



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA REPLIKY SVĚTLOMETU

PRODUCTION OF A HEADLIGHT REPLICA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jakub Hanzelka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Jakub Hanzelka**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Ladislav Žák, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba repliky světlometu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkol bude zaměřen na nekonvenční technologie tažení plošných materiálů. Výstupem bude sestava tažného nástroje a ekonomické vyhodnocení.

Cíle bakalářské práce:

- Literární studie,
- Návrh technologie výroby součásti doložený potřebnými výpočty,
- Konstrukce nástroje,
- Ekonomické vyhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.

BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. Technológia tvárenia. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.

SINGH, H. Fundamentals of Hydroforming. Society of Manufacturing Engineers, USA, 2003. ISBN 0-87263-662-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce se zabývá návrhem výroby reflektoru světlometu. Tloušťka plechu o materiálu DC04 je 0,6 mm. Byly posouzeny různé technologie a z nich zvoleno z důvodu složitosti tvaru součástky hydromechanické tažení. Polotovarem bude plech kruhového tvaru s poloměrem 117 mm, který bude vystřihován z tabulí o rozměrech 2500 x 1500 mm. Součástka bude vyrobena v jedné tažné operaci. Celková tvářecí síla je vypočtena 171 kN. Následně proběhla simulace procesu tažení, která potvrdila vyrobitelnost dílce. Maximální tvářecí síla dosahovala 226,6 kN. Byl zvolen lis ZH 30 a navrhnutá konstrukce nástroje.

Klíčová slova

hydromechanické tažení, materiál DC04, světlomet, reflektor, nástroj, hydraulický lis

ABSTRACT

The thesis deals with the design of a headlight reflector production. The sheet thickness of DC04 material is 0,6 mm. Various technologies were evaluated, and hydromechanical deep drawing was chosen due to the complexity of the component shape. The semi-finished product will be a circular sheet with a radius of 117 mm, which will be cut out from metal sheets measuring 2500 x 1500 mm. The component will be manufactured in a single drawing operation. The total forming force is calculated 171 kN. Subsequently, a simulation of the drawing process was conducted, confirming the manufacturability of the part. The maximum forming force reached 226,6 kN. The ZH 30 press was chosen, and the tool design was proposed.

Keywords

hydromechanical drawing, material DC04, headlight, reflector, tool, hydraulic press

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HANZELKA, Jakub. *Výroba repliky světlometu* [online]. Brno, 2023. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149744>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ladislav Žák.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba repliky světlometu vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 26.05.2023

místo, datum

Jakub, Hanzelka

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

| | |
|--|----|
| ÚVOD | 9 |
| 1 ROZBOR ZADÁNÍ..... | 10 |
| 1.1 Variantní řešení výroby | 11 |
| 2 HYDROMECHANICKÉ TAŽENÍ..... | 14 |
| 2.1 Velikost přístřihu a počet tažných operací | 15 |
| 2.2 Síla a práce | 16 |
| 2.3 Tlak kapaliny | 18 |
| 2.4 Nástroj a jeho rozměry | 19 |
| 2.5 Stroj | 21 |
| 3 NÁVRH VÝROBY | 23 |
| 3.1 Funkční rozměry nástroje a těsnění | 24 |
| 3.2 Průměr přístřihu a počet tažných operací | 25 |
| 3.3 Nástřihový plán | 27 |
| 3.4 Síla, práce a tlak | 29 |
| 3.5 Simulace a postup tažení | 30 |
| 3.6 Výběr stroje | 36 |
| 3.7 Nástroj | 37 |
| 4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ..... | 38 |
| ZÁVĚR..... | 40 |

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD

Strojírenství je velmi hojně využívané průmyslové odvětví na území České republiky a v dnešní době je nepostradatelnou částí při výrobě celé řady součástek z mnoha odlišných materiálů, jako jsou např. kovy nebo plasty. Jednou z metod zpracování materiálů je technologie tváření, která se dále dělí podle teploty na tváření za studena nebo za tepla. Příklady součástek vyrobených pomocí tváření jsou znázorněny na obrázku 1. [1; 2; 3]

Jednou z technologií patřící do skupiny tváření za studena je tažení. Základní princip je výroba dutého výtažku požadovaného tvaru součástky z rovinného polotovaru během jedné nebo více tažných operací. Pro představu tvarů součástek vyrobených tažením se lze podívat na obrázky 2 a 3. Typickými producenty jsou automobilový a letecký průmysl, ale takto vyrobené díly lze najít napříč všemi odvětvími a v každodenním životě. [1; 2; 4]



Obr. 1 Příklad součástek vyrobených pomocí tváření [5].



Obr. 2 Součástka zhotovená tažením [6].



Obr. 3 Součástka vyrobená technologií tažení [7].

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Zadanou součástí je replika reflektoru přední mlhovky automobilu značky Seat, viz obr. 4 a 5. Světlo se nachází ve spodní části předního nárazníku a je přichyceno pomocí třech šroubů, viz obrázek 6. Každý automobil je vybaven dvěma osově symetrickými kusy. Reflektor je v sestavě zafixován pomocí drážky na jeho přírubu a dvou pacek sloužících k upevnění žárovky a zamezení rotace kolem vlastní osy. Díl bude vyráběn s počtem kusů 8500 za rok.



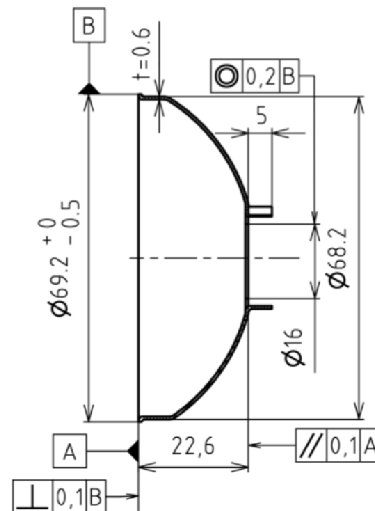
Obr. 4 Reflektor přední mlhovky.



Obr. 5 Sestava světlometu s reflektorem.



Obr. 6 Umístění světlometu na automobilu [9].



Obr. 7 Zaznačení základních rozměrů.

Jedná se o asymetrickou rotační součást, jejíž šikmé dno se skládá z pěti parabolických ploch s dvěma otvory pro montáž stínidla žárovky a jedné rovinné plochy s otvorem o průměru 18,5 mm sloužícímu k uchycení žárovky, jak lze vidět na obr. 4. Vnější průměr je 69,2 mm, a to včetně příruby o jednostranné šířce 0,5 mm, viz obr. 7. Největší hloubka je 22,6 mm, ale je potřeba brát v potaz, že k celkovému rozměru je nutné přičíst ještě dvě stejně velké packy o délce 5 mm. Součástka je vyrobena z plechu tloušťky 0,6 mm. Při výrobě je nutné dodržet předepsané tolerance, jimiž jsou kolmost, soustřednost a rovnoběžnost, viz obr. 7. Reflektor musí být kvůli funkčnosti na závěr povrchově upraven, a to pokovením vnitřní části hliníkem. Vnější část není funkční, a proto jí není třeba povrchově zpracovávat. Kompletní schéma, včetně všech potřebných pohledů a podrobností týkající se tepelného zpracování, drsností a tolerancí, lze najít na výkrese v přílohách označeném číslem 2023-BP-216896-D01. [8]

Materiál předepsaný výrobcem má název DC04 podle normy ČSN 11305. Jedná se o nízkouhlíkovou ocel válcovanou za studena, která je primárně určena k tváření za studena. Vzhledem k minimálnímu mechanickému namáhání dílce jsou mechanické vlastnosti materiálu, viz tabulka 2, dostačující. Dodavatelem ArcelorMittal, S.A. je garantována drsnost povrchu mezi 0,6 až 1,9 μm , a to je pro účely využití součástky vyhovující. Chemické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 1. [10; 12]

Tab. 1 Chemické složení oceli DC04+LC [12].

| C [%] | Mn [%] | P [%] | S [%] |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| max. 0,08 | max. 0,40 | max. 0,03 | max. 0,03 |

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli DC04+LC [12].

| Pevnost v tahu R_m [MPa] | Mez kluzu R_e [MPa] | Tažnost [%] |
|----------------------------|-----------------------|-------------|
| 270 | 230 | min. 36 |

1.1 Variantní řešení výroby

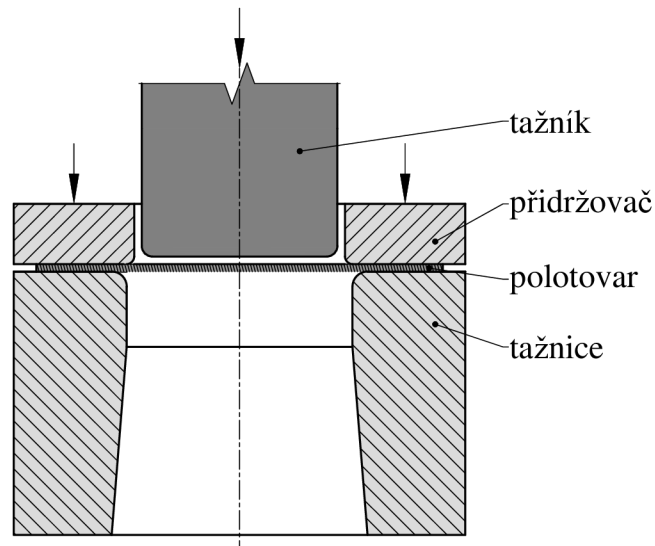
Metoda zvolená pro výrobu součástky se odvíjí od mnoha faktorů, mezi kterými je velikost výrobní série, složitost součástky, její přesnost, tolerance, drsnost, materiál, povrchová úprava a v neposlední řadě ekonomičnost a rychlost výroby. Reflektor byl sériově vyráběn pomocí technologie tažení, která se rozděluje na metody konvenční a nekonvenční. Cílem této kapitoly je najít metodu s ohledem na velikost série, která bude vhodnější než původní konvenční tažení.

Tažení je technologický proces, během kterého dochází k přetvoření rovinného polotovaru na dutou součástku, která odpovídá požadovanému tvaru. Samotný proces tažení lze provést na jednu nebo více tažných operací, což se odvíjí od složitosti výtažku, stupně přetvoření a dalších. Jednotlivé metody je nutné pro dosažení co nejoptimálnějších výsledků při procesu výroby porovnat mezi sebou a dále zvolit tu nejvhodnější. Mezi nekonvenční metody patří tažení [2; 16]:

- nepevnými nástroji,
- termální,
- výbuchem,
- elektromagnetické
- elektrohydraulické,
- hydrodynamické.

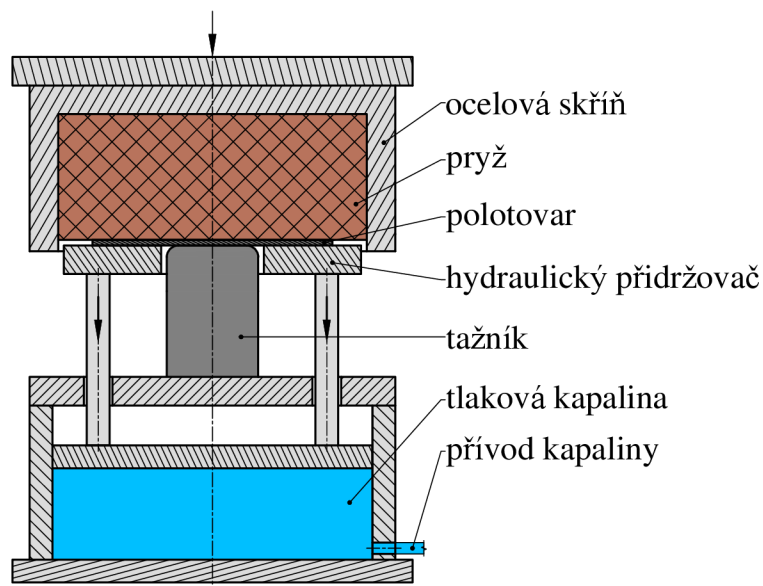
Vzhledem k tvaru, tloušťce součástky a náročnosti konstrukce nástroje budou uvažovány pouze metody tažení nepevným prostředím, které jsou vhodnější pro malosériovou a středně velkou výrobu dílů s tvarově složitými výtažky. Budou porovnány s konvenčním tažením. Na závěr proběhne vyhodnocení a výběr nevhodnější technologie. Zvažovanými jsou [1; 2; 3; 17; 19]:

- Konvenční tažení – nejčastěji používaná metoda, u níž jsou obě části nástroje (tažník a tažnice) vyrobené z kovu, obvykle nástrojové oceli. Problematická je výroba součástek komplikovaných tvarů. V porovnání s nekonvenčními metodami je většinou potřeba výtažek zhotovit na více než jednu tažnou operaci, což má za následek nutnost pořizovat více nástrojů nebo i strojů. Nevýhodou je velká pořizovací cena nástroje, která je však vykompenzována jeho dlouhou životností, a tudíž je metoda vhodná především k velkosériové výrobě. Pro výrobu součástky by bylo nutné použít přídržovač kvůli zhotovení příruby a zamezení zvlnění nebo dalších vad. Při zadané sérii je metoda nevhodná, jelikož série není dostatečně velká, aby se pořízení nástrojů vyplatilo z ekonomického hlediska. Pro tažení zadaného dílce není konvenční tažení optimální kvůli jeho složitosti. Schéma s přídržovačem je znázorněno na obrázku 8.



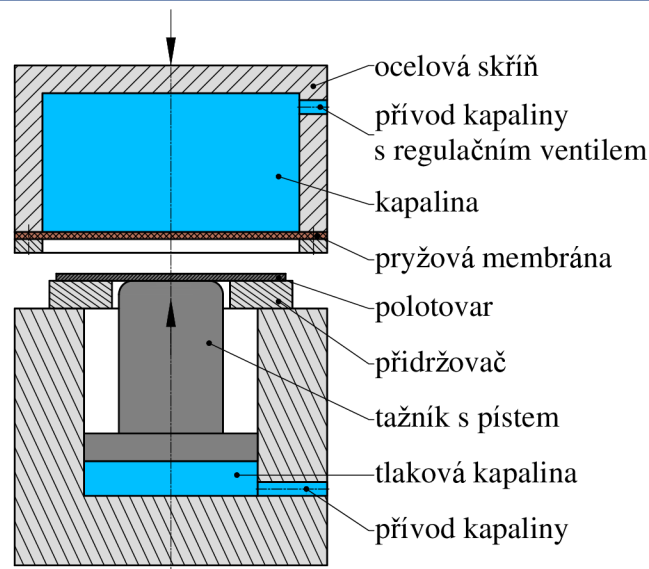
Obr. 8 Schéma konvenčního tažení s přidržovačem [14].

- Marform – je nekonvenční metoda, při které dochází k tváření materiálu za pomoci působení elastomeru jako tažnice. Je to kombinace konvenčního způsobu tažení s použitím přidržovače a tažení elastomery, jak lze vidět na obrázku 9. Velkou výhodou je univerzálnost, kdy pro výrobu součástek jiného tvaru stačí vyměnit pouze polovinu nástroje, a to tažník, který bývá většinou z nástrojové oceli. Lze dosáhnout požadovaného tvaru a jakosti součástky, avšak hlavní nevýhodou je nízká životnost pryže, což má za následek, že metoda není vhodná pro sériovou výrobu, a tedy nebude využita.



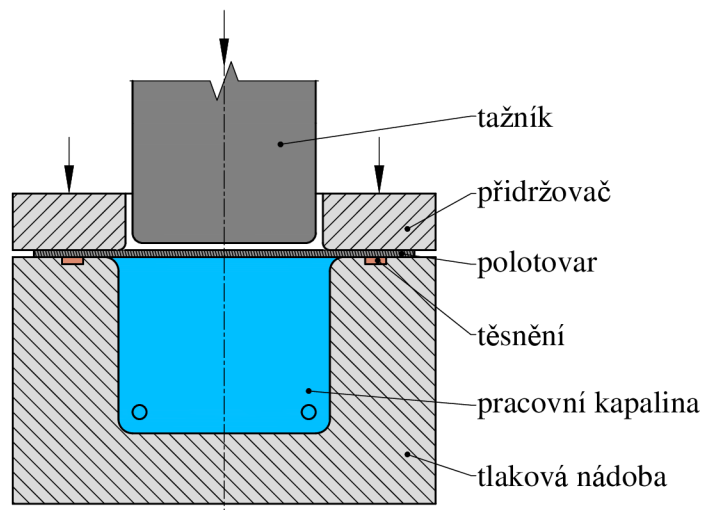
Obr. 9 Schéma metody Marform [2].

- Hydroform – proces, během kterého dochází k tvarování polotovaru pomocí tažnice tvořené pryžovou membránou v kombinaci s kapalinou. Tvar součástky je dosažen působením tlaku pevným tažníkem na polotovar a protitlakem kapaliny regulovatelným pomocí ventilu, jak lze vidět na obrázku 10. Kvůli omezené flexibilitě pryžové membrány výtažků by bylo problematické vyrobit přírubu zadané součástky. Životnost membrány, ačkoliv je dost vysoká, kolem 5 až 10 tisíc výtažků, by byla pravděpodobně pro zvolenou sérii nízká, a tedy by došlo k jejímu opotřebení a nutné výměně. Z těchto skutečností je zjevné, že by byla metoda Hydroform vhodná, avšak ne optimální.



Obr. 10 Schéma metody Hydroform [2].

- Hydromechanické tažení (HMT) – specifický je materiál tažné hrany, kterým je kapalina, nejčastěji voda nebo olej. Tažník je zhotoven, stejně jako u předchozích zmíněných metod, obvykle z nástrojové oceli. Principem je uchycení tvářeného materiálu pomocí přidržovače, přičemž dojde k uzavření komory s kapalinou. K zamezení úniku kapaliny slouží pryžové těsnění, viz obr. 11. Tažné operace probíhají při působení tlaku na kapalinu a současném sjíždění tažníku, který vytváří požadovaný tvar součástky. Značnou výhodou metody hydromechanického tažení je nízká cena nástroje a jeho výdrž, ale také zachování jakosti povrchu materiálu před tažením. Nevýhodou jsou zvýšené nároky na jmenovitou sílu stroje a nutné použití přidržovače pro účely utěsnění tlakové nádoby. HMT je vhodné k výrobě i složitějších tvarů součástí a jeví se jako nejvhodnější technologie pro výrobu řešené součásti.



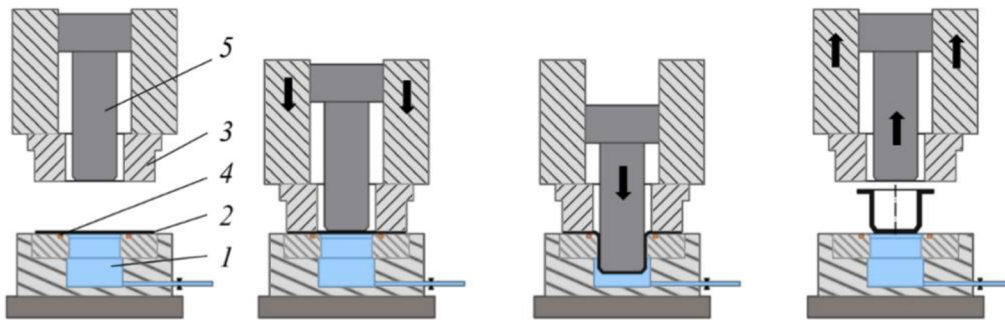
Obr. 11 Schéma hydromechanického tažení [2].

Po zvážení možných technologií výroby pro zadanou součást je vyhodnoceno, že nejvhodnější z nich je hydromechanické tažení, které umožňuje zadanou sérii vyrobit v požadované kvalitě a ekonomicky výhodně. Nutnost použití přidržovače kvůli těsnění není přítěž, jelikož má reflektor funkční přírubu, která bude takto vytvořena. Teoretická i návrhová část bude zaměřena na metodu HMT.

2 HYDROMECHANICKÉ TAŽENÍ

Hydromechanické tažení se řadí mezi nekonvenční technologie tažení plechu z důvodu konstrukce a funkce nástroje. Tažná hrana tažnice konvenčních nástrojů z pevného materiálu, nejčastěji nástrojové oceli je nahrazena tlakovou nádobou s kapalinou. Pomocí technologie HMT lze vyrábět duté nádoby rotačního i nerotačního tvaru a díky univerzálnosti tažné hrany je možné zhotovit i složité nepravidelné tvary, kterých by pomocí konvenčních technologií nebylo možné dosáhnout. Součásti vyrobené HMT mají vždy přírubu. [1; 2; 17]

Na obrázku 12 je znázorněn princip HMT. V první fázi dojde k založení polotovaru (2) na vrchní plochu tlakové komory (1), poté sjíždí přídržovač (3), který utěsní komoru působením tlaku na polotovar a těsnění (4). Následuje kontakt tažníku (5) s přístřihem a probíhá samotné tváření materiálu za neustálého působení tlaku kapalinou. Ten je během celého procesu korigován pomocí regulačního a řídicího systému nástroje. Řízení tlaku kapaliny v tažné komoře je obzvláště výhodné při tažení tenkostěnných plechů, jelikož v porovnání s konvenčními technologiemi je menší šance na porušení materiálu při samotném tažení. Poslední operací je otevření nástroje a dopuštění tlakové komory kapalinou na potřebnou úroveň. [1; 2; 17; 18; 19]



Obr. 12 Fáze hydromechanického tažení [20].

Rozdíl v porovnání s konvenčním tažením z pohledu konstrukce je primárně vidět v rozdílnosti tažnice, avšak tato odlišnost má za následek řadu výhod, díky kterým je HMT stále využívanou metodou. Jsou jimi [1; 2; 17; 18; 19]:

- Zmenšení kontaktu polotovaru s materiálem tažnice pomocí tažné hrany tvořené kapalinou, což má za následek zmenšení poškození povrchu součástky, razantní zmenšení opotřebení tažnice a snížení pravděpodobnosti vzniku zvlnění materiálu.
- Vysoký stupeň tahání zmenšující potřebný počet tahů, a tím i cenu nástrojů.
- Jednodušší vtahování příruby a její menší poškození oproti ostatním metodám kvůli kapalině, která se nachází mezi tažnicí a přírubou, fungující jako mazivo.
- Vhodný i pro malosériovou výrobu z důvodů poměrně nízkých nákladů na výrobu nástroje.
- Možnost tvářet i tvarově velmi složité díly, například se šikmým dnem, nepravidelné rotační, parabolické nebo s otvorem ve dně.

Navzdory řadě výhod zajišťující metodě jasné místo mezi aktivně používanými nekonvenčními způsoby tažení je potřeba také zmínit nevýhody. Hlavní nevýhody se týkají využití kapaliny jako tvářecího média. Mezi ně se řadí [2; 17; 19]:

- Nutnost použití tvářecích strojů s vyšší jmenovitou silou z důvodu protitlaku kapaliny, který se také podílí na zvýšení potřebné síly na přídržovači.
- Použití jednoho nebo více těsnění zaručujících uzavření kapaliny v tlakové komoře.
- Nevyhnutelné vyrobení výtažku s přírubou.
- Delší výrobní časy.

2.1 Velikost přístřihu a počet tažných operací

Pro stanovení velikosti přístřihu existuje řada vzorců, které jsou většinou závislé na nějaké specifikaci tvaru součástky, např. válcová, nebo určení způsobu tažení, jako je tažení se ztenčením stěny. Obecně lze však vycházet ze zákona stálosti objemu (obr. 13), který je upraven za předpokladu stálosti tloušťky stěny výtažku (nebo zanedbatelné změně), na výpočet pomocí jednotlivých ploch součástí. U tenkostěnných plechů jsou využívány vnější plochy výtažku, zatímco u plechů s větší tloušťkou je vhodnější počítat se středními rozměry ploch. V praxi se již nejčastěji používá výpočet pomocí počítačového softwaru. Jako příklad vzorce lze uvést Guldinovu větu využívanou u složitých rotačních výtažků [1; 2; 14]:

$$S_0 = \sum_{i=1}^{n_s} 2 \cdot \pi \cdot L_i \cdot x_i \quad [\text{mm}^2] \quad (2.1)$$

kde: S_0 – plocha výtažku [mm^2],
 n_s – počet ploch, ze kterých je součást složena [ks],
 L_i – délka úseku dané křivky v řezu [mm],
 x_i – vzdálenost těžiště dané křivky od osy výtažku [mm].

Vlivem plošné anizotropie (rozdílnost vlastností materiálu v závislosti na směru válcování) bývají okraje výtažku nerovnoměrné, a proto se vypočítaný průměr přístřihu musí navýšit o přírůstek, který bude později ostřížen. Obecně se lze držet pravidla tříprocentního přírůstku pro první tah a jednoprocenního pro každý další. Pravidlo ale nebere v potaz tažení s přírubou nebo samotné rozměry součástí, a tak lze využít tabulek 3 a 4, které uvádějí hodnoty pro konkrétní parametry rotačních výtažků. Vzorec pro odvození průměru přístřihu pomocí jednotlivých obsahů ploch pak vypadá takto [1; 2]:

$$D_o = \sqrt{\frac{4 \cdot S_0}{\pi}} \quad [\text{mm}] \quad (2.2)$$

Tab. 3 Přírůstky na ostřížení rotačních výtažků bez příruby v mm [2].

| Výška výtažku h [mm] | h/d – Podíl výšky výtažku a jeho průměru [-] | | | |
|---------------------------|--|-----------|-----------|-----------|
| | 0,5 ÷ 0,8 | 0,8 ÷ 1,6 | 1,6 ÷ 2,5 | 2,5 ÷ 4,0 |
| 10 | 1,0 | 1,2 | 1,5 | 2,0 |
| 20 | 1,2 | 1,6 | 2,0 | 2,5 |
| 50 | 2,0 | 2,5 | 3,3 | 4,0 |
| 100 | 3,0 | 3,8 | 5,0 | 6,0 |
| 150 | 4,0 | 5,0 | 6,5 | 8,0 |
| 200 | 5,0 | 6,3 | 8,0 | 10,0 |
| 250 | 5,0 | 7,5 | 9,0 | 11,0 |
| 300 | 7,0 | 8,5 | 10,0 | 12,0 |

Tab. 4 Přírůstky na ostřížení rotačních výtažků s přírubou v mm [2].

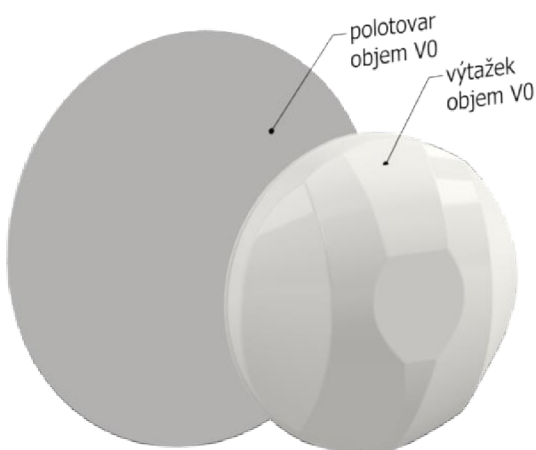
| Průměr příruby d_p [mm] | d_p/d – Podíl průměru příruby a průměru výtažku [-] | | | |
|------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|
| | <1,5 | 1,5 ÷ 2,0 | 2,0 ÷ 2,5 | 2,5 ÷ 3,0 |
| 25 | 1,6 | 1,4 | 1,5 | 1,0 |
| 50 | 2,5 | 2,0 | 1,8 | 1,6 |
| 100 | 3,5 | 3,0 | 2,5 | 2,2 |
| 150 | 4,3 | 3,6 | 3,0 | 2,5 |
| 200 | 5,0 | 4,2 | 3,5 | 2,7 |
| 250 | 5,5 | 4,6 | 3,8 | 2,8 |
| 300 | 6,0 | 5,0 | 4,0 | 3,0 |

Stupeň tažení je hodnota, která určuje minimální průměr, kterého je schopný výtažek dosáhnout bez porušení materiálu po dané tažné operaci. Jeho velikost se odvíjí od několika faktorů, jako jsou: tloušťka materiálu, jeho mechanické vlastnosti, zvolená technologie anebo pořadí tahu. U HMT lze dosáhnout hodnoty až 3,3 u první tažné operace. Pokud není možné součást zhotovit na tři operace, tak je nutné díl mezioperačně žíhat a tím do jisté míry obnovit jeho mechanické vlastnosti. Stupeň tažení je definován vzorcem [1; 2; 3]:

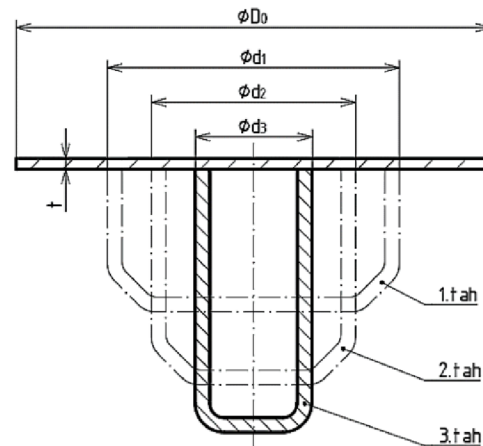
$$K_t = \frac{d_{i-1}}{d_i} = \frac{1}{m} \quad [-] \quad (2.3)$$

kde: d_i – průměr výtažku v daném tahu [mm],
 m – součinitel tažení [-].

Častěji využívaná veličina k výpočtu tažných operací se nazývá součinitel tažení. Je to převrácená hodnota stupně tažení. U HMT může nabývat hodnoty až 0,3, ale běžně v praxi se pro první tažnou operaci uvádí hodnota okolo 0,38 až 0,40. Pokud výsledek součinu součinitele tažení m pro danou operaci a průměru součásti v daném tahu je nižší než výsledný průměr součástky, tak lze tento tah považovat za poslední potřebný k výrobě součásti. Zbytečně velký počet operací zvyšuje náklady na výrobu a její složitost. Obrázek 14 znázorňuje víceoperační tažení, kdy po prvním tahu z původního průměru přístříhu D_0 je získán výtažek s průměrem d_1 , z něj poté d_2 a nakonec d_3 . [1; 2]



Obr. 13 Zákon zachování objemu.



Obr. 14 Schéma víceoperačního tažení [1].

2.2 Síla a práce

Znalost celkové tvářecí síly je klíčová k volbě vhodného lisu. V průběhu tažení se její hodnota mění, a proto stačí znát maximální vyvozenou sílu během celého procesu. Je složena součtem tlaku kapaliny v tažné komoře působícího na plochu půdorysného průmětu výtažku a 4 dílčích sil, kterými jsou [1; 2; 14; 15; 16; 22]:

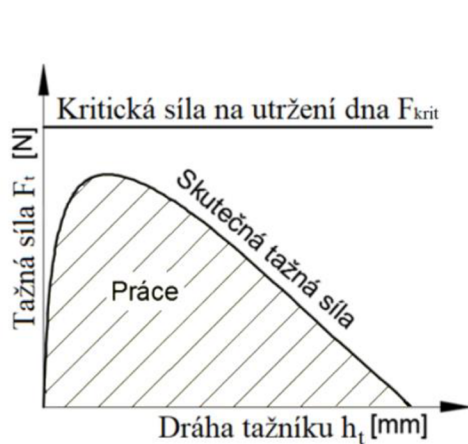
- Tažná síla – skutečná hodnota se odvíjí od výpočtu napětí působících mezi nástrojem a polotovarem. Nabývá nejvyšší hodnoty v okamžiku maximálního tření, prostorového ohybu a zpevnění materiálu. V praxi se místo ní využívá zjednodušený empirický vzorec vyjadřující kritickou sílu, která vymezuje mezní hodnotu, při níž by došlo k utržení dna výtažku, viz obrázek 15. Její působíště je v ose tažníku, jak je znázorněno na obrázku 16. Pro její výpočet je nutné znát hodnotu součinitele C , jehož vybrané hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5. Kritická síla je určena rovnicí:

$$F_{krit} = C \cdot \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m \quad [N] \quad (2.4)$$

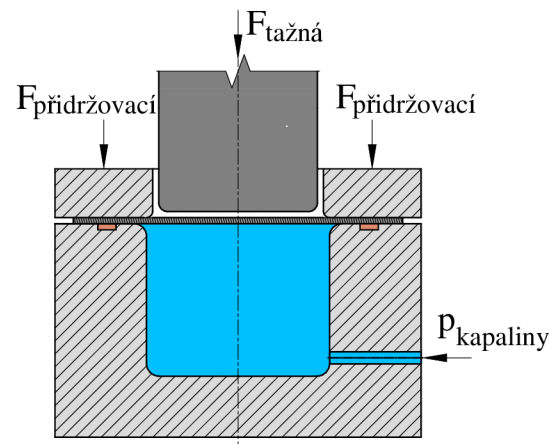
kde: C – součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení m , viz tab. 5 [-],
 t – tloušťka materiálu [mm].

Tab. 5 Vybrané hodnoty součinitele C [1].

| $m_i = d_i / d_{i-1}$ | 0,55 | 0,60 | 0,65 | 0,70 | 0,80 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|
| C | 1,00 | 0,86 | 0,72 | 0,60 | 0,40 |



Obr. 15 Průběh tažné síly [1].



Obr. 16 Znárodnění působících sil [22].

- Přidržovací síla – působí přímo na přístřih, který přitlačuje k vrchní ploše tažné komory (obr. 16). Při HMT je vyšší než u konvenčního způsobu z důvodu působení tlaku kapaliny v opačném směru. Musí být dostatečně vysoká na to, aby se předešlo úniku tekutiny mezerou mezi tažnou komorou a polotovarem a k zabránění vzniku vln v přírubě. Lze ji určit pomocí vzorce:

$$F_p = p_p \cdot S_p \quad [\text{N}] \quad (2.5)$$

kde: p_p – přidržovací tlak [MPa],
 S_p – činná plocha přidržovače [mm²].

Velikost se obvykle mění v průběhu tažení vlivem několika faktorů, mezi kterými jsou změna tlaku kapaliny a zmenšování plochy příruby. Hodnotu je tedy velmi těžké odhadnout předem a většinou se provádí buď odhad pomocí simulace, nebo odzkoušení v praxi. Pokud ji z technického důvodu není možné regulovat, je doporučeno zvolit konstantní hodnotu přidržovacího tlaku z rozmezí 8 až 12 MPa.

- Třecí síly – působící proti směru vtahování tvářeného materiálu. První z nich působí na přírubu v místě kontaktu s přidržovačem a druhá v místě kontaktu s tažnou komorou. Obě jsou závislé na součiniteli tření, činné ploše a tlaku přidržovače a kapaliny.

Určení velikostí třecích sil vyžaduje komplikované výpočty, a proto se v praxi tyto síly zanedbávají a místo nich je finální hodnota tvářecí síly navýšena o 30 %. Tím je zaručena dostatečná rezerva pro volbu stroje. Vzorec pro výpočet celkové tvářecí síly je následující [1; 22]:

$$F_{celk} = F_{taž} + p_k \cdot S_v + F_p \quad [\text{N}] \quad (2.6)$$

kde: $F_{taž}$ – tažná síla, obvykle nahrazena F_{krit} [N],
 p_k – tlak kapaliny [MPa],
 S_v – plocha půdorysného průmětu výtažku [mm²].

Hodnota velikosti práce vykonané k provedení tahu se rovná obsahu plochy pod křivkou tažné síly, viz obrázek 15. Je určena integrací dané křivky. Zjednodušeně lze práci vypočítat dle vzorce [2; 3]:

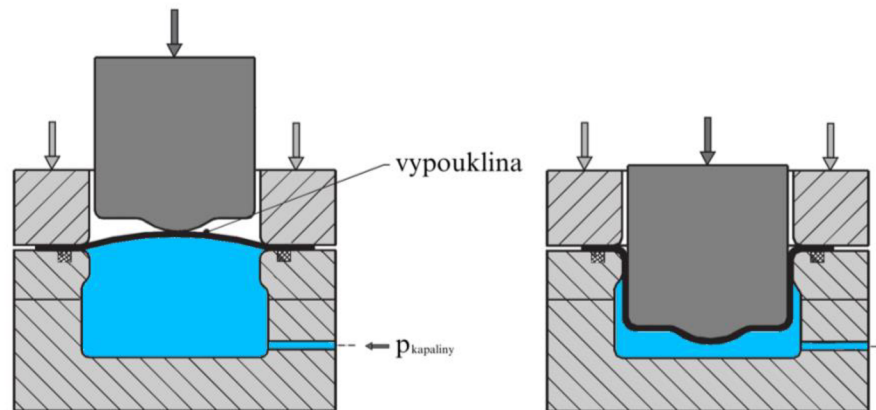
$$A_{taž} = \psi \cdot F_{celk} \cdot h \quad [\text{J}] \quad (2.7)$$

kde: ψ – koeficient zaplnění plochy, volen z rozsahu 0,6 až 0,8 [-].

2.3 Tlak kapaliny

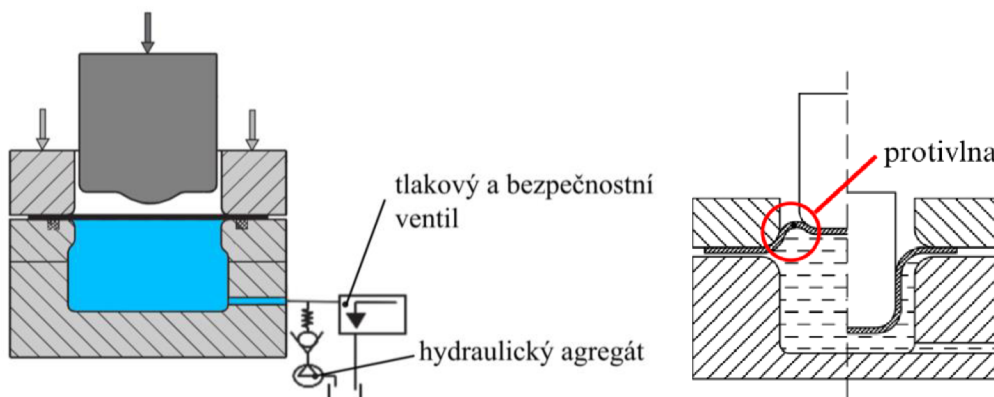
Kapalina při HMT nahrazuje funkci tažné hrany a je v přímém kontaktu s přístřihem. Odvíjí se od tloušťky a materiálu polotovaru, požadovaného tvaru výtažku a konstrukčních parametrů nástroje. Během procesu tažení se velikost neustále mění pomocí regulace ventilem a čerpadlem (obr. 18). Doporučené hodnoty pro tažení hliníku jsou 5–20 MPa, oceli 20–60 MPa a korozivzdorné oceli 30–100 MPa v závislosti na tloušťce materiálu. Podle působení protitlaku kapaliny lze metodu rozdělit na 2 způsoby [1; 2; 7; 15; 21; 22]:

- Aktivní (kombinace s počátečním tlakem kapaliny) – před samotným působením tlaku tažníku je pomocí zařízení vyvíjejícího tlak na kapalinu vytvořena vypouklina polotovaru, jak lze vidět na obrázku 17, do které poté zajede tažník a se souběžnou regulací tlaku kapaliny vytváří součást požadovaného tvaru. Výhodou je zvětšená tuhost výtažku.
- Klasické – kdy tlak kapaliny je primárně vyvozován tlakem tažníku na polotovar a je regulován tlakovým ventilem. I zde dochází ke vzniku vypoukliny, znázorněné na obrázku 19, tzv. protivlny, ale až následkem tváření plechu tažníkem.

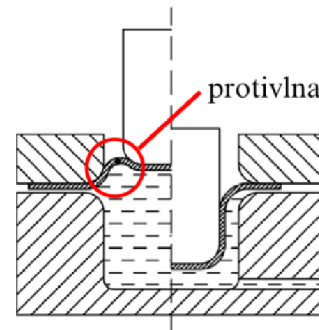


Obr. 17 Schéma aktivního HMT [17].

Protivlna, viz obr. 19, vzniká při rostoucím protitlaku kapaliny v tlakové komoře způsobeným vnikáním tažníku do přístřihu. Tlak je natolik vysoký, že je polotovar natlačen proti pohybu tažníku na jeho stěnu a hranu přidržovače. Hlavní funkcí je pozměnění rozložení napětí plechu v kontaktu s tažníkem s cílem předejít zvlnění a protržení materiálu na začátku tažení. Výtažek má také díky protivlně, sloužící jako zásobárna materiálu, rovnoměrnější tloušťku stěny. Je uváděno ztenčení pouze o 2 až 3 %. [2; 18; 19; 20]



Obr. 18 Klasické HMT s regulačním zařízením [17].



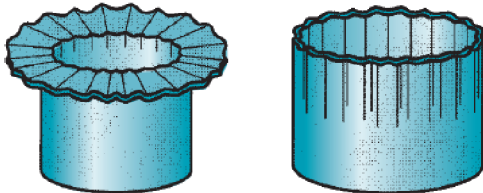
Obr. 19 Protivlna [21].

Při optimalizaci velikosti tlaku může nastat řada problémů spojených s využitím kapaliny jako tvářecího média. Vady výtažku, objevující se během procesu tažení jsou: nadbytečné ztenčení,

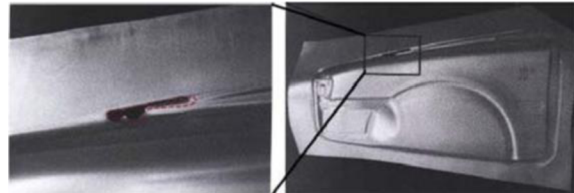
nebo až protřžení, zvrásnění příruby a bočního pláště výtažku (obr. 20), nebo příliš velká protivlna, mající za následek protřžení (obr. 21). [19; 21; 22]

Na obrázku 22 je popsán graf závislosti přidržovací síly na tlaku kapaliny. V tučně označeném rámečku se nachází jejich ideální poměr. Tlak a přidržovací síla zde nejsou ani vysoké, ani nízké. Při vysokém tlaku může dojít k jednomu ze 3 scénářů, kterými jsou [17; 22]:

- protřžení výtažku z důvodu vysokého tlaku a vysoké přidržovací síly,
- protřžení následkem vytvoření příliš velké protivlny, viz obrázek 21,
- únik kapaliny a zvlnění příruby (obr. 20).

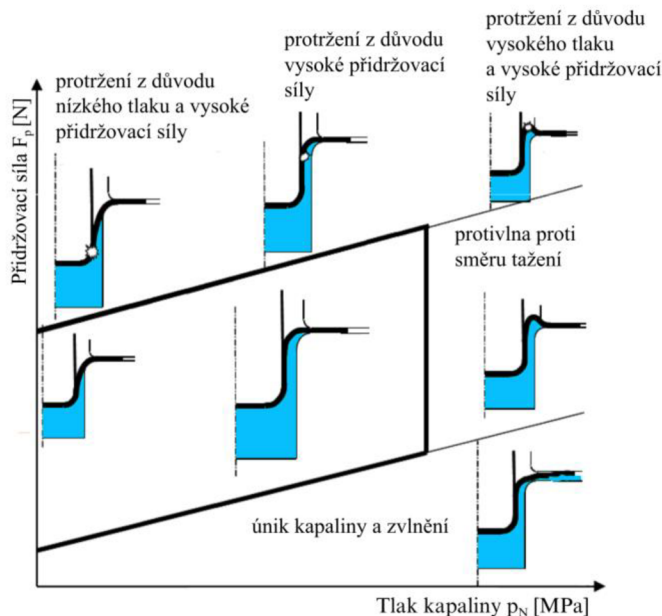


Obr. 20 Zvrásnění příruby a pláště [23].

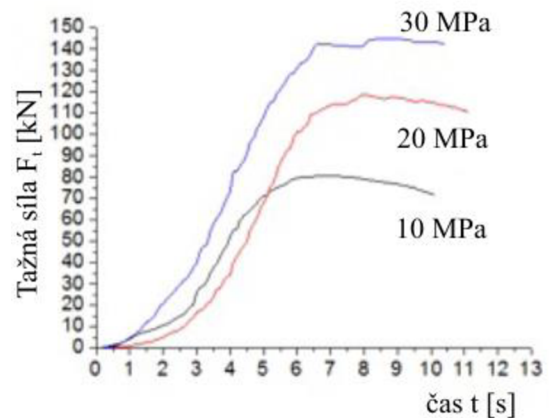


Obr. 21 Protřžení součásti [22].

Graf závislosti tažné síly na času tažné operace (místo času lze za předpokladu konstantní rychlosti tváření použít i dráhu tažníku), viz obr. 23, názorně ukazuje rozdílné křivky s měnící se velikostí tlaku kapaliny. Černá křivka značí tlak v komoře 10 MPa, červená 20 MPa a modrá 30 MPa. Graf je výsledkem pokusu HMT s ocelí o tloušťce 0,5 mm. S rostoucím tlakem v komoře se také navyšuje tažná síla až do bodu největšího podílu tření, prostorového ohybu a zpevnění materiálu. Hodnoty, o které se síla navyšuje nejsou přímo úměrné navýšení tlaku kapaliny, a to z důvodu změny velikostí sil třecích a přidržovače. [14; 20; 21]



Obr. 22 Znázornění možných vad HMT [22].



Obr. 23 Graf vlivu změny tlaku kapaliny [20].

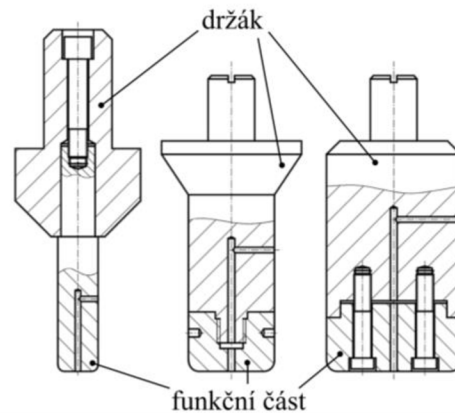
2.4 Nástroj a jeho rozměry

Nástroj jako celek je složen z několika samostatných částí a nazývá se tažidlo. Hlavními funkčními částmi nástroje jsou tažník a tažnice (tažná komora). Na jejich konstrukční rozměry má vliv hlavně pořadí prováděné operace, ale také tvar tažené součástky, vlastnosti materiálů a jeho tloušťka, parametry procesu nebo volba lisu. Jednotlivé části tažidla jsou [1; 2; 3; 24]:

- Tažník – funkčními částmi jsou čelo, plášť a zaoblený přechod mezi nimi. Vnější průměr je shodný s vnitřním průměrem výtažku. Obvykle bývá složen z funkční části a držáku a jeho konstrukce se mění s velikostí průměru výtažku, jak lze vidět na obrázku 24.

Zaoblení tažníku se volí s ohledem na tloušťku plechu a zaoblení výtažku. Při HMT je minimální zaoblení voleno:

- pro tloušťku plechu 1 mm – $r_{\text{taž-min}} = 3 \text{ mm}$,
- pro tloušťku plechu 2 mm – $r_{\text{taž-min}} = 4 \text{ mm}$.



Obr. 24 Konstrukční provedení tažníků [24].

- Tažnice – k zamezení protrhnutí materiálu je nutné vnitřní hranu tažnice zaoblit, a to na minimální průměr v závislosti na tloušťce polotovaru:
 - při tloušťce plechu 1 mm – $(4 \div 8) \text{ mm}$,
 - při tloušťce plechu 2 mm – $(6 \div 12) \text{ mm}$.

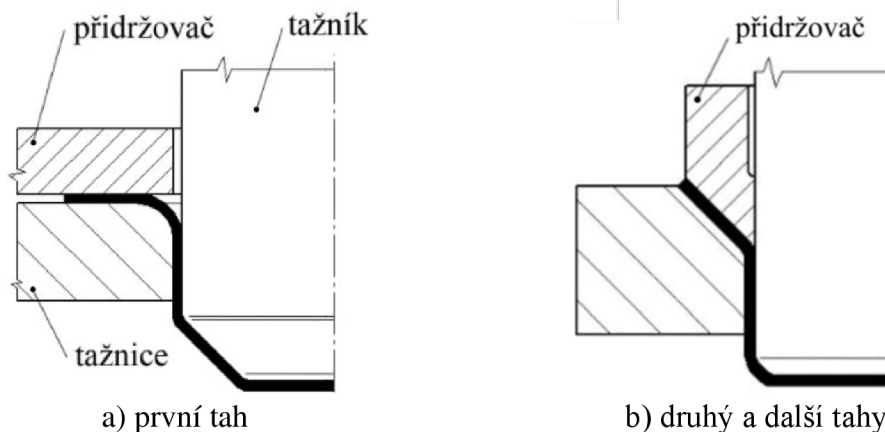
Součástí tažné komory je drážka na těsnění, do níž je založen těsnicí kroužek. Materiálem je nejčastěji pryž. Pro určení umístění napomáhá následující výpočet, který udává střední průměr drážky:

$$d_d = d_t + 2 \cdot R_t + H + 4 \quad [\text{mm}] \quad (2.8)$$

kde: d_t – průměr tažnice [mm],
 R_t – zaoblení tažnice [mm],
 H – šířka těsnění [mm].

- Přidržovač – použití je při metodě hydromechanického tažení nezbytné, jelikož částečně zajišťuje utěsnění kapaliny v tažnici. Pro první tah se využívá rovinný prstenec a pro další tahy je zkosen pod úhlem 30° až 40° za účelem vytvoření tažného úhlu, viz obr. 25. Pro předejití protržení přístřihu kvůli vytvoření protivlny je nutné přidržovač zaoblit. Doporučené hodnoty jsou:
 - u tloušťky materiálu 1 mm – $(1 \div 3) \text{ mm}$,
 - u tloušťky materiálu 2 mm – $(1 \div 5) \text{ mm}$.

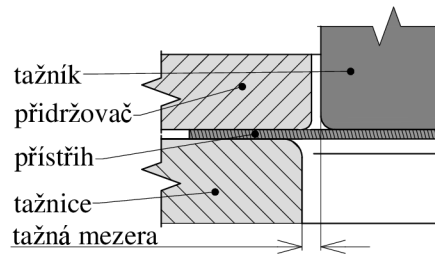
V případě využití zkoseného přidržovače je nutné umístit těsnění mezi zkosené plochy.



Obr. 25 Druhy přidržovačů [25].

Velmi důležitý konstrukční parametr přímo ovlivňující velikost tažné síly, kvalitu výtažku a optimální vytvoření protivlny se nazývá tažná mezera. Jedná se o rozměr mezi tažníkem a tažnicí, jak je znázorněno na obrázku 26. Při volbě příliš velké velikosti může dojít při tažení k zvlnění výtažku, a naopak při zvolení malé tažné mezery dochází k nárustu potřebné tažné síly a zvětšení pravděpodobnosti protržení. Doporučené hodnoty pro válcový výtažek jsou [1]:

- $(4 \div 6)$ mm pro materiál o tloušťce 1 mm,
- $(8 \div 14)$ mm pro materiál o tloušťce 2 mm.

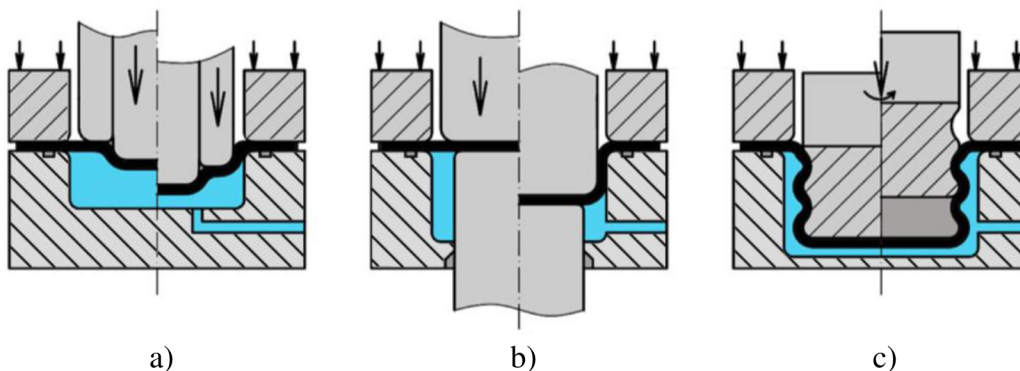


Obr. 26 Tažná mezera [1].

Posledním geometrickým parametrem tažidla je mezera mezi tažníkem a přidržovačem. Stejně jako tažná mezera se podílí na vytvoření protivlny. Doporučené hodnoty při HMT jsou [1]:

- $(0,5 \div 5)$ mm pro materiál o tloušťce 1 mm,
- $(0,5 \div 14)$ mm pro materiál o tloušťce 2 mm.

V současnosti existuje několik desítek různých modifikací hydromechanického tažení. Naprostá většina variací je tvořena odlišnou konstrukcí tažníku. Na obrázku 27 jsou zobrazeny některé z nich. Jsou jimi tažení s dvojitým tažníkem (a), tažení s protipístem (b) a tažení s otočným tažníkem (c) [1].



Obr. 27 Varianty hydromechanického tažení [1].

2.5 Stroj

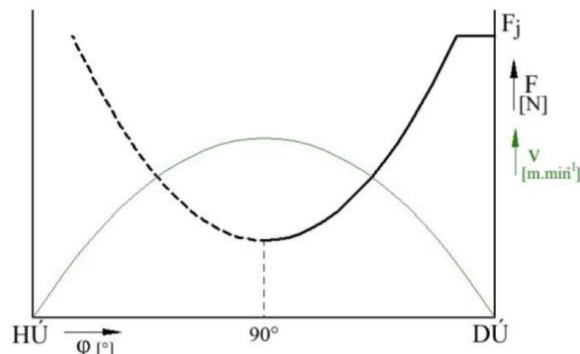
Stroje využívané k tažení se nazývají lisy. Jejich volba se odvíjí od několika faktorů, jako jsou rozměry vyráběné součástky, potřebná jmenovitá síla nebo velikost série. Tažné lisy se podle konstrukce a počtu přenášených sil rozdělují na [2; 16]:

- Jednočinné – mají pouze jeden beran, který vykonává všechny operace. Konstrukce je vhodná hlavně k tažení bez použití přidržovače a vyhazovače. Pokud je i tak zvolen jednočinný lis a bude použit přidržovač nebo vyhazovač, tak pro ně musí být využit jiný mechanismus, jako jsou například pružiny.
- Dvočinné – mimo hlavní beran je k dispozici ještě druhý, který se nejčastěji využívá pro ovládání přidržovače. U řady strojů se lze setkat s působením hlavního beranu na vrchní část nástroje a druhého do protisměru, tedy na spodní část.
- Trojčinné – je možné ovládat samostatně všechny 3 berany. Využívají se na velmi náročné práce, jako je tažení karosérií.

- Vícečinné (postupové) – bývají využívány na provedení více operací v jenom stroji.

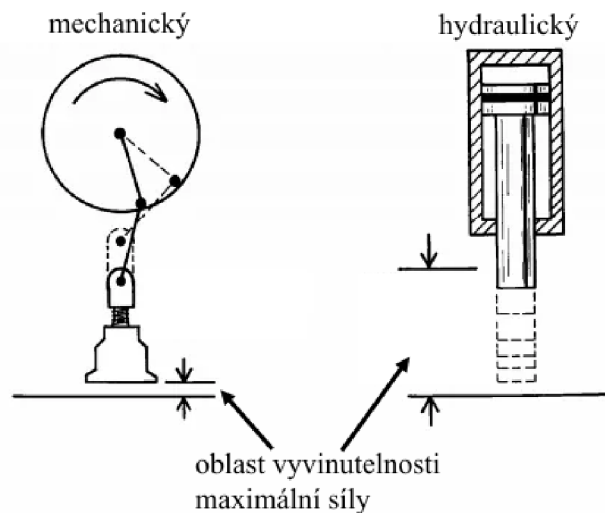
Dále lze lisy rozdělit podle způsobu pohonu na [16; 26]:

- Mechanické – využívají klikového nebo kloubového mechanismu. Jsou poměrně levné a konstrukčně jednoduché. Specifické pro tento typ je schopnost dosáhnout jmenovitého tlaku až těsně před dolní úvratí (DÚ) smykadla (obr. 28). Dělí se podle způsobu přenosu síly na jednobodové, dvoubodové, třibodové, čtyřbodové a vícebodové. Nevýhodou je průběh tvářecí síly, jelikož její velikost záleží na úhlu pootočení kliky.
- Hydraulické – jsou optimální pro tažení plechů, jelikož mají mechanismus vyvozující sílu na přídržovači. Využívají rovnoměrného rozložení tlaku kapaliny. Velikost síly beranu je konstantní a lze dosáhnout velmi velkých sil. Výhodou je nastavení výšky zdvihu a regulace rychlosti. Nevýhodami jsou složitá konstrukce, vysoká pořizovací cena a snížená rychlost beranu mající za následek horší produktivitu než u mechanických lisů.



Obr. 28 Průběh síly mechanického lisu v závislosti na úhlu hřídele [26].

Na obrázku 29 je zjednodušeným schématem zobrazen rozsah, během kterého lze vyvíjet maximální sílu. Dalším nutným prvkem u technologie hydromechanického tažení je čerpadlo a regulační ventil. Ty fungují buď jako samostatná jednotka, která je dokoupena k lisu, nebo jako vestavěná část lisu. V rámci omezeného rozsahu bakalářské práce však tato část nebude rozebírána [2].



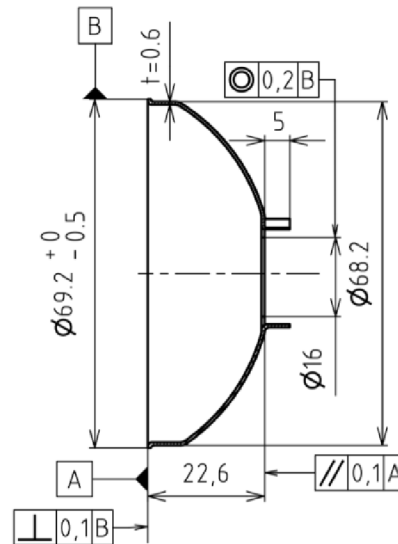
Obr. 29 Schéma rozsahu vyvinutelnosti maximální síly [11].

3 NÁVRH VÝROBY

Zadaná součást (obr. 30) bude vyráběna v počtu 8500 ks z materiálu DC04 o tloušťce 0,6 mm pomocí technologie hydromechanického tažení. Vzhledem k velikosti série není vhodné k výrobě polotovarů využít svitek, ale pouze plechové tabule. Výroba přístříhů bude zajištěna pomocí konvenční technologie stříhání. Po samotné operaci tažení bude nutné provést ostřížení příruby, která je klíčová při využití technologie HMT, jelikož slouží k utěsnění kapaliny v tažnici pomocí přídržovače. Z funkčních důvodů je potřeba, aby 1 mm příruby nebyl ostřížen, viz. obr. 31. K ověření, zdali je zvolená technologie vhodná k výrobě zadaného dílce, bude provedena simulace. [1; 2]

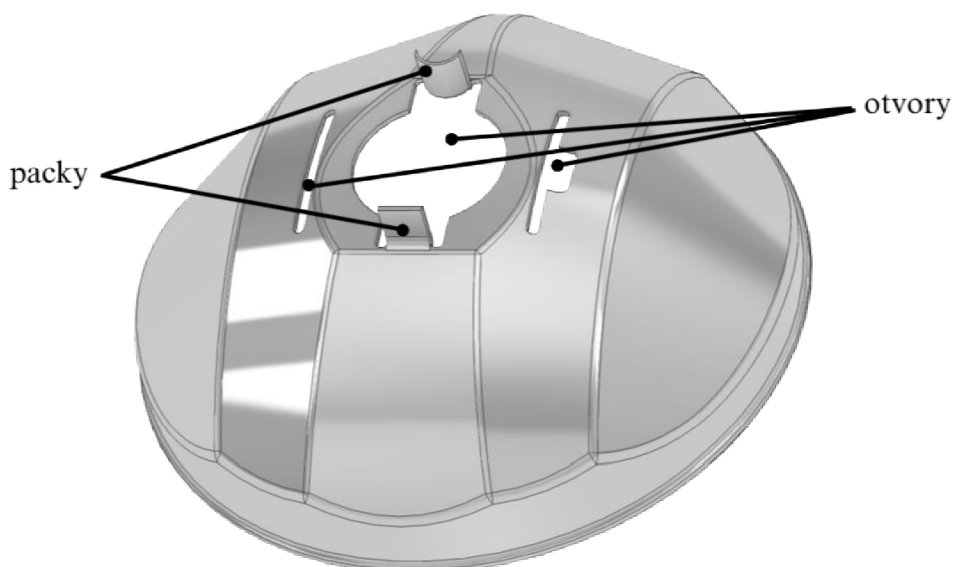


Obr. 30 Vyráběná součást.



Obr. 31 Rozměry součásti.

Posledními výrobními operacemi bude vystřížení třech otvorů nacházejících se na dně výtažku, sloužících k uchycení žárovky a jejího stínidla a ohnutí dvou pacek, viz obr. 32. Packy mají za úkol reflektor v celé sestavě světlometu zafixovat proti otáčení kolem své osy tak, aby byla zajištěna jeho správná funkčnost. V neposlední řadě dojde k povrchové úpravě dílce ve formě pokovení. Z důvodů omezeného rozsahu bakalářské práce tyto operace nebudou řešeny podrobně.



Obr. 32 Znázornění funkčních otvorů a pacek.

3.1 Funkční rozměry nástroje a těsnění

Specifickou částí při HMT je těsnění, které má za úkol předejít úniku kapaliny mezi tažnicí a přidržovačem. Je definováno rozměry drážky pro těsnění. Střední průměr drážky se vypočítá pomocí několika dílčích rozměrů, kterými jsou [1]:

- Průměr tažníku – je shodný s vnitřním průměrem výtažku, který je 67 mm (obr. 31).
- Tažná mezera – pro tloušťku materiálu 1 mm je doporučována hodnota 4 až 6 mm. Byla zvolena střední hodnota 5 mm.
- Průměr tažnice – je určen součtem průměru tažníku a dvojnásobku velikosti tažné mezery:

$$d_t = d_{\text{tažníku}} + 2 \cdot z = 67 + 2 \cdot 5 = 77 \text{ mm} \quad (3.1)$$

kde: $d_{\text{tažníku}}$ – průměr tažníku [mm],
 z – tažná mezera [mm].

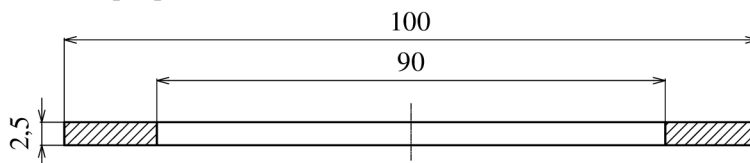
- Zaoblení tažnice – při tloušťce materiálu 1 mm je doporučeno volit z intervalu 4 až 8 mm. Jelikož má součástka tloušťku 0,6 mm, tak byla zvolena nižší hodnota z výběru, a to 5 mm.

Střední průměr drážky těsnění je vypočten podle (2.8):

$$d_d = d_t + 2 \cdot R_t + H + 4 = 77 + 2 \cdot 5 + 5 + 4 = 96 \text{ mm}$$

kde: H – šířka těsnění, byla zvolena 5 mm.

Podle normy uvádějící rozměry těsnících kroužků plochých a čokovitých byl vybrán těsnící kroužek. Zvolené rozměry jsou vyznačeny na obrázku 33. Ačkoli je střední průměr zvoleného kroužku 95 mm a je tedy o 1 mm menší než vypočtený rozměr, tak bude zvolen, jelikož je ve vzorci (2.8) obsažen přídavek 4 mm, který rozdíl pokryje. Finální střední průměr drážky těsnění je zvolen 95 mm. [27]



Obr. 33 Rozměry těsnícího kroužku [27].

Dále je potřeba určit rozměry přidržovače. Vnitřní průměr se pro optimální vytvoření protivlny volí podle průměru tažníku a doporučené mezery mezi nimi. Interval, ze kterého je mezera vybírána je 0,5 až 5 mm. Jelikož se jedná pouze o jednostrannou hodnotu, tak ji je nutné vynásobit dvěma. Zvolená hodnota je 0,75 mm a vnitřní průměr přidržovače je tím pádem [1]:

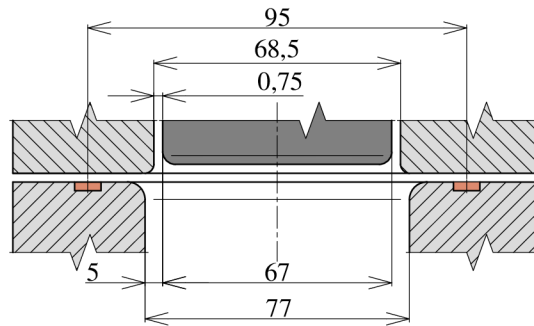
$$d_h = d_{\text{tažníku}} + 2 \cdot z_p = 67 + 2 \cdot 0,75 = 68,5 \text{ mm} \quad (3.2)$$

kde: z_p – mezera mezi tažníkem a přidržovačem [mm].

K předejití protržení materiálu se hrany tažníku a přidržovače zaoblují. Hodnoty se volí v závislosti na tloušťce plechu, ale také rozměrů součástky. Je zvoleno [1]:

- Zaoblení přidržovače – doporučená velikost je 1 až 3 mm. Vybrána je střední hodnota, tedy 2 mm.
- zaoblení tažníku – doporučená hodnota je pro tloušťku materiálu 3 mm, avšak vzhledem k zaoblení výtažku 2 mm a jeho tloušťce 0,6 mm, jsou zvoleny 2 mm.

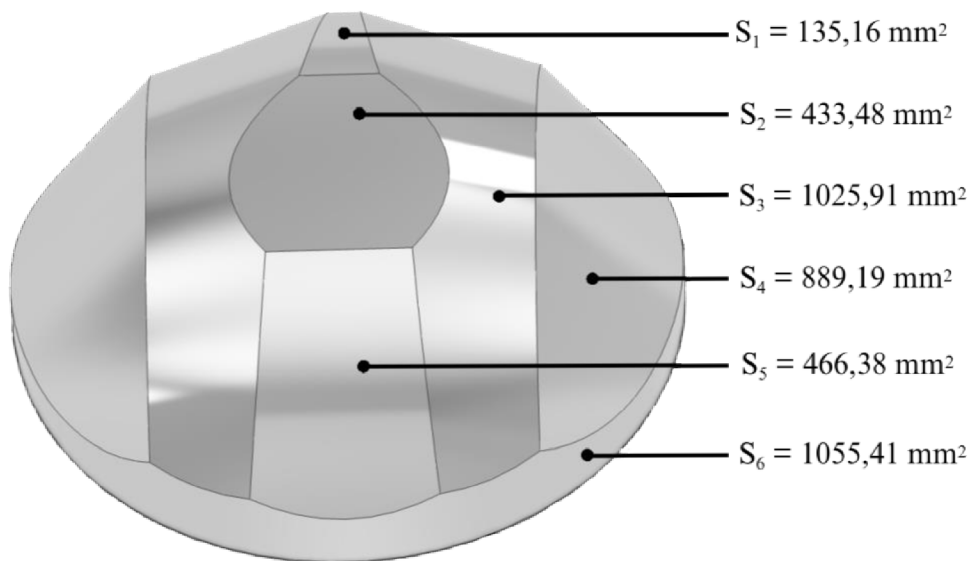
Všechny průměry zvolené a vypočítané v této kapitole jsou pro představu znázorněny na obrázku 34.



Obr. 34 Konstrukční rozměry nástroje.

3.2 Průměr přístřihu a počet tažných operací

Kapitola bude rozdělena na dvě části, jimiž jsou určení průměru tvářené součásti a průměru příruby. K tomu je potřeba znát plochu součástky. Existuje řada vzorců, pomocí kterých ji lze vypočítat s přijatelnou přesností. Prvním krokem je určit velikost plochy, kterou má výtažek po poslední tažné operaci. Poté pomocí faktu, že se objem plechu během celého procesu tažení nijak nemění a tloušťka zůstává konstantní, lze vypočítat plochu přístřihu, jelikož i obsah součástky před tažením a po tažení je stejný. Kvůli složitosti tvaru řešené součástky by bylo velmi obtížné a nepřesné zjistit plochu přístřihu využitím vzorců a z toho důvodu bude využit software Autodesk Inventor. Na obrázku 35 jsou znázorněny jednotlivé plochy výtažku. Zaoblení hran není bráno v potaz, protože se jedná o zanedbatelný rozdíl. [1; 2]



Obr. 35 Obsahy ploch výtažku.

Obsah výtažku se spočítá dle vzorce:

$$S_o = \sum S_i \quad [\text{mm}^2] \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} S_o &= 135,16 + 433,48 + 2 \cdot 1025,91 + 2 \cdot 889,19 + 466,38 + 1055,41 \\ &= 5920,63 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

kde: S_i – obsahy jednotlivých ploch $[\text{mm}^2]$.

Stanovení vhodného průměru přístřihu je klíčové pro optimalizaci výroby jak z hlediska ekonomického, tak technologického. Existuje řada vzorců, které jsou běžně využívány pro výpočet průměru přístřihu, avšak všechny jsou přizpůsobené pravidelným tvarům výtažku,

kterými jsou např. výtažky válcové, kuželové, sférické a nerotační. Tvar řešené součásti je parabolický, a tedy na něj nelze efektivně aplikovat nějaký ze vzorců pro výpočet průměru přístříhu. Průměr bude proto spočítán z obsahu přístříhu pomocí rovnice (2.2) [1; 2]:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_0}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 5920,63}{\pi}} = 86,82 \text{ mm}$$

Součinitel tažení m udává maximální deformaci na jeden tah a s jeho pomocí se určuje potřebný počet tažných operací. Pro kuželové parabolické tvary, jimž je zadaná součástka tvarově nejbliž, a technologii HMT se udává hodnota součinitele tažení pro výrobu výtažků v jedné operaci $m = 0,38 \div 0,40$. Pokud po prvním výpočtu bude výsledná hodnota menší než požadovaný průměr, tak je součástka zhotovitelná na jednu tažnou operaci. [1; 3]

$$\begin{aligned} d_1 &= m \cdot D_0 \\ d_1 &= 0,40 \cdot 86,82 = 34,73 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.4)$$

kde: m – koeficient tažení [-], z intervalu bylo zvoleno 0,40.

Výpočtem průměru po první tažné operaci bylo zjištěno, že k vyrobení požadované součástky je zapotřebí pouze jedna tažná operace. Vzhledem k této skutečnosti je nutné průměr přístříhu zvětšit kvůli cípatosti okraje pro jednooperační tažení o 3 %. Nově určený průměr polotovaru bude [1]:

$$D_0 = 86,82 \cdot 1,03 = 89,42 \text{ mm} \quad (3.5)$$

Průměr přístříhu byl zaokrouhlen na 89,4 mm z důvodu pozdějšího usnadnění dosazování do vzorců a konstrukce nástroje. Dalším krokem je opětovná kontrola počtu tažných operací u nově zvoleného průměru přístříhu dle vztahu (3.4):

$$d_1 = m \cdot D_0 = 0,40 \cdot 89,4 = 35,76 \text{ mm}$$

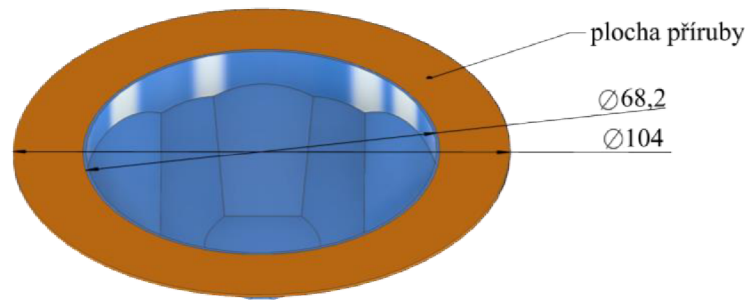
Kontrola dokazuje, že finální výtažek o průměru 68,2 mm bude zhotovitelný na jednu tažnou operaci. Průměr d_1 je pro další výpočty zvolen 68,2 mm. Pro další výpočty se musí přepočítat koeficient tažení na reálnou hodnotu. Lze tak udělat vyjádřením ze vzorce (3.4):

$$m = \frac{d_1}{D_0} = \frac{68,2}{89,4} = 0,76$$

Při technologii HMT je však nutné vyrábět součástku s přírubou pro utěsnění tlakové komory před únikem kapaliny. Příruba bude počítána s vědomostí, že po kompletním vytažení součástky nesmí být její vnější průměr menší než vnější průměr těsnění, který je 100 mm. Příruba musí být po první tažné operaci tedy o minimálním průměru 100 mm pro udržení svojí funkce. Hodnota bude navýšena na 104 mm z důvodu potenciálně nerovnoměrného vtahování materiálu. Pro výpočet nového průměru přístříhu je potřeba k obsahům ploch výtažku přičíst obsah plochy přístříhu, který je pro představení znázorněn na obrázku 36. Ze součtu obsahů lze spočítat finální rozměr polotovaru. Obsah příruby je určen dle vzorce: [1; 2]

$$S_{př} = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \quad [\text{mm}^2] \quad (3.6)$$

$$S_{př} = \frac{\pi \cdot 104^2}{4} - \frac{\pi \cdot 68,2^2}{4} = 4841,79 \text{ mm}^2$$



Obr. 36 součástka s přírubou.

Celkový obsah přístřihu je vypočten:

$$S_c = S_{př} + S_0 = 4841,79 + 5920,63 = 10762,42 \text{ mm}^2 \quad (3.7)$$

Celkový průměr polotovaru je přepočítán dle (2.2) na:

$$D_o = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 10762,42}{\pi}} = 117,06 \text{ mm}$$

Průměr přístřihu byl na základě výpočtu zvolen 117 mm, jelikož zmenšení o 0,06 mm se vzhledem k celkovým rozměrům skoro neprojeví. Výtažek bude zhotoven na 1 tažnou operaci.

3.3 Nástřihový plán

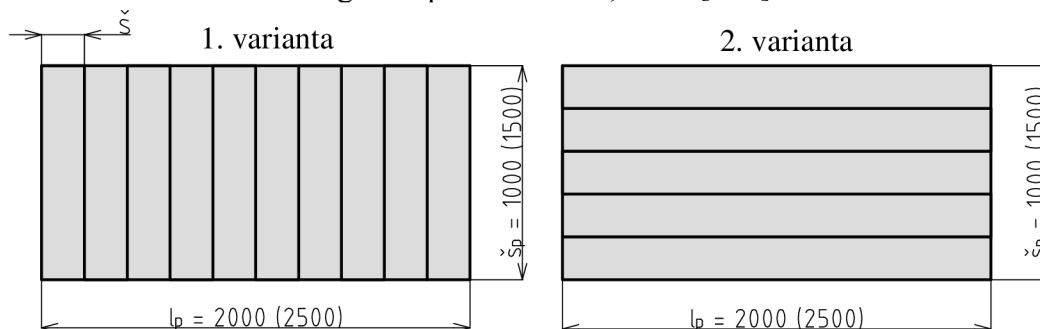
Přístřih se dá zhotovit buď vystřížením z pásů plechu tabule, nebo ze svitku. Při rozhodování hraje roli velikost série a využitelnost plechu. Vzhledem k požadavku výroby 8500 kusů budou použity tabule plechu, protože by svitek nebyl plně využit. Navíc by vznikla potřeba dokoupit další techniku, jako jsou rovnačka nebo podavač.

Pro materiál DC04 o tloušťce 0,6 mm se dají zakoupit od dodavatele ArcelorMittal, S.A. tabule šířky od 600 do 1880 mm, viz příloha 1. Jejich délka je volitelná. Obvykle se kupují tabule délky 2000 nebo 2500 mm, a proto budou porovnávány dvě tabule o těchto délkách. Zvolené rozměry jsou 2000 x 1000 mm a 2500 x 1500 mm. [12]

Pásky plechu lze rozstříhat na délku, nebo na šířku, viz obr. 37. Mimo různé rozměry je nutné porovnat také odlišná uspořádání přístřihu na plechu. Jsou jimi jednořadé a dvouřadé, jak je pro představu znázorněno na obr. 38. Šířka pásu je určena velikostí přístřihu a bočního okraje **F**. Délka kroku se volí pomocí šířky můstku **E**. Jejich hodnoty jsou zjistitelné z diagramu, který lze najít v příloze č. 2. Velikost kroku je [3; 28]:

$$K = D_0 + E = 117 + 2,5 = 119,5 \text{ mm} \quad (3.8)$$

kde: E – zvoleno z diagramu pro tloušťku 0,6 mm [mm].



Obr. 37 Rozložení pásu plechu.

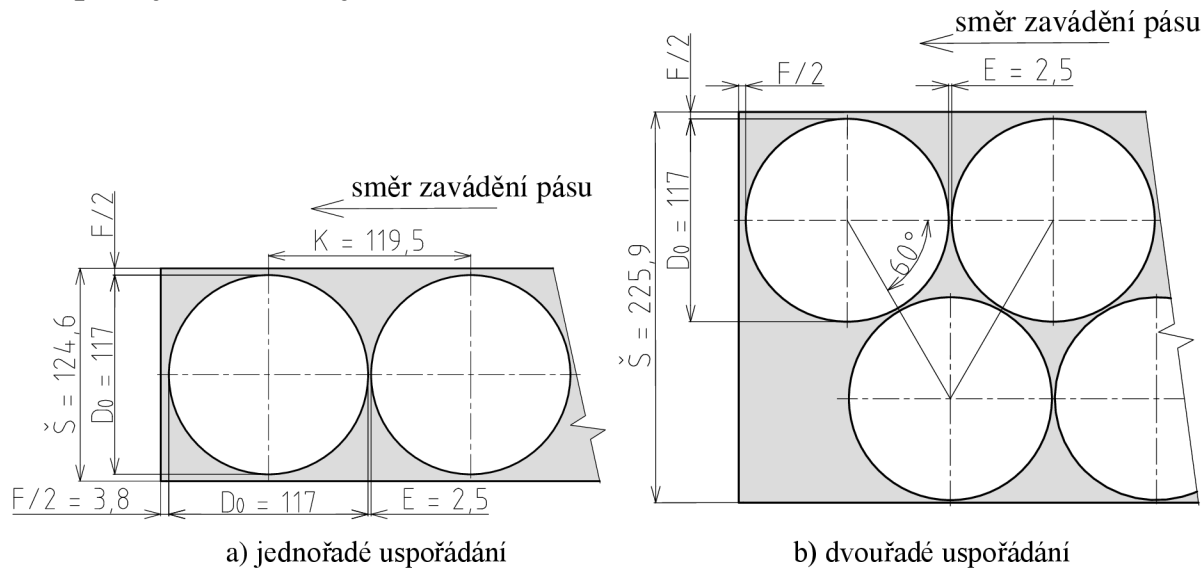
Šířka pásu jednořadého uspořádání je určena dle [3]:

$$\check{S}_1 = D_0 + F = 117 + 7,6 = 124,6 \text{ mm} \quad (3.9)$$

kde: F – zvoleno z diagramu pro tloušťku 0,6 mm [mm].

Šířka pásu pro dvouřadé uspořádání se vypočítá [3]:

$$\check{S}_2 = D_0 \cdot \sin 60^\circ + D_0 + F = 117 \cdot \sin 60^\circ + 117 + 7,6 = 225,9 \text{ mm} \quad (3.10)$$



Obr. 38 Nástříhový plán [28].

Vzorově bude vypočítáno využití plechu pro první variantu o rozměrech 2000 x 1000 mm v jednořadém uspořádání. Ostatní výpočty budou provedeny matematickým softwarem kvůli omezené délce práce. Jejich výsledky jsou uvedeny v tabulce 6. Nezbytnými výpočty jsou [3; 13]:

- Obsah přístříhu – byl dříve spočítán dle vzorce (3.7) s hodnotou $S_c = 10762,42 \text{ mm}^2$.
- Pásky z jedné tabule:

$$p_{pás} = \frac{l_p}{\check{S}_1} = \frac{2000}{124,6} = 16,05 \text{ kusů} \quad (3.11)$$

kde: l_p – délka tabule [mm].

Výsledek je zaokrouhlen na nejbližší nižší číslo, a tedy 16 kusů, protože není dostatek materiálu na vystřížení dalšího kusu.

- Přístříhy na pás:

$$p_s = \frac{\check{s}_p}{K} = \frac{1000}{119,5} = 8,37 \text{ kusů} \quad (3.12)$$

kde: \check{s}_p – šířka tabule [mm].

Počet přístříhů na pás je zaokrouhlen na 8 kusů.

- Přístříhy z jedné tabule:

$$p_d = p_{pás} \cdot p_s = 16 \cdot 8 = 128 \text{ kusů} \quad (3.13)$$

- Využití materiálu:

$$\mu = \frac{S_c \cdot p_d}{l_p \cdot \check{s}_p} = \frac{10762 \cdot 128}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = 68,9 \% \quad (3.14)$$

Efektivní využití tabule plechu ve vybrané konfiguraci je 68,9 %. Pro ekonomické zhodnocení výroby je nutné ještě určit počet tabulí potřebných k výrobě celé série. To je spočítáno dle vzorce [13]:

$$p_t = \frac{Q}{p_d} = \frac{8500}{128} = 66,41 \text{ kusů} \quad (3.15)$$

Na zhotovení série by bylo potřeba 67 tabulí. Ostatní hodnoty budou zjištěny s využitím matematického softwaru a zapsány do tabulky. Nejvýhodnější varianta bude barevně zvýrazněna.

Tab. 6 Využití materiálu.

| Rozměry tabule | Rozložení | Uspořádání | Počet tabulí [ks] | Využití materiálu [%] |
|----------------|------------|------------|-------------------|-----------------------|
| 2000x1000 mm | varianta 1 | jednořadé | 67 | 68,9 |
| | | dvouřadé | 71 | 64,6 |
| | varianta 2 | jednořadé | 67 | 68,9 |
| | | dvouřadé | 67 | 68,9 |
| 2500x1500 mm | varianta 1 | jednořadé | 36 | 68,9 |
| | | dvouřadé | 33 | 75,8 |
| | varianta 2 | jednořadé | 36 | 68,9 |
| | | dvouřadé | 36 | 68,9 |

Z vybraných variant je nejvýhodnější tabule o rozměrech 2500x1500 mm v rozložení podle varianty jedna (obr. 37) a dvouřadém uspořádání. Využitelnost dosahuje hodnoty 75,8 %, což je nejlepší výsledek, a proto je konfigurace zvolena pro další části práce. Pro kompletní výrobu série je potřeba zakoupit 33 tabulí plechu.

3.4 Síla, práce a tlak

Kapitola se bude zabývat určením celkové tvářecí síly, její práce a tlaku kapaliny. Tvářecí síla pro hydromechanické tažení se skládá z přídržovací síly, tažné síly pro konvenční tažení a tlaku kapaliny působícího na plochu půdorysného průmětu výtažku. Tlak je určen volbou z doporučeného intervalu pro konkrétní tloušťku materiálu. Nejmenší uvedenou tloušťkou je jeden mm a doporučené hodnoty jsou 25 až 50 MPa. Je zvolen tlak o velikosti 30 MPa. Místo tažné síly bude vypočtena síla kritická podle vzorce (2.4) [1]:

$$F_{krit} = C \cdot \pi \cdot d_1 \cdot t \cdot R_m = 0,48 \cdot \pi \cdot 68,2 \cdot 0,6 \cdot 270 = 16661 \text{ N}$$

kde: C – zvoleno podle tab. 5 pro $m = 0,76$, C odpovídá 0,48 [-].

Dalším v nutném výpočtem je velikost síly přídržovače. K tomu se prvně musí určit velikost přídržovacího tlaku. Bude zvolena konstantní hodnota 10 MPa pro dosažení do vzorce, avšak během simulací se velikost tlaku bude měnit podle potřeby. Přídržovací síla se vypočítá dle vztahu (2.5) [1]:

$$F_p = p_p \cdot S_p = 10 \cdot 4442,2 = 44422 \text{ N}$$

kde: S_p – vypočítáno softwarem Autodesk Inventor $S_p = 4442,2 \text{ mm}^2$.

Před výpočtem celkové tvářecí síly je nutné určit plochu půdorysného průmětu výtažku:

$$S_v = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot 68,2^2}{4} = 3653,0 \text{ mm}^2 \quad (3.16)$$

Nyní lze určit celkovou tvářecí sílu dosazením do (2.6):

$$F_{celk} = F_{krit} + p_k \cdot S_v + F_p = 16661 + 30 \cdot 3653 + 44422 = 170673 \text{ N}$$

Celková síla, která bude později využita k volbě lisu nabývá hodnoty 170673 N. Výsledek je zaokrouhlen na 171 kN z důvodu zjednodušení importování parametrů simulace. Celkově se jedná o poměrně nízkou hodnotu, která je z velké části způsobena velice malou tloušťkou plechu, a ne příliš velkou změnou průměru součástky při tažení. Reálná hodnota se však může značně lišit, jelikož není brána v potaz tvarová složitost součástky. Pro zohlednění bezpečnosti je celková síla ještě navýšena o 30 % [1]:

$$F_{celk} = 171 \cdot 1,3 = 222,3 \text{ kN} \quad (3.17)$$

Později zvolený lis musí mít minimální hodnotu jmenovité síly 223 kN.

V neposlední řadě bude určena velikost práce. Práce se určuje primárně pro pozdější ekonomické zhodnocení. Nejdříve je však nutné znát délku dráhy, kterou urazil tažník od prvního kontaktu s přístřihem, a ta odpovídá hloubce výtažku 0,022 m.

Pro přibližný výpočet práce je užíván vzorec (2.7):

$$A = \psi \cdot F_{celk} \cdot h = 0,7 \cdot 171000 \cdot 0,022 = 2618 J$$

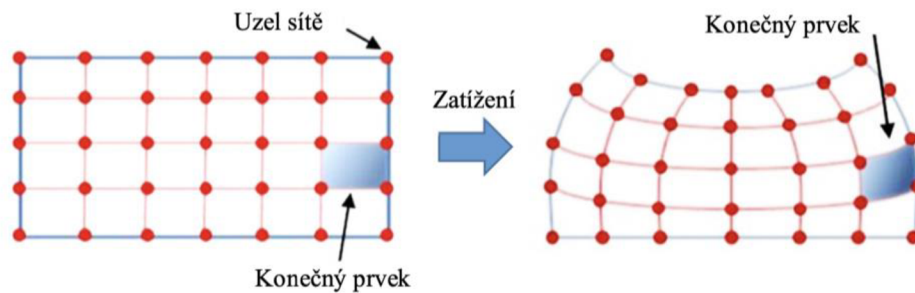
kde: ψ – zvolena hodnota 0,7.

3.5 Simulace a postup tažení

Pro lepší představu o průběhu hydromechanického tažení bude provedena simulace. Jejím úkolem je predikce špatné volby stroje nebo upozornit na kritickou vadu při celém procesu. Hlavní cíle jsou [30]:

- ověření vypočtených tlaků, sil a technologických parametrů,
- popis celého procesu,
- zjištění, zdali je součástka vyrobitelná.

Jednou z numerických metod používaných k simulacím v oblasti tváření je metoda konečných prvků (MKP, anglicky – Finite Element Method). Díky ní lze zjistit deformace a napětí vymodelované součástky. Její základní princip je rozdělení geometrie na konečný počet prvků propojených v bodech, tzv. uzlech, jak je znázorněno na obrázku 39. Proces rozdělení se nazývá diskretizace. Každý z prvků je během simulace řešen samostatně a jejich následnou kombinací vznikne řešení pro celé těleso. Software, který byl využit k simulacím, se nazývá PAM-STAMP od společnosti ESI Group. Byl zvolen na základě možnosti simulování tekutiny, která je klíčová při HMT. [29; 30]



Obr. 39 Schéma MKP [29].

Jelikož je každé těleso tvarově specifické, tak existuje několik typů prvků, které slouží k optimálnímu okopírování požadované geometrie. Rozlišují se 2 základní typy prvků, a to lineární a kvadratické. Každý prvek se skládá z uzlů a hran. U lineárních prvků je každá hrana definována pomocí dvou uzlů, zatímco u kvadratických prvků mají navíc jeden uzel uprostřed hrany. Díky tomu jsou výpočty provedené s využitím kvadratických prvků přesnější. Nevýhodou je ale potřeba vyššího výpočetního výkonu na provedení simulace. Další rozdělení je na 1D, 2D, 3D a speciální typ – skořepinové prvky, které se využívají k definici plechů. Příklady jsou pro představu znázorněny v tabulce 7. [30; 33]

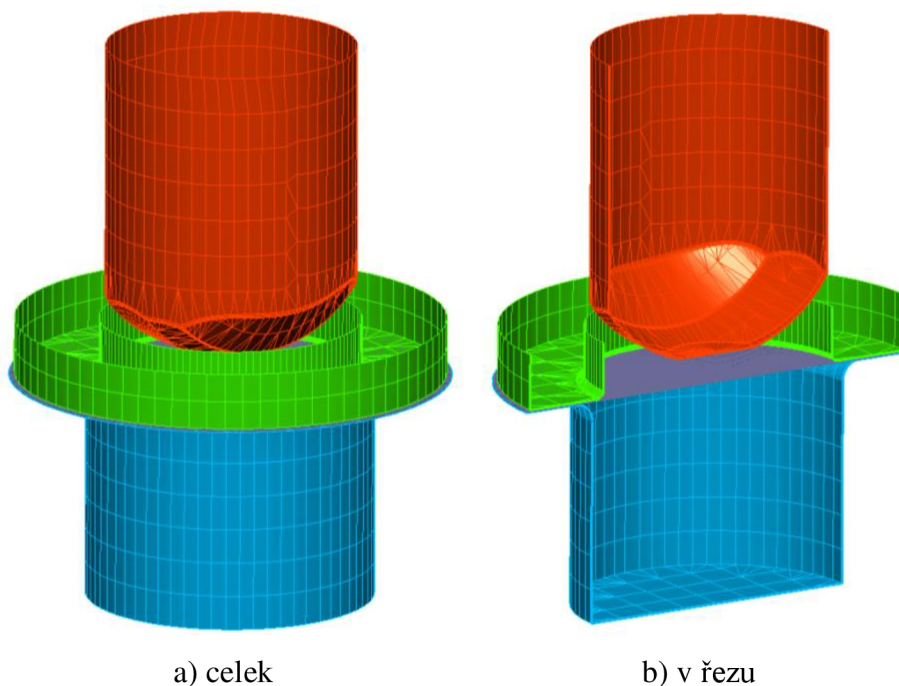
Tab. 7 Příklady prvků MKP [31].

| | | Lineární prvek: | Kvadratický prvek: |
|----|----------------|-----------------|--------------------|
| 1D | prutový | | |
| 2D | čtyřúhelníkový | | |
| 3D | skořepinový | | |
| 3D | šestistěnný | | |

Nejprve je nutné definovat základní geometrii. To je provedeno importováním zjednodušené sestavy z CAD systému (obr. 40), která se skládá pouze z prvků přicházejících při tažení do kontaktu s materiálem a tekutinou. Geometrie byla importována z programu AutoDesk Inventor ve formátu *.igs. Tím je model připraven na vytvoření sítě konečných prvků. [30; 33]

Dalším krokem je diskretizace. Jedná se o určení oblasti, na kterou se bude nanášet síť konečných prvků a její samotné nanesení. Rozměry jednotlivých prvků závisí na požadované přesnosti simulace, kdy při vyšším počtu konečných prvků budou výsledky přesnější. Na druhou stranu dojde k prodloužení času výpočtů. U polotovaru je vhodné síť zjemnit oproti ostatním částem. Nanesenou síť lze vidět na obr. 40. [29; 30; 33]

Geometrie je složena ze 4 částí, které jsou barevně odlišeny (obr. 40). Tažník (červená), tažná komora (modrá) a přídržovač (zelená) jsou pouze kontaktní prvky složené z 2D lineárních prvků. Znamená to, že nedochází k jejich deformaci. Polotovar (šedá barva) je tvořen lineárními skořepinovými prvky a bude se deformovat. Jeho síť je natolik jemná, že ji nelze na obrázku 40b znázornit. [29; 30; 33]



Obr. 40 Zobrazení konečných prvků.

Dále je potřeba zadat parametry materiálu, které byly zvoleny v dřívější části práce. Polotovar o tloušťce 0,6 mm a materiálu DC04 byl vybrán z materiálové knihovny softwaru a byly mu upraveny mechanické vlastnosti, viz tabulka 2. Důležité je také zohlednit anizotropii (odlišné mechanické vlastnosti v závislosti na směru) materiálu při zadávání jeho parametrů. [30]

Nakonec je potřeba softwaru určit okrajové podmínky. Okrajovými podmínkami jsou [30; 33]:

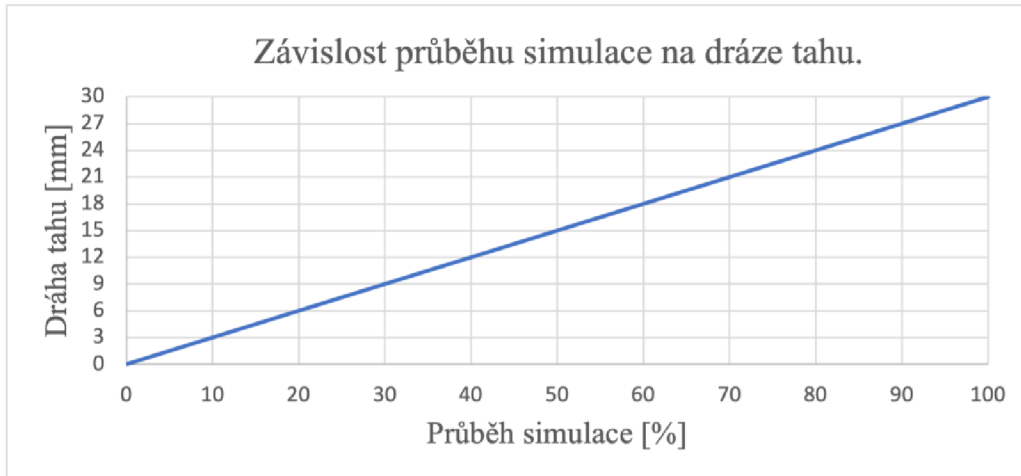
- zatížení sestavy – přiřazení sil a tlaků, které působí na určité oblasti sítě prvků,
- uložení – definuje pohyblivost sestavy. Provádí se odebráním stupňů volnosti. Jedná se například o zdvih, délku dráhy tažníku nebo omezení rotace v ose.

Počáteční hodnoty byly zvoleny s přihlédnutím k předchozím výpočtům následovně:

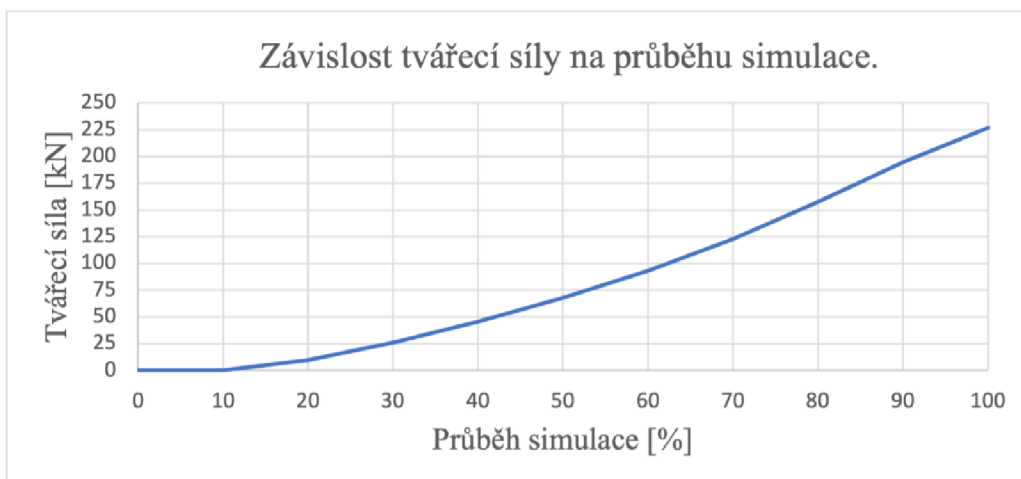
- Přídržovací síla – nejprve byla navolena konstantní hodnota 45 kN, avšak vzhledem k protitlaku kapaliny nebyla hodnota dostatečná. Proto bylo nastaveno, že se velikost bude sama upravovat podle potřeby. Průběh celkové tvářecí síly, jíž částí je síla působící na přídržovači, je zobrazen na obrázku 42.

- Tlak kapaliny – byla specifikována hodnota 30 MPa. Po provedení první simulace se hodnota ukázala jako nedostatečná. Křivka působení tlaku byla upravena z konstantní hodnoty na lineární průběh. Celkový průběh je znázorněn na obrázku 43.

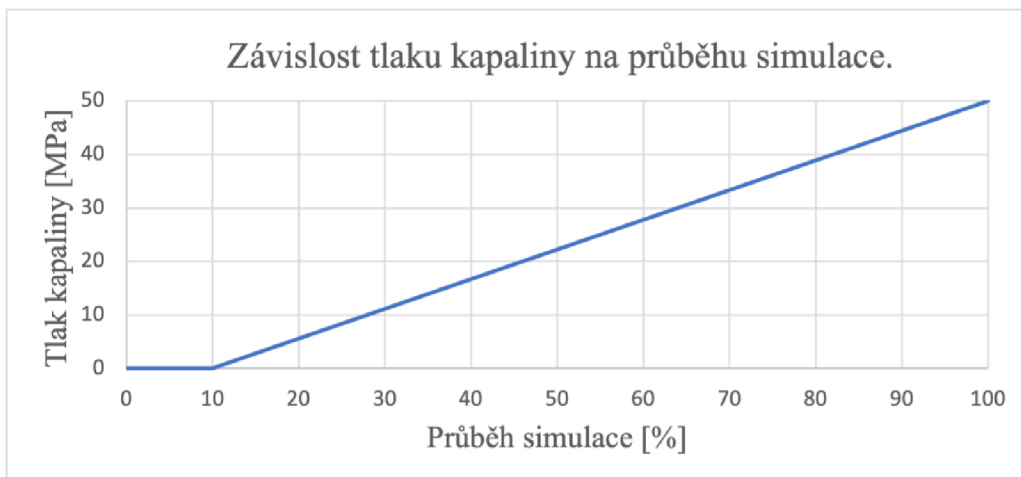
Na obrázku 41 je zobrazen graf uvádějící závislost mezi dráhou tahu a průběhem simulace. Lze vidět, že je mezi nimi lineární vztah. Počáteční pozice tažníku, viz obr. 40b je osm mm nad plechem. Důvodem je potřeba pracovního prostoru pro založení polotovaru. Celková uražená dráha je 30 mm.



Obr. 41 Graf závislosti průběhu simulace na dráze tahu.



Obr. 42 Graf průběhu tvářecí síly.



Obr. 43 Graf průběhu tlaku kapaliny.

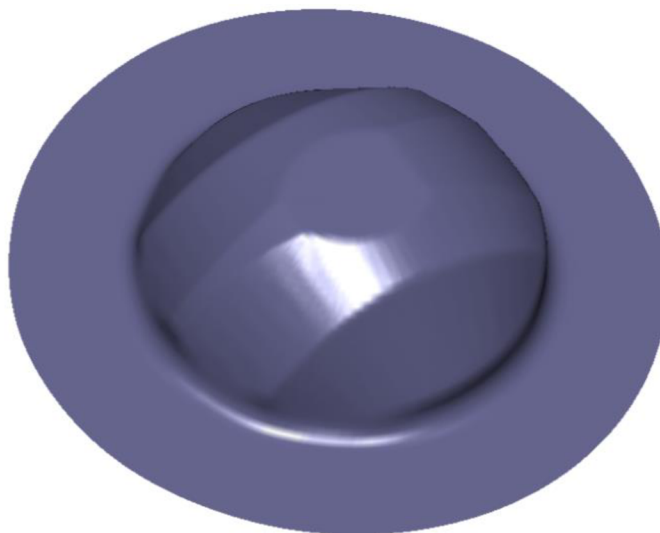
Průběh tvářecí síly znázorněné na obrázku 42 je nelineární. Až do deseti procent simulace, což odpovídá 3 mm pohybu tažníku s přidržovačem, byla síla téměř nulová, protože se nástroj uzavíral a nedocházelo k tváření. Poté dochází k postupnému nárůstu síly s působištem v místě kontaktu přidržovače s přístřihem a lineárnímu navýšování tlaku kapaliny. Později přijde do kontaktu s plechem i tažník. Při finálním kroku simulace dosahuje tvářecí síla hodnoty 226,6 kN. Důvodů odlišné velikosti tvářecí síly simulované a vypočítané může být celá řada. Nejpravděpodobnějšími jsou [33]:

- tlak vyvíjený kapalinou byl zvolen příliš vysoký, a tím se navýšila tažná i přidržovací síla,
- nepřesná výpočtová část, jelikož velké množství hodnot bylo zvoleno z doporučených intervalů.

Pro volbu stroje bude zvolena hodnota zjištěná simulací 226,6 kN. Pokud jsou výsledky simulace správné, tak by stroj zvolený na základě výpočtů pomocí zjednodušeného vzorce (3.17) nebyl dostatečný na výrobu součástky. Pro zajištění bezpečnosti bude ještě hodnota navýšena o 30 % [1]:

$$F_{celk} = 226,6 \cdot 1,3 = 294,58 \text{ kN} \quad (3.18)$$

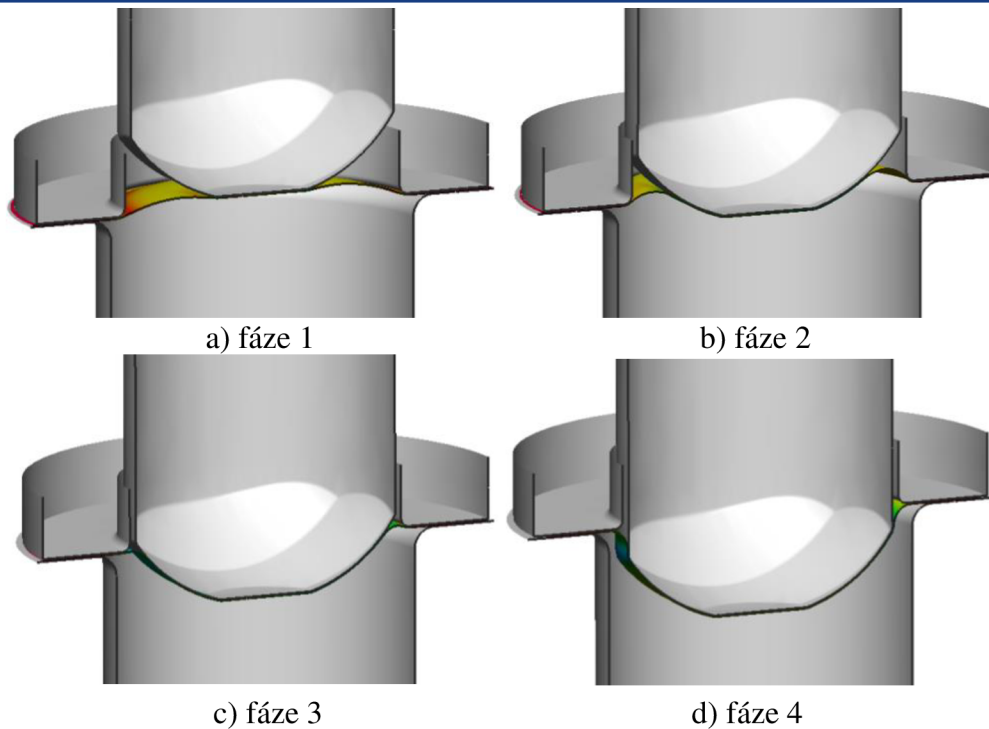
Hodnota je zaokrouhlena na 294,6 kN. Výsledkem simulace tažení je dílec znázorněný na obrázku 44. Na první pohled byla součástka vyrobena s požadovaným tvarem a nedošlo k protržení ani zvlnění. Dle zmiňovaných počátečních okrajových podmínek by byla součástka vyrobitelná. Dalším krokem výroby by bylo ostřížení vzniklé přírubby.



Obr. 44 Výtažek vytvořený simulací.

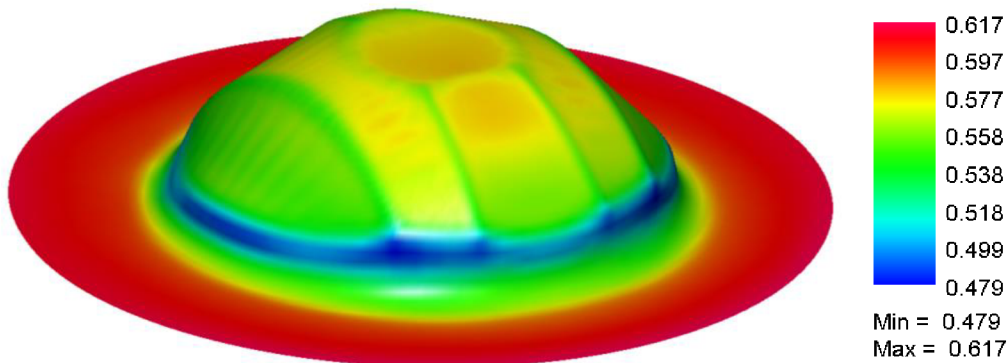
Pro lepší porozumění celého procesu jsou na obrázku 45 znázorněny čtyři fáze v různých krocích simulace:

- Fáze 1 – v patnácti procentech průběhu simulace, které odpovídají 4,5 mm pohybu tažníku z počáteční pozice. Dochází k vyboulení plechu při působení tlaku kapalinou až 3,6 MPa a prvnímu kontaktu tažníku s přístřihem.
- Fáze 2 – 40 % simulace. Dochází k vytvoření protivlny zapříčiněné zvýšením tlaku kapaliny na 16,7 MPa. Materiál se nabaluje na tažník, který urazil dráhu 12 mm.
- Fáze 3 – spodní část tažníku je již celá obklopena plechem a protivlna zanikla. Fáze se nachází ve 70 % postupu a tvářecí síla dosahuje zhruba 125 kN.
- Fáze 4 – je v poslední části, kdy je výrobek již plně vytažen. Dochází ke kalibraci tlakem kapaliny, který dosahuje až 50 MPa. Poté se tlak sníží na počáteční hodnotu, tažník a přidržovač vyjedou do počáteční pozice a výtažek se vyjme.



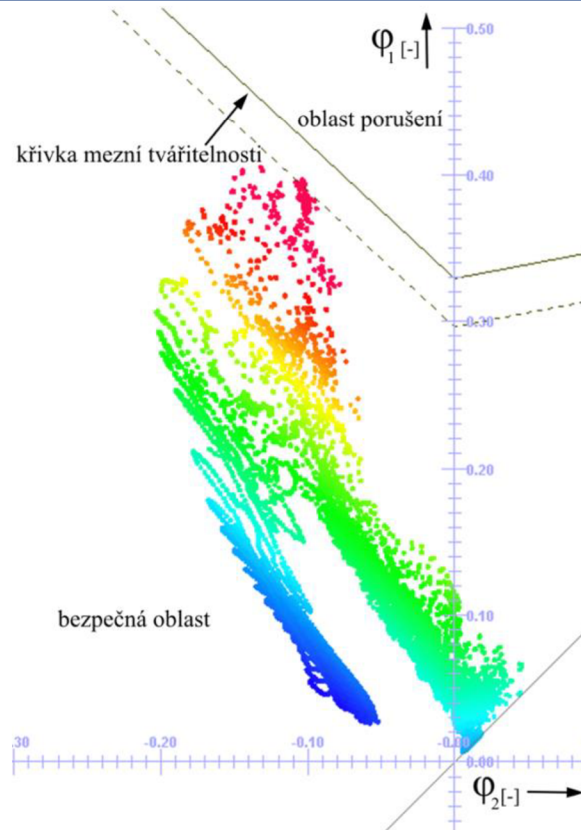
Obr. 45 Fáze tažení v řezu.

Ztenčení součásti je důležitý ukazatel kvality výrobku. Je znázorněno na obrázku 46. Červené části jsou oblasti s nejvyšší tloušťkou materiálu, a naopak modré značí části s největším ztenčením. Materiál se akumuluje v přírubě a díky tomu vzniká větší tloušťka oproti původnímu rozměru přístříhu. Nejvyšší hodnota je rovna 0,617 mm a nachází se na vnější části příruby. K největšímu ztenčení dochází až v závěru simulace, kdy se tvoří boční část reflektoru. V okolí hrany mezi dnem a bokem součástky lze změřit tloušťku 0,479 mm. Jedná se o dvacetiprocentní rozdíl vůči původnímu stavu. Pravděpodobným důvodem je neoptimální nastavení simulace. Pro zlepšení by bylo potřeba upravit velikosti sil a tlaků.



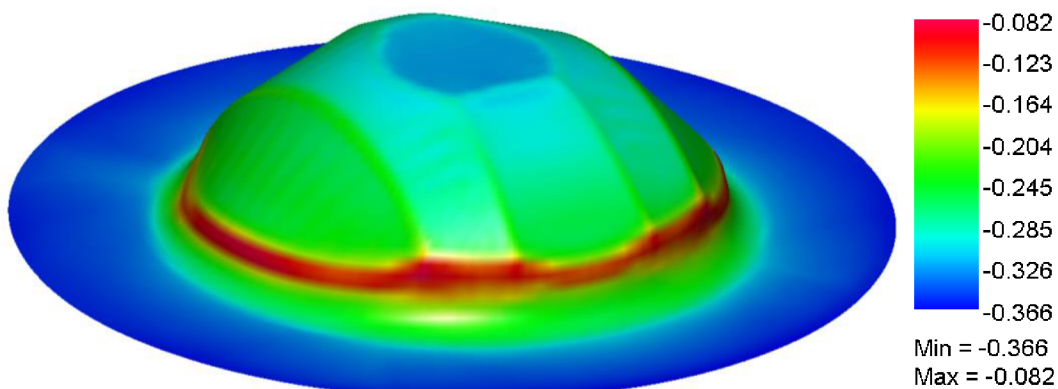
Obr. 46 Tloušťka plechu v milimetrech.

K určení nebezpečí protržení vzorku v konkrétních oblastech výtažku je využíván diagram mezní tvářítnosti, viz obrázek 47. V bezpečné oblasti nehrozí poškození součásti protržením. Je oddělena pomocí křivky mezní tvářítnosti od oblasti porušení, ve které dochází k porušení celistvosti součástky. Mezi křivkou mezní tvářítnosti a desetiprocentním odsazením (zaznačeno přerušovanou čarou) se nachází pásmo mezních hodnot přetvoření. Může zde docházet k počáteční tvorbě místního zeslabení plechu nebo vzniku trhlin. [1; 14]



Obr. 47 Diagram mezní tvářitelnosti.

Obrázek 48 zobrazuje nanesení oblastí diagramu na řešený dílec. Jedná se pouze o predikci programu, nikoliv o naměřené hodnoty. Každému elementu sítě MKP je přiřazen jeden bod zaznačený v diagramu. Z výsledků je zřejmé, že některé oblasti výtažku, hlavně ty s největším ztenčením se nacházejí na hranici bezpečné zóny a pásma mezních hodnot přetvoření. Nastává u nich riziko porušení materiálu. Maximální hodnota legendy rizika porušení (obr. 48) je $-0,082$. Křivka mezní tvářitelnosti má nulovou hodnotu. Čím je číslo vyšší, tím je větší šance k porušení materiálu. [1]



Obr. 48 Riziko porušení.

Po provedení simulace bylo zjištěno, že by součástka se zadanými parametry a zvolenou technologií byla vyrobitelná. Na rozdíl od teoretické hodnoty ztenčení plechu dvou až tři procent, dosahuje tloušťka materiálu až dvacetiprocentního ztenčení. To je způsobeno nedostatečnou optimalizací simulace. I přes to lze považovat výsledky jako uspokojující, jelikož nároky na tloušťku součástí vzhledem k jejímu využití nejsou vysoké.

3.6 Výběr stroje

Při výběru stroje pro HMT je nutné zohlednit mnoho faktorů. Asi nejdůležitějšími jsou velikost jmenovité síly, způsob jejího vyvození a vybavenost stroje pro tváření kapalinou. Minimální jmenovitá síla je určena podle hodnoty zjištěné při simulaci dle vztahu (3.18). Vzhledem k technologii bude zvolen hydraulický lis s minimální jmenovitou silou 294,6 kN. [1; 2]

Existují stroje přímo určené pro použití při hydromechanickém tažení, jelikož mají zabudovanou jednotku ovládající tlak kapaliny. Je jimi například řada lisů CTM od společnosti ŽĐAS, a.s. Problémem je však skutečnost, že se jedná o stroje nejčastěji používané k tažení rozměrných plechových dílů, kde je potřeba mnohem větších sil. Pro výrobu řešené součástky jsou značně předimenzované, a proto jejich volba není vhodná. Druhou možností je zvolit dvojčinný lis s požadovanými parametry, jenž je doplněn o externí hydraulický agregát napojený na nástroj. Zvolena bude z důvodu většího výběru strojů varianta s externím hydraulickým agregátem. [1]

K propojení agregátu a nástroje slouží součástka, která je z jedné strany našroubována a zajištěna v tažné komoře a z druhé napojena na přívod kapaliny. Pro představu je na obrázku 49 znázorněn obdobný díl. Z jedné strany se nachází rychlospojka pro napojení na přívod kapaliny. Z druhé strany je trubkový závit G 1/2" dle normy ČSN EN ISO 228-1, který se našroubovuje přímo do tažné komory. [32]



Obr. 49 Přívod kapaliny [32].

Zvolen je dvojčinný hydraulický lis ZH 30 od výrobce PRESSHYDRAULIKA, s.r.o., viz obrázek 50, jehož jmenovitá síla je 300 kN. Stroj byl zvolen hlavně kvůli potřebě hydraulického přidržovače, který je schopný konstantně vyvíjet požadovanou přidržovací sílu. Lis bude na požádání poupraven na konstrukci s dvojčinným horním beranem. Díky tomu bude vhodný k použití pro hydromechanické tažení. Jeho parametry jsou uvedeny v příloze 3. [34]

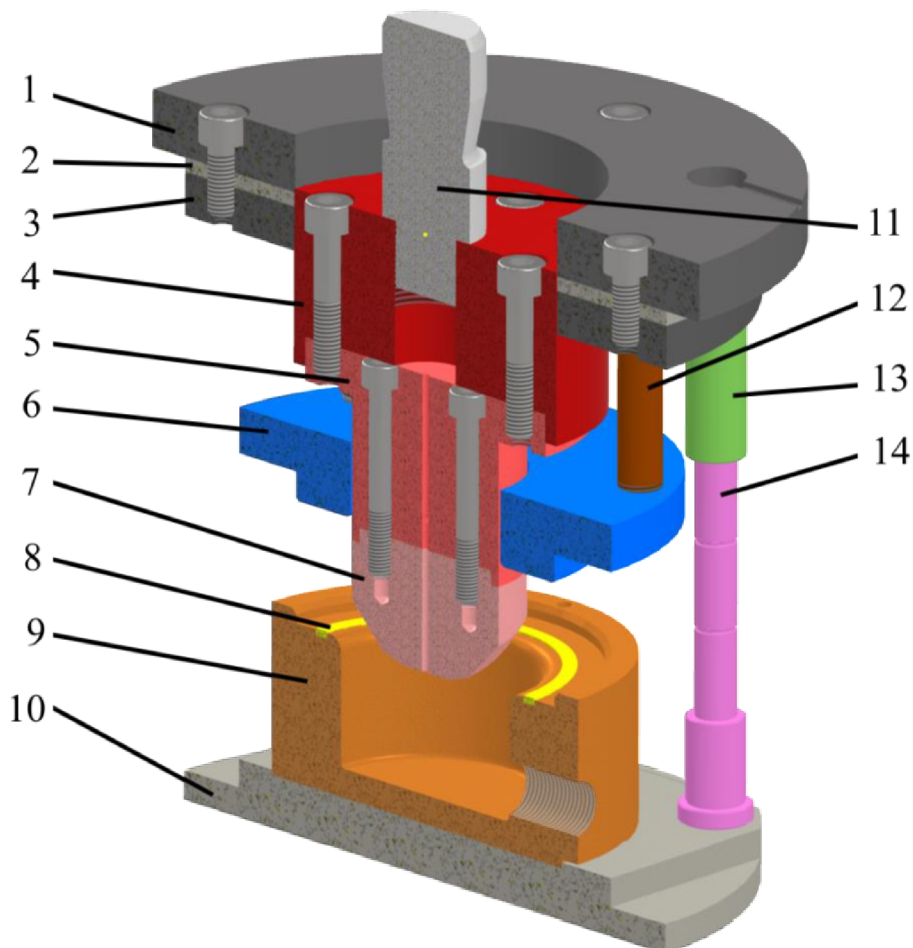


Obr. 50 Hydraulický lis společnosti PRESSHYDRAULIKA, s.r.o. [34].

3.7 Nástroj

Bylo zkonstruováno tažidlo pro jednu tažnou operaci, viz obrázek 51, kde je znázorněno v rozevřeném stavu. Spodní část nástroje tvoří tažná komora (9), která je upevněna k základové desce (10) pomocí šesti šroubů a dvou kolíků. Obsahuje drážku na těsnění (8) a závit G 1/2“ pro napojení přívodu kapaliny. Základová deska má vyfrézované drážky, které slouží k upevnění spodní části nástroje pomocí upínek k lisu.

Vrchní díl je zkonstruován s dvěma nezávislými částmi, které jsou jednotlivě ovládány dvojčinným beranem lisu. První z nich je tažník skládající se z funkční části (7) a držáku (5). Jsou spojeny dvěma šrouby M8. Držák (4), k němuž je připevněn tažník, je upnut do vnitřního beranu lisu pomocí normalizované stopky (11) s průměrem 40 mm, délkou 70 mm a závitem M30. Druhou částí je přídržovač (6), který je upnut šesti kolíky (12) ve vodící desce (3). Proti otlacení se mezi upínací deskou (1) a kolíky nachází opěrná deska (2). Všechny 3 desky jsou mezi sebou spojeny čtyřmi šrouby M10 a dvěma kolíky. Vrchní díl bude připevněn k vnějšímu beranu upínkami. Vzájemná poloha přídržovače a spodní části je zajištěna dvěma vodícími sloupky (14) a jejich pouzdry (13). Detailní popis a parametry lze najít ve výkresové dokumentaci v přílohách s názvem 2023-BP-216896-S01 pro sestavu a 2023-BP-216896-K01, 2023-BP-216896-K02 pro kusovníky.



Obr. 51 Sestava tažného nástroje.

Po založení přístříhu začíná sjíždět přídržovač. Chvilí po jejich kontaktu dojde k navyšování tlaku kapaliny v tažné komoře pomocí externího hydraulického agregátu. Poté pomocí působení tlaku tažníkem je vytvořen požadovaný výtazek. Následuje zmenšení tlaku kapaliny, vyjetí tažníku, uvolnění přídržovače a vyjmutí polotovaru. V neposlední řadě bude kapalina hydraulicky doplněna na požadovaný objem a celý pracovní cyklus zopakován.

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Navržený výrobní postup je potřeba posoudit z ekonomického hlediska. Hlavním ukazatelem je tzv. bod zvratu, který znázorňuje hranici mezi ziskovou výrobou a ztrátou. Výpočty se budou vztahovat k zadané výrobní sérii, tedy 8500 kusů ročně. Vyhodnocována bude pouze spotřeba materiálu při výrobě přístříhu a tažení součástky s následným ostřížením příruby. Nebude počítáno s vystřížením otvorů, ohnutím pacek a pokovením z důvodu omezeného rozsahu práce. Jedná se pouze o orientační určení bez DPH. Dříve provedené výpočty vedoucí k volbě konkrétní tabule plechu jsou znázorněny v tabulce 8. [36]

Tab. 8 Parametry materiálových výdajů.

| Název | Označení | Jednotka | Hodnota |
|---------------------|---------------|----------|---------|
| Šířka tabule plechu | \check{s}_p | [mm] | 1500 |
| Délka tabule plechu | l_p | [mm] | 2500 |
| Tabule na sérii | p_t | [ks] | 33 |
| Velikost série | Q | [ks] | 8500 |
| Využití tabule | μ | [%] | 75,8 |
| Přístříhy na tabuli | p_d | [ks] | 264 |

Polotovár bude nakupován ve formě plechových tabulí s přibližnou cenou $C_m = 60$ Kč za kilogram. Odpadní materiál bude prodáván zpět s hodnotou $C_z = 15$ Kč za kilogram. Materiálové náklady jsou zjištěny pomocí těchto výpočtů:

- Hmotnost jedné plechové tabule:

$$m_t = t \cdot l_p \cdot \check{s}_p \cdot \rho = 0,6 \cdot 2500 \cdot 1500 \cdot 7850 \cdot 10^{-9} = 17,7 \text{ kg} \quad (4.1)$$

kde: ρ – hustota oceli [$\text{kg} \cdot \text{mm}^{-3}$].

- Hmotnost tabulí na sérii:

$$m_s = m_t \cdot p_t = 17,7 \cdot 33 = 584,1 \text{ kg} \quad (4.2)$$

- Pro výpočet váhy materiálu výtažku po ostřížení příruby (je ponechán 1 mm příruby z funkčních důvodů), viz výkres označený číslem 2023_216896_BP_01, který lze najít v přílohách, je využit vztah:

$$m_v = S_{op} \cdot t \cdot \rho = 6028,54 \cdot 0,6 \cdot 7850 \cdot 10^{-9} = 0,0284 \text{ kg} \quad (4.3)$$

kde: S_{op} – obsah výtažku po ostřížení příruby [mm^2], vypočteno pomocí matematického softwaru.

- Váha materiálu využitého ke zhotovení výrobní série:

$$m_m = m_v \cdot Q = 0,0284 \cdot 8500 = 241,4 \text{ kg} \quad (4.4)$$

- Váha zbytkového materiálu:

$$m_z = m_s - m_m = 584,1 - 241,4 = 342,7 \text{ kg} \quad (4.5)$$

- Cena využitého materiálu:

$$c_m = m_s \cdot C_m = 584,1 \cdot 60 = 35046 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

- Hodnota materiálu k prodeji:

$$c_z = m_z \cdot C_z = 342,7 \cdot 15 = 5140,5 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

- Celkové náklady na materiál:

$$c_c = c_m - c_z = 35046 - 5140,5 = 29905 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

Po prodeji odpadu budou celkové materiálové náklady 29905 Kč. Cena hydraulického agregátu, který dokáže vyvinout požadovaný tlak je přibližně 80000 Kč. Cena nástroje bude odhadnuta za předpokladu, že jeden mm tažné hrany vyjde na 1200 Kč:

$$c_n = d_1 \cdot \pi \cdot C_n + C_a = 68,2 \cdot \pi \cdot 1200 + 80000 = 337108 \text{ Kč} \quad (4.9)$$

kde: C_n – odhad ceny jednoho mm tažné hrany [Kč],

C_a – cena hydraulického agregátu [Kč].

Pro určení nákladů na provoz stroje se nejdříve musí zjistit čas výroby jednoho dílce:

$$t_v = t_p + t_m = 15 + 5 = 20 \text{ s} \quad (4.10)$$

kde: t_p – čas pohybu nástroje [s],

t_m – čas pro manipulaci s výtazkem [s].

Do času pohybu nástroje je zahrnuto sevření nástroje, tváření materiálu, otevření nástroje a doplnění kapaliny. Celkový čas výroby jednoho dílce je 20 sekund. Hodnota bude vynásobena hodinovými náklady na provoz lisu, které zahrnují mzdu pracovníka, spotřebu elektřiny a amortizaci stroje. Hodinový provoz lisu ZH 30 vyjde odhadem na 1500 Kč. Jeden dílec potom bude vyroben za:

$$c_v = \frac{C_h \cdot t_v}{3600} = \frac{1500 \cdot 20}{3600} = 8,3 \text{ Kč} \quad (4.11)$$

kde: C_h – hodinové náklady provozu stroje [Kč].

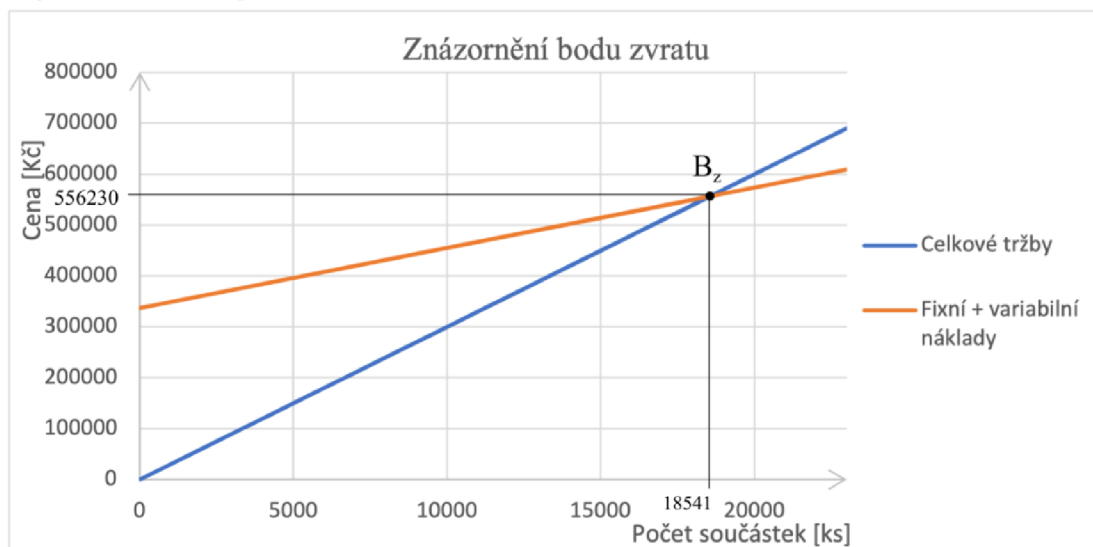
Prodejní hodnota tažené součásti bez pokovení a dokončovacích operací je odhadnuta na 30 Kč.

V návaznosti na provedené výpočty lze určit bod zvratu. Je dán vztahem:

$$B_z = \frac{c_n}{p_h - \left(c_h + \frac{c_c}{Q}\right)} = \frac{337108}{30 - \left(8,3 + \frac{29905}{8500}\right)} = 18541 \text{ ks} \quad (4.12)$$

kde: p_h – prodejní hodnota [Kč].

Zisku bude dosaženo po zhotovení 18541 kusů. To odpovídá celkové tržbě 556230 Kč. Bod zvratu je znázorněn v grafu na obrázku 52.



Obr. 52 Graf bodu zvratu.

ZÁVĚR

Zadanou součástí je reflektor světlometu automobilu z materiálu DC04. Vzhledem k velikosti série 8500 kusů za rok, složitosti tvaru a tloušťce materiálu 0,6 mm, bylo za nejvhodnější technologii k výrobě vyhodnoceno hydromechanické tažení. Z funkčních důvodů musí být součástka pokovená.

Během návrhu výroby výtažku byl určen přístřih s průměrem 117 mm s přihlédnutím k rozměrům těsnícího kroužku a nástroje. Pro polotovár byl vypracován nástřihový plán a podle něj zvolena tabule o rozměrech 2500 x 1500 mm s využitím materiálu 75,8 % při dvouřadém uspořádání, která bude dále dělena příčně na pásy šířky 225,9 mm. Z jedné tabule je možné zhotovit 264 přístřihů. Celkem je potřeba 33 tabulí.

Výtažek s přírubou bude vyroben v jedné tažné operaci s využitím přidržovače. Byla vypočtena celková tvářecí síla s hodnotou 223 kN, z toho je přidržovací síla 44,4 kN. Tlak kapaliny byl zvolen konstantních 30 MPa.

Poté pro ověření výpočtové části byla provedena simulace. Ta potvrdila vyrobitelnost součástky. Celková tvářecí síla dosahovala maximální hodnoty 226,6 kN a tlak kapaliny byl až 50 MPa. Největší místní zeslabení tloušťky materiálu bylo 20 %. S optimalizací parametrů a průběhu simulace by bylo možné dosáhnout lepších výsledků, a to jak ztenčení, tak i menších potřebných sil.

Výběr stroje byl proveden v návaznosti na celkovou sílu zjištěnou při simulaci. Hodnota byla navýšena z důvodu bezpečnosti o 30 % na 294,6 kN. Zvolen je lis ZH 30 od firmy PRESSHYDRAULIKA, s.r.o. Dokoupen bude hydraulický agregát, který bude vyvíjet tlak v tažné komoře. Dle zvoleného lisu a technologie byla následně navržena konstrukce nástroje s hydraulicky ovládaným přidržovačem. V přílohách lze najít výkres sestavy tažidla.

Poslední řešenou oblastí je technicko-ekonomické zhodnocení. Byla posuzována pouze část výroby tažením a materiálové náklady. Zisku bude dosaženo po prodeji 18541 kusů součástek s hodnotu 30 Kč.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [37]

1. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
 2. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
 3. LENFELD, Petr. *Technologie II* [online]. 1. část, (Tváření kovů). 3. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016 [cit. 2023-05-16]. ISBN 978-80-7494-304-1. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/obsah_kovy.htm
 4. ČADA, Radek. *Technologie tváření, slévání a svařování: stříhání a tažení plechu, objemové tváření za studena*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014, 90 s. ISBN 978-80-248-3624-9.
 5. Parts shop. *KYOEI MANUFACTURING VIETNAM Co.,Ltd* [online]. © kyoei vietnam Co.,ltd [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <http://kyoei-vn.com/en/-51.nd/parts-shop-press--forming--bending--machining.html>
 6. Product show. *Qdrongshengda* [online]. © 1998-2023 Focus Technology Co., Ltd. [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://qdrongshengda.en.made-in-china.com/product/kZBxLcrWhtVz/China-Good-Precision-Progressive-Deep-Drawing-Process-Custom-Stamping-Large-Metal-Parts.html>
 7. Silver Aluminium Pan. *Indiamart* [online]. © 1996-2023 IndiaMART InterMESH Ltd. [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/aluminum-kitchen-deep-drawn-pan-11334200233.html?pos=4&pla=n&vcdimgform=1>
 8. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Základy konstruování*. Vydání sedmé, přepracované a doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2019. ISBN 978-80-7623-009-5.
 9. Front bumper. *DM-autoteile* [online]. © DM-Autoteile GmbH [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.dm-autoteile.de/Set-Seat-Ibiza-6L-Front-Bumper-Grille-Set-fog-lights-02-08>
 10. ČSN EN 10139+A1. *Pásky z nízkouhlíkových ocelí válcované za studena, bez povlaku, pro tváření za studena*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
 11. Pres full force. *Industrial-electronics* [online]. 1994 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: https://industrial-electronics.com/engineering-industrial/fund-tool_7.html
 12. B10 – Steels for cold forming. *ArcelorMittal* [online]. ArcelorMittal Europe CZ s.r.o [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: https://industry.arcelormittal.com/catalogue/B10/EN#grade_2922
 13. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání – v příkladech* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2023-05-20]. ISBN 978-80-248-3016-2. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_005/Technologie%20tváření%C3%AD%20a%20slévání%C3%AD%20-%20v%20příkladech/02%20Text%20pro%20e-learning/3.%20STŘÍHÁNÍ%20PLECHU.pdf
 14. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
 15. SINGH HARJINDER. *Fundamentals of Hydroforming* [online]. Society of Manufacturing Engineers (SME), 2003 [cit. 2023-05-20]. ISBN 978-1-61344-961-5. Dostupné z: <https://app.knovel.com/kn/resources/kpFH000001/toc?kpromoter=federation>
-

-
16. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
 17. KOÇ, Muammer. *Hydroforming for advanced manufacturing*. Cambridge: Boca Raton: Woodhead Publishing and Maney Publishing on behalf of The Institute of Materials, Minerals & Mining; CRC Press, 2008, 396 s. ISBN 978-1-84569-328-2.
 18. FORD GLOBAL TECHNOLOGIES LLC. *Hydromechanical drawing process and machine*. Vynálezce Sergey Fedorovich GOLOVASHCHENKO. USA. IPC: B21D22/205, B21D26/02, B21D26/12, Y10T29/49805. Patent, US 9375775 B2. Zapsáno June 28, 2016. Dostupné také z: <https://patents.google.com/patent/US9375775>
 19. REDDY, B. Nagarjuna, Raja S. SEKHAR a Narayana J. H. RAO. Design Of Conventional Deep Drawing And Hydro Forming Deep Drawing By Finite Element Analysis. *International Journal of Science Engineering and Advance Technology, IJSEAT* [online]. 2015, 3(10), 580-591 [cit. 2023-05-20]. ISSN 2321-6905. Dostupné z: <https://core.ac.uk/reader/235196548>
 20. GÜRÜN, Hakan a İbrahim KARAAĞAÇ. The Experimental Investigation of Effects of Multiple Parameters on the Formability of the DC01 Sheet Metal. *Strojníški vestnik – Journal of Mechanical Engineering* [online]. 2015, 61(11), 651-662 [cit. 2023-05-22]. ISSN 00392480. Dostupné z: doi:10.5545/sv-jme.2015.2562
 21. LANG, Li-hui, Yong-ming WANG, Ya-su XIE, Xi-ying YANG a Ying-qiang XU. Pre-bulging effect during sheet hydroforming process of aluminum alloy box with unequal height and flat bottom. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* [online]. 2012, 22, 302-308 [cit. 2023-05-22]. ISSN 10036326. Dostupné z: doi:10.1016/S1003-6326(12)61723-3
 22. YADAV, D. Ajay. *Process analysis and design in stamping and sheet hydroforming* [online]. The Ohio State University, 2008 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://etd.ohiolink.edu/apexprod/rws_etd/send_file/send?accession=osu1210952822&disposition=inline. Disertační práce. The Ohio State University. Vedoucí práce Taylan Altan.
 23. Sheet Metal defects in drawn parts. *Me Mechanical* [online]. ME Mechanical Team, 2017 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://mechanicalengineering.blog/defects-sheet-metal-drawing/>
 24. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Nakladatelství VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
 25. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1993, 349 s. ISBN 80-010-1003-1.
 26. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: část tvářecí stroje* [online]. Vysoké učení technické v Brně, 2002 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs_vyrobní_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf
 27. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Vydání šesté, přepracované a doplněné. Brno: CERM, akademické nakladatelství, 2019. ISBN 978-80-7623-010-1.
 28. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm
 29. ŘIHÁČEK, Jan, Eva PETERKOVÁ, Michaela CÍSAŘOVÁ a Jaroslav KUBÍČEK. COMPARISON OF FEM AND FVM FOR THE NUMERICAL SIMULATION OF FORGING PROCESS. *MM Science Journal* [online]. 2020, 2020(1), 3734-3739 [cit. 2023-05-22]. ISSN 18031269. Dostupné z: doi:10.17973/MMSJ.2020_03_2019151
-

-
30. PROCHÁZKA, Karel. *Jak na metodu konečných prvků: učební text pro seznámení se s MKP* [online]. Opava, Střední škola průmyslová a umělecká, [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.sspu-opava.cz/~prochazka/ruzne/index.html>
 31. ŘIHÁČEK, Jan. *Využití hydroformingu při vytváření strukturovaného povrchu solárního panelu* [online]. Brno, 2017 [cit. 2023-05-22]. 109 s, 10 příloh. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Libor Mrňa.
 32. CHRZ, Jan. *Výroba dílce hydroformováním a její optimalizace* [online]. Brno, 2020 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124298>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Řiháček.
 33. KUMAR, Ravi D. a Manish MANOHAR. Determination of Process Parameters in Multi-Stage Hydro-Mechanical Deep Drawing by FE Simulation. *Journal of Physics: Conference Series* [online]. Bristol: IOP Publishing, 2017 [cit. 2023-05-22]. ISSN 1742-6588. Dostupné z: doi:10.1088/1742-6596/896/1/012061
 34. Deep-Drawing ZH Press. *Presshydraulika* [online]. © 2012 Presshydraulika, s.r.o. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.presshydraulika.cz/en/products-/hydraulic-presses/deep-drawing/zh-range/>
 35. Výrobní program firmy. *Presshydraulika* [online]. © 2012 Presshydraulika, s.r.o. [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://b187b22e23.clvaw-cdnwnd.com/0e198265b769c9f40420e9e0b8dd9f0d/200000110-cf045cffdd/press-hydraulika-katalog2010.pdf>
 36. Bod zvratu. *Marketing Mind* [online]. © 2017 - 2020 Jan Petřtyl - Marketing Mind [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.marketingmind.cz/bod-zvratu-priklad-vzorec-vypocet-graf/>
 37. CITACE.PRO. *Generátor citací* [online]. 2015 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| Označení | Legenda | Jednotka |
|----------------------|--|--------------------|
| $A_{\text{taž}}$ | tažná práce | [J] |
| B_z | bod zvratu | [ks] |
| C | součinitel vyjadřující vliv součinitele tažení | [-] |
| C_a | cena hydraulického agregátu | [Kč] |
| c_c | celkové náklady na materiál | [Kč] |
| C_m | cena materiálu | [Kč] |
| c_m | cena využitého materiálu | [Kč] |
| c_n | cena nástroje | [Kč] |
| C_n | odhad ceny mm tažné hrany | [Kč] |
| c_v | cena výroby součástky | [Kč] |
| C_z | cena odpadu | [Kč] |
| c_z | hodnota materiálu k prodeji | [Kč] |
| d | průměr výtažku | [mm] |
| D_0 | průměr rondele | [mm ²] |
| d_1 | průměr výtažku po první tažné operaci | [mm] |
| d_d | střední průměr drážky těsnění | [mm] |
| d_h | vnitřní průměr přidržovače | [mm] |
| d_i | průměr výtažku v daném tahu | [mm] |
| d_p | průměr příruby | [mm] |
| d_t | průměr tažnice | [mm] |
| $d_{\text{tažníku}}$ | průměr tažníku | [mm] |
| E | šířka můstku | [mm] |
| F | velikost bočního okraje | [mm] |
| F_{celk} | celková tvářecí síla | [N] |
| F_{krit} | kritická síla na utržení dna | [N] |
| F_p | přidržovací síla | [N] |
| $F_{\text{taž}}$ | tažná síla | [N] |
| h | výška výtažku | [mm] |
| H | šířka těsnění | [mm] |
| C_h | hodinové náklady provozu stroje | [Kč] |
| K | velikost kroku | [mm] |
| K_t | stupeň tažení | [-] |
| L_i | délka úseku dané křivky v řezu | [mm] |
| l_p | délka tabule | [mm] |
| m | součinitel tažení | [-] |
| m_m | váha materiálu ke zhotovení série | [kg] |
| m_s | hmotnost tabulí na výrobní sérii | [kg] |
| m_t | hmotnost plechové tabule | [kg] |
| m_v | váha výtažku po ostřížení příruby | [kg] |
| m_z | váha zbytkového materiálu | [kg] |
| p_D | počet přístřihů z tabule | [ks] |
| p_h | prodejní hodnota | [Kč] |
| p_k | tlak kapaliny | [MPa] |
| p_p | přidržovací tlak | [MPa] |
| $p_{\text{pás}}$ | počet pásů z jedné tabule | [ks] |
| p_s | počet přístřihů na pás | [ks] |
| p_t | počet tabulí na sérii | [ks] |
| R_e | mez kluzu | [MPa] |

| Označení | Legenda | Jednotka |
|---------------|---------------------------------------|------------------------|
| R_m | pevnost v tahu | [MPa] |
| R_t | zaoblení tažnice | [mm] |
| S_0 | plocha výtažku | [mm ²] |
| S_c | celková plocha přístřihu | [mm ²] |
| S_{op} | obsah výtažku po ostřížení příruby | [mm ²] |
| S_p | činná plocha přidržovače | [mm ²] |
| $S_{př}$ | plocha příruby | [mm ²] |
| S_v | plocha půdorysného průmětu výtažku | [mm ²] |
| \check{S}_1 | šířka pásu pro jednořadé uspořádání | [mm] |
| \check{S}_2 | šířka pásu pro dvouřadé uspořádání | [mm] |
| \check{s}_p | šířka tabule | [mm] |
| t | tloušťka materiálu | [mm] |
| t_m | čas pro manipulaci s výtažkem | [s] |
| t_p | čas pohybu nástroje | [s] |
| t_v | čas výroby dílce | [s] |
| x_i | vzdálenost těžiště dané křivky od osy | [mm] |
| z | tažná mezera | [mm] |
| z_p | mezera mezi tažníkem a přidržovačem | [mm] |
| μ | využití materiálu | [%] |
| ψ | koeficient zaplnění plochy | [-] |
| ρ | hustota oceli | [kg.mm ⁻³] |

SEZNAM PŘÍLOH

| | |
|-----------|--|
| Příloha 1 | Rozměry plechových tabulí |
| Příloha 2 | Nomogram pro stanovení střížného můstku a mezery |
| Příloha 3 | Parametry lisu ZH 30 |

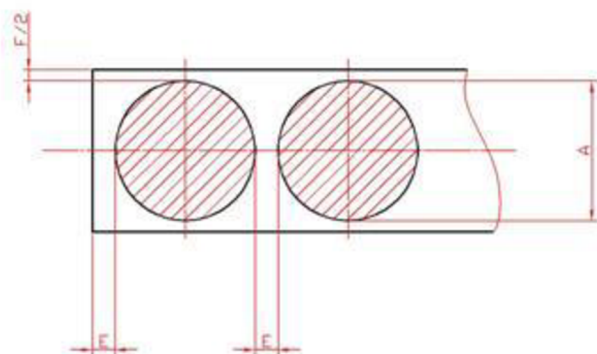
SEZNAM VÝKRESŮ

| | |
|------------------|--------------------|
| Reflektor | 2023-BP-216896-D01 |
| Tažnice | 2023-BP-216896-01 |
| Tažník | 2023-BP-216896-02 |
| Sestava nástroje | 2023-BP-216896-S01 |
| Kusovník 1 | 2023-BP-216896-K01 |
| Kusovník 2 | 2023-BP-216896-K02 |

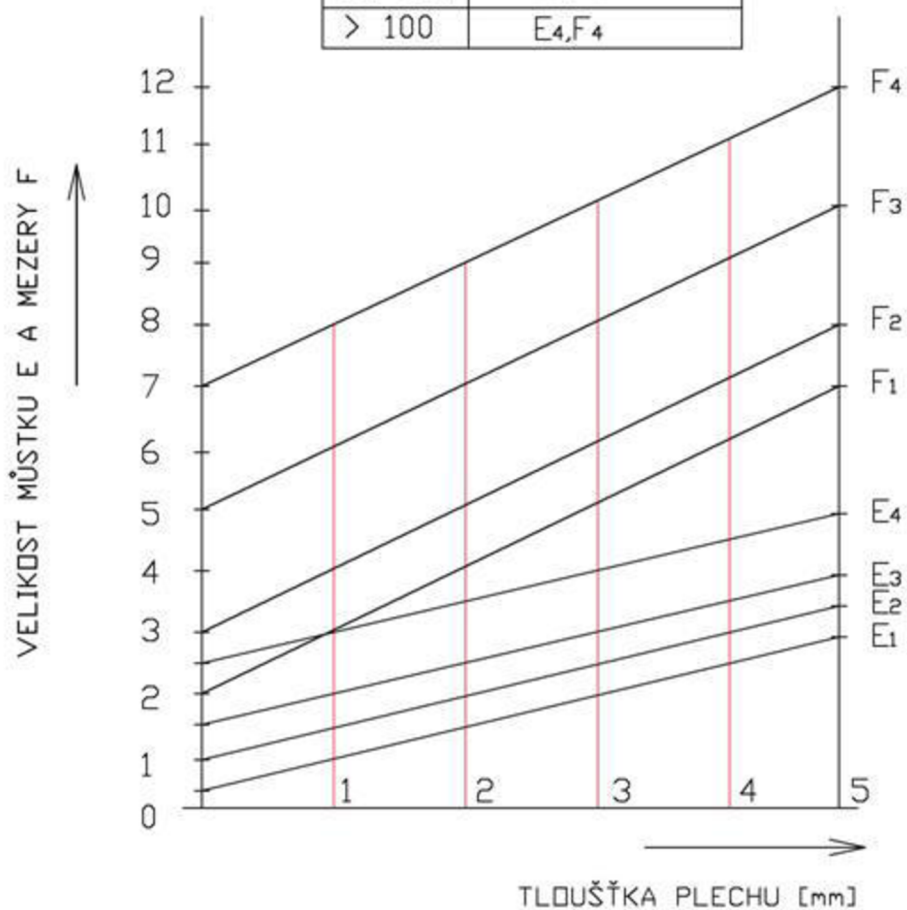
Dimensions

| Thickness (mm) | Min width | DC01 EN 10130, DC02 AM FCE | DC03 EN 10130, DC03 AM FCE, DC04 EN 10130, DC04 AM FCE | DC05 EN 10130 | DC06 EN 10130 | DC07 EN 10130 |
|---------------------|--------------|-------------------------------|---|------------------|------------------|------------------|
| | | Max width | Max width | Max width | Max width | Max width |
| 0.40 ≤ th < 0.45 | 600 | 1635 | 1635 | 1635 | 1480 | - |
| 0.45 ≤ th < 0.50 | | | | | | |
| 0.50 ≤ th < 0.55 | | 1675 | 1675 | 1650 | 1590 | 1640 |
| 0.55 ≤ th < 0.60 | | 1865 | 1860 | 1860 | 1640 | 1750 |
| 0.60 ≤ th < 0.65 | | | | | | |
| 0.65 ≤ th < 0.70 | | 1885 | 1880 | 1880 | 1835 | 1865 |
| 0.70 ≤ th < 0.75 | | 1975 | 1975 | 1975 | 1920 | |
| 0.75 ≤ th < 0.80 | | 2065 | 2065 | 2065 | 2000 | |
| 0.80 ≤ th < 2.85 | | | | | 2065 | |
| 2.85 ≤ th < 3.00 | | | | | | |

Nomogram pro stanovení střížného můstku a mezery [28]



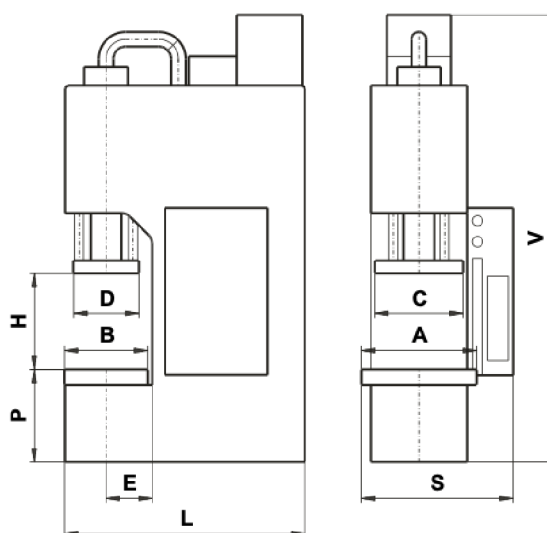
| A[mm] | Příslušné E,F |
|--------|--------------------------------|
| do 15 | E ₁ ,F ₁ |
| 15-50 | E ₂ ,F ₂ |
| 50-100 | E ₃ ,F ₃ |
| > 100 | E ₄ ,F ₄ |



hydraulické lisy hydraulic presses **ZH**

Hydraulické lisy ZH jsou výkonné produkční lisy vhodné pro hluboké tažení, lisování, stříhání, děrování nebo ohýbání za studena, ale také řadu jiných tvářecích prací. Jsou dodávány ve standardní typové řadě nebo s rámem upraveným dle požadavku zákazníka. Také vybavení lisu může být standardní nebo dle požadavku rozšířeno o zvláštní vybavení.

ZH hydraulic presses are powerful production presses suitable for deep drawing, pressing, stamping, cutting, punching or cold bending as well as for many other forming operations. These presses are delivered in a standard type series or with a frame modified according to customer requirements. A press can be equipped with standard accessories or with special additional accessories according to customer requirements.



Standardní řada lisů • Standard range of presses:

| TYP | | | | ZH 10 | ZH 25 | ZH 30 | ZH 40 | ZH 50 | ZH 63 | ZH 100 | ZH 160 | ZH 250 |
|-----------------------|----------------|--------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|---------|
| Lisovací síla | Pressing force | kN | | 100 | 250 | 300 | 400 | 500 | 630 | 1000 | 1600 | 2500 |
| Zdvih beranu | Ram stroke | mm | | 400 | | | | | | 500 | | |
| Přibližovací rychlost | Approach speed | mm/s | | 250 | 235 | | 250 | | 255 | 225 | 260 | 270 |
| Pracovní rychlost | Pressing speed | mm/s | | 30 | | 32 | | 27 | 26 | 8 - 26 | 5 - 32 | 8 - 38 |
| Zpětná rychlost | Return speed | mm/s | | 160 | 180 | 205 | 230 | 215 | 230 | 200 | 215 | 340 |
| Stůl | A x B | Table | A x B | 605 x 405 | | 655 x 455 | | 755 x 505 | | 810 x 580 | 900 x 650 | |
| Beran | C x D | Ram | C x D | 455 x 355 | | 505 x 405 | | | | 540 x 410 | 750 x 510 | |
| Vyložení | E | Gap | E | 250 | 260 | | 280 | | | 330 | 360 | |
| Rozevření | H | Opening | H | 600 | | | | | | 700 | 950 | |
| Výška stolu | P | Table height | P | 890 | | | | | | 880 | 905 | |
| Rozměry stroje | Dimensions | | | 1,24 x 1,03 | 1,39 x 1,07 | 1,39 x 1,08 | 1,48 x 1,16 | 1,48 x 1,17 | 1,58 x 1,23 | 1,65 x 1,14 | 2 x 1,2 | 2 x 1,2 |
| | L x S x V | | | x 2,78 | x 2,9 | x 2,99 | x 3,08 | x 3,08 | x 3,15 | x 3,0 | x 3,52 | x 3,68 |

Standardní vybavení:

- plynulá regulace lisovací síly
- regulace lisovací rychlosti
- bezpečnostní moduly
- obouruční ovládání
- digitální manometr a spínač
- počítadlo zdvihů
- řídicí systém Siemens
- hydraulické prvky renomovaných firem
- regulovatelná doba lisování

Zvláštní příslušenství:

- optoelektronická zábrana
- horní přidržovač a vyhazovač
- spodní přidržovač a vyhazovač
- nožní ovládání
- osvětlení pracovního prostoru
- olejová náplň
- tlumiče střížného rázu
- kontinuální snímání polohy
- elektronické nastavení lisovací síly
- další příslušenství dle dohody

Standard equipment:

- stepless pressing force regulation
- pressing speed regulation
- safety modules
- both-hand control
- digital pressure gauge and switch
- stroke counter
- Siemens control systems
- worldwide hydraulic components
- regulation of pressing time

Special accessories:

- safety light curtain
- upper blankholder and ejector
- lower blankholder and ejector
- foot control
- working space lighting
- mineral oil filling
- cutting shock absorbers
- continual position sensing
- electronic pressing force adjustment
- additional accessories as agreed