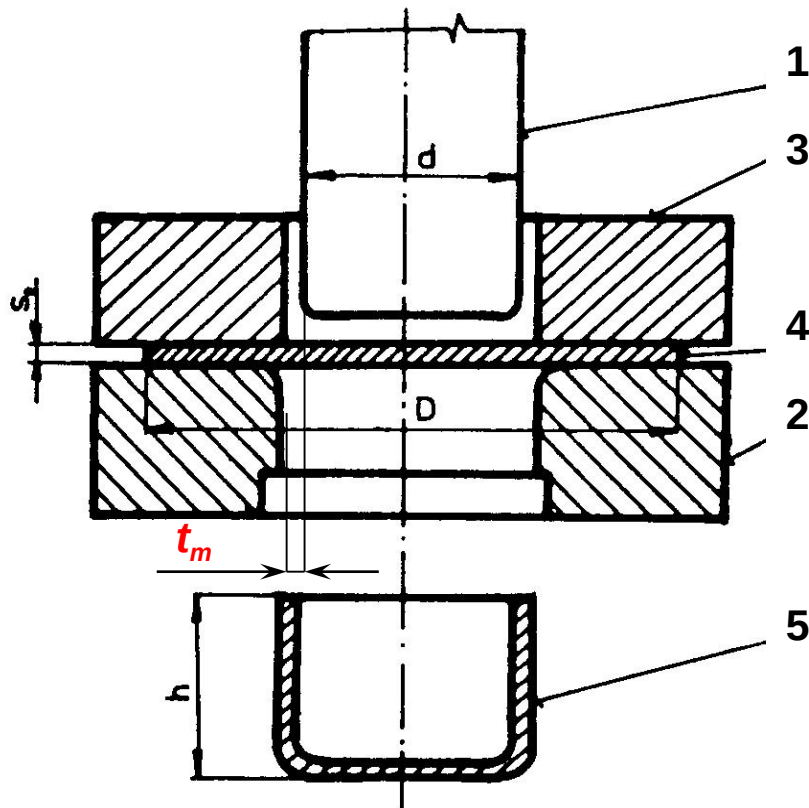
Ťahanie valcového výtvaru s pridržiavačom
1 – ťažník, 2 – ťažnica, 3 – pridržiavač, 4 – prístrih,
5 – výtvarok

Ťahanie – princíp



Ťahanie valcového výtvarku **bez pridržiavača**
1 – ťažník, 2 – ťažnica, 3 – prístrih, 4 – výtvarok

Ťahanie – ťažná medzera



$$t_m = \frac{D_c - d_k}{2}$$

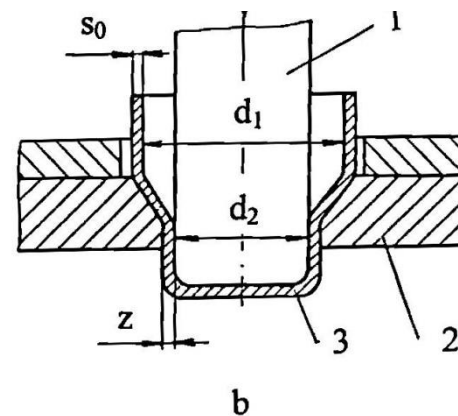
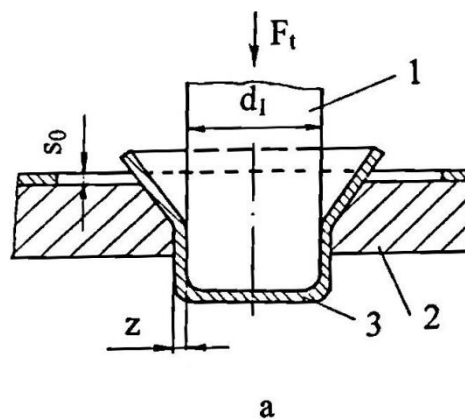
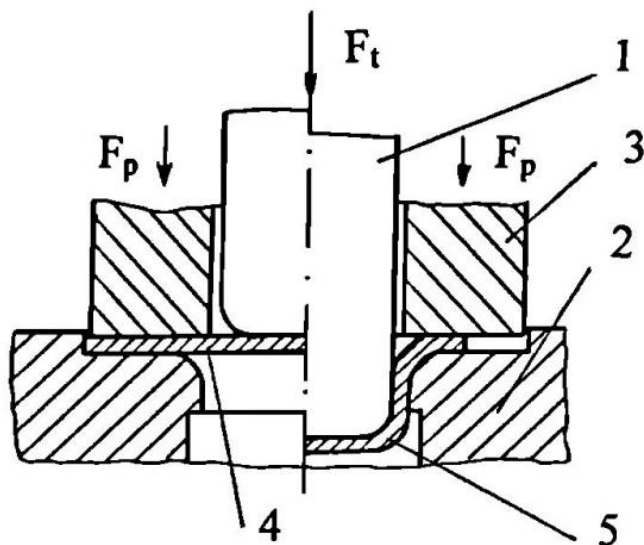
Rotačný výtvarok

$$t_m = 1,2s_0$$

Hranatý výtvarok

$$t_m = (1,15 \text{ až } 1,3)s_0$$

Ťahanie – rozdelenie



**Súčiniteľ
ťahania**

$$m = \frac{d}{D}$$

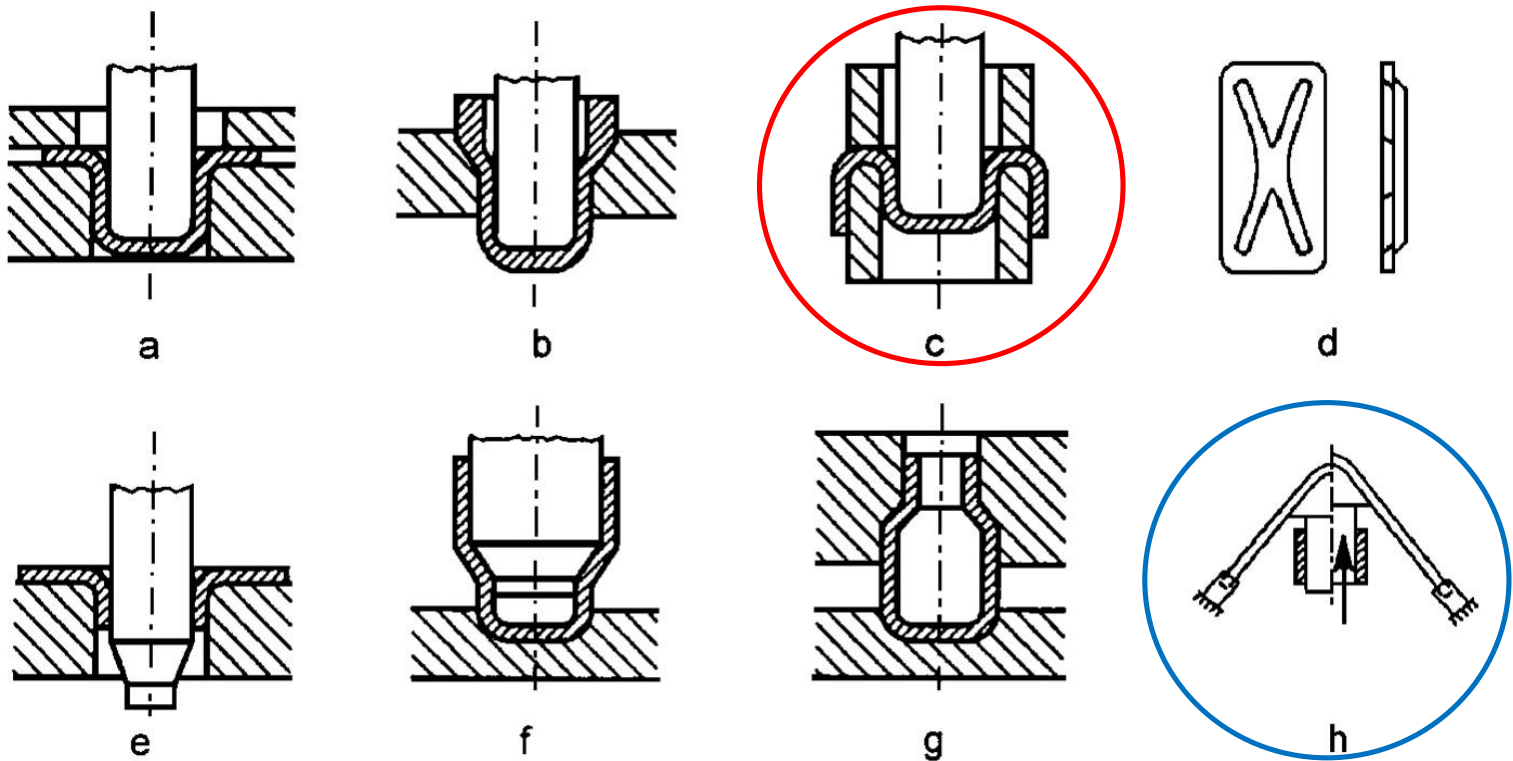
$$m = \frac{d}{D} = \frac{d_1}{D} \frac{d_2}{d_1} \frac{d_3}{d_2} \frac{d_4}{d_3} \dots \frac{d_n}{d_{n-1}} = m_1 m_2 m_3 m_4 \dots m_n$$

**Stupeň
ťahania**

$$K_i = \frac{d_{i-1}}{d_i}$$

$$K_C = K_1 K_2 K_3 \dots K_n$$

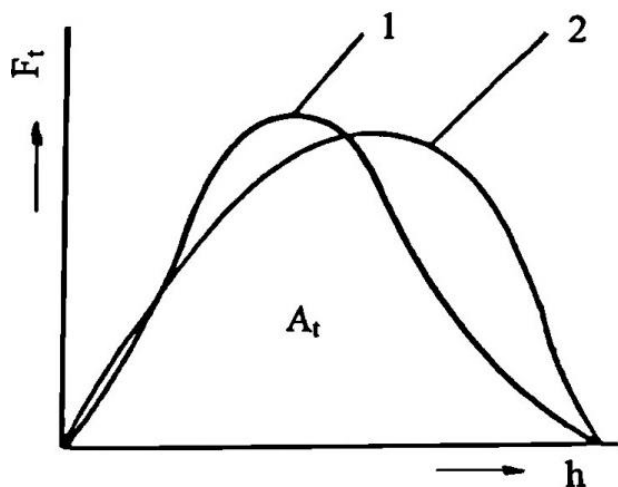
Ťahanie – operácie



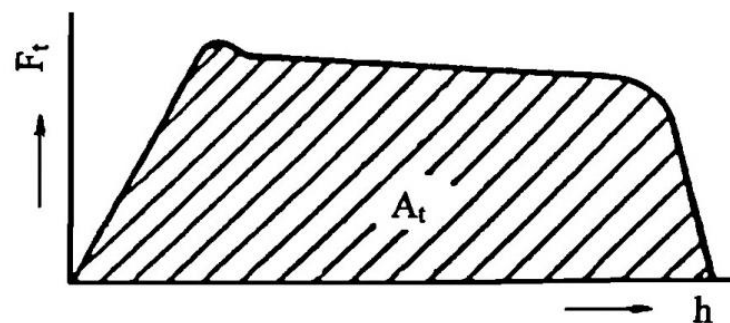
Operácie ťahania

a – jednoduché ťahanie, b – ťahanie s redukciou hrúbky steny, **c – spätné ťahanie**,
d – žliabkovanie, e – preťahovanie, f – rozširovanie, g – zužovanie, **h – natŕahovanie (vypínanie)**

Energo-silové parametre pri ťahaní



a



b

$$F_T = k_t S R_m = k_t (\pi d s_0) R_m$$

$$F_P = p S_P$$

$$F_C = F_T + F_P$$

$$A_T = F_T h \psi$$

$$A_P = F_P h$$

$$A_C = A_T + A_P$$

Tvárnenie nepevným prostredím

Technická guma je aplikovaná v praxi na tvárnenie približne 100 rokov. Našla uplatnenie v leteckom priemysle, hlavne v tridsiatych a päťdesiatych rokoch 20. storočia. Líši sa od klasických konštrukčných materiálov, predovšetkým kovov a ich zliatin, a to napr., že:

- je použiteľná v relatívne **úzkom teplotnom intervale**,
- **vplyv času** na všetky jej vlastnosti je pomerne významný
- mechanické, chemické a dynamické **vlastnosti gummy majú veľké rozptyly hodnôt**.

Tieto vlastnosti sú z hľadiska použitia nevýhodné, však sú vyvážené, napr.:

- vysokou **elasticitou**,
- schopnosťou znášať bez poškodenia relatívne **veľké opakované deformácie**,
- schopnosťou vo veľkej miere **premieňať mechanickú energiu na tepelnú**,
- veľmi **dobrými elektroizolačnými vlastnosťami**,
- možnosťou meniť sa v širokých medziach nie len skladbou zmesi, ale aj tvarom výrobku,
- že dynamicky namáhané dielce nepraskajú náhle, pretože svoje vnútorné „stárnutie“ signalizujú rôznymi sprievodnými javmi (napr. trhlinkami na povrchu),.

Technické možnosti gummy neboli dostačujúce a preto sa ako tvárniace médium začala aplikovať **kvapalina** a **polyuretan**. V poslednom čase sa začínajú aplikovať aj **taveniny nízkotavitelných kovov**.

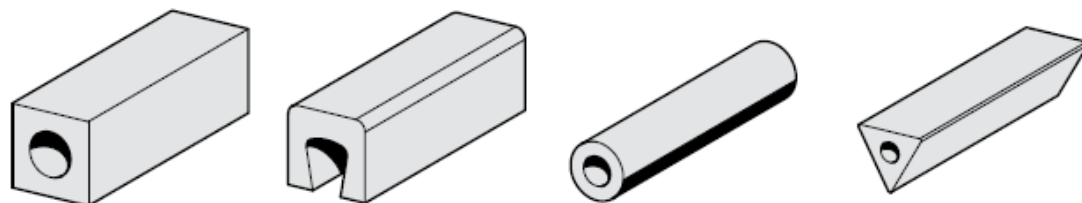
Tvárnenie nepevným prostredím

Guma má oproti polyuretánu značne nižšiu oteruvzdornosť, taktiež šmykovú pevnosť (**6 až 8 krát menšiu ako polyuretan**), a pri lisovaní tlakom vyšším ako 40 až 50 MPa jej životnosť prudko klesá.

Polyuretan umožňuje využívanie vyšších tlakov, pri tvárnení je to okolo 200 MPa, pri operácii kalibrovania sa tieto tlaky môžu pohybovať až do 500 MPa. Polyuretán má vhodnú kombináciu tvrdosti a elasticity pri značnej oteruvzdornosti. Z toho vyplýva, že životnosť polyuretanu je až až 10 krát vyššia ako u technickej gume.

Polyuretany sú silne kryštalické hmoty, pri teplotách okolo 220 °C sa rozkladajú. V porovnaní s polyamidmi majú nižšiu navlhavosť, lepšie elektroizolačné vlastnosti a väčšiu odolnosť voči pôsobeniu vody, kyselín a atmosferického prostredia.

Bloky polyuretanov rôznych tvarov so stredovým otvorom



Tvárnenie nepevným prostredím



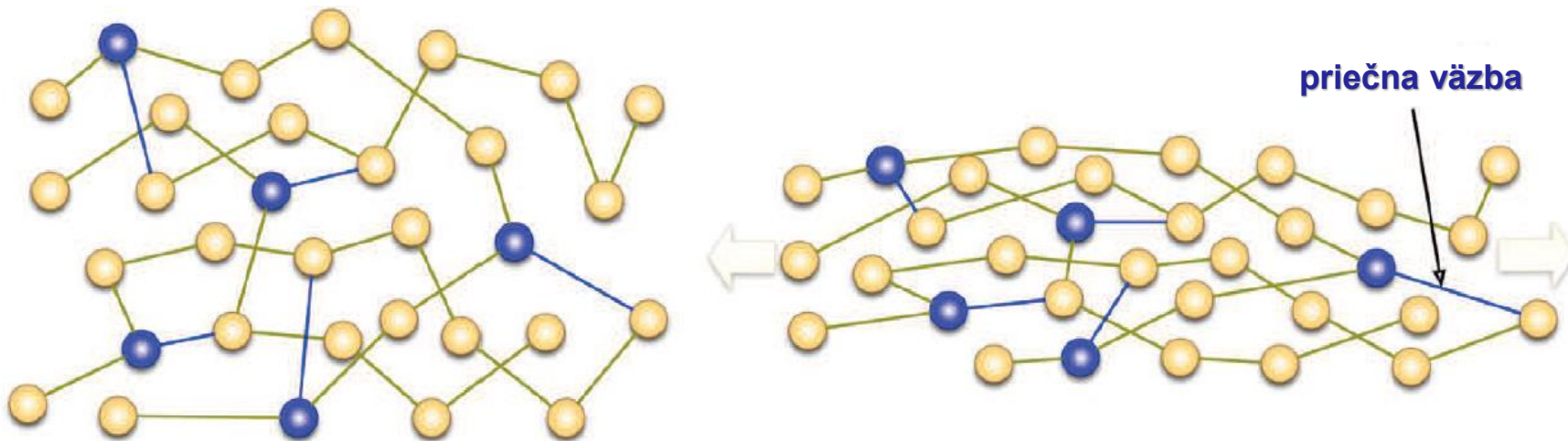
Bloky polyuretanov rôznych tvarov so stredovým otvorom



Rôzne tvarové typy výtvarkov, vyrobených s aplikáciou polyuretanu

Tvárnenie nepevným prostredím – stavba elastomeru

Stavba elastomeru je tvorená makromolekulárnymi a chemickými látkami, ktorých makromolekuly sú vzájomne spojené chemickými väzbami tak, že vytvárajú **lineárne, rozvetvené, alebo zosieťované polyméry**. Zosieťované polyméry sú reťazce, kde makromolekuly sú vzájomne pospájané do trojrozmernej priestorovej siete, ktoré vznikajú buď zosieťovaním lineárneho, alebo rozvetveného polyméru za vzniku **priečných väzieb**.



Tvárnenie nepevným prostredím

S rastúcim stlačením sa zvyšuje vnútorné napätie elastomeru (polyuretanu).

Elasticita nie je daná len tvrdosťou materiálu, ale aj tvarom vyjadreným tvarovým koeficientom (KT).

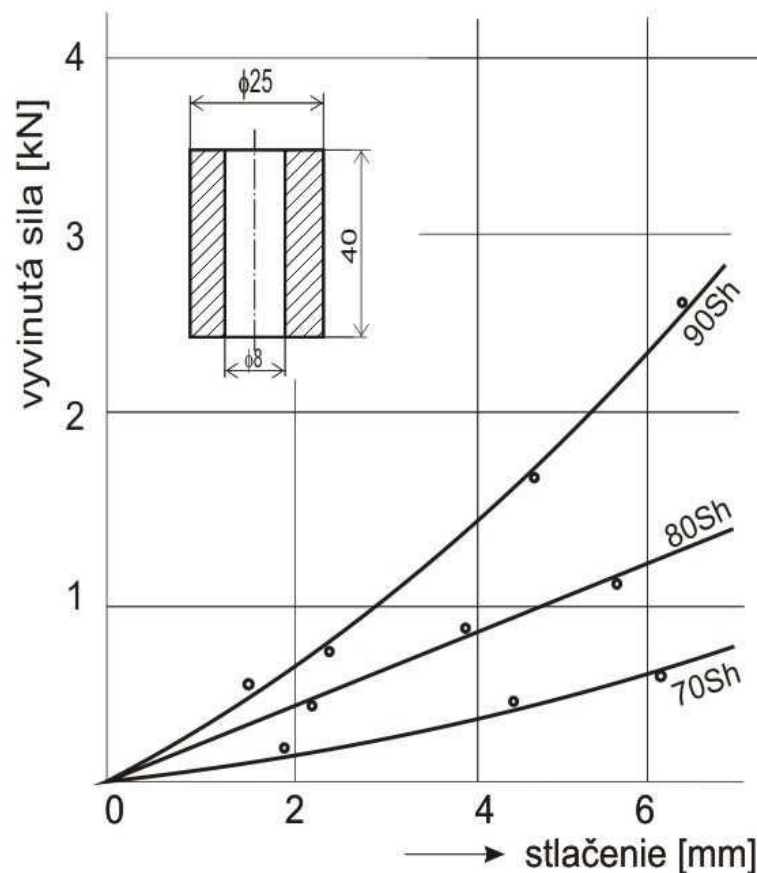
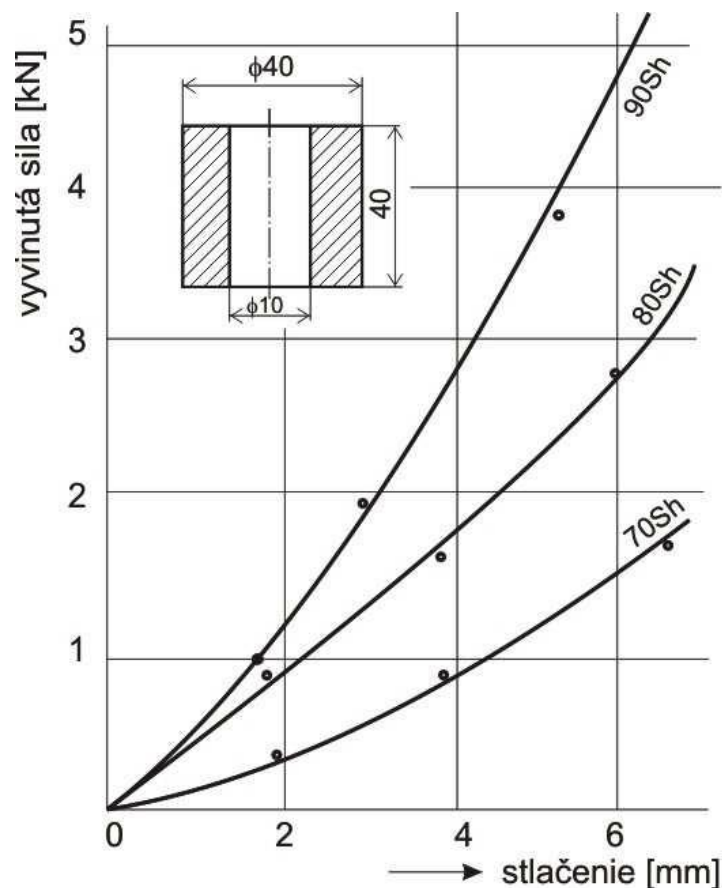
Až do určitého zaťaženia je vzrast sily takmer lineárny. Ďalšie zväčšenie stupňa deformácie spôsobuje nelineárny priebeh, ktorého dôsledkom je vznik **trvalých deformácií**. Opisovaný jav je možno objasniť zmenou zostavenia reťazca molekúl zaťaženého elastomeru.

Pomerné pretvorenie ε je hodnota vhodného (maximálneho) stlačenia.

Pre každý druh elastomeru je maximálne pomerné pretvorenie iné a je ovplyvnené hlavne jeho tvrdosťou.

- Napr.:
- **pri tvrdosti 70Sh A sa volí $\varepsilon = 0,3$** – vhodné na ohýbanie, ťahanie, ...
 - pri tvrdosti 80Sh A sa volí $\varepsilon = 0,2$
 - **pri tvrdosti 90Sh A sa volí $\varepsilon = 0,1$** – vhodné na strihanie

Tvárnenie nepevným prostredím

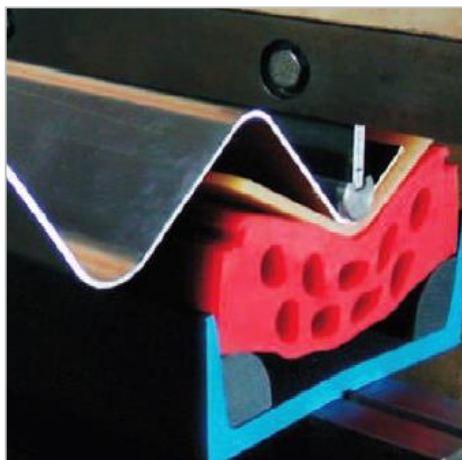


Sila vyvinutá stlačením elastickej pružiny z polyuretanu rôznych tvrdostí

Tvárnenie nepevným prostredím

Mechanické vlastnosti vybraných polyuretanov

Typ Polyuretanu	Tvrdosť (°Sh)	E_E (MPa)	Ťažnosť (%)	Pevnosť v ťahu [MPa]	Doporučená 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



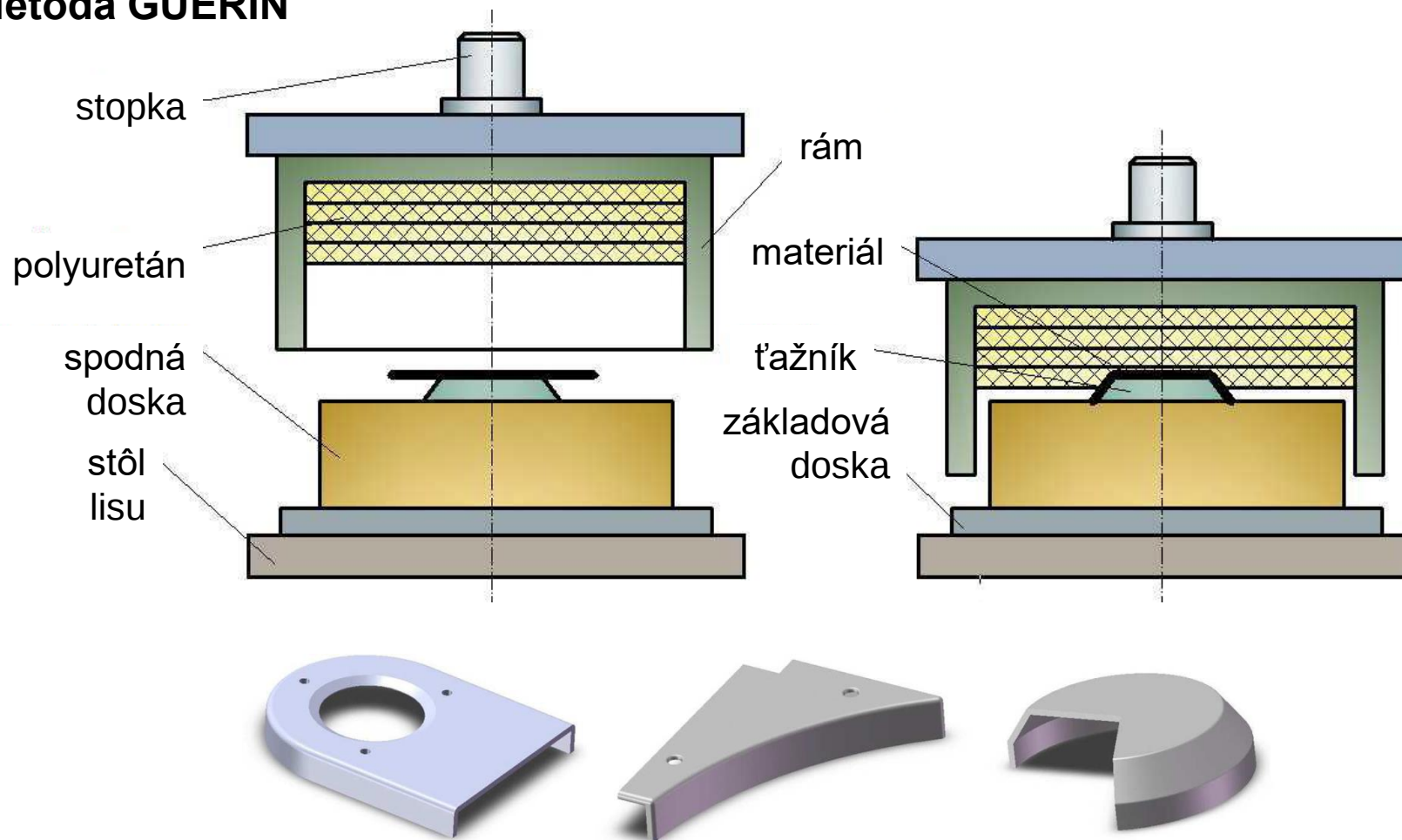
Tvárnenie nepevným prostredím

Metódy *tvárnenia nepevným prostredím* sú:

1. metóda **GUÉRIN**,
- rozširovanie rúr alebo rotačných polotovarov,
2. metóda **MARFORM**,
3. metóda **HIDRAW**,
4. metóda **HYDROFORM**,
5. metóda **ASEA**,
6. metóda **WHEELON (VERSON-WHEELON)**,
7. metóda **FLUIDFORM**,
8. **Hydromechanické** tvárnenie,
9. metóda **PILLOW forming**.

Tvárnenie nepevným prostredím – ťahanie

Metóda GUÉRIN



Tvárnenie nepevným prostredím – ťahanie

Metóda GUÉRIN

Gumový „vankúš“ nahradzuje pevnú ťažnicu. K vytvoreniu potrebného tvárniaceho tlaku je ale potrebný lis s väčším výkonom, vzhľadom na trenie a deformáciu gummy.

Deformácia gummy spôsobuje aj značné opotrebenie gumového vankúša, preto je vhodné použiť viac vrstiev gummy, alebo ťažnicu z plastu.

Životnosť gumového vankúša je približne 2 000 výťahov.

Výhody metódy sú:

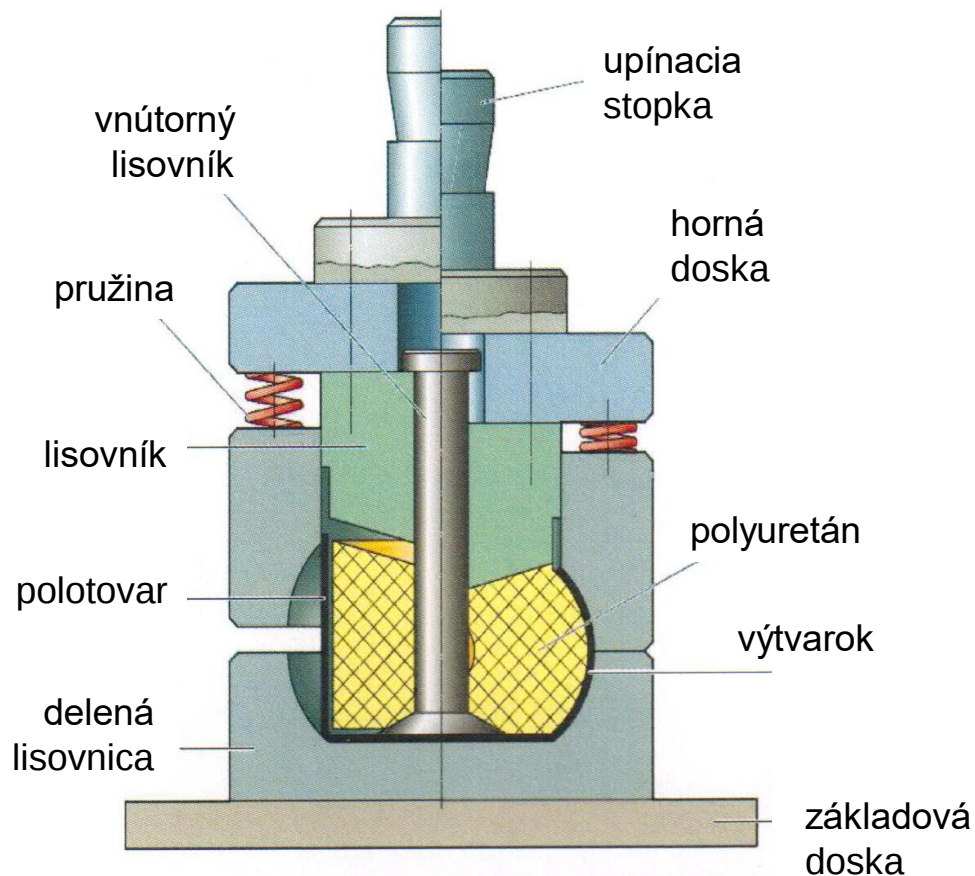
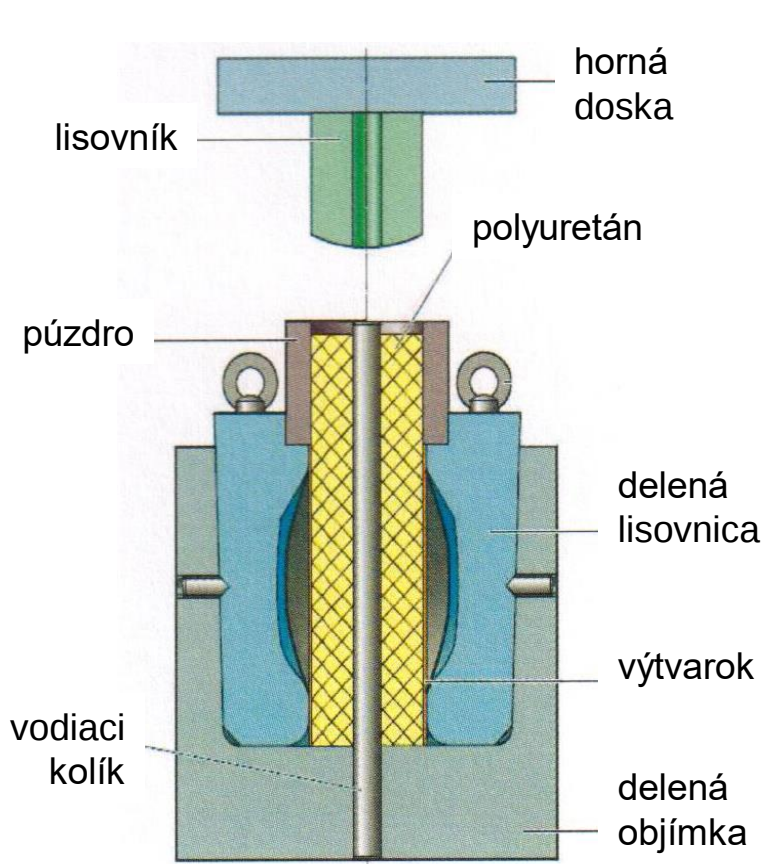
- ťažník nie je nutné robiť z ocele,
- univerzálnosť ťažnice,
- možnosť ťahať rôzne tvary a rozmery výtvarkov,
- tvárnenie leštených polotovarov
- možnosť tvárniť viac polotovarov na jeden zdvih.

Nevýhody metódy sú:

- tvarovanie mäkkých alebo tenkých plechov,
- veľké lisovacie sily

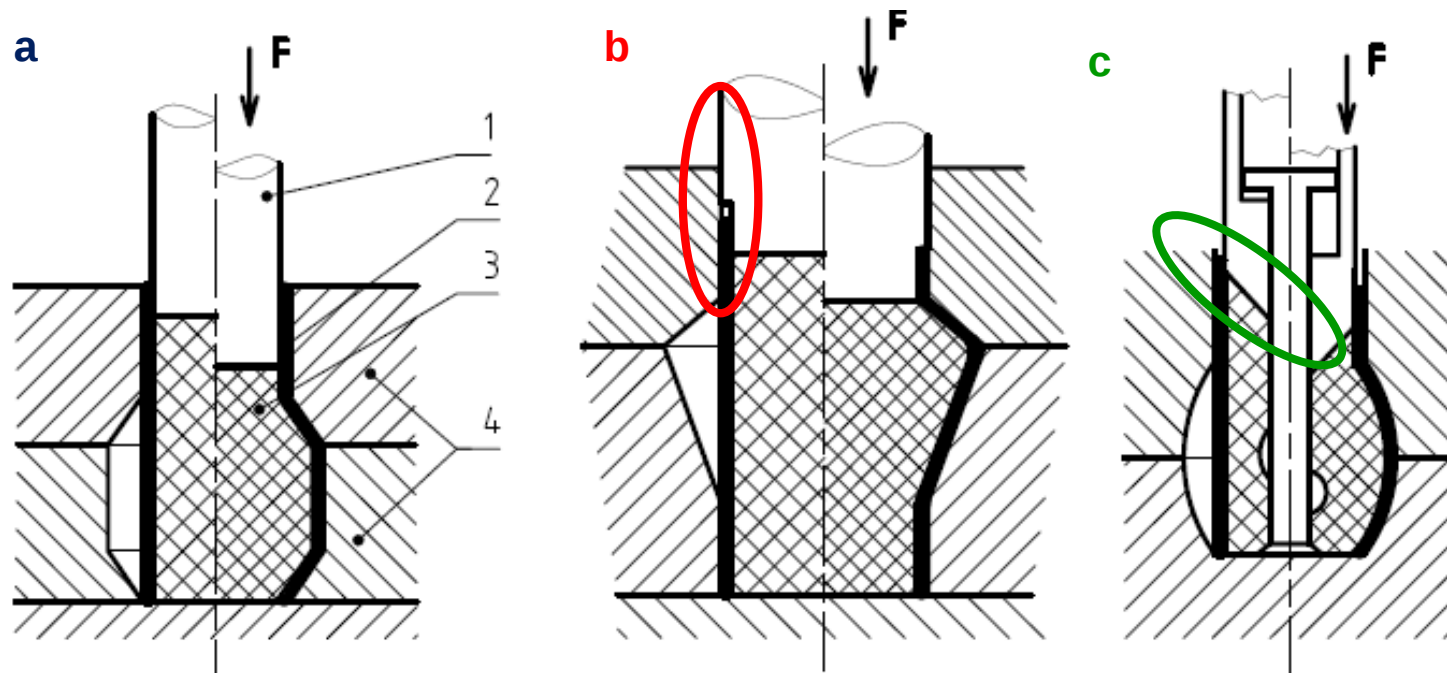
Tvárnenie nepevným prostredím – ťahanie

Radiálne rozširovanie rúr a rotačných polotovarov (metóda GUÉRIN)



Tvárnenie nepevným prostredím – ťahanie

Radiálne rozširovanie rúr (rotačných polotovarov) (metóda GUÉRIN)



a) Rozširovanie nepevným prostredím

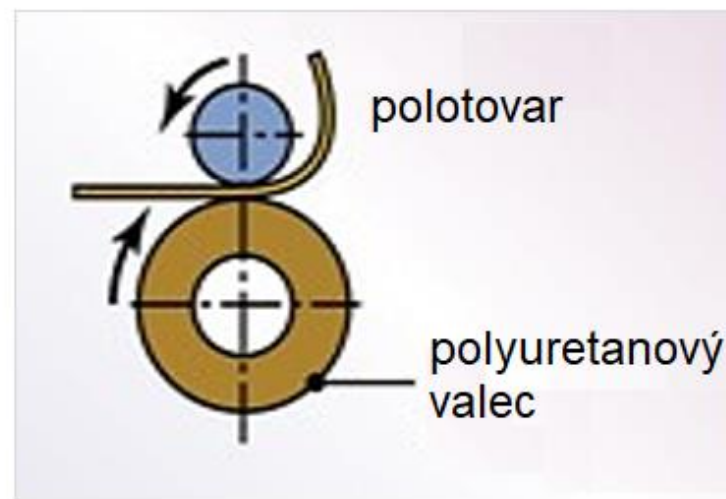
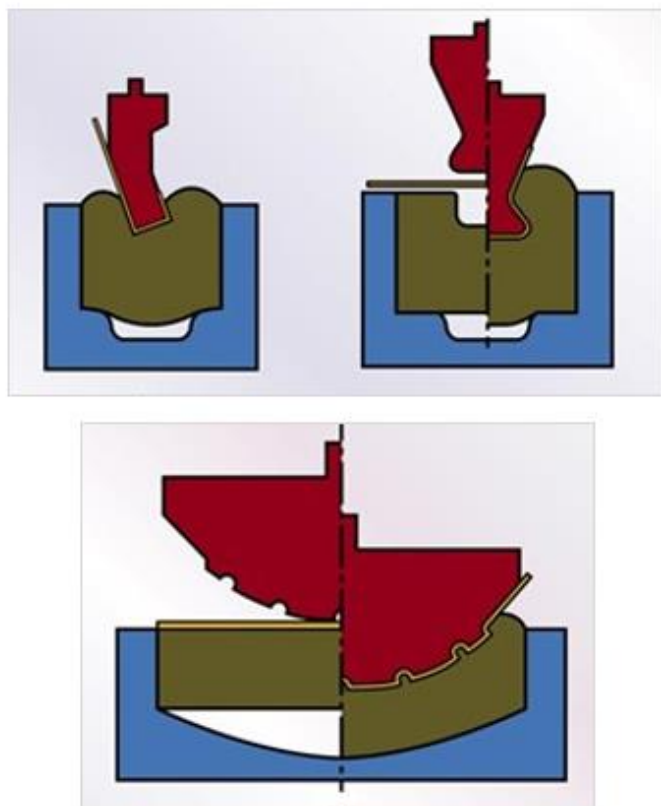
1 – lisovník, 2 – rúrka, 3 – technická guma alebo polyuretán, 4 – delená lisovnica

b) Rozširovanie s osovým tlakom na čelo rúrky

c) Rozširovanie s tvarovým polyuretánovým blokom

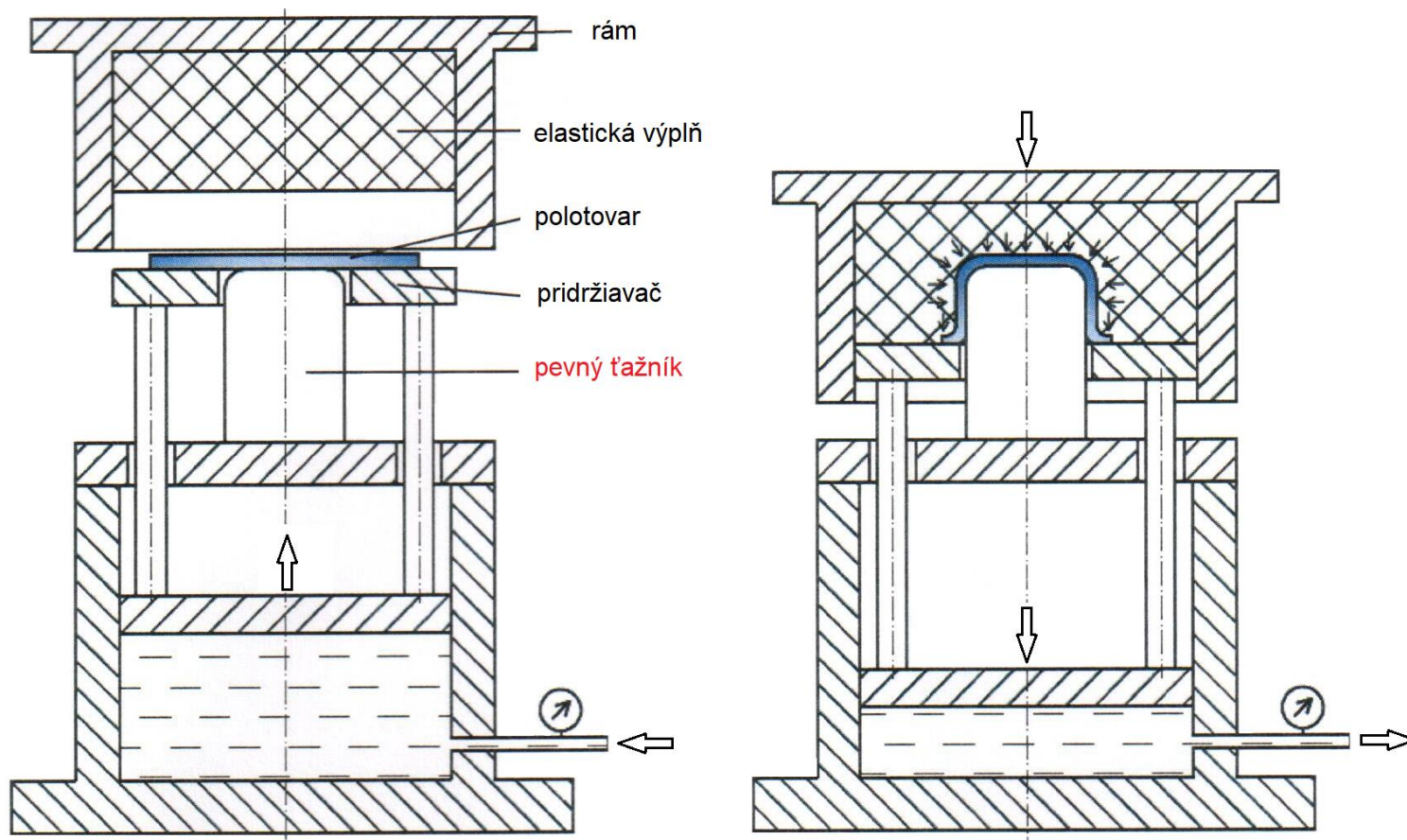
Tvárnienie nepevným prostredím – ohýbanie

Ohýbanie a zakružovanie (metóda GUÉRIN)



Tvárnenie nepevným prostredím

Metóda MARFORM



Tvárnenie nepevným prostredím

Metóda MARFORM

Metóda je vhodná aj pre hlboké ťahanie oceľových a neželezných plechov.

Využíva **pridržiavač**, ktorý je **ovládaný hydraulicky**.

Prítlačná sila pridržiavača je regulovaná v závislosti na zdvihu pomocou mechanickej väzby prepúšťacím ventilom.

Ťahanie prebieha tak, že po vložení polotovaru na dosku pridržiavača začne horná časť nástroja klesať, pôsobí tlakom na prístrih a stláča pridržiavač, ktorý je podopieraný piestom, kde následne sa realizuje ťahanie výtvarku.

Tlak v technickej gume **stúpa na 40 až 50 MPa**.

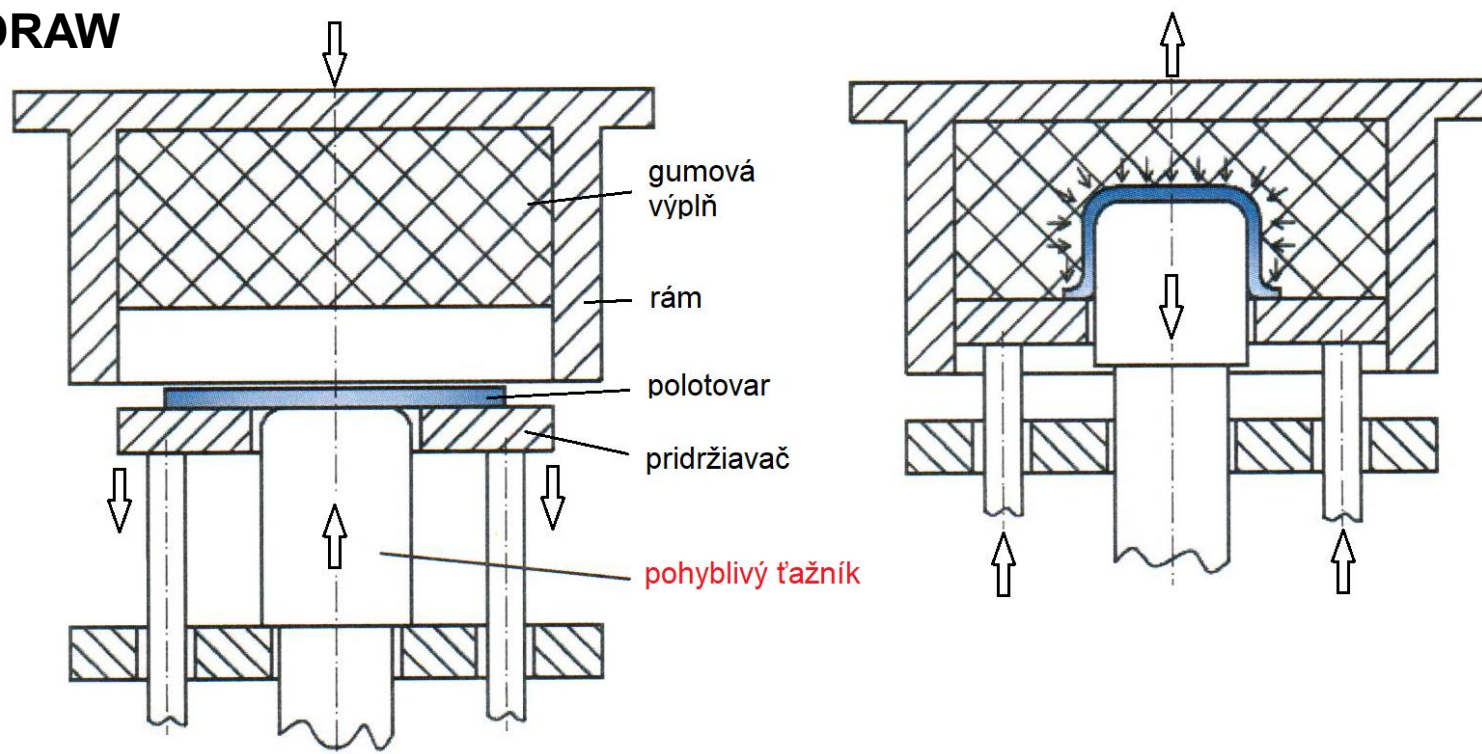
Výška gumovej výplne by mala byť **minimálne 3x vyššia ako je výška výtvarku**, volí sa obvykle **od 7x do 10x** viac ako je výška výtvarku.

Vôľa medzi otvorom v pridržiavači a ťažníkom je od 0,75 mm do 1,5 mm. Hrana má polomer zaoblenia 1,6 mm.

Nevýhodou je vysoké opotrebenie technickej gumy a potreba vyšších tvárniacich síl v porovnaní s metódou Guérin.

Tvárnenie nepevným prostredím

Metóda HIDRAW



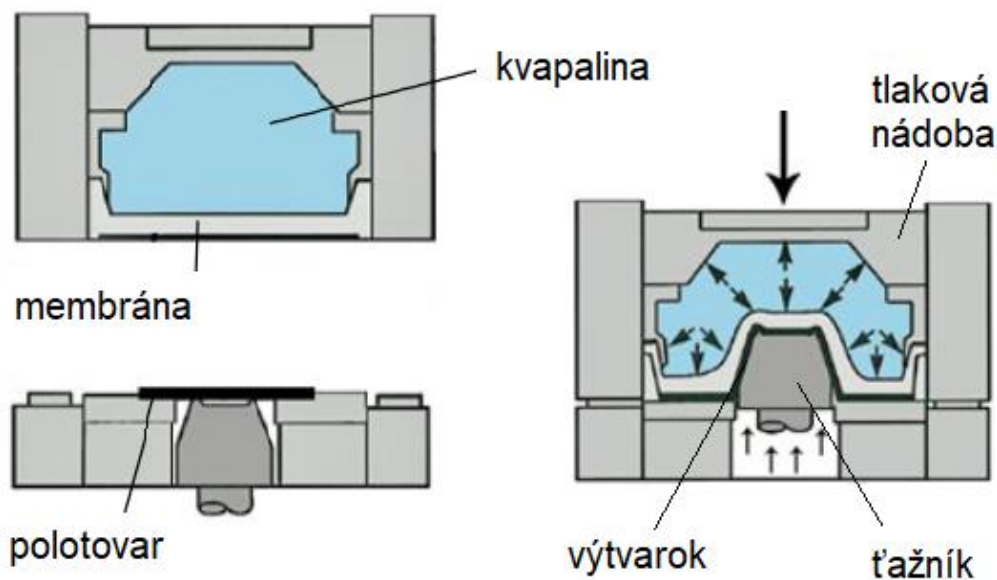
Metóda sa vyznačuje konštrukčným riešením, že **pohyblivý je pridržiavač, ťažník aj ťažnica**.

Tento systém nemá oproti iným spôsobom tvárnenia gumou žiadne výrazné výhody.

Vzhľadom na pohyblivosť hlavných častí nástroja je tento systém ťahania náročný z hľadiska vstupných investícií.

Tvárnenie nepevným prostredím

Metóda HYDROFORM



Komponent automobilky Ford

Tvárnenie nepevným prostredím

Metóda HYDROFORM

U tejto metódy je ťažnica nahradená kvapalinou, ktorá je uzavretá v tlakovej komore a je utesnená gumenou membránou. Pri tvárnení komora pohybuje smerom nadol, až sa dotkne pridržiavača a nástroj (ťažník) sa pohybuje smerom nahor. Týmto pohybom vyvoláva protitlak kvapaliny, ktorý je regulovaný prepúšťacím ventilom.

Metóda Hydroform je vhodná na ťahanie so súčiniteľom ťahania $m = 0,4$ (**$K = 2,5$**). Životnosť gumenej membrány je od 5000 do 10000 ťahov.

Výhody:

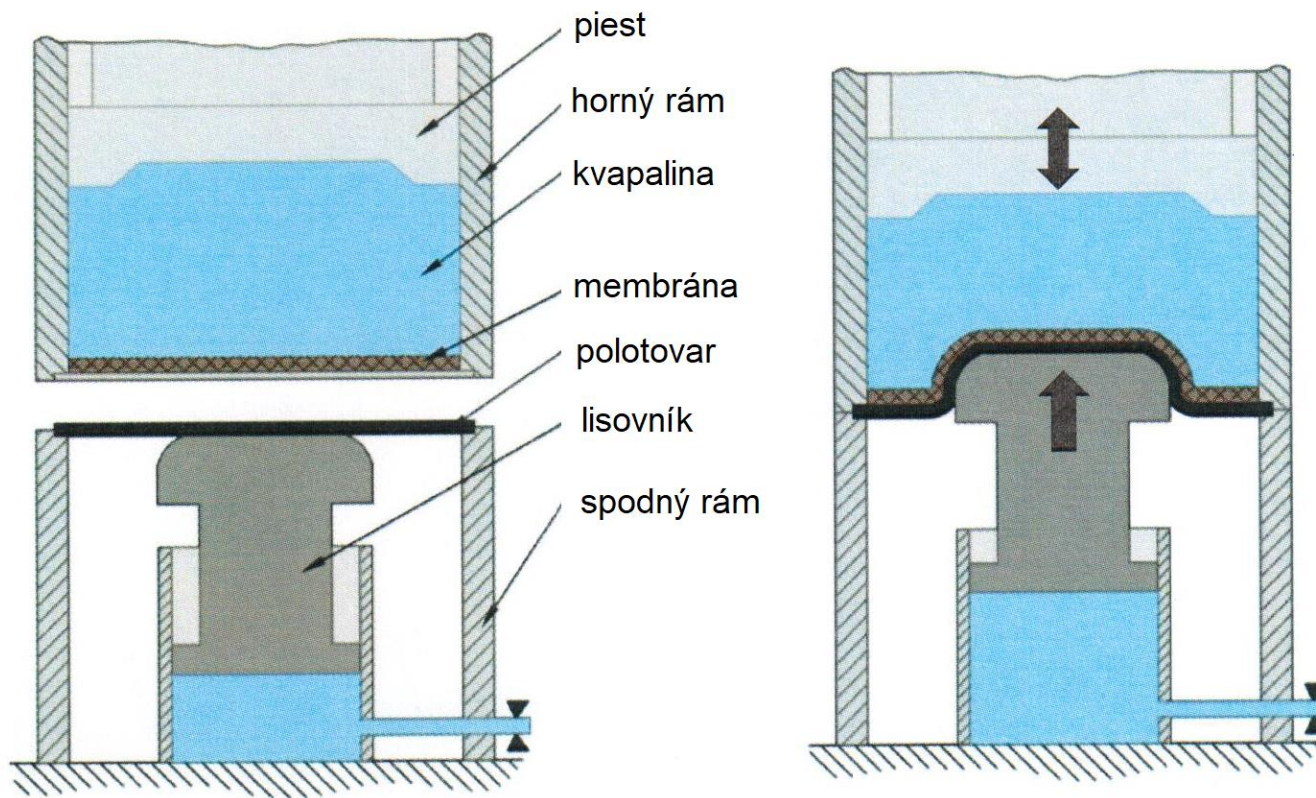
- metóda je vhodná pre hlbšie ťahy a zložité tvary (kužeľ, polguľa, stupňovité tvary),
- jedná sa o univerzálnu metódu (úspora nákladov na nástroj 95 %),
- nízky súčiniteľ ťahania, úspora počtu ťahov,
- aplikácia vo veľkosériovej výrobe,
- hrúbka polotovarov je od 0,2 mm do 10 mm.

Nevýhody:

- náročné zariadenie, z hľadiska tesnosti v hydraulickom systéme,
- vysoké vstupné náklady.

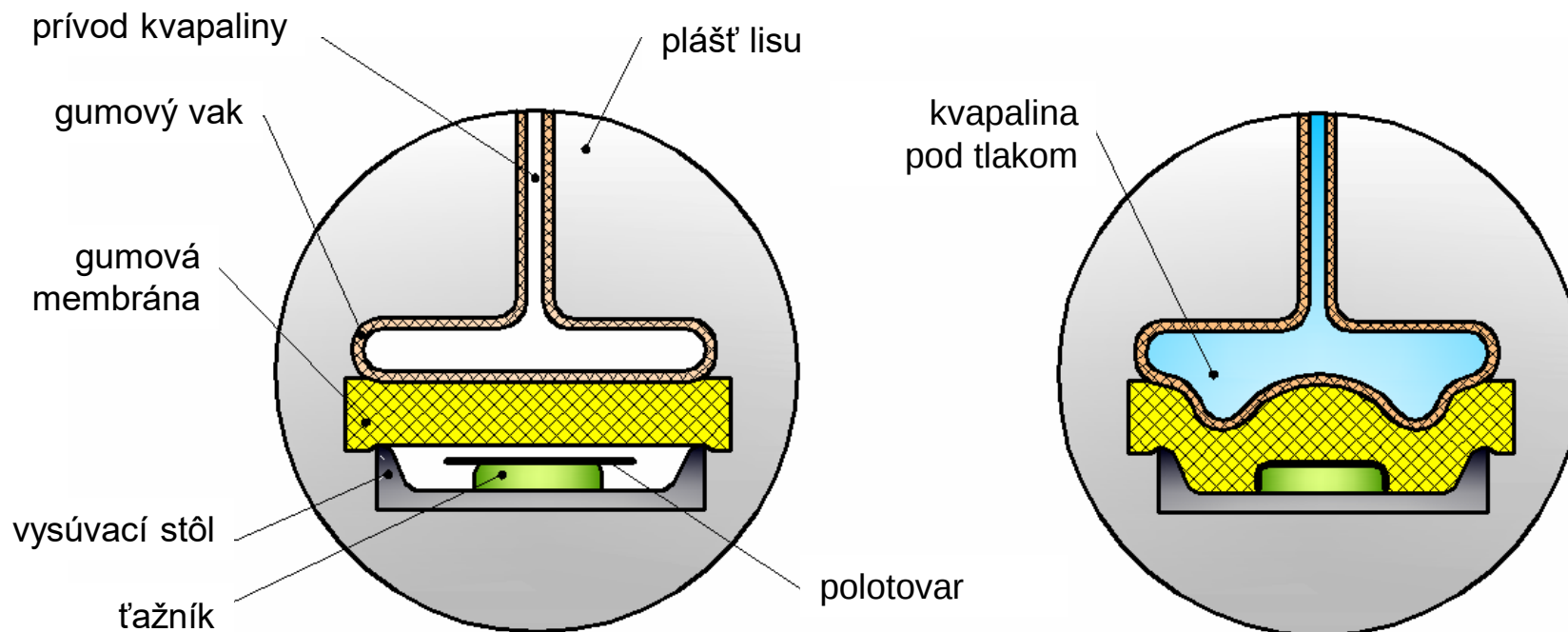
Tvárnenie nepevným prostredím

Metóda ASEA (kombinácia Marform a Hydroform)



Tvárnenie nepevným prostredím

Metóda WHEELON (VERSION-WHEELON)



Tvárnenie nepevným prostredím

Metóda WHEELON

Metóda Wheelon je variantou predchádzajúcej metódy Hydroform. Rozdiel je ten, že ťažník nie je pohyblivý a pridržiavač sa nepoužíva. Polotovár je tvárnený tlakom gumového vaku, ktorý je plnený a rozťahovaný tlakom kvapaliny. Tlak dosahuje hodnôt 42 až 69 MPa a je vyvodzovaný hydraulickým valcom.



Výhody:

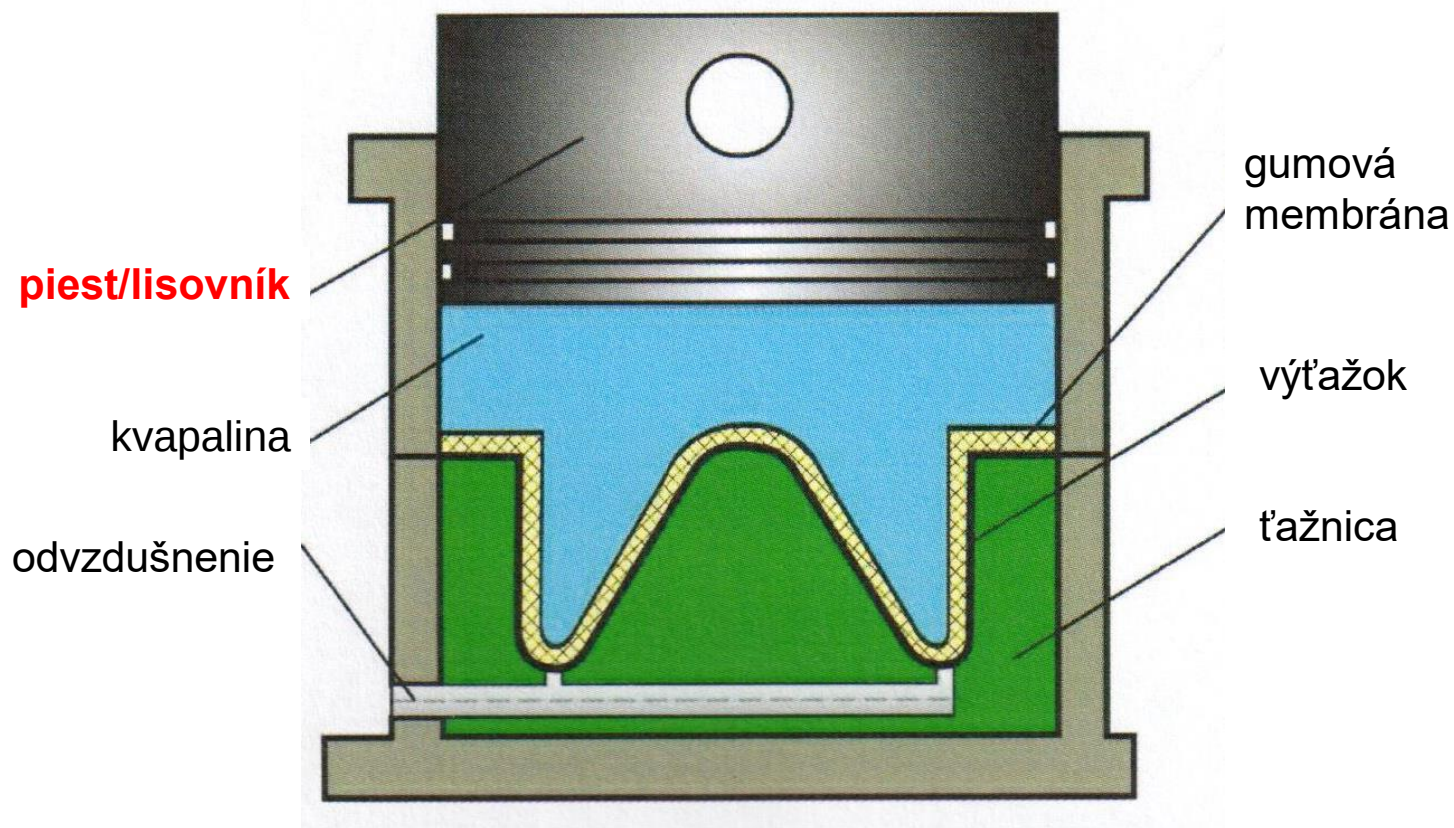
- možnosť tvárnenia tvarovo zložitých výtvarkov,
- vzhľadom k pomerne veľkej ploche pracovného stola môžeme tvárniť rozmerovo väčšie diely alebo niekoľko dielov na jeden cyklus,
- rovnako ako u predchádzajúcich metód môžeme ťažníky vyrobiť z ľahko obrobiteľných materiálov.

Nevýhody:

- vysoká zriaďovacia cena lisu,
- vysoká cena gumového vaku,
- pomerne malý počet pracovných cyklov za hodinu (10 cyklov).

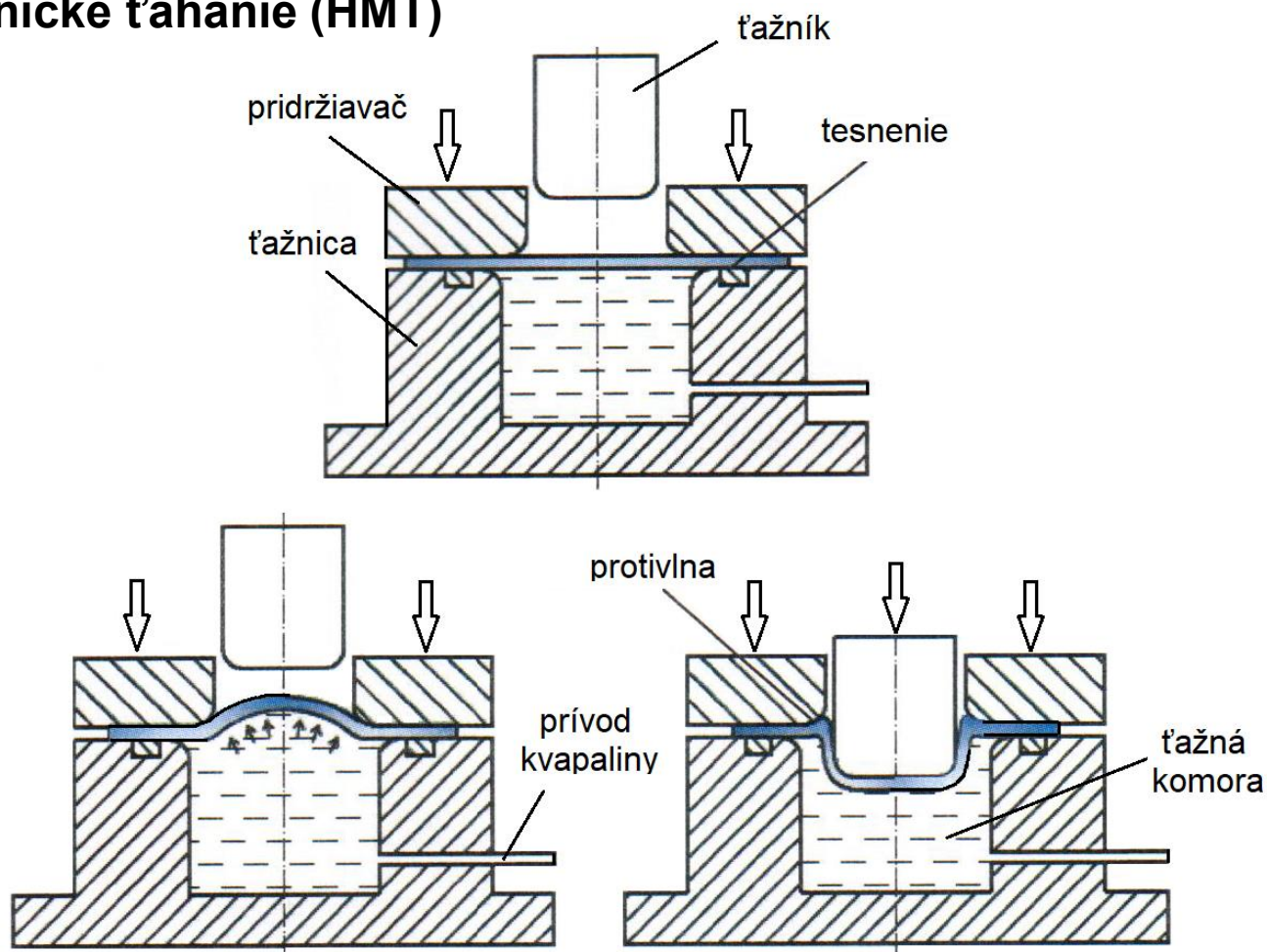
Tvárnenie nepevným prostredím

Metóda FLUIDFORM



Tvárnenie nepevným prostredím

Hydromechanické ťahanie (HMT)



Tvárnenie nepevným prostredím

Hydromechanické ťahanie (HMT)

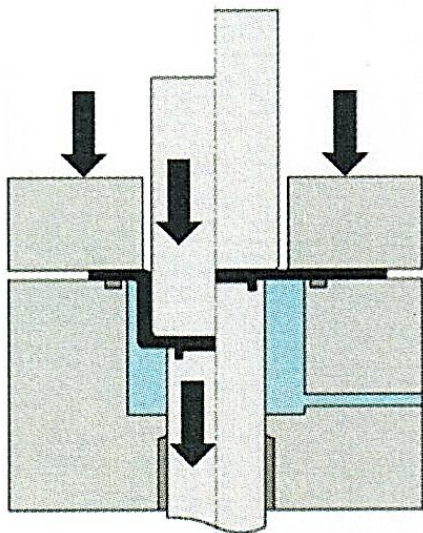
HMT je vhodné pre výrobu veľkých plytkých výtvarkov (napr. časti karosérií v automobilovom priemysle, ako sú dvere, kapoty a pod.). Vďaka rovnomernému rozloženiu tlaku po celej ploche výtvarku a zníženiu napätí v oblasti prechodu dna do steny výtvarku je možné tvárniť aj hlboké výtvarky s veľkým stupňom deformácie. Kužeľové, sférické a iné obtiažne tvary je možné touto technológiou vyrobiť s jedným ťahom.

Nevýhoda HMT spočíva v potrebe **dokonalého utesnenia kvapaliny v priestore ťažníka** a preto všetky výtlačky musia byť s prírubou. Tesnenie determinuje zvýšené náklady na nástroj. Metóda sa neaplikuje v malosériovej výrobe. Oproti konvenčným metódam sa predlžujú výrobné časy.

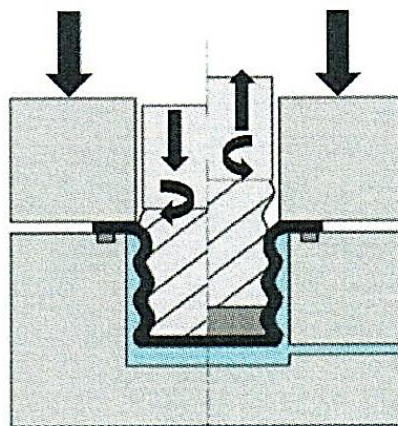


Tvárnenie nepevným prostredím

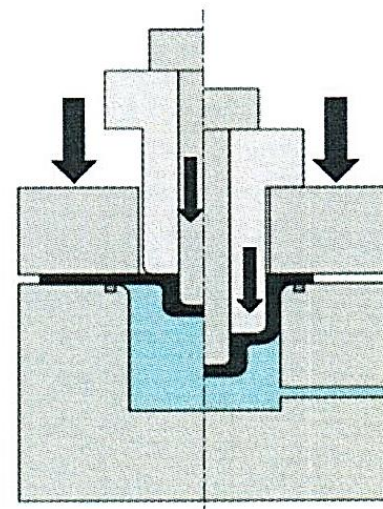
Hydromechanické ťahanie (HMT)



aplikácia protipiesta



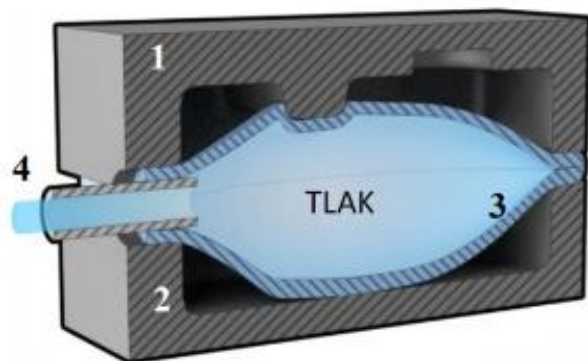
aplikácia otočného ťažníka



aplikácia dvojitého ťažníka

Tvárnienie nepevným prostredím

Metóda PILLOW forming



- 1 - horná časť formy
- 2 - spodná časť formy
- 3 - kvapalina
- 4 - prívod kvapaliny



Tvárnenie nepevným prostredím

Hydromechanické tvárnenie rúr

Hydroforming využíva tlak kvapaliny vo vnútri rúrky a tvárni ju podľa vytvorenej dutiny v lisovnici. Vnútorý tlak dosahuje hodnôt až 600 MPa.

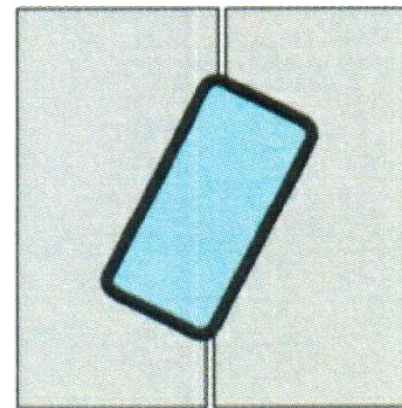
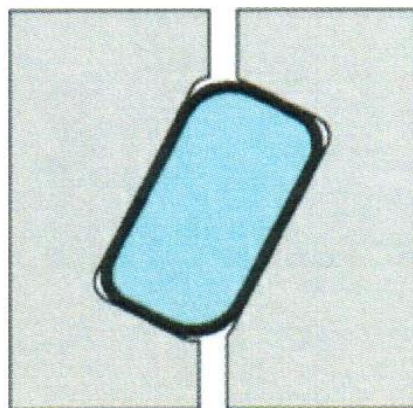
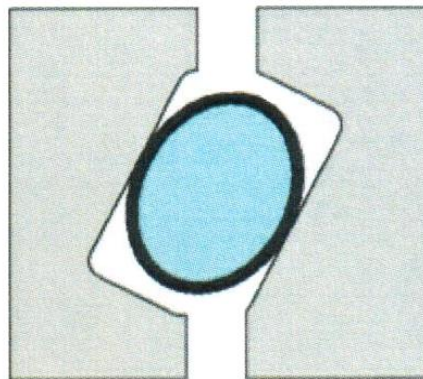
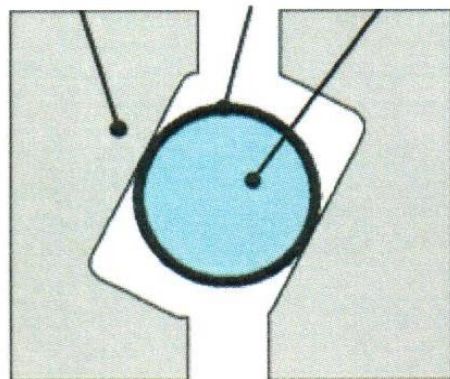
Hydroforming rúr delíme na:

1. **nízkotlakový hydroforming** – nie je ním možné výrazne meniť prierez východiskového polotovaru. Nesmie obsahovať malé polomery. Je vhodný na tvárnenie jednoduchých tvarov výtvarkov.
2. **vysokotlakový hydroforming** – je najpoužívanější spôsob tvárnenia rúr kvapalinou. Pri týchto tlakoch je možné tvárniť výtvarky s malými vnútorným polomermi, ktoré však zvyšujú požiadavky na hodnotu vnútorného tlaku. Táto metóda sa používa, okrem iného pri výrobe potrubných tvaroviek typu T.
3. **postupový hydroforming** (Pressure Sequence Hydroforming) – jedná sa o najnovšiu metódu, ktorá je patentovaná firmou Vari-Form. Skladá sa z dvoch krokov. Forma nie je úplne uzatvorená, pričom sa začína napíňať kvapalinou s relatívne nízkym tlakom. Následne sa forma uzavrie, čím tvárni rúru podľa tvaru dutiny a nasleduje zvýšenie tlaku a dotvarovanie polotovaru.

Tvárnenie nepevným prostredím

Hydromechanické tvárnenie rúr – **nízkotlakový hydroforming**

nástroj polotovár kvapalina



Tvárnenie nepevným prostredím

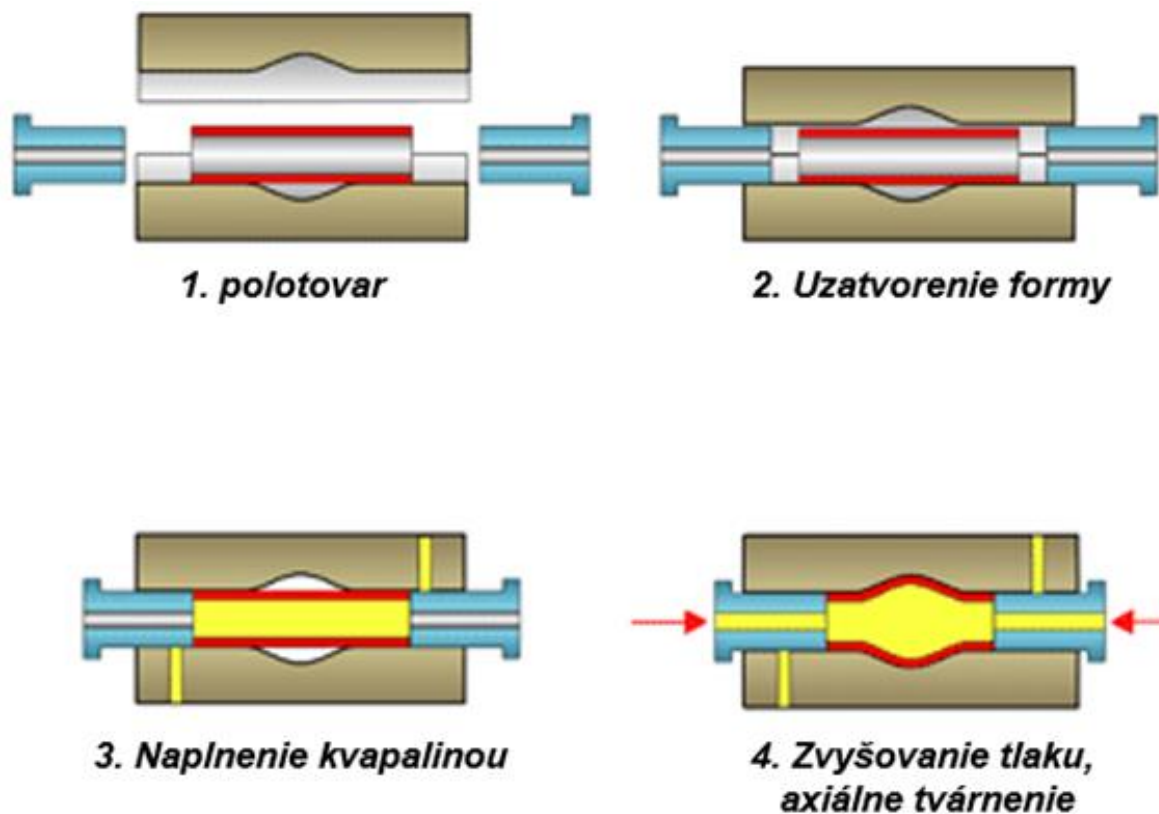
Hydromechanické tvárnenie rúr – **nízkotlakový hydroforming**

Nízkotlakový hydroforming využíva nižší vnútorný tlak kvapaliny, ktorého hodnota je **maximálne 60 MPa**. Pri tejto metóde je polotovár vložený do formy, pričom na jednom konci je pripojený na hydraulický systém a na druhom konci je zaslepený. Forma začne postupne zvierať polotovár, čím ho začne deformovať. Kvapalina vo vnútri rúrky rovnomerne rozkladá tlak, ktorý je na rúrku vyvíjaný a zabraňuje stenšeniu steny, pričom obvod steny polotovaru a výsledného produktu je takmer rovnaký. Keď sa forma úplne uzavrie, dôjde k miernemu zvýšeniu tlaku v kvapaline na geometrickej kalibrácii tvaru.

Pri tejto metóde tvorí hydraulická kvapalina sprievodný prvok, ktorý zabraňuje defektom, akými sú napr. zvlnenie, ovalita alebo stenšenie steny, a to vďaka svojej nestlačiteľnosti, ktorá v tomto prípade funguje ako vnútorná opora stien. Rovnomerné rozloženie sily je dôležité z hľadiska kvality povrchu, ktorá je v tomto prípade vyššia ako pri aplikácii konvenčných postupov. Táto metóda má široké uplatnenie v automobilovom priemysle, napr. pri výrobe rámov.

Tvárnenie nepevným prostredím

Hydromechanické tvárnenie rúr – **vysokotlakový hydroforming**



Tvárnenie nepevným prostredím

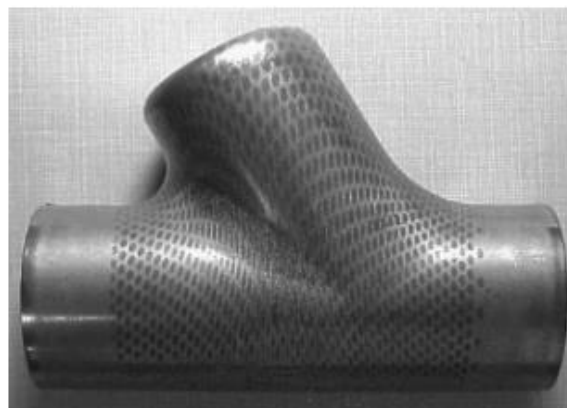
Hydromechanické tvárnenie rúr – vysokotlakový hydroforming

Princíp vysokotlakového hydroformingu spočíva v tom, že polotovár sa vloží do formy a následne sa uzavrie. Axiálne piesty zovrú polotovár a cez piesty sa do vnútra polotovaru privádza hydraulická kvapalina so súčasným nárastom axiálnej sily. To spôsobí utesnenie sústavy a zabraňuje nežiadúcemu stenšeniu steny rúrky. Aby bol dosiahnutý výsledný tvar steny je nutné prekonať odpor materiálu voči plastickej deformácii a treniu medzi formou a polotovarom. Tlak hydraulickej kvapaliny preto môže nadobúdať hodnoty **až 200 MPa**. Obvod výsledného výtvaru môže byť väčší až o 50%. Povrch formy býva leštený a mazaný, aby dochádzalo k dokonalému klzaniu materiálu po stene.

Na dotvarovanie malých polomerov je nutné zvýšiť hodnotu tlaku kvapaliny na tzv. kalibračnú hodnotu, ktorá býva **až 240 MPa**. Pri tejto fáze dochádza k nerovnomernému stenšeniu steny v oblastiach malých polomerov, a to z dôvodu, že materiál nie je schopný sklzu. Toto zoslabenie môže nadobúdať až 20 %. V takomto prípade je nutné postupne znižovať tlak kvapaliny, aby sa nespôsobilo zdeformovanie profilu.

Tvárnenie nepevným prostredím

Hydromechanické tvárnenie rúr – vysokotlakový hydroforming

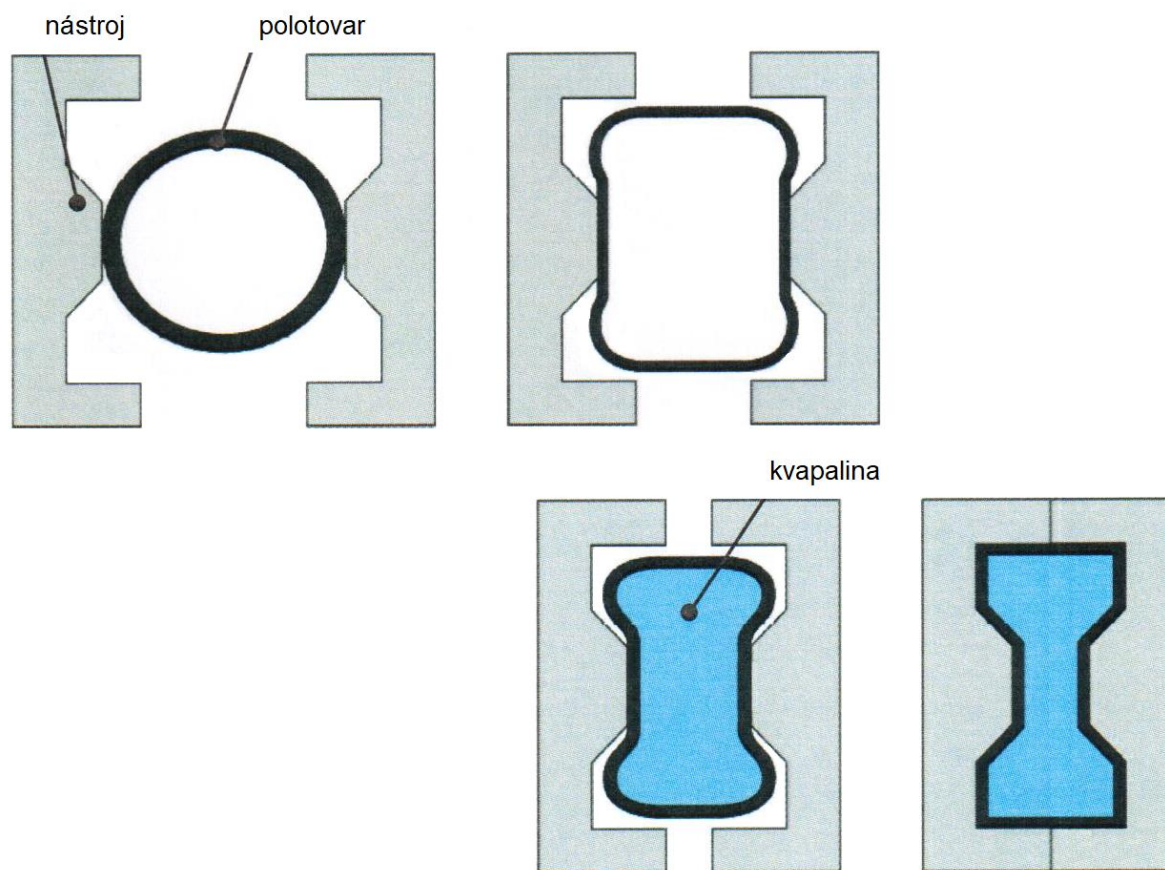


Táto metóda sa používa pri tvarovaní rúrkového materiálu, ktorý je vyrobený z medi a jej zliatin, hliníku a jeho zliatin, alebo legovaných ocelí.

Má uplatnenie v automobilovom priemysle pri výrobe zložitejších výfukových systémov, pri výrobe rámov bicyklov, často sa používa na výrobu tvaroviek prevažne tvaru T a Y.

Tvárnenie nepevným prostredím

Hydromechanické tvárnenie rúr – postupový hydroforming



Tvárnenie nepevným prostredím

Hydromechanické tvárnenie rúr – postupový hydroforming

Princíp postupového hydroformingu je podobný ako pri nízko a vysotlakových metódach tvarovania rúr. Skladá sa z troch krokov, kde:

- v 1. kroku sa založí polotovar do formy a forma sa čiastočne uzavrie,
- v 2. kroku sa do polotovaru privedie kvapalina a pomocou zavierania formy sa postupne zvyšuje tlak kvapaliny. V tomto kroku sa hodnoty tlaku pohybujú **od 35 do 70 MPa**,
- na začiatku 3. kroku je forma úplne zavretá a tlak sa zvýši až na takzvanú kalibračnú hodnotu **okolo 170 MPa**. Pri tomto tlaku sa dotvarujú zložité tvary a zaoblenia s malým polomerom, ktoré nebolo možné vytvárať pri nízkom tlaku.

Touto metódou sa dajú tvarovať rúrky **s priemerom 25 až 150 mm a hrúbkou steny 0,5 až 6 mm**.

Tvárnenie nepevným prostredím

Hydromechanické tvárnenie rúr – postupový hydroforming



Pri tomto spôsobe tvárnenia nie je nutné nanášať mazivo medzi polotovár a formu. Metódu vyvinula spoločnosť Vari-Form, ktorá sa zaoberá výrobou produktov pre automobilový priemysel ako napr. časti karosérie pre Jeep, Chrysler, Nissan alebo Chevrolet.

Pregresívne metódy ťahania – nat'ahovanie (vypínanie)

Vypínanie

Charakteristika

Vypínanie je proces tvárnenia plechov a profilov s kombináciou ťahových a ohybových napätí. Plech je po stranách pevne upnutý a tvárnenie je realizované pevným ťažníkom, alebo nástrojom, ktorý funkčnú časť má s vrstvou technickej gumy. K pretvoreniu materiálu dochádza len pod vplyvom ťahových napätí. Povrch (plocha) polotovaru sa zväčšuje na úkor zmeny hrúbky polotovaru.

Plech môže byť tvárnený: 1. medzi pevnými nástrojmi
2. vyťahovaním medzi dvoma upínacími čeľusťami.

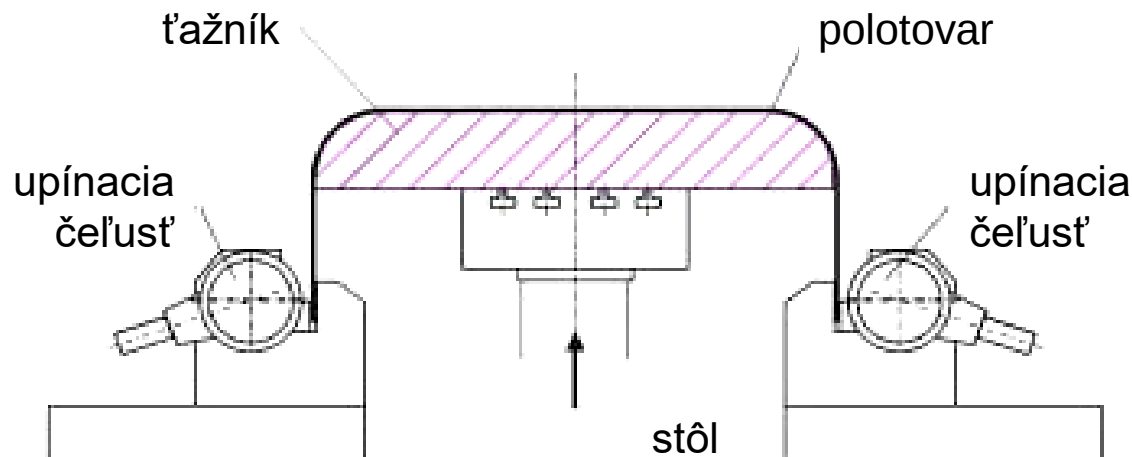
Oblasť aplikácií

Aplikácia v kusovej výrobe plochých súčiastok veľkých rozmerov, ako sú vonkajšie časti karosérií, poťahy krídiel pre prototypy, alebo pre malé výrobné dávky (série).

Pregresívne metódy ťahania – nat'ahovanie (vypínanie)

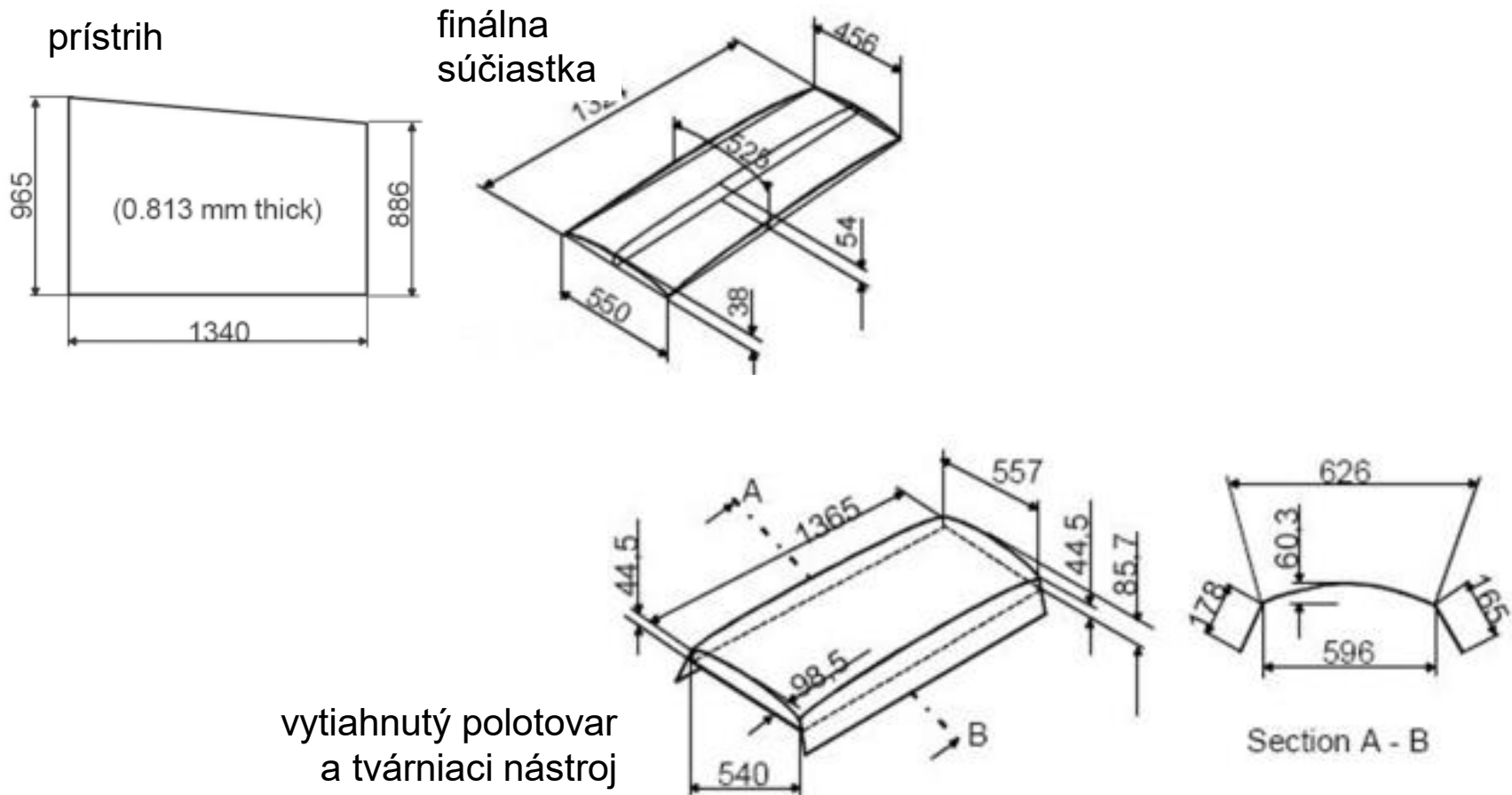
Jednoduché vypínanie

Polotovár sa upína medzi dve nehybné upínacie čeľuste, umiestnené proti sebe. Súčiastka získava svoj finálny tvar pohybom tvárniaceho nástroja vo zvislom smere. Následkom toho u plochých tvarov takmer nedôjde k pretvoreniu plechu v strednej oblasti polotovaru, v dôsledku trecích síl, čo má za následok nerovnomerné odpruženie materiálu.



Pregresívne metódy ťahania – nat'ahovanie (vypínanie)

Jednoduché vypínanie – výroba časti krídla lietadla



Pregresívne metódy ťahania – nat'ahovanie (vypínanie)

Tangenciálne vypínanie

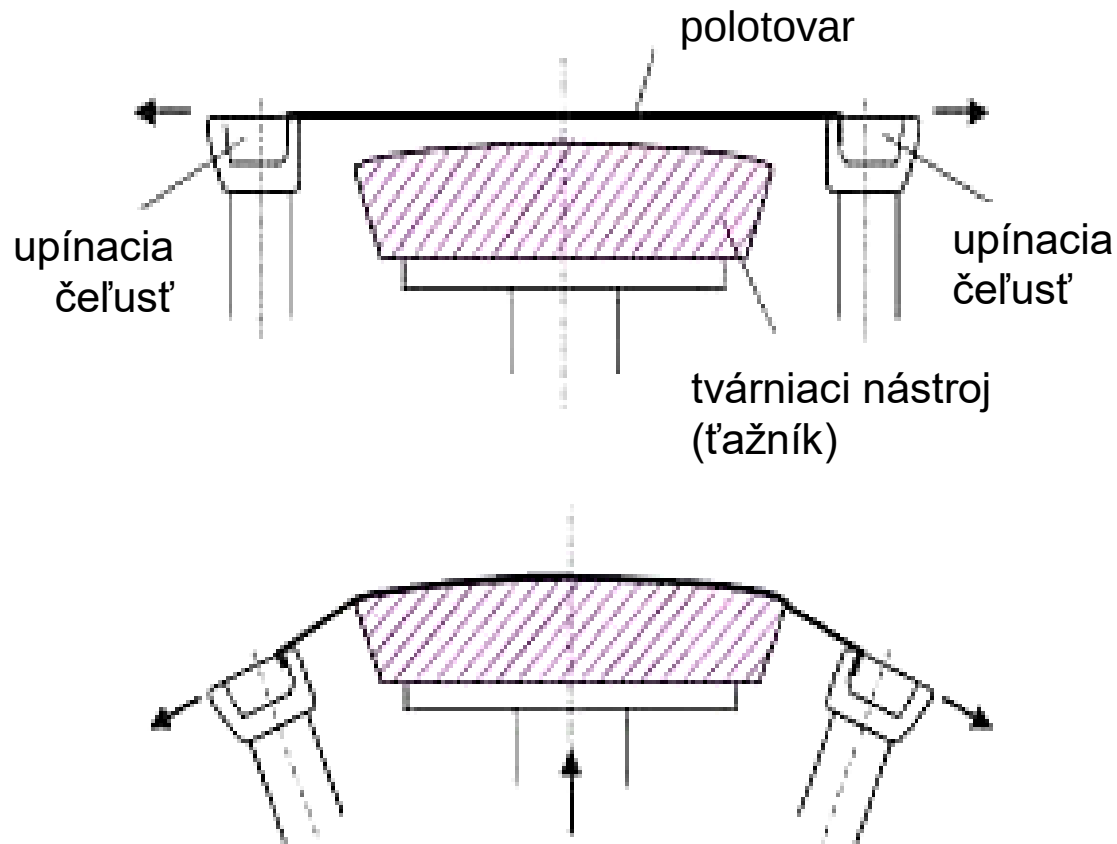
Upínacie čeluste a tvárniaci nástroj (ťažník) sú pohyblivé. Tvárnenie je realizované v dvoch fázach. Najskôr sa polotovar (prístrih) upne na opačných stranách dvoma upínkami, ktoré sa pohybujú vodorovne smerom od seba a vytvoria homogennú plastickú deformáciu. V druhej fáze tvárniaci nástroj zvislým pohybom tvárni materiál, pričom súčasne upínacie čeluste sa naklápajú a orientujú sa do smeru ťahových napätí.

Polotovar je **tangenciálne „napínaný“** na tvárniaci nástroj. Súčasné pôsobenie prídavných ťahových napätí na polotovar v priebehu deformácie znižuje zvyškové napätia, čo má za následok menšie odpruženie, ako pri jednoduchom vypínaní.

Tvarová presnosť je vyššia pri súčasne vyššej pevnosti výtvarku.

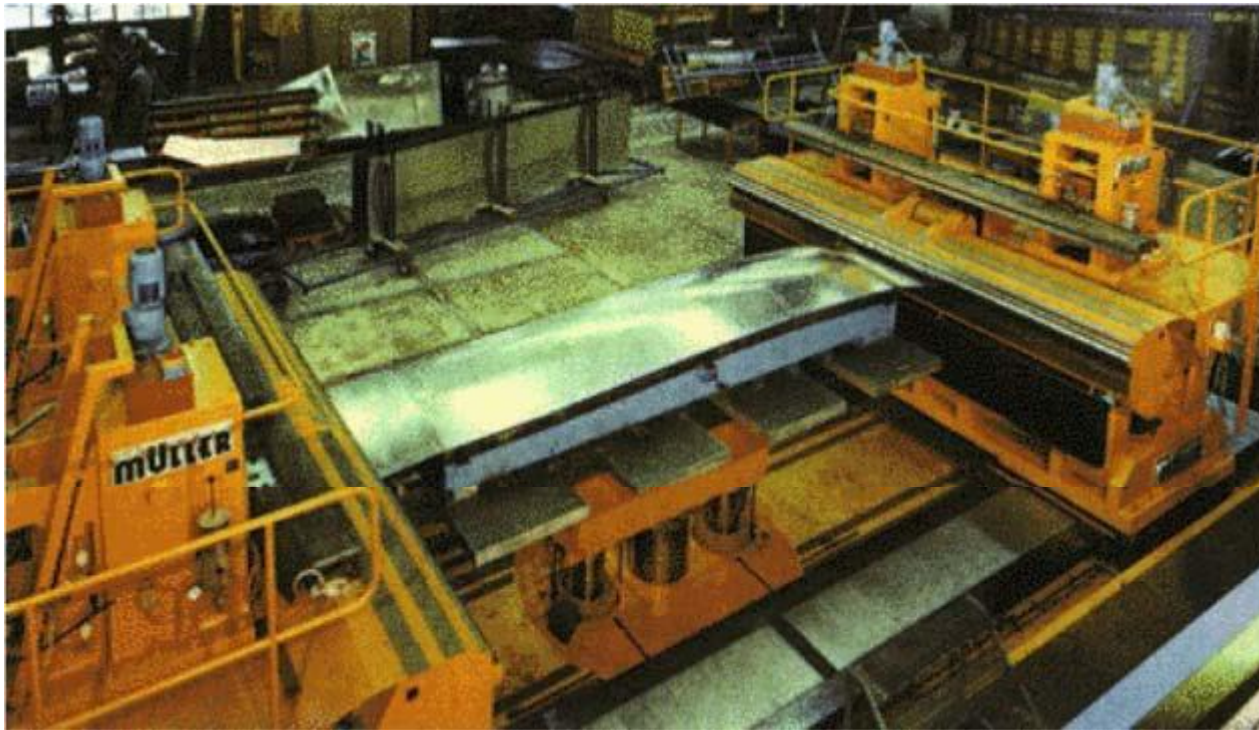
Pregresívne metódy ťahania – nat'ahovanie (vypínanie)

Tangenciálne vypínanie



Pregresívne metódy ťahania – nat'ahovanie (vypínanie)

Tangenciálne vypínanie



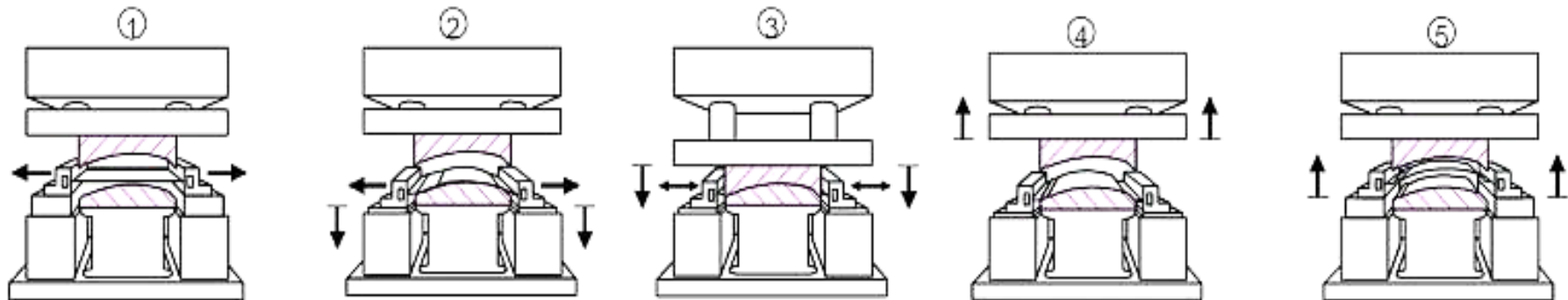
Výroba strešných panelov pre vagóny, na opláštenie autobusov, alebo opláštenia pre letecký priemysel (max. šírka 6,1 m; dĺžka 9,3 m. **Tvárnica sila 10 MN.**

Pregresívne metódy ťahania – nat'ahovanie (vypínanie)

Vypínanie metódou Cyril-Bath

Princíp 3. kroku

V priebehu zdvihu sa upínacie čeluste pohybujú riadeným pohybom; napätie v materiáli je možné riadiť a plochu súčiastky je možné zväčšiť vťahnutím, teda nielen na úkor jeho hrúbky.

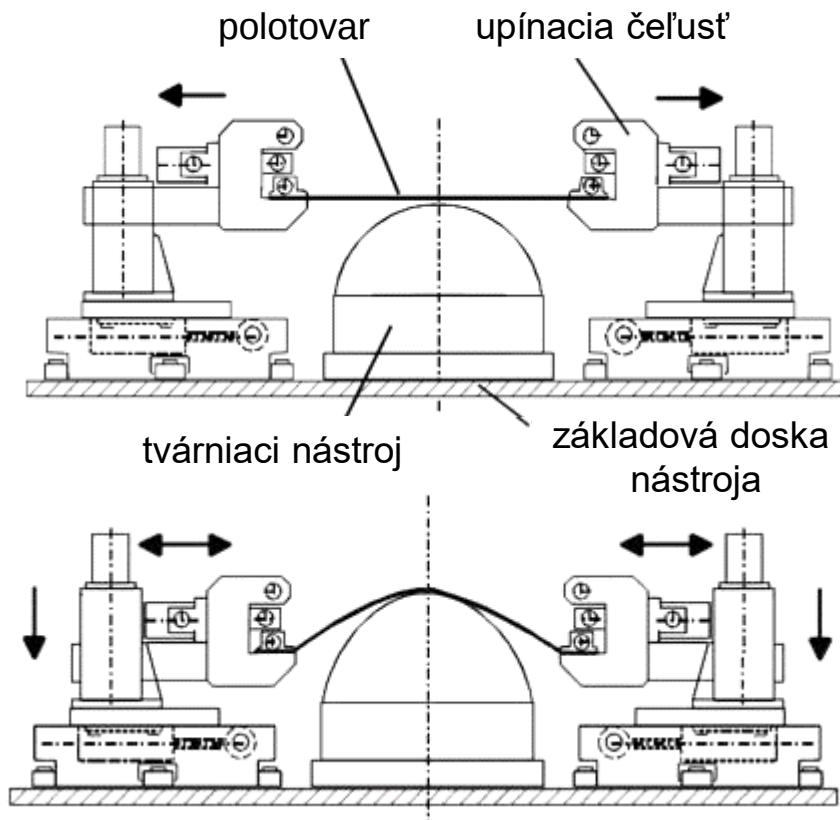


$$\varepsilon = 2 \text{ až } 4\%$$

1. Upnutie a napnutie prístrihu,
2. Natiahnutie materiálu na tvárniaci nástroj,
3. Vylisovanie súčiastky protitlakom, **princíp 3. kroku**,
4. Návrat lisovníka do východiskovej polohy,
5. Otvorenie čelustí a vybratie súčiastky

Pregresívne metódy ťahania – nat'ahovanie (vypínanie)

Flexibilné vypínanie

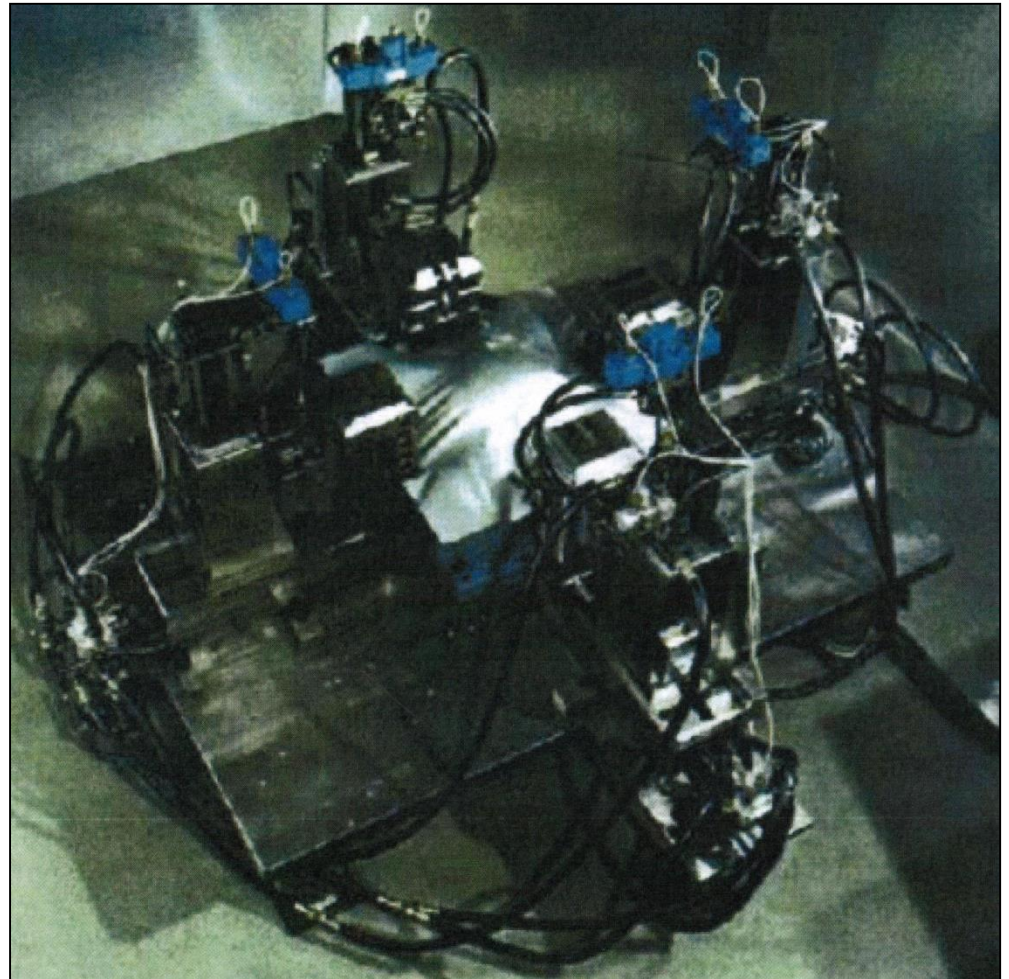
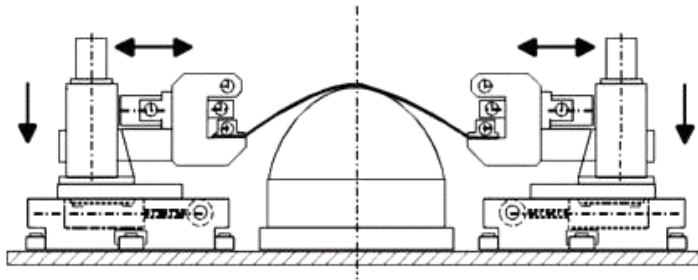


Upínacie čeluste sú umiestnené po obvode tvárniaceho nástroja. Sú nezávislé a **individuálne programovateľné**.

Zvislé a vodorovné pohyby sú koordinované s cieľom vytvoriť požadovanú trajektóriu upínacích čelustí na následné natiahnutie polotovaru na nástroj.

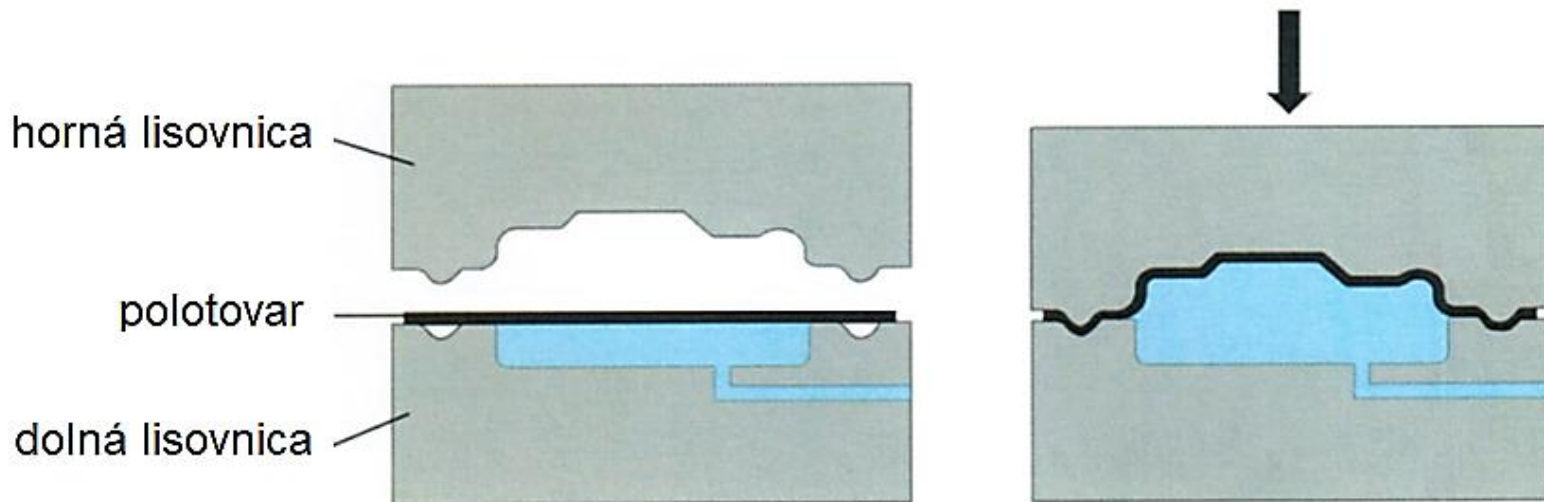
Pregresívne metódy ťahania – nat'ahovanie (vypínanie)

Flexibilné vypínanie



Pregresívne metódy ťahania – nat'ahovanie (vypínanie) s nepevným prostredím

Hydro-stretch forming



Odporučená literatúra

- BELL, C., CORNEY, J., ZUELLI, N., SAVINGS, D.: A state of the art review of hydroforming technology. Its applications, research areas, history, and future in manufacturing. In: International Journal of Material Forming (2020). Dostupné na:
file:///C:/Users/QSUGAR~1/AppData/Local/Temp/Bell2020_Article_AStateOfTheArtReviewOfHydrofor.pdf
- BLAŠČÍK, F. et al. *Technológia tvárnenia, zlievarenstva a zvárania*. Bratislava: Alfa Bratislava, 1988.
- ČUPKA, V. Nekonvenčné metódy v tvárnení. 1990.
- DUCHÁČEK, V.: Polymery, výroba, vlastnosti, zpracování, použití. Praha : VŠCHT, 1995. ISBN 80-7080-241-3.
- Flexform presses. 2008 Dostupné na: http://www.chiefup.com.tw/data/high_pressure/flexform.htm.
- FOREJT, M. Teorie tváření. Brno: CERM, 2004.
- HEIN, P., VOLLERTSEN, F.: Hydroforming of sheet metal pairs. In *Journal of Materials Processing Technology*, 1999. Dostupné na: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013698003471>
- HRIVŇÁK, A., EVIN, E., SPIŠÁK, E. Technológia plošného tvárnenia. Bratislava: Alfa, 1985.
- HRIVŇÁK, A., PODOLSKÝ, M., DOMAZETOVICH, V. Teória tvárnenia a nástroje. Bratislava: Alfa, 1992.

Odporučená literatúra

Jones Metal Products Company. The Hydroforming Process. 2004 Dostupné na: <http://www.jmpforming.com/hydroforming/about-hydroforming-process.htm>

KALPAKJIAN, S. *Manufacturing Engineering and Technology*. Massachusetts : PE-USR, 2006.

LENFELD, P.: Technologie II. TU Liberec. Dostupné na: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/obsah.htmhttp://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm.

MIELNIK, E. M. *Metalworking Science and Engineering*. College: McGraw-Hill, 1991.

MORAVEC, J. *Nekonvenčné technológie tvárnenia kovov*. Žilina: EDIS, 2003.

MORPHY, Gary.: Pressure-sequence and high-pressure hydroforming: Knowing the processes can mean boosting profits. The Tube & Pipe Journal, 1998. Dostupné na: <https://www.thefabricator.com/tubepipejournal/article/hydroforming/pressure-sequence-and-high-pressure-hydroforming--knowing-the-processes-can-mean-boosting-profits>.

NOVOTNÝ, K., MACHÁČEK Z. *Speciální technologie I. – plošné a objemové tváření*. Brno. VUT Brno, 1986.

SCHMID, S., KALPAKJIAN, S. *Manufacturing, Engineering and Technology*. New York: Prentice Hall, 2010.

SCHREK, A., KOSTKA, P., ČINÁK, P. *Progresívne technológie tvárnenia*. Bratislava: STU Bratislava, 2014.