



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA TĚLESA SIFONU PLOŠNÝM TVÁŘENÍM ZA STUDENA

MANUFACTURING OF THE WATER SIPHON BY SHEET METAL FORMING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Toufar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Miroslav Jopek, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Jan Toufar
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Miroslav Jopek, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

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 diplomové práce:

Výroba tělesa sifonu plošným tvářením za studena

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby tělesa sifonu technologií plošného tváření za studena.

Cíle diplomové práce:

1. Vypracovat literární studii se zaměřením na technologii plošného tváření za studena.
2. Zhodnotit současný stav výroby součástí obdobného tvaru.
3. Navrhnout vlastní technologii výroby včetně posouzení jednotlivých variant.
4. Vypracovat výkresovou dokumentaci nástroje včetně nezbytných výpočtů.
5. Závěry a doporučení pro průmyslovou praxi.

Seznam doporučené literatury:

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet metal forming processes and die design. 1. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 0-8311-3182-9.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

TIŠNOVSKÝ, Miroslav a MÁDLE, Luděk. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. Praha: Nakladatelství technické literatury. 1990. ISBN 80-03-00221-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce předkládá návrh výroby pachového uzávěru odvodňovací vpusti z chrom – niklové austenitické oceli odolné vůči korozi 1.4301. S ohledem na rotačně symetrický tvar byla pro výrobu vybrána jako nejvhodnější technologie hlubokého tažení bez ztenčení stěny, a pro přípravu jeho polotovaru stříhání. Na základě vybraného postupu tažení vyplynula potřeba využití trojčinného lisu, který umožnil optimální spojení obou technologií do jednoho sdruženého nástroje. Byla provedena kontrola a stanovení všech potřebných technologických výpočtů a na základě nich byl navržen nástroj. V něm je součást zhotovena ze svitku ve třech operacích jednoho zdvihu. Vybraným strojem pro výrobu je lis Dieffenbacher PO 250.

Klíčová slova

hluboké tažení, stříhání, sdružený nástroj, lisování, korozivzdorná ocel, 1.4301, trojčinný lis

ABSTRACT

The thesis presents a design for the manufacturing of a foul air trap made of chromium-nickel austenitic stainless steel resistant to corrosion 1.4301. In regards to the rotationally symmetrical shape of the air trap, the most fitting technology for manufacturing was deep drawing without thinning of the side and for the preparation of the blank shearing. The selected method of drawing, results in the necessity to utilize a triple action press, which allows for the optimal connection of all selected technologies into one combined tool. All technological calculations were determined and examined. Based on these calculations, a tool was designed. In this tool, the component is assembled out of a coil in three operations of one stroke. The selected machine for production is the press Dieffenbacher PO 250.

Key words

deep drawing, blanking, combined tool, forming, stainless steel, 1.4301, triple action press

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

TOUFAR, Jan. *Výroba tělesa sifonu plošným tvářením za studena* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139650>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Miroslav Jopek.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Výroba tělesa sifonu plošným tvářením za studena vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 20. 5. 2022

Jan, Toufar

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Miroslavu Jopkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce.

OBSAH

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Možnosti výroby.....	11
2 Technologie tažení a stříhání.....	13
2.1 Stříhání	13
2.1.1 Rozmístění výstřížků na pásu	16
2.2 Hluboké tažení bez ztenčení stěny	17
2.2.1 Velikost přístříhu a počet tažných operací	19
2.2.2 Tažná mezera	21
2.3 Síla a práce	22
2.4 Nástroje	24
2.4.1 Tažníky a tažnice	25
2.4.2 Střížníky a střížnice	26
2.5 Stroje	29
2.6 Tribologie	29
2.7 Technologičnost	31
3 NÁVRH VÝROBY	33
3.1 Velikost přístříhu a počet tažných operací	33
3.2 Varianty postupu výroby	35
3.3 Technologické výpočty tažení	38
3.4 Technologické výpočty stříhání	39
3.4.1 Využití materiálu	40
3.4.2 Výpočty rozměrů funkčních částí	41
3.5 Síla a práce	42
3.6 Kontrolní výpočty.....	46
3.7 Návrh nástroje	47
3.8 Volba lisu	51
3.8.1 Pomocná zařízení.....	52
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	54
ZÁVĚR.....	58
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	59
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	65
SEZNAM PŘÍLOH.....	69

ÚVOD

Strojírenství je technický obor, který se zabývá návrhem, výrobou, a údržbou strojů a zařízení. Vychází z poznatků o materiálu a principů fyziky. Cílem je zdokonalování stávajících výrobních metod a implementace nových technologií pro vytvoření kvalitního výrobku v souladu s požadavky zákazníka. Strojírenských poznatků se využívá v mnoha odvětvích, například v hutním průmyslu, výrobě zařízení strojů pro obrábění i tváření, automobilovém průmyslu, měřicí technice, povrchových úpravách a mnoho dalších. Mezi nejběžněji využívané strojírenské technologie se řadí tváření, obrábění, slévání a svařování [2; 3; 4].

Tvářením dochází ke změně tvaru polotovaru nebo výrobku bez odběru třísek. Působením vnějších sil, po překročení napětí na mezi kluzu, vzniká v materiálu plastická deformace, která způsobuje změnu fyzikálních vlastností materiálu a jeho struktury. Tato beztržková metoda má vysoké využití materiálu a produktivitu práce. Dalšími výhodami procesu jsou rozměrová přesnost tvářených dílů, kvalitní povrch a zvýšené hodnoty mechanických vlastností. Naopak nevýhodami jsou vysoké vstupní náklady na stroje a nástroje a omezení velikosti konečného výrobku. Tváření lze dělit například podle teploty procesu na tváření za studena, za tepla a za poloohřevu nebo podle působení vnějších sil na tváření objemové a plošné. Do objemových metod se řadí kování, válcování atd. U plošného dochází pouze k rovinnému přetvoření. Mezi jeho metody patří například hluboké tažení, stříhání, ohýbání atd [3; 4; 5].

Hluboké tažení se zařazuje mezi nejdůležitější a nejvyužívanější technologii plošného tváření. Využívá se pro výrobu dutých těles a nádob. Stříhání se používá pro dělení polotovarů i konečných výrobků z plechu. Kombinace těchto metod je vysoce efektivní a je jí možné vytvořit celou řadu rotačních i nerotačních výrobků. Příklady výrobků jsou znázorněny na obrázku 1 [3; 4; 5].



Obr. 1 Součásti zhotovené plošným tvářením [6; 7; 8]

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Řešenou součástí je díl pachového uzávěru odvodňovací vpusti vyráběné firmou ACO Industries, k.s. (obr. 2). Tento uzávěr je využíván v odvodňovacích systémech komerčních kuchyní [9; 10].

Vnitřní vzduchová komora minimalizuje odpařování, které by mohlo způsobovat zápach. Dále tento design zabraňuje případným výstřikům, které by mohly nastat při využití konvenčního sifónu. Sestava je jednoduše a celkově rozložitelná, což umožňuje jednoduché čištění a údržbu. Sifón jako celek je tvořen ze tří dílů, v této práci řešená část je znázorněna na obrázku 3 [10].



Obr. 2 ACO Gully 157 [9]



Obr. 3 FAT 157 spodní část

Součást je kalíškovitého typu s výsekem pro madlo na horní hraně a kulovým prolisem na dně. Navržený vnější průměr je 113,9 mm s kuželovitostí 0,56° a výškou 71,2 mm. Prolis na dně součásti je vysoký 18 mm. Veškeré rozměrové tolerance uvedené na výkrese (příloha 1.) jsou v rámci milimetrů a tolerance netolerovaných rozměrů byly předepsány ISO 2768–m–L. „m“ značí střední přesnost, která je v desetínách milimetru [10; 11; 12; 13; 14].

Jelikož je sifon využíván v prostředí s vysokým důrazem na hygienu, a je v neustálém kontaktu s odpadní vodou, je nutné, aby měl vysokou odolnost vůči korozi. Další potřebnou vlastností materiálu pro sifon je svařitelnost, jelikož sestava pachového uzávěru odvodňovací vpusti je svařenec složený ze tří částí. Proto je jakožto materiál vybrána chrom – niklová austenitická ocel odolná vůči korozi 1.4301. Tato ocel je velmi využívána v potravinářském průmyslu, jelikož splňuje vysokou odolnost vůči korozi, je dobře svařitelná a tvařitelná. Její chemické a mechanické vlastnosti jsou shrnuty v tabulce 1 [12].

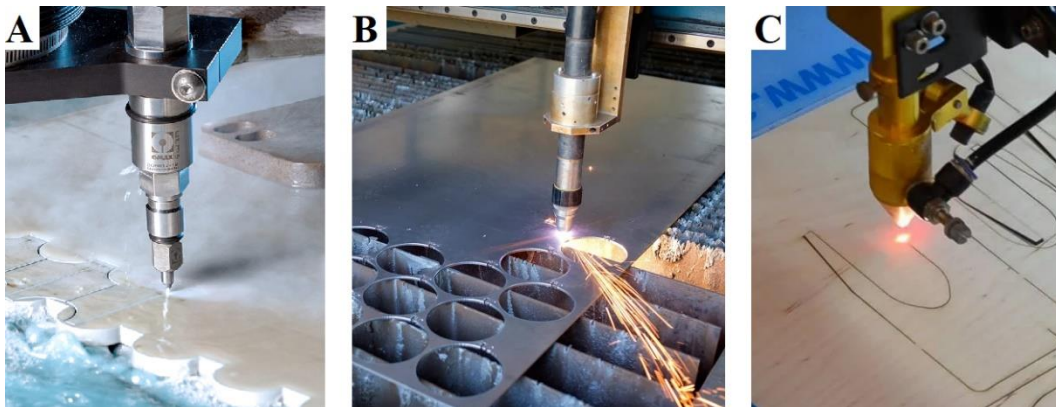
Tab. 1 Vlastnosti oceli 1.4301 [12]

Chemické složení [hmotnostní %]							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	N
< 0,07	< 1,0	< 2,0	< 0,045	< 0,015	17,5 až 19,5	8,0 až 10,5	< 0,10
Mechanické vlastnosti							
R _{p0.2} [MPa]		R _m [MPa]		A ₈₀ [%]		Teplota žíhání [°C]	
min 210		520 až 720		min 45		1000 až 1100	

1.1 Možnosti výroby

Požadovaného tvaru součásti je možné dosáhnout vícero technologiemi, ze kterých je potřebné vybrat ty nejhodnější. Je nutné zohlednit jak geometrii, materiál, velikost série, tak i využití dílce. Navržený tvar obsahuje složitou konturu dna a kuželovitost. Pro většinu tvarovacích technologií je nutné zhotovit plošný polotovár o určitých rozměrech. Dělení materiálu by bylo možné uskutečnit následujícími technologiemi:

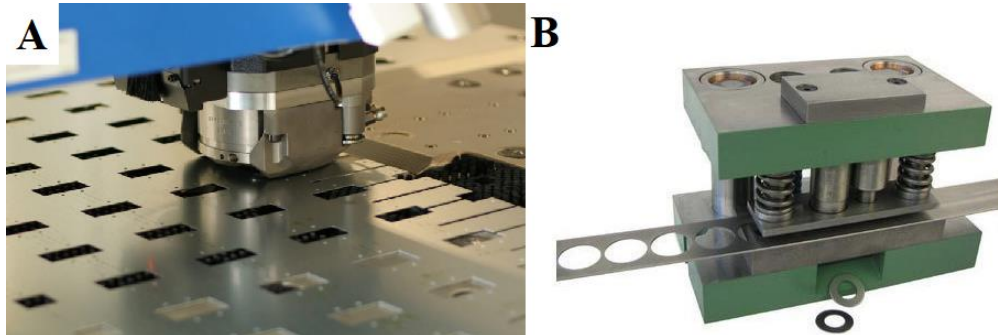
- Řezání vodním paprskem (obr. 4 A) – principem metody je obroušování materiálu tlakem řezné kapaliny případně abrazivy v ní obsažené. Velkou výhodou této technologie je, že u děleného materiálu nedochází k žádnému tepelnému namáhání, nevzniká vnitřní pnutí, zbytková deformace ani mikrotrhliny. Dosažitelné přesnosti jsou pro navržený dílce naprosto dostačující. Rychlost řezu oceli o tloušťce 1,25 mm se pohybuje kolem $1500 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Navržená série je vyrobitelná, nicméně se jedná o pomalejší technologii a doba výroby by byla delší. Další nevýhodou je neustálý kontakt s vodou a abrazivem. Materiál je následně nutné očistit a důkladně vysušit, jinak dochází k rychlému vzniku povrchové koroze a změně barvy [15; 16; 17].
- Řezání plazmou (obr. 4 B) – principem je využití tepelně dynamického působení elektrického oblouku v ionizovaném plynu. Hlavní výhodou je vysoká rychlost řezu dosahující hodnot v řádu jednotek metrů za minutu. Nicméně je pro tuto technologii nejmenší doporučená tloušťka materiálu 3 mm, což je pro danou geometrii nepoužitelné [18; 19].
- Řezání laserem (obr. 4 C) – svazek fotonů je vystředěn do tenkého svazku, který ohřeje dělený materiál natolik, že dojde k jeho roztavení či odpaření. Rychlost řezání se pohybuje v řádu jednotek metrů za minutu. Jelikož se jedná o tepelné dělení vzniká tepelně ovlivněná oblast která, i když je malá může, ovlivňovat průběh další výroby. Další nevýhodou je vznik karcinogenních a jedovatých plynů vlivem odpařování kovu z místa řezu [18; 19; 20].



Obr. 4 A Řezání vodou, B plazmou, C laserem [21; 22; 23]

- Vysekávání (obr. 5 A) – technologie obdobná klasickému stříhání v nástroji. K provedení stříhu dochází mezi vysekávacím razníkem a matricí. U této metody lze využívat multifunkčních nástrojů, které umožňují vysekávat vícero tvarů současně. Naopak nevýhodami jsou rychlé opotřebení razníků a nutnost přidání technologických mŕstvků. Pro stanovenou sérii je vyrobitelná, nicméně vysekávání není pro větší série ani větší obrysy doporučována [24].
- Stříh (obr. 5 B) – při stříhání v nástroji dochází k silovému působení nástroje na polotovár jímž se dosáhne lomu v místě styku. Rozdělením postupu do více operací je možné zhotovit i komplexní tvary. Tento způsob je vhodný pro automatizovanou

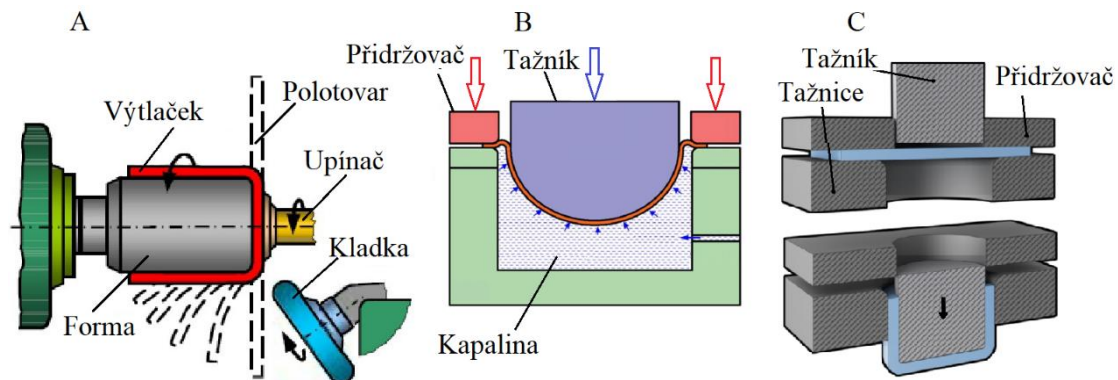
výrobu, a proto se hodí pro vysoké série. Přesnosti dosažené při výrobě jsou nadměru dostatečné pro danou konstrukci dílce. Nevýhodou jsou vysoké vstupní náklady způsobené vysokou cenou nástroje [25].



Obr. 5 A nástroj pro vysekávání B střížní nástroj [26; 27]

Prostorového tvaru dílce je možné dosáhnout využitím řady technologií, například:

- Kovotlačení (obr. 6 A) – je technologie sloužící k výrobě dutých rotačních těles. Polotovár je upevněn k formě a stroji. Stroj zahájí rotační pohyb a přístřih je nástrojem nabalován na formu odpovídající konečnému tvaru. Metoda je jednoduchá s levným provozem i pořizovacími náklady. Proces výroby je možno automatizovat, proto je využitelná i pro vyšší série. Nicméně by touto technologií bylo velmi náročné či nemožné zhotovit konturu dna dílce. Proto je nevhodná [3; 28].
- Hydroform (obr. 6 B) – metoda využívající tlaku kapaliny, která oproti konvenčnímu tažení nahrazuje část nástroje. Kapalina je umístěna v komoře utěsněné pryžovou membránou. Polotovár je umístěn na membránu a pevným tažníkem tlačěn do kapaliny. Plech kopíruje tvar tažníku a následným zvýšením tlaku kapaliny je i zkaližován. Touto technologií je možné vyrobit i velmi složité tvary s vysokou přesností. Je možné ji využít i pro vyšší série, nicméně se jedná o pomalejší metodu [29; 30].



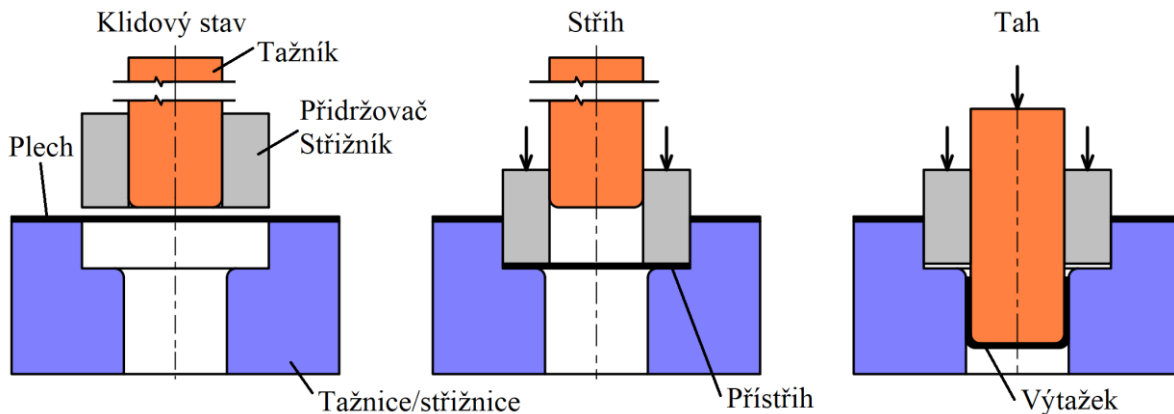
Obr. 6 A kovotlačení, B hydroform, C hluboké tažení [31; 32; 33]

- Hluboké tažení bez ztenčení stěny (obr. 6 C) – polotovár ve formě plochého přístřihu je umístěn na tažnici upevněn, přidrřovačem a druhou částí nástroje, tažníkem je do ní vtahován. Dílec kopíruje tvar nástrojů. Ze všech výše zmíněných metod se jedná a nejproduktivnější metodu. Dosažitelná přesnost a kvalita jsou naprosto dostačující. Hlavní nevýhodou je vysoká cena a náročnost konstrukce nástroje, kterých může být vícero s ohledem na potřebný počet tahů [4; 34].

Vzhledem k požadavkům na navrženou součást, se jako nejvhodnější technologie jeví hluboké tažení s polotovarem zhotoveným ve střížném nástroji. Zda bude využít sdružený nástroj kombinující tyto dvě technologie bude rozhodnuto po stanovení postupu. Na tyto technologie budou zaměřeny další části práce.

2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ A STŘÍHÁNÍ

Hluboké tažení a stříhání jsou v sériové výrobě velmi často využívané technologie. Ať už jednotlivě, nebo při spojení do sdruženého nástroje (obr. 7). Tyto nástroje se využívají přibližně od 50 000 ks/rok výše. Využití pro vyšší série je dáno náročnou a složitou konstrukcí, ze které plynou vysoké vstupní náklady. Celý proces výroby je možné automatizovat a tím snížit další náklady na obsluhu a manipulaci [4; 35; 36].

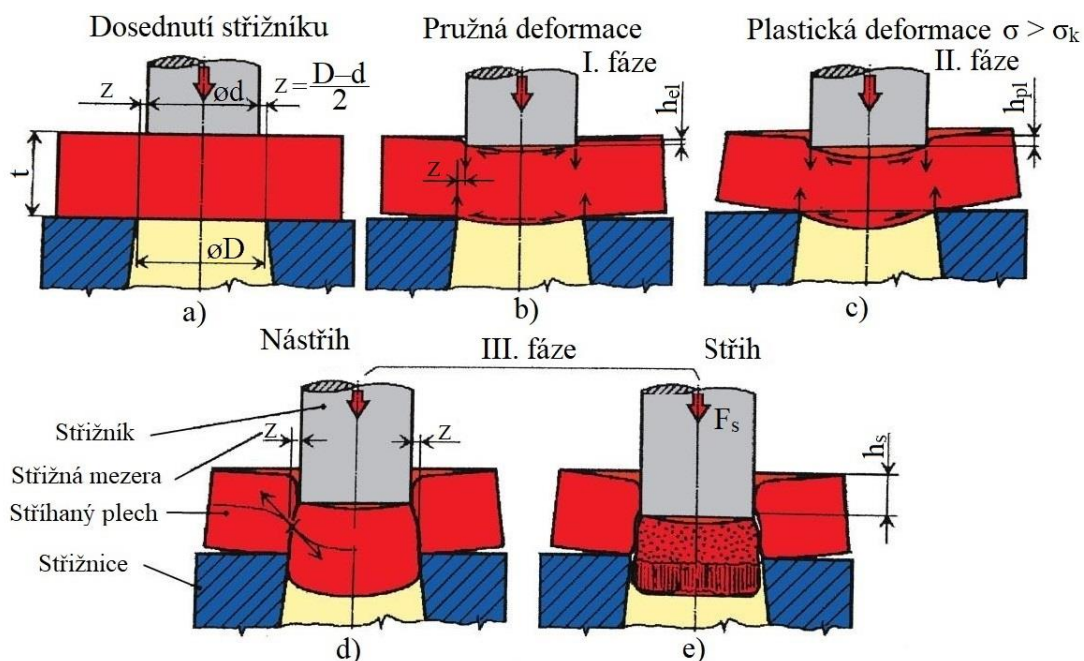


Obr. 7 Postup jednoduchého sdruženého nástroje pro stříh a tažení [35]

2.1 Stříhání

Stříhání je operace sloužící ke dělení kovů, ukončená porušením materiálu formou lomu. Princip dělení spočívá v tlačení dvou protilehlých břitů nástrojů do materiálu za účelem vyvolání nutného střížně - smykového napětí. K porušení následně dochází v ohnisku plastické deformace. Přestože je plastická deformace průvodním jevem, požaduje se za nežádoucí. Proces této dělicí technologie probíhá ve vícero rozlišitelných fázích (obr. 8) [37; 38; 39; 40].

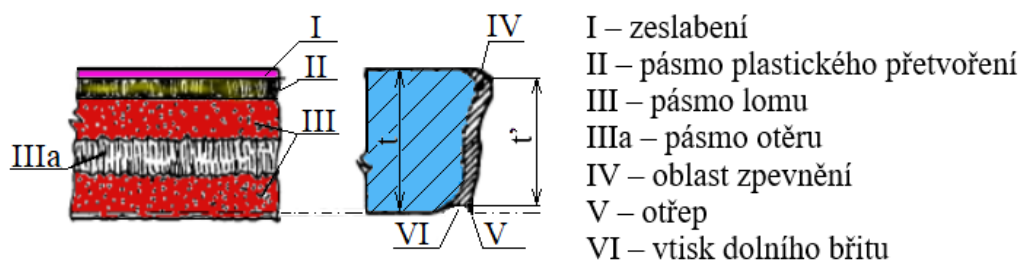
V první z nich pohyblivá část nástroje (obr. 8b), střížník, tlačí na materiál a vlivem jeho zatížení se materiál lehce plasticky zdeformuje. Působící zatížení nepřekročí mez kluzu. Materiál se lehce prohne a dochází ke vniknutí střížníku do materiálu o hloubce h_{el} , ta je závislá na mechanických vlastnostech materiálu. Její hodnota se pohybuje mezi 5 až 8 % [37; 39; 41].



Obr. 8 Průběh stříhu [39]

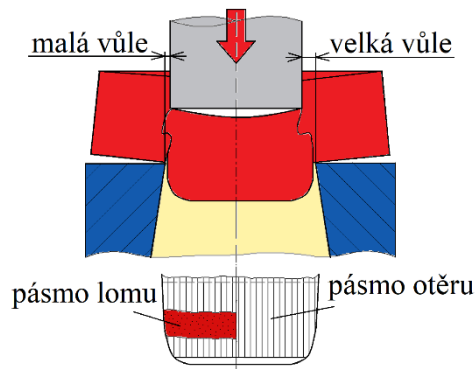
Ve II. fázi (obr. 8) střížník pokračuje ve vnikání do materiálu. Ten je deformován, nicméně nyní napětí ve směru působení nástroje překročí mez kluzu, a tím dochází k plastické deformaci. Na konci této fáze se koncentrované napětí na hranách nástrojů blíží k mezi pevnosti ve stříhu. Hloubka plastického vniknutí h_{pl} je, stejně jako u fáze I, dána mechanickými vlastnostmi materiálu a jeho hodnota se pohybuje v rozmezí 10 až 25 % tloušťky materiálu [37; 39; 41].

Jakmile dojde k dosažení meze pevnosti ve stříhu τ_s , nastává III. fáze. V materiálu, na styčných místech s nástroji, se začnou objevovat mikrotrhliny, dochází k nástřihu (obr. 8). Jejich vzniku a šíření napomáhá normálové tahové napětí ve směru vláken materiálu. Rychlost šíření trhlin je dána mechanickými vlastnostmi materiálu a velikostí střížné mezery z . U tvrdých a křehkých materiálů se trhliny šíří výrazně rychleji než u materiálů houževnatých. Jakmile se trhliny setkají, dojde k oddělení – stříhu. Hloubka vniknutí střížníku při stříhu h_s se pohybuje v rozmezí 10 až 60 % tloušťky. Její nižší hodnota platí tvrdý a křehký materiál, vyšší pro houževnatý a měkký [37; 39; 41].



Obr. 9 Střížná plocha [39]

Plocha vzniklá stříhem není homogenní (obr. 9) ani při správně zvolených parametrech, projevují se na ní různé mechanické postupy. Pásmo zeslabení a otřep jsou způsobeny působením nástrojů. Po celé ploše se nachází deformačně zpevněná oblast [37; 41; 42].



Obr. 10 Vliv vůle na střížnou plochu [39]

Hlavní vliv na poměr velikostí pásma otěru a lomu má střížná vůle v . Zvolením její správné hodnoty dojde k ideálnímu setkání trhlin. Tvrdší materiály vyžadují větší vůli, jelikož dochází k menší plastické deformaci, a tak vznikají trhliny dříve. Při příliš velké vůli, částečně či úplně, vymizí pásmo otěru a vznikne zkosený profil hrany. Vliv velikosti střížné vůle je znázorněn na obrázku 10 [37; 39; 42]. Její optimální hodnota pro plechy s tloušťkou $t \leq 3$ mm se stanoví dle vzorce [37; 42]:

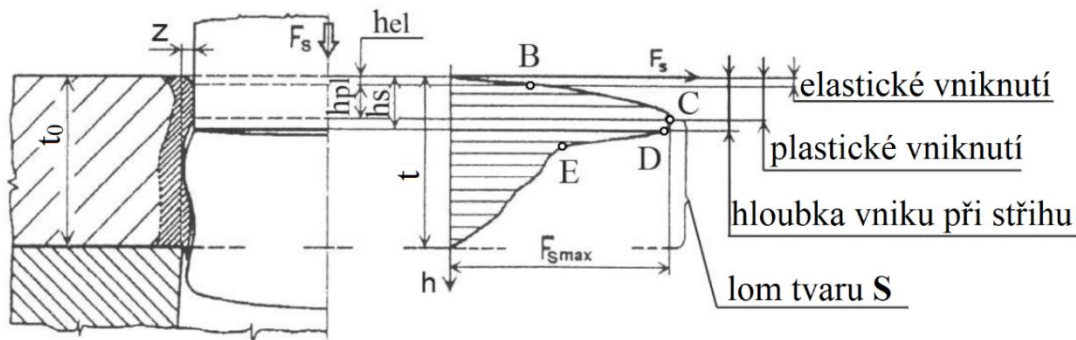
$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot (c \cdot t \cdot \sqrt{0,1 \cdot \tau_s}) \text{ [mm]}, \quad (2.1)$$

kde: c - koeficient závislý na druhu stříhání [-],
 τ_s - mez pevnosti ve stříhu [MPa],

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m \text{ [MPa]} \quad (2.2)$$

Další možností zjištění sřížné vůle je odečet z tabulek či diagramů z odborné literatury. Ty ji vyjadřují v závislosti na druhu materiálu a jeho tloušťce, viz příloha 9 a 10 [37; 40].

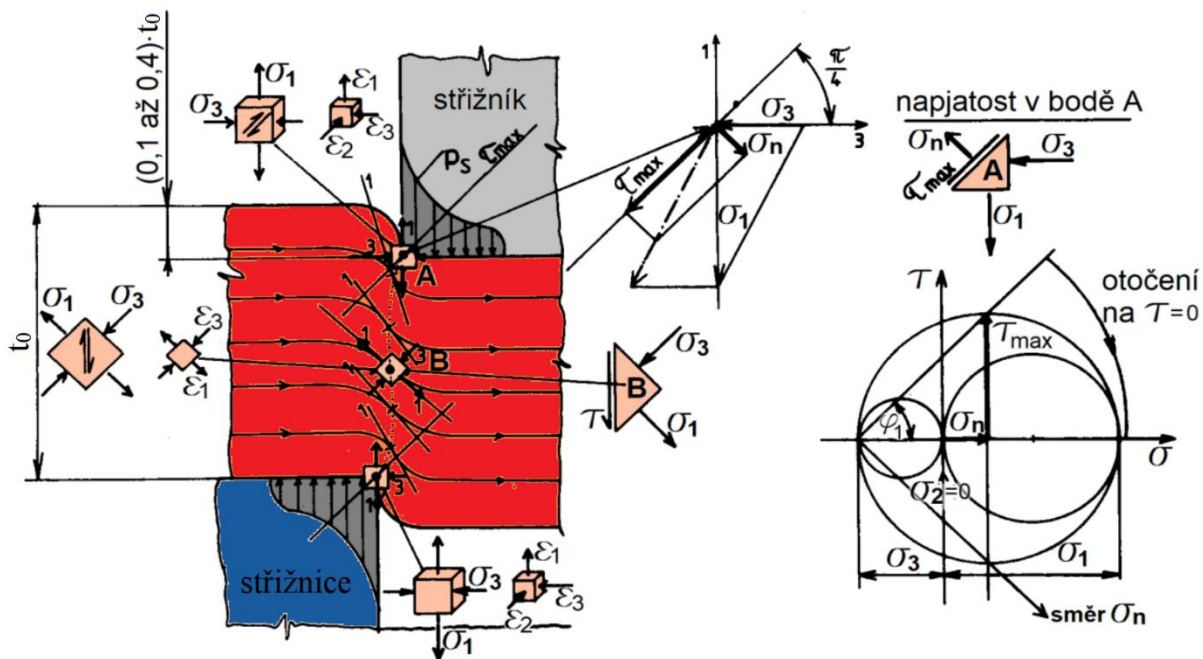
Vývoj sřížné síly (obr. 11) je v průběhu zdvihu neplynulý. Během pružné i plastické deformace síla rychle roste i přes skutečnost, že dochází ke zmenšení plochy. Růst je zapříčiněn vlivem deformačního zpevnění. Jakmile dojde k nástřihu, bod **B**, síla nabývá nejvyšších hodnot, tato hodnota odpovídá hloubce plastického vniknutí. Poté nastává mírný pokles, až po hloubku vniku při sříhu, bod **C**, poté dochází k lomu a síla prudce klesá. Snížení prudkého poklesu v bodě **E** je zapříčiněno otěrem ploch [37; 39; 42].



Obr. 11 Průběh sřížné síly [39]

Při uzavřeném sříhání je materiál mezi hranami nástrojů současně natahován a tlačěn do stran, čímž uvolňuje prostor hranám nástrojů. Dochází k prodloužení a změně křivosti podélných vrstev (obr. 12), dochází ke zúžení plechu o 0,1 až 0,4 t_0 [39; 42; 43].

Ve styčném bodě nástroje a plechu, bod **A** (obr. 12), působí největší tahové napětí σ_1 . Po jeho růstu do hodnoty τ_s dojde ke sříhu. Tlakové napětí σ_3 působící v tomto místě odpovídá polovině σ_1 . Jelikož hodnota deviatoru napjatosti $D\sigma_2$ a středního napětí není nulová, v bodě **A** je nutné uvažovat prostorový stav deformace. Při vytvoření Mohrových kružnic a vektorového součtu hlavních napětí je patrné, že ve směru kolmém na maximální smykové napětí působí normálové napětí. Jeho hodnota je kladná a napomáhá rozevření trhlin po jejich vzniku [38; 39; 43].



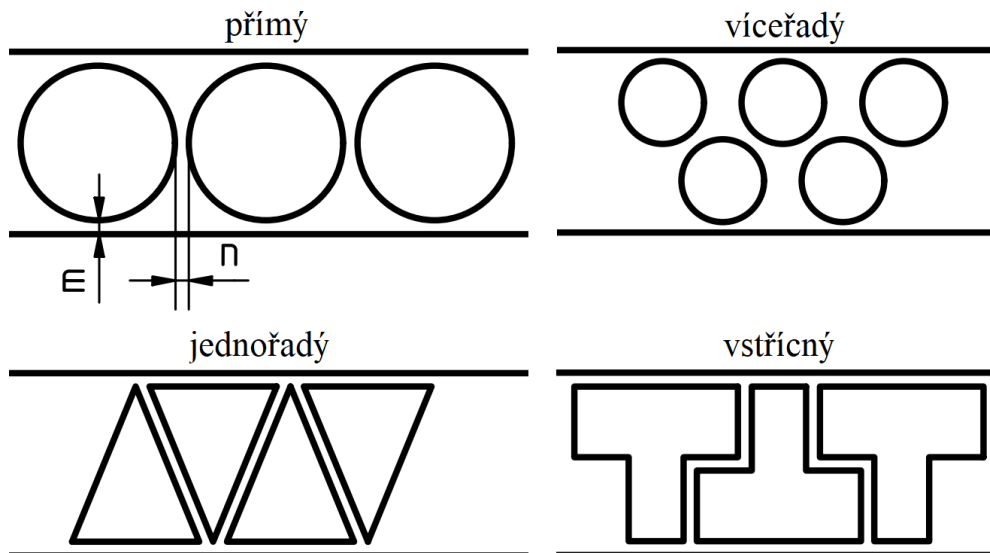
Obr. 12 Stav napjatosti při sříhu [39]

Vlivem zakřivení podélných vrstev materiálu dochází i ke změně směru roviny τ_{\max} . Hodnoty hlavních napětí se zakřivením mění a uprostřed materiálu nastává splnění podmínky prostého stříhu – normálové napětí je nulové [39; 43].

2.1.1 Rozmístění výstřížků na pásu

Při návrhu je zásadní vybrat správné rozmístění výstřížků tak, aby vznikalo co nejmenší množství odpadu, a to zejména u sériové výroby, kde materiál tvoří přibližně 60 až 75 % výrobních nákladů. Zvolené rozmístění se nazývá nástřihový plán [3; 40; 42].

Nástřihové plány se vyskytují v několika variacích podle typu postupu v nástroji (obr. 13). Základní z nich je přímý, kdy jsou výstřížky jednoduše umístěny na střed plechu. Dalším je jednořadý, kde jsou dílce taktéž umístěny na střed, nicméně vzájemně otočeny o 180° , hrany na okraji pásu jsou rovnoběžné, v jedné řadě. Po zhotovení první řady se pás plechu otočí a opětovně zavede do nástroje. Víceřadý se využívá převážně pro kruhové výstřížky, ty jsou na pásu rozloženy ve více řadách, které mají symetricky posunutou osu od středu pásu. Posledním z nejčastěji využívaných rozmístění je tzv. vstřicný. Ve všech variantách jsou jednotlivé výstřížky vzájemně od sebe odděleny můstkem n a od okrajů plechu mezerou m [3; 44; 45].



Obr. 13 Základní druhy nástřihových plánů [42; 44]

Po zvolení a návrhu nástřihového plánu je nutné stanovit jeho využití – ekonomičnost. Ta se stanoví dle vzorce [44]:

$$\eta = \frac{n_v \cdot S_v}{S_p} [\%], \quad (2.3)$$

kde: n_v - počet výstřížků na pásu [-],
 S_v - plocha výstřížku [mm^2],
 S_p - plocha pásu [mm^2].

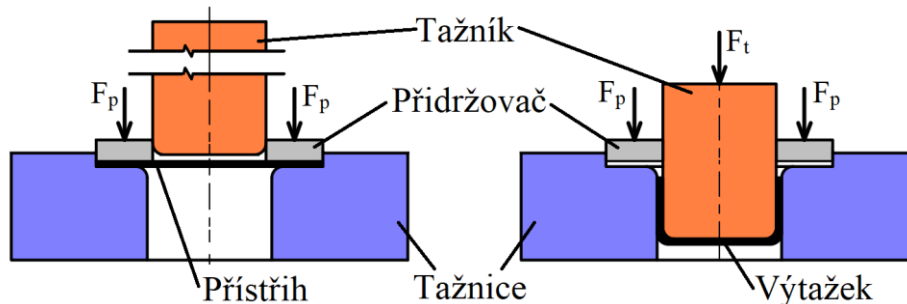
Výsledné využití je ovlivněno plochou polotovaru, proto je vhodné jej vypočítat pro vícero rozměrů tabulí, případně svitků. Ty jsou obecně ekonomicky výhodnější a jejich využití bývá o 5 až 6 % nižší [45; 46].

Dalším faktorem určujícím následující postup je, zda se jedná o vystřihování či děrování. Při vystřihování je část oddělená nástroji hotový výrobek, při děrování je tomu naopak, oddělená část je odpad [42; 45].

2.2 Hluboké tažení bez ztenčení stěny

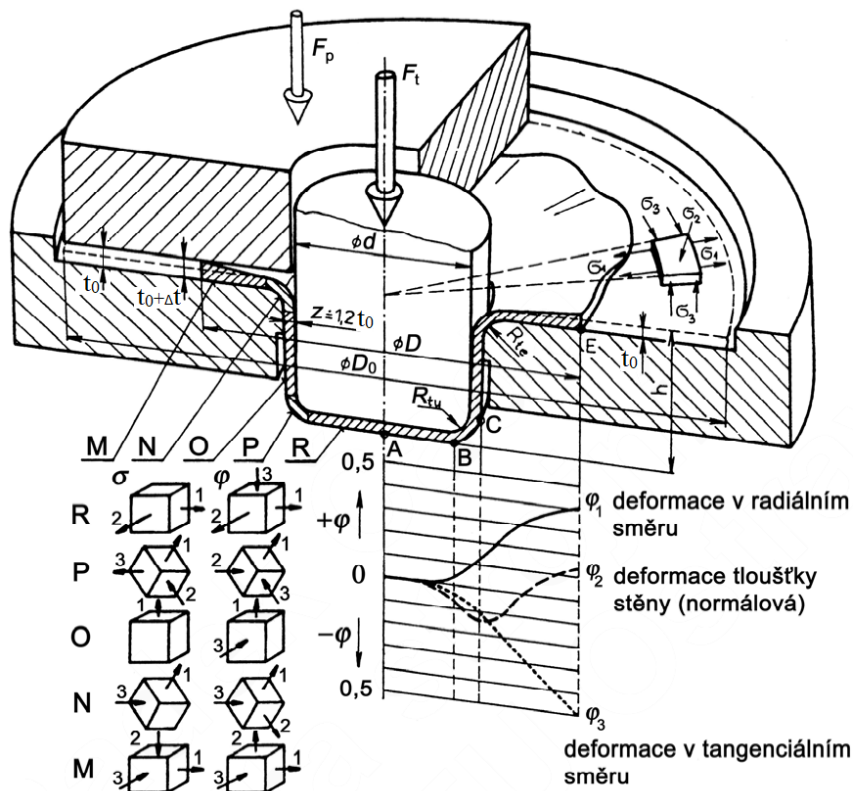
Tato technologie patří k nejpoužívanějším a zároveň nejsložitějším operacím plošného tváření. Polotovar ve formě přístřihu je deformován do podoby dutého prostorového tělesa za podmínek dvojosého stavu přetvoření – nedochází ke změně tloušťky stěny. Tento stav je pouze teoretický, ve skutečnosti ke změně tloušťky dochází. Zejména ve styčném rohu výtažku a tažnice. Toto ztenčení je způsobeno rozdílným stavem napjatosti. Deformace do výsledné podoby výtažku probíhá v jedné či více tažných operacích [4; 45; 47].

Plochý přístřih se vystředí na tažnici a je k přitlačování přidržovačem silou F_p . Pohyblivý tažník sjíždí a silou F_t vtahuje polotovar přes hranu tažnice do její dutiny (obr.14) [37; 38].



Obr. 14 Schéma tažení [10]

Průběh napjatosti a deformace je během tažení v každé části rozdílný (obr. 15). V oblasti příruby, bod M, dochází k velkému pěchování materiálu ve směru tečného napětí σ_3 . Současně s pěchováním probíhá velké plošné prodloužení ve směru tahového napětí σ_1 . Vlivem napěchování dochází na konci příruby, ke navýšení tloušťky t_0 o 20 až 30 %, kvůli tomu může vznikat nežádoucí zvlnění příruby, kterému zabraňuje přidržovač. V místě zaoblení hrany tažnice, bod N, je napětí dvojosé a deformace tříosá – dochází k ztenčení stěny [37; 47; 48; 49].



Obr. 15 Napjatost a deformace při tažení [44]

Jakmile materiál překoná tažnou hranu, vstupuje do válcové části, bod **O** (obr. 15). Zde působí pouze tahové napětí a tříosé přetvoření působící na tažné hraně se změní v rovinné. Na zaobleném přechodu stěny do dna, bod **P**, je prostorový stav napjatosti i přetvoření. V tomto místě dochází k výraznému ztenčení stěny způsobující nejčastější porušení ve formě trhlin, případně protržení dna. V bodě **R**, na dně výtažku je napjatost opět rovinná, ale přetvoření zůstává prostorové [39; 48; 49].

Průběhy hlavních přetvoření jsou značně rozdílné (obr. 15) a každé z nich se stanovuje dle jiných výpočtů [39; 48].

Deformace v radiálním směru – prodloužení plechu [39]:

$$\varphi_1 = \ln \frac{\frac{d}{2} + h}{\frac{D_0}{2}} = \ln \frac{r + h}{R_0} [-], \quad (2.4)$$

kde: h - výška výtažku [mm].

Deformace v normálovém směru – změna tloušťky [39]:

$$\varphi_2 = \ln \frac{t_1}{t_0} [-], \quad (2.5)$$

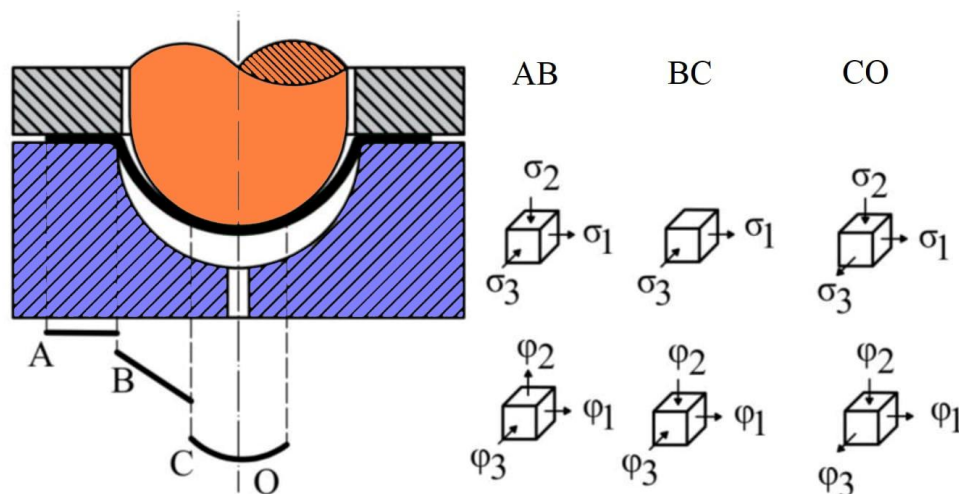
Deformace v normálovém směru – změna tloušťky [39]:

$$\varphi_3 = \ln \frac{d}{D_0} [-], \quad (2.6)$$

V celém procesu platí zákon zachování objemu, tudíž v každém bodě výtažku musí platit [49]:

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0 [-], \quad (2.7)$$

U tažení polokulovitěho tvaru je napjatost i deformace v některých částech rozdílná. Dle odborné literatury lze průběh rozdělit na tři části. První z nich je příruba, bod **A** až **B** (obr. 16). Ta ještě nebyla vtažena do prostoru tažnice a přetvoření i napjatost zde odpovídá klasickému tažení. Radiální tahové napětí způsobuje vtahování přístřihu do tažnice. Napětí normálové je od tlaku přidržovače. Jakmile tažník sjede na úroveň polotovaru, začne přenášet sílu na dno výtažku, to je vystaveno radiálnímu i tangenciálnímu tahovému napětí [43; 44; 50; 51].



Obr. 16 Průběh napětí a deformace při tažení polokoule [50]

Síla od tažníku je vedena přes stěny až do příruby, stěny se prodlužují bod **B** až **C** a vzniká dvojosá napjatost. Vlivem prodlužování stěny dochází ke ztenčení tloušťky. V těchto místech proto může docházet k prasklinám. Styčná plocha tažníku s přístřihem není konstantní, v průběhu zdvihu dochází k jejímu růstu vlivem nabalování materiálu [43; 44; 50; 51].

2.2.1 Velikost přístřihu a počet tažných operací

Pro určení velikosti polotovaru pro tažení, přístřihu, lze využít vícero postupů. Základní vychází ze zákona zachování objemu, přístřih musí mít stejný objem jako výsledný výtažek. Obdobným přístupem je využití znalosti plochy výtažku, ta musí být rovněž stejná pro polotovar. Při využití této varianty je potřebné, aby tloušťka plechu zůstala konstantní, s výjimkou změn v přírubě a zaoblení dna. Pro složitější dílce, kde je obtížné stanovit plochu či objem, nicméně je známá hmotnost m_v , lze využít následujícího postupu [37; 47; 52]:

$$m_v = \frac{D_0^2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot t}{4} \rightarrow D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot m_v}{\pi \cdot \rho \cdot t}} \quad [mm], \quad (2.8)$$

kde: D_0 - průměr přístřihu [mm],
 ρ - hustota [$kg \cdot m^{-3}$].

Stanovení průměru přístřihu z plochy výtažku S_c [37]:

$$S_c = \frac{D_0^2 \cdot \pi}{4} \rightarrow D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} \quad [mm], \quad (2.9)$$

Dalšími možnými variantami zjištění průměru výchozího polotovaru pro geometrii dané součásti je například [37; 38]:

- využití analytického výpočtu délky jednotlivých úseků – výtažek rozdělí na úseky dle tvaru a stanoví se jejich délka, ta se následně sečte, a z ní se stanoví průměr přístřihu,
- využitím počítačového softwaru umožňujícího zobrazit rozvinutý tvar, CAD softwaru lze využít společně v kombinaci s výše zmíněnými metodami.

Při tažení vlivem plošné anizotropie plechu vzniká na okrajích výtažku nerovnoměrná deformace, a tím cípatost – okraj není rovný. Její velikost je závislá na materiálu, jeho výšce a tloušťce. Kvůli tomuto jevu se stanovený průměr přístřihu navyšuje o přírůstek na odstřižení. Po provedení tažení se horní nerovnoměrná hrana, oddělí například na kotoučových nůžkách. Jeho velikost je dána počtem tahů, pro jeden tah se průměr navyšuje o 3 %, pro každý následný tah o další 1 % [37; 49].

Po stanovení velikosti přístřihu je nutné určit, zda je navržený výtažek možné zhotovit jednou tažnou operací nebo jestli jich je potřeba více. Jejich počet je dán deformačními vlastnostmi materiálu. Ten je schopen snést pouze určité přetvoření během jedné operace. Kdyby došlo k překročení této hodnoty, hrozilo by riziko vzniku trhlin [37; 49; 52].

Nejjednodušším, ale nejméně přesným způsobem je stanovení počtu tahů z poměru výšky dílce ku jeho průměru, viz vzorec 2.10. Pomocí poměrové hodnoty se z tabulek (příloha 11) odečte počet tahů [37; 52].

$$n = \frac{h}{d} \quad [-], \quad (2.10)$$

kde: n - koeficient počtu tahů [-],

Přesnější a nejvíce využívanou metodou pro zjištění počtu tahů je z poměrné tloušťky materiálu. Jako první krok se vypočítá poměrná tloušťka plechu T_r [37]:

$$T_r = \frac{t}{D_0} \cdot 100 \quad [-], \quad (2.11)$$

S použitím vypočtené poměrné tloušťky se následně z tabulky, viz příloha 2, odečte hodnota součinitele tažení pro první tah. Pomocí něj se stanoví dosažitelný průměr první operace [37]:

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} \rightarrow d_1 = m_1 \cdot D_0 \quad [mm], \quad (2.12)$$

kde: m_1 - součinitel tažení pro první tah [-],
 d_1 - dosažitelný průměr prvního tahu [mm].

V případě, že pro zhotovení požadovaného průměru nestačí jedna operace, obdobným postupem, se stanoví počet operací, ve kterých je požadovaný průměr vyrobitelný. Následně dojde k přepočtu a stanovení celkového součinitele tažení m_c , který musí být větší než součin jednotlivých součinitelů, tedy platí [37; 44; 52]:

$$m_c \geq m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_i = \frac{d_1}{D_0} \cdot \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{d_i}{d_{i-1}} \quad [-], \quad (2.13)$$

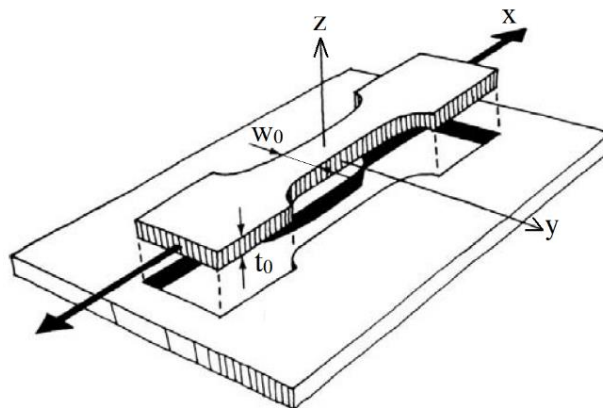
kde: m_i - součinitele tažení pro jednotlivé tahy [-],
 d_i - průměry výtažku jednotlivých tahů [mm].

I když se tato skutečnost většinou zanedbává, mezní přetvoření tažení je ovlivněno i anizotropií. Jeho hodnota roste s hodnotou materiálového koeficientu R_a – poměr šířky ku tloušťce deformace při zkoušce tahem zkušební tělesa z plechu (obr. 17). Tato skutečnost je dána tím, že vyšší hodnota R_a znamená nízkou odolnost vůči deformaci v rovině příruby a vyšší odolnost vůči ztenčování stěny. Pokud materiál není anizotropní, stanoví se limitní součinitel tažení dle vzorce [49]:

$$\ln(m_c) = \eta \cdot \sqrt{\frac{(R_a + 1)}{2}} \quad [-], \quad (2.14)$$

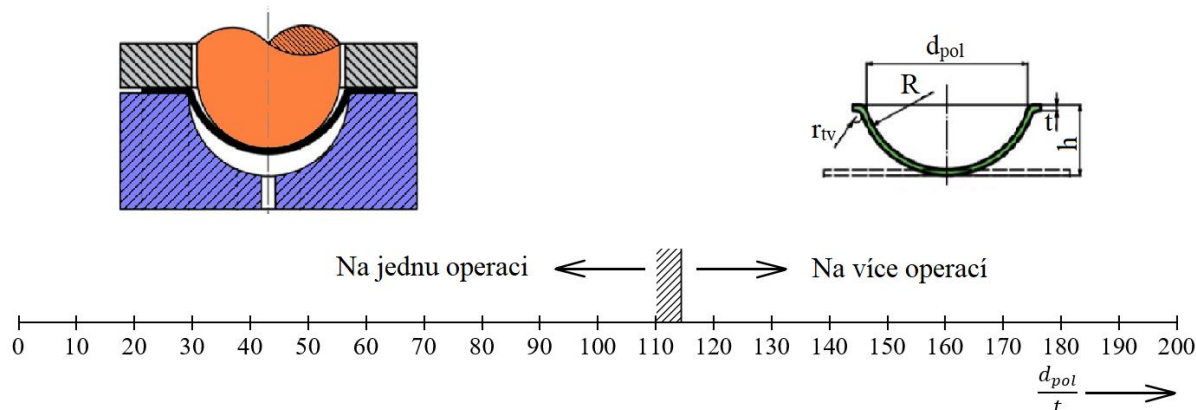
kde: η - účinnost deformace [-],

$$R_a - R_a = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z} \quad [-]. \quad (2.15)$$



Obr. 17 Vzorek pro zkoušku tahem pro stanovení R_a [49]

Počet tahů pro sférické výtažky je možné určit dle směrnic pro stanovení mezních stupňů přetvoření. Využití grafu ze směrnic, (obr. 18), je možné, pokud výsledný tvar a geometrie nástroje splňuje určité podmínky [53].



Obr. 18 Počet tahů polokoule [53]

Podmínky pro využití grafu (obr. 18) [53]:

$$r_{tv} = (5 \div 7) \cdot t \text{ [mm]}, \quad (2.16)$$

kde: r_{tv} - zaoblení hrany tažnice [mm],

$$t = (0,4 \div 4) \text{ [mm]}, \quad (2.17)$$

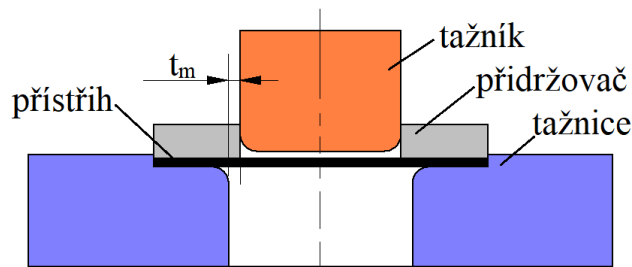
$$d_{pol} = (25 \div 200) \text{ [mm]}, \quad (2.18)$$

kde: d_{pol} - průměr polokoule [mm],

Pokud jsou splněny podmínky využití a poměr průměru polokoule ku tloušťce, vychází méně než 110. Je možné dílec zhotovit jedním tahem [53].

2.2.2 Tažná mezera

V průběhu tahu se mění tloušťka výtažku. Kvůli tomuto jevu musí být mezera mezi tažníkem a tažnicí větší, než je tloušťka plechu. Rozměr mezi nástroji se nazývá tažná vůle nebo pouze jednostranně tažná mezera t_m (obr. 19). Její velikost musí být taková, aby větší tloušťka napěchované příruby bezproblémově prošla. Pro každý další tah musí dojít ke stanovení nové mezery, její velikost se pro další tahy zmenšuje [34; 43; 47; 60].



Obr. 19 Tažná mezera [76]

Pro stanovení tažné mezery lze využít vícero přístupů [43; 54]:

- dle ČSN 22 7301 pro první tah:

$$z_{t1} = (1,2 \div 1,3) \cdot t \text{ [mm]}, \quad (2.19)$$

kde: z_{t1} - tažná mezera pro první tah.

- dle ČSN 22 7301 pro další tahy:

$$z_{ti} = (1,1 \div 1,2) \cdot t \text{ [mm]}, \quad (2.20)$$

kde: z_{ti} - tažná mezera pro další tahy.

- Tažná mezera z_{to} dle Oehlera do stanovení zahrnuje vlastnosti materiálu ve formě koeficientu k , mezera se tedy vyjadřuje ze vztahu:

$$z_{to} = t_{max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot t_0} \text{ [mm]}, \quad (2.21)$$

kde: t_{max} - maximální tloušťka plechu [mm]

k - materiálový koeficient [-]

2.3 Síla a práce

Veškeré síly působící v procesu tváření jsou velmi důležité pro další postup návrhu výroby. Dimenzují se podle nich jednotlivé části nástroje a vybírá stroj. Velikost střížné síly F_s je ovlivněna především materiálovými vlastnostmi a stanoví se podle vzorce [34; 55]:

$$F_s = n \cdot \tau_s \cdot S_s = n \cdot 0,8 \cdot Rm \cdot l_s \cdot t \text{ [N]}, \quad (2.22)$$

kde: n - součinitel otupení nástroje [-],

S_s - plocha stříhu [mm²],

l_s - délka střížné hrany [mm]

Velikost tažné síly v není v celém průběhu zdvihu konstantní. Její hodnota dosahuje maxima, když tažník dosáhne hloubky [34; 55]:

$$h_m = r_{tv} + r_{tc} + t \text{ [mm]}, \quad (2.23)$$

kde: n - součinitel otupení nástroje [-],

S_s - plocha stříhu [mm²],

l_s - délka střížné hrany [mm]

Pro stanovení tažné síly lze využít vícero přístupů. Výrazně méně přesný a pracný je zjednodušený empirický vztah využívající koeficient zohledňující součinitel tažení [34; 37].

Zjednodušený výpočet tažné síly je tedy [34]:

$$F_t = Rm \cdot \pi \cdot d_s \cdot t \cdot c \text{ [N]}, \quad (2.24)$$

kde: d_s - střední průměr výtažku [mm]

c - opravný silový součinitel [-]

Výrazně přesnější je stanovení tažné síly pomocí výpočtu osového napětí σ_z , jehož absolutní hodnota je rovna napětí deformačnímu σ_d . Pro tyto napětí platí rovnice vyvozená ze znalosti rovnováhy sil a podmínky plasticity HMH [39; 55]:

$$\sigma_z = |\sigma_d| = (\sigma_\rho + \sigma_{\rho trecti} + 2 \cdot \sigma_{\rho ohyb}) \cdot e^{f \cdot \alpha} \text{ [MPa]}, \quad (2.25)$$

kde: σ_ρ - napětí v membráně bez vlivu přidržovače [MPa],

$\sigma_{\rho trecti}$ - třecí napětí na přírubě [MPa],

$\sigma_{\rho ohyb}$ - napětí prostorového ohybu [MPa],

f - součinitel tření [-]

α - úhel opásání na tažné hraně [°]

$$- \alpha = \frac{\pi}{2} \text{ [°]} \quad (2.26)$$

Po dosazení za jednotlivé složky [39; 55]:

$$\sigma_{zmax} = \sigma_{ps} \cdot \left(\zeta \cdot \ln \frac{2R}{d_s} + \frac{f \cdot F_p}{\sigma_{ps} \cdot \pi \cdot R \cdot t_0} + \frac{t_0}{t_0 + 2r_t} \right) \cdot (1 + 1,6f) \quad [MPa], \quad (2.27)$$

kde: σ_{ps} - střední hodnota přirozeného přetvárného odporu [MPa],
 ζ - Lodeho součinitel [-],
 R - zmenšený průměr polotovaru [mm],
 d_s - střední průměr výtažku [mm],
 f - součinitel tření [-],
 F_p - síla přidržovače [N],
 r_t - zaoblení tažnice [mm].

Pro střední hodnotu přirozeného přetvárného odporu byl dle Šofmana odvozen vztah za využití parabolické aproximace křivky zpevnění [39; 55]:

$$\sigma_{ps} = \frac{R_m}{1 - \psi_{krč}} \cdot \left[\frac{1 - 0,5 \cdot \left(\rho' + \frac{m_1}{\sqrt{1 - \rho'^2 + m_1^2}} \right)}{\psi_{krč}} \right]^{1 - \psi_{krč}} \quad [MPa], \quad (2.28)$$

kde: ρ' - koeficient zmenšení průměru polotovaru [-],
 $\psi_{krč}$ - poměrné zúžení na počátku tvorby krčku [-],

Zmenšení vnějšího průměru polotovaru se stanovuje s využitím koeficientu ρ' . Pro určení ideální velikosti tažné síly se všechny její parametry počítají pro $\rho' = (0,6 \text{ až } 0,99)$. Následný návrh nástroje a jeho parametrů využívá nejvyšší hodnotu. Zmenšený průměr polotovaru R je tedy [39; 55]:

$$\rho = \frac{R}{R_0} \rightarrow R = \rho \cdot R_0 \quad [mm], \quad (2.29)$$

Dalšími činiteli stanovení deformačního osového napětí je síla F_p a tlak přidržovače p_p . Hodnota tlaku lze odečíst z odborné literatury nebo analyticky přepočítat její ideální hodnotu. Síla a tlak se tedy určí dle vzorců [38; 39; 45; 55]:

$$p_p = Rm \cdot \gamma_1 \left(\frac{1}{m_1} - \gamma_1' \right) \cdot \frac{D_0}{100 \cdot t_0} \gamma_1'' \quad [MPa], \quad (2.30)$$

kde: $\gamma_1; \gamma_1'; \gamma_1''$ - empiricky získané koeficienty [-]

$$F_p = S_v \cdot p_p = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_0^2)}{4} \cdot p_p \quad [N], \quad (2.31)$$

kde: S_v - plocha přidržovače [mm²]

Jakmile dojde ke stanovení všech parametrů, je možné stanovit tažnou sílu $F_{taž}$ [39; 55]:

$$F_{taž} = \sigma_{zmax} \cdot \pi \cdot d_s \cdot t \quad [N], \quad (2.32)$$

Její hodnota musí být menší než hodnota síly pro protržení dna, která se stanoví [39; 55]:

$$F_{pr} = Rm \cdot \pi \cdot d_s \cdot t = 520 \cdot \pi \cdot 111,95 \cdot 1,25 = 228,61 \text{ kN}. \quad (2.33)$$

Aby nedošlo k porušení dna musí být splněna podmínka [39; 55]:

$$F_{taž} < F_{pr}. \quad (2.34)$$

Střížná i tažná práce jsou funkcí síly a pracovní dráhy zdvihu. Jejich hodnoty odpovídají plochám pod křivkami průběhů sil. Tažná práce A_t je tedy [52; 56]:

$$A_t = F_{taž} \cdot C \cdot h_t \quad [J], \quad (2.35)$$

kde: h_t - dráha nástroje [mm]
 C - koeficient zaplnění plochy [-]

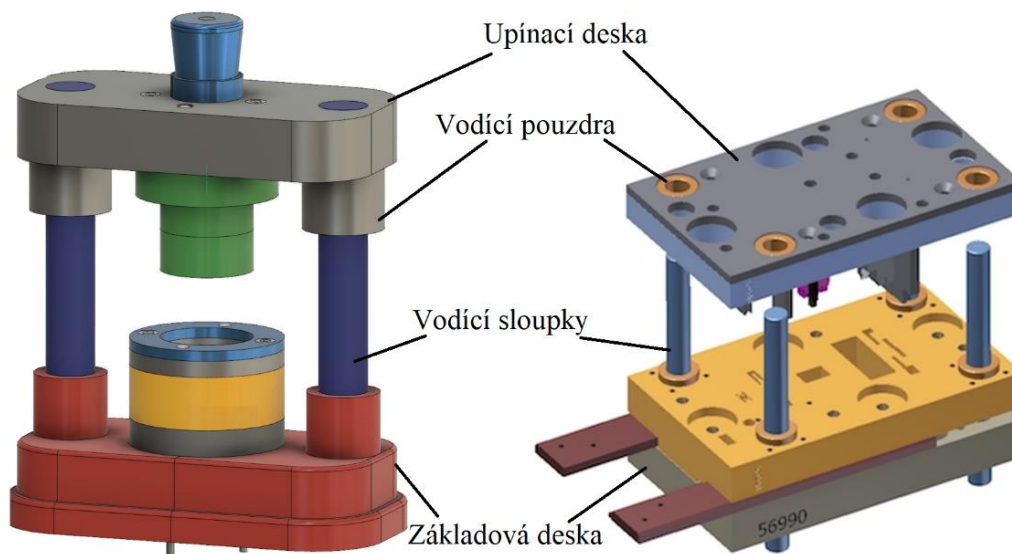
Střížná práce A_s [56]:

$$A_s = x_a \cdot t \cdot F_s \quad [J], \quad (2.36)$$

kde: x_a - koeficient závislý na materiálu a tloušťce, viz příloha 3 [-]

2.4 Nástroje

Jakožto nejvhodnější technologie byly pro navržený dílec vybrány stříhání a hluboké tažení bez ztenčení stěny. Nástroje pro obě tyto technologie mají obdobnou konstrukci (obr. 20), proto je možné kombinovat je do tzv. sdruženého nástroje. V tom dojde ke zhotovení dílce za pomoci obou technologií [37; 42; 47].



Obr. 20 Vlevo tažidlo, vpravo střížný nástroj [57; 58]

U tažidla jsou pracovními částmi tažník, tažnice a ve většině případů i přidržovač. Jeho funkcí je omezovat zvlnění v tlakově namáhané části příruby. Nutnost využití se stanovuje buď dle normy ČSN 22 7301 pomocí součinitele k_p , dle vzorce [54]:

$$k_p = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) \quad [-], \quad (2.37)$$

kde: Z - materiálová konstanta [-]

$$k_p \geq 100 \cdot \frac{d_1}{D_0} \rightarrow \text{je nutné využít přidržovač} \quad [-]. \quad (2.38)$$

Nebo dle Šofmana [47]:

$$D_0 - d_1 \geq 18 \cdot t \rightarrow \text{Je nutné využít přidržovač} \quad (2.39)$$

U stříhání jsou pracovními částmi střižník a střižnice. Přidržovací a středící funkci zde plní vodící deska a lišty, případně hledáčky [47].

2.4.1 Tažníky a tažnice

Konstrukce tažníků je dána převážně průměrem dílce, případně jeho tloušťkou. Jejich vnější průměr odpovídá vnitřnímu průměru hotového dílce. Nezanedbatelnou částí je zavzdušňovací otvor, kterým při tažení a stírání odchází vzduch. Otvor vždy začíná na čele tažníku a jeho vyústění musí být koncipováno tak, aby při plném zdvihu vedlo do volného prostoru. Hlavní parametry tažníku jsou tvar jeho tažné hrany a její zaoblení. To se stanoví dle [37; 47]:

$$r_{tv} = (1 \text{ až } 2) \cdot r_t \quad [mm], \quad (2.40)$$

kde: r_{tv} - zaoblení hrany tažníku [mm],
 r_t - zaoblení hrany tažnice [mm].

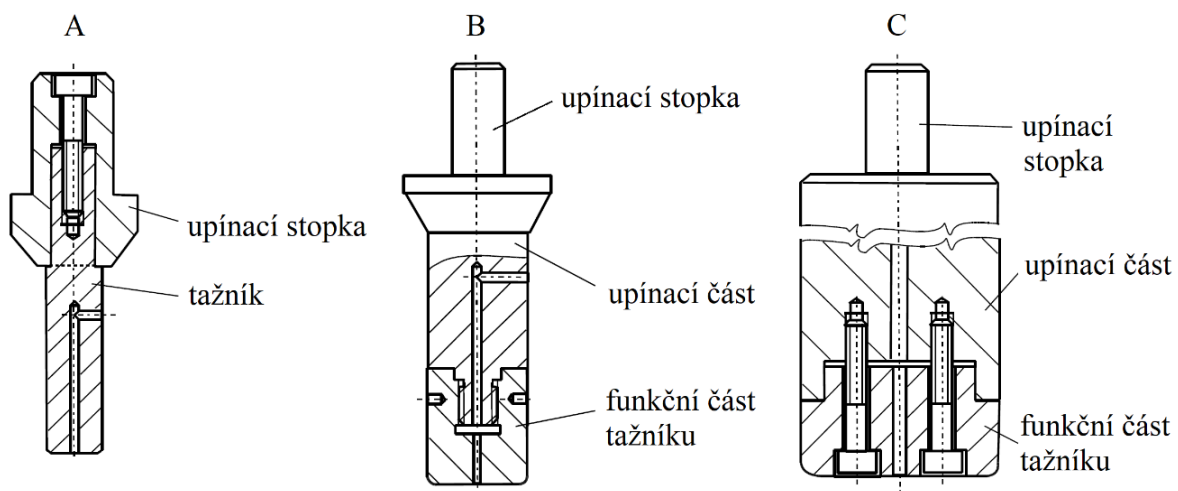
Jiná literatura uvádí stanovení zaoblení pro poslední tah v závislosti na průměru výtažku a tloušťce materiálu. Pro $\varnothing 100$ až 200 mm [34]:

$$r_{tv} = (4 \text{ až } 5) \cdot t \quad [mm]. \quad (2.41)$$

Pro $\varnothing 100$ až 200 mm [86]:

$$r_{tv} = (5 \text{ až } 7) \cdot t \quad [mm]. \quad (2.42)$$

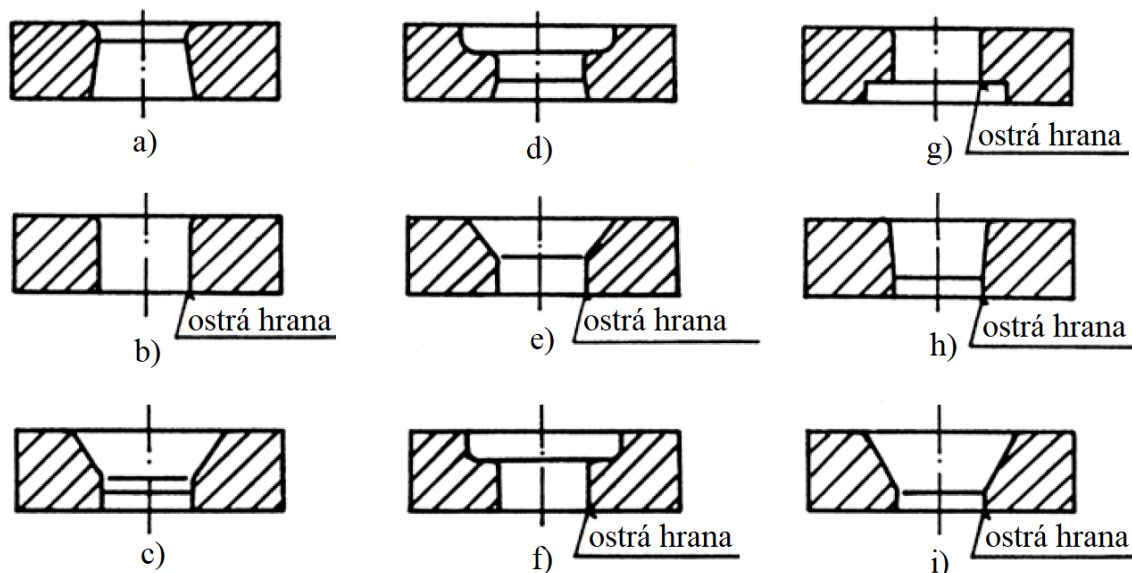
Celková konstrukce je dána jeho průměrem. Tažníky do 30 mm se zhotovují celistvé, vložené do upínací stopky (obr. 21 A). Do průměru 80 mm se tažníky již prování dělené. V tělese tažníku je závitový otvor, do kterého je připevněna upínací stopka (obr. 21 B). Pro větší průměry je tažník zhotoven s osazením a průchozími otvory pro šrouby s válcovou hlavou. Osazení jej vystředí do upínací části, ve které jsou závitové díry (obr. 21 C). Šrouby funkční část připevní k upínací [47].



Obr. 21 Provedení tažníků [47]

Tažnice se pro rotačně symetrické výtažky zhotovují většinou celistvé. Pro menší výtažky bývají zasazeny do základové desky, případně upínací desky. K deskám jsou dále upevněny nalisováním, přišroubováním, upínkami, pájením nebo upínacím šroubem [37; 47; 62].

Hlavním geometrickým parametrem je tvar tažné hrany. Příklady jejího provedení jsou znázorněny na obrázku 22. Volba je závislá na typu výtažku a jeho následném odstranění z dutiny [34; 47].



Obr. 22 Provedení tažnic [34; 47]

Dalším důležitým parametrem je zaoblení tažné hrany. Jeho velikost ovlivňuje hodnotu tažné síly, při zvětšování síla klesá, a je možné dosáhnout větších přetvoření. Nicméně dochází ke zmenšení styčné plochy přidržovače s přístřihem, a tím navýšení možnosti vzniku zvlnění. Jeho optimální velikost lze stanovit vícero přístupy [43; 47; 54].

Zaoblení hrany tažnice r_t dle ČSN 22 7301 [54]:

$$r_t = (8 \text{ až } 10) \cdot t \quad [mm]. \quad (2.43)$$

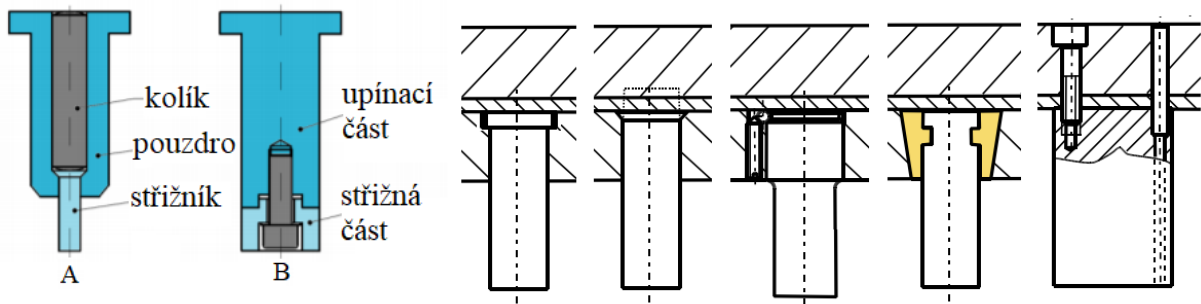
Zaoblení hrany tažnice r_t dle odborné literatury [43]:

$$r_t = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d_1^*) \cdot t_0} \quad [mm]. \quad (2.44)$$

Pro výrobu funkčních částí tažníků a tažnic se využívá převážně nástrojových ocelí třídy 19 dle ČSN, konkrétně 19 191 nebo 19 436 [47].

2.4.2 Střížníky a střížnice

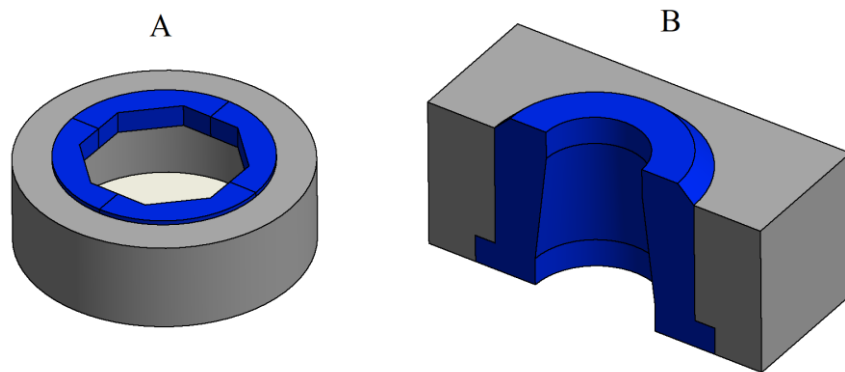
Jsou vysoce namáhané díly, které tvarem odpovídají stříhanému dílci nebo jeho části. Kvůli tomu se k jejich konstrukci používají ušlechtilé nástrojové oceli třídy 19. Jmenovitě 19 191. Ve většině případech se střížník upíná přes kotevní a upínací desky. Způsobů upnutí je vícero, mezi nejpoužívanější patří upínání osazením, roznýtováním, pomocí kuličky (rychloupínání), zalitím, sešroubováním a slícováním (obr. 24). Při velmi malém průměru střížníku by mohlo docházet k porušení vzpěrné stability, a tím k jeho ohnutí. Z tohoto důvodu se malé střížníky dělají obalené vložkou (obr. 23 A). Střížníky rozměrné se dělají skládané (obr. 23 B), a to kvůli úspoře materiálu [59; 42; 60].



Obr. 24 Skládané střížníky [59]

Obr. 25 Upevnění střížníků [42]

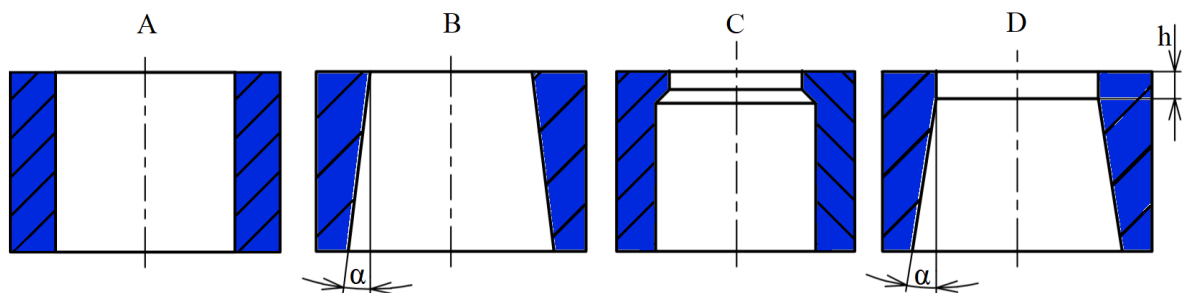
Střížnice se obdobně jako střížníky základně dělí na celistvé, skládané a vložkované. Výběr, která z variant bude využita, je dán tvarem výstřížku a jeho rozměry. Pro složité kontury a velké díly jsou nejvhodnější skládané (obr. 25 A), kde je střížná hrana rozdělena na více segmentů nalisovaných v desce. Vložkované (obr. 25 B) se hodí pro střední výstřížky a celistvé pro malé díly s jednoduchým tvarem. Velká výhoda rozdělení střížnice je možnost výměny pouze vložky při opotřebení hrany nástroje [42; 59; 61].



Obr. 23 Dělení střížnic [59; 62]

Kromě různých typů konstrukce dělení se střížnice zhotovují ve vícero geometrických provedeních. Základním je válcová (obr. 26 A) využívaná pro výstřížky velkých rozměrů, kde je k odstranění odpadu potřebné využít vyhadzovač. Dalším způsobem je kónické neboli kuželové provedení (obr. 26 B) využívané pro menší díly, které díky kuželovitosti propadnou dutinou. Kuželovitost je dána úhlem α . Pro stříhání otvorů s jmenovitým rozměrem menším než 5 mm se využívá střížnice s válcovým osazením (obr. 26 C) [47; 59; 61].

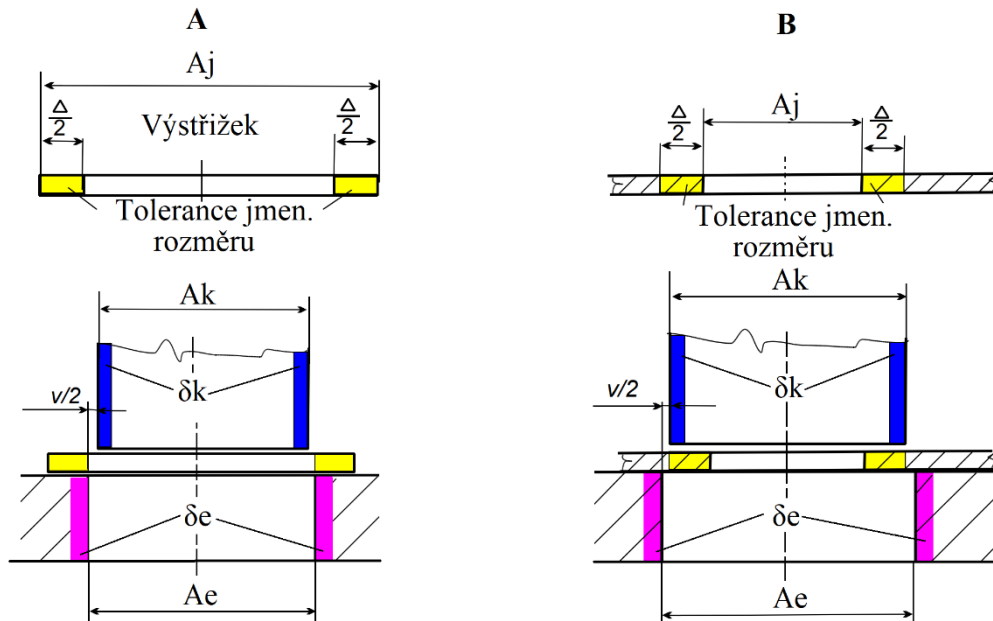
Nejpřesnější variantou provedení je střížnice s kuželovitostí a fazetkou (obr. 26 D). Úhel α se pohybuje v rozmezí (3 až 5°) a hloubka válcové části se volí dle tloušťky plechu. Jakmile dojde k opotřebení ostré hrany, je možné provést přebroušení čelní plochy, a tím navýšit trvanlivost střížnice, aniž byla kompletně vyměněna [47; 59; 61].



Obr. 26 Geometrie střížnic [59]

Při konstrukci nástrojů pro stříhání musí rozměry zahrnovat střížnou vůli a jejich tolerance musí být takové, aby nedocházelo k zadrhávání výstřížků v dutinách střížnice. Tolerance se nastavují na hranici tolerančního pole dílce, aby při opotřebení nástrojů nedošlo k překročení mezních rozměrů [42; 62; 63].

Při vystřihování (obr. 27 A) je střížník zmenšen o vůli a hodnoty tolerancí jsou od jmenovitých rozměrů odečítány. U děrování je tomu naopak, rozměr střížnice je navýšen o vůli a toleranční rozměry jsou přičítány (obr.27 B) [42; 62; 63].



Obr. 27 Znáornění rozměrů nástrojů [62; 63]

Funkční rozměry pro vystřihování se tedy stanoví dle vzorců [42; 62; 63]:

$$A_e = (A_j - \Delta)^{+\delta_e} \quad [mm], \quad (2.45)$$

kde: A_e - rozměr střížnice [mm],
 A_j - jmenovitý rozměr dílce [mm],
 δ_e - výrobní tolerance střížnice [mm],
 Δ - tolerance dílce [mm],

$$A_k = (A_j - \Delta - v)_{-\delta_k} \quad [mm], \quad (2.46)$$

kde: A_k - rozměr střížníku [mm],
 δ_k - výrobní tolerance střížníku [mm].

Funkční rozměry pro děrování, dle vzorců [42; 62; 63]:

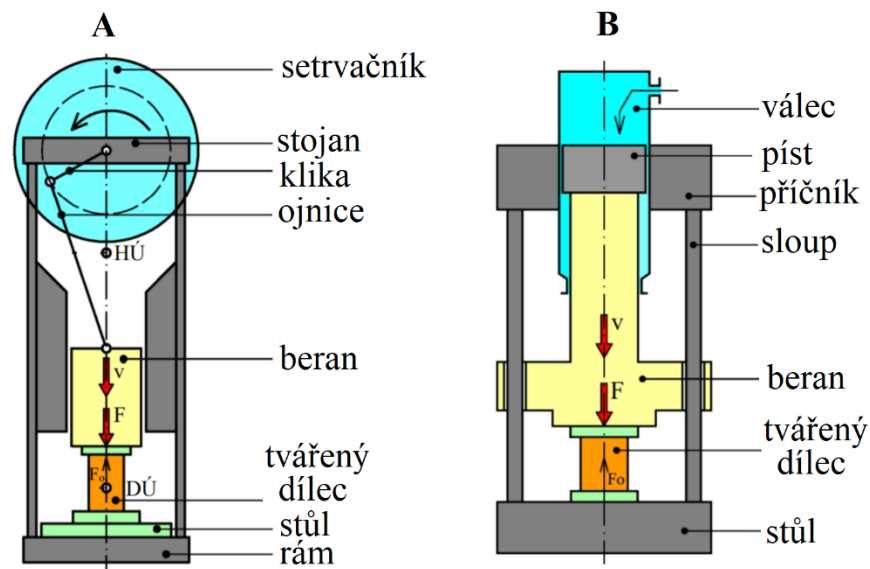
$$A_e = (A_j + \Delta + v)^{+\delta_e} \quad [mm], \quad (2.47)$$

$$A_k = (A_j + \Delta)_{-\delta_k} \quad [mm], \quad (2.48)$$

2.5 Stroje

Po stanovení všech parametrů výroby a zhotovení konstrukce nástroje je nutné vybrat tvářecí stroj, lis, ve kterém bude výroba probíhat. Základním rozdělením lisů je dle typu pohonu vyvozujícího sílu a zdvih, tudíž na hydraulické a mechanické [38; 52; 64]:

- Mechanické lisy využívají mechanismů k převodu pohybu ve stroji na zdvih beranu. Nejčastěji používaný je lis klikový (obr. 28 A). Ty aplikují převodu pohybu setrvačnicku od excentrického hřídele přes kliku a ojnici na přímočarý pohyb beranu. Průběh síly není konstantní, ale lze stanovit její velikost v každém bodě zdvihu. Mezi 30° až 90° od spodní úvratě je kroučící moment lisu menší než jeho nominální hodnota. Proto síla potřebná pro deformaci v těchto místech zdvihu musí být nižší, aby nedošlo k přetížení.
- Hydraulické lisy, (obr. 28 B), využívají fyzikálního principu distribuce hydrostatického tlaku. Díky tomu je možné regulovat sílu a rychlost v celém průběhu zdvihu. To z nich dělá nejvhodnější lisy pro hluboké tažení. Rychlost beranu je nižší než u mechanických, z čehož plyne nižší produktivita výroby. Další nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady a spotřeba energie.



Obr. 28 Klikový a hydraulický lis [65]

2.6 Tribologie

Mezioborová věda zabývající se interakcí mezi dvěma tuhými povrchy nebo povrchem a dalším médiem se nazývá tribologie. Její význam v posledních desetiletích výrazně narostl zejména kvůli ekonomickým úsporám vlivem nových poznatků a výhodnějších technologií. Snížením tření, například použitím vhodných maziv, se ušetří až 11 % energie, výrobky mají kvalitnější povrch a přesnější rozměry [38; 66; 67; 68].

Mazání má v tažném procesu velký význam, snižuje tření vznikající vzájemným pohybem tažníku a plechu vůči sobě. Polotovar se maže pouze ze strany tažníku, protože tření ze strany tažnice je naopak žádoucí. Použitím maziv se snižuje opotřebení nástroje, zabraňuje zadírání plechu, zvyšuje se tažnost materiálu a nechává vzniknout výtažek s kvalitním povrchem a hladkou stěnou. Zároveň dojde ke snížení tažné síly o 20 až 30 %, což následně způsobí úsporu energie [34; 37; 38].

Maziva jsou během tvářecího procesu vystavována zvýšeným teplotám a tlakům, přičemž právě hluboké tažení vyvozuje vysoké tlaky. Mělo by být tedy odolné proti zvýšeným tlakům i teplotám, tvořit ochranný film na polotovaru, mít vysokou přilnavost, pevnost ve smyku a také smáčivost. Dále by nemělo docházet k chemické reakci maziva s polotovarem ani nástrojem, jeho odstranění z hotového dílu by mělo být snadné a ekologicky nezávadné. Výběr správného maziva je závislý na náročnosti použité tažné operace a druhu materiálu polotovaru. Posuzovanými parametry maziva jsou jeho viskozita, hustota a stlačitelnost. Základní rozdělení je na maziva [34; 37; 38]:

- rozpustná ve vodě,
- nerozpustná ve vodě,
- pevná maziva,
- fólie a laky.

Kapalná maziva jsou převážně na olejové bázi, jsou to převážně směsi parafinu, přírodní a syntetické oleje. Pastová maziva vznikají sloučením minerálů nebo syntetických olejů, tuků, vosků a mýdel. Z pevných maziv se používají práškové vosky nebo tuhá mýdla [34; 37; 38].

Vlastnosti maziv lze dále upravit vhodnými přísadovými prvky tak, aby vyhovovaly potřebné operaci. Přidáním aditiv dochází ke zlepšení přilnutí maziva k materiálu dále se zvyšují pevnostní, viskozitní, teplotní a tlakové vlastnosti a zvyšuje korozní odolnost polotovaru. Přísady vytváří buď fyzické absorpční vrstvy nebo chemické reakční vrstvy [34; 37; 38].

Pomocí modifikátorů tření se mazivo spojí s kovovým povrchem, aniž by docházelo k jakékoli chemické reakci. Vlastnosti tohoto typu fyzicky působící přísady je však závislý na teplotě. A to tak, že zvyšováním teploty dochází ke snížení adhezní a kohezní pevnosti, a tím ke zvýšení koeficientu tření. Další kategorií aditiv jsou přísady pro extrémní tlaky, které tvoří reakční vrstvy za vyšších teplot [34; 37; 38].

Kombinací různých maziv s vybranými aditivami lze maziva použít pro širokou škálu operací tak, aby vyhovovaly a optimalizovaly jakýkoli tvářecí proces [38].

Opotřebení nástroje vzniká vzájemným působením funkčních povrchů nebo funkčního povrchu a média. Působením mechanických, chemických, elektrických nebo tepelných vlivů dochází k nežádoucímu úběru materiálu, kterému se však nedá plně zabránit, lze jej pouze kontrolovat a optimalizovat. Opotřebení má také přímou souvislost se životností nástroje, tedy časem, během kterého je nástroj schopen správně vykonávat svou funkci. Ovlivňujícími faktory jsou konstrukce a materiál nástroje, druh tvářeného materiálu a použité mazivo [38; 69].

Samotné opotřebení je možné dělit na [38; 69; 67; 68]:

- Abrazivní – k opotřebení dochází k oddělování částic měkčího materiálu při kontaktu s tvrdším. Abrazivem mohou být i uvolněné částice zoxidované vrstvy, nebo nečistoty v mazivu.
- Adhezní – k adheznímu opotřebení dochází vlivem těsného kontaktu dvou navzájem se pohybujících ploch, povrchové vrstvy se naruší a vzniknou mikrosvary, které se následným pohybem ploch porušují. Tím se jeden materiál navaří na druhý a vznikají nekvalitní nehomogenní povrchy.
- Erozivní – je způsobeno částicemi obsaženými v kapalině nebo plynu. Vzniká například u řezání vodním paprskem.
- Kavitační – vzniká poklesem tlaku kapaliny pod tlakem nasycených par v místě zanikání kavitačních bublin.

- Únavové – je tvořeno postupným hromaděním poruch, které se potom spojují a postupně uvolňují částice materiálu.
- Vibrační – vytvoří se současným působením normálního zatížení a kmitavé tečné pružné deformace nebo tečných posuvů s malou amplitudou.

Dle významného uskupení firem zabývajících se lisováním World Steel Association AISBL, jsou nejčastějšími konkrétními druhy opotřebení či porušení tvářecích nástrojů zobrazeny na obrázku 29 [69].



Obr. 29 Druhy porušení dle World Steel Association [69]

2.7 Technologičnost

Technologičnost se rozumí posouzení technicko ekonomických vlastností určujících požadavky pro vybrané technologie a výrobu. Při jejím hodnocení jsou důležitými vstupními parametry mechanické vlastnosti materiálů, velikost série a technologické požadavky výrobní technologie [40; 44; 52].

Pro stříhání je důležité posoudit a kontrolovat [40; 60; 44; 70]:

- analýzu nástřihových plánů – využití materiálu minimálně 70 %,
- snahu vyhnout se geometrickým tolerancím rovinnosti a kolmosti střižné plochy,
- upřednostnění kruhových otvorů,
- vyhnout se ostrým rohům – plynulé přechody,
- vhodná volba vzdálenosti mezi otvory a krajem materiálu,
- vhodně volit rozměrové tolerance – dosažitelnost IT 9,
- kontrola proveditelnosti minimálních otvorů, kruhový otvor dle:

$$\frac{d}{t} \geq 1, \quad (2.49)$$

nerotační otvor dle:

$$\frac{b}{t} \geq 0,8, \quad (2.50)$$

kde: b - nejmenší rozměr otvoru [mm]

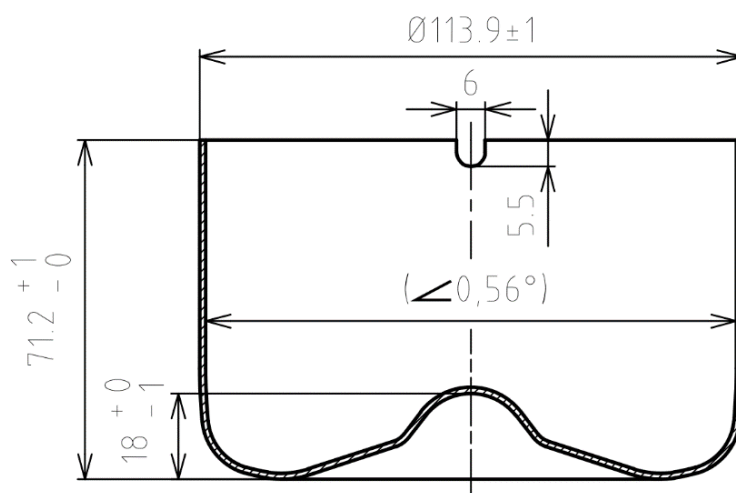
Mezi parametry posouzení technologičnosti hlubokého tažení patří [40; 44; 52]:

- posouzení materiálu – jeho volba musí být provedena tak, aby byly splněny požadavky na jeho funkci, nicméně byl co nejlevnější,
- jednoduchost tvaru – vyvarovat se složitému a nesymetrickému tvaru,
- rotační tvary – pro hluboké tažení je nejvhodnější kolmý válec s rovným dnem,
- úzká či žádná příruba – její velikost zvyšuje počet operací,
- minimální možná výška – vysoká geometrie navyšuje počet tahů,
- zaoblení dna výtažku – ostré přechody jsou nežádoucí – dochází v nich ke koncentraci napětí,
- nepředepisovat nízké drsnosti povrchu,
- tolerance volit co nejvyšší, pro menší je nutná kalibrace,
- přechody odstupňování průměrů, navrhovat kuželové s úhlem 45°

3 NÁVRH VÝROBY

Vyráběná součást je pachový uzávěr sifonu odvodňovací vpusti (obr. 30). Jedná se o součást tvaru kalíšku s prostřihy tvaru „U“ na horní hraně a prolisem na dně. Vnější průměr součásti je 113,9 mm s kuželovitostí 0,56°, výška 71,2 mm. K těmto rozměrům jsou definovány požadované tolerance. U průměru se jedná o ± 1 mm, u výšky $^{+1}$ mm a u výšce prolisu $_{-1}$ mm. Zdánlivě velké tolerance jsou naprosto dostačující praktickému využití dílce, nemělo by tudíž smysl požadovat přesnější rozměry [10; 11].

Dva prostřihy horní hrany nacházející se symetricky naproti sobě mají hloubku 5,5 mm a šířku 6 mm. K těmto rozměrům není přímo předepsaná tolerance, tudíž se k nim vztahuje všeobecná tolerance ISO 2768–m L napsaná v popisovém poli výkresu (příloha 1.). Pro hloubku prostřihu 5,5 mm i pro šířku 6 mm udává úchylky $\pm 0,1$ mm. Vyšší přesnost oproti ostatním rozměrům je způsobena nutností následného slícování – svaření s tyčí držící další část sifonu v požadované poloze [10; 11].



Obr. 30 Dílec

Tloušťka vyráběného dílce je dána na 1,25 mm a jakožto materiál vybrána chrom – niklová austenitická ocel odolná korozi 1.4301, ekvivalent X5CrNi18-10, ČSN 17 240, AISI 304. Tato ocel má dobrou odolnost vůči korozi, a díky nízkému obsahu uhlíku je dobře svařitelná [10; 12].

Předpokládaná velikost výrobní série je stanovena na 150 000 ks/rok. Vzhledem k vysoké sériovosti bylo pro výrobu polotovaru pro tažení, jakožto nejvhodnější zvoleno stříhání. Tím bude bezproblémově dosažitelná série a dojde k zefektivnění stávající výroby.

Z hlediska technologičnosti konstrukce je součást poměrně vyhovující. Je symetrická, výška není příliš velká, díl neobsahuje přírubu ani ostré rohy a neobsahuje přílišné požadavky na přesnost rozměrů ani kvalitu povrchu. Možné technologické komplikace by mohlo způsobovat větší zaoblení a složitá kontura na spodní ploše dílce, lze předpokládat že tyto zaoblení budou vyžadovat kalibraci [37].

3.1 Velikost přístřihu a počet tažných operací

Prvním krokem návrhu je stanovení rozměru polotovaru – přístřihu, který bude před tažením vystřižen z pásu plechu. Jedná se o rotační součást, tudíž přístřih bude mít kruhový tvar. Aby byl výpočet co nejpřesnější, počítá se se středním rozměrem tloušťky.

Jedná se o tvarově dosti složitou součást, proto byla plocha výtažku bez prostřihů S_c odečtena programem Autodesk inventor professional 2021.

Z celkové plochy S_c následně stanovíme průměr přístříhu D_0 dle vzorec (2.9):

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 33107,451}{\pi}} = 205,31 \text{ mm.}$$

Stanovení průměru přístříhu z hmotnosti dílce dle vzorce (2.8) [12]:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot m_v}{\pi \cdot \rho \cdot t}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,3269}{\pi \cdot 7900 \cdot 0,00125}} = 0,205302 \text{ m} = 205,30 \text{ mm,}$$

kde: ρ - hustota - $7900 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,
 m_v - hmotnost dílce, měřena bez prostřihů [kg].

Hodnota průměru přístříhu zjištěná z plochy i metodou z objemu vychází téměř stejně, z čehož se dá předpokládat správnost obou variant výpočtu. Efektivnější je však hodnota plochy z CAD softwaru. Pro další výpočty bude využita nahoru zaokrouhlená hodnota – 205,4 mm. Průměr přístříhu musí být zvětšen o přídavek na ostřížení. Ten je závislý na počtu tažných operací.

Pro zjištění počtu tahů se jako první krok vypočítá poměrná tloušťka plechu dle vzorce 2.11:

$$T_r = \frac{t}{D_0} \cdot 100 = \frac{1,25}{205,4} \cdot 100 = 0,6086 [-].$$

Poměrná tloušťka polotovaru odpovídá tabulkovému rozmezí 1,0 až 0,6, viz příloha 2. Součinitele tažení tedy [37]:

Tab. 2 Součinitele tažení. [37]

Tažná operace	1	2	3	4	5
Součinitel tažení	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
Číselná hodnota součinitele	0,53–0,55	0,76–0,78	0,79–0,8	0,81–0,82	0,84–0,85

Dosazením součinitelů do vztahu (2.12) se stanoví dosažitelný průměr prvního tahu:

$$d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,53 \cdot 205,4 = 108,86 \text{ mm.}$$

Jelikož se jedná o díl s kuželovitostí, výsledným průměrem není 113,9 mm, nicméně pomyslný nejmenší průměr dna d_1^* :

$$d_1^* = d_1 - 2 \cdot h \cdot \tan \frac{\alpha}{2} = 113,9 - 2 \cdot 71,2 \cdot \tan \frac{0,56^\circ}{2} = 113,2 \text{ mm} \quad (3.1)$$

kde: h - výška dílce [mm],
 α - úhel kuželovitosti dílce [°].

$108,86 < 113,20 \rightarrow$ vyrobitelné na jeden tah, nicméně velmi těsně a hodnota D_0 není zvětšena o přídavek na ostřížení.

Výtažek bude zhotoven na jeden tah, tím pádem bude přídavek na odstřížení 3 %. Průměr přístříhu tudíž bude [37]:

$$D_0 = 205,4 \cdot 1,03 = 211,56 \text{ mm.} \quad (3.2)$$

Vypočtená hodnota polotovaru s přídavkem na ostřížení je zvolena na 212 mm.

Jelikož původní výpočet počtu tažných operací nezahrnoval průměr přístříhu zvětšený o přídavek na ostřížení, je nutné opětovně provést dosažitelný průměr prvního tahu d_1 dle 2.12:

$$d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,53 \cdot 212 = 112,36 \text{ mm.}$$

$112,36 < 113,20 \rightarrow$ Součást je zhotovitelná jedním tahem.

Kontrola při volbě mezní hodnoty součinitele tažení dle vzorce 2.12:

$$d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,55 \cdot 212 = 116,6 \text{ mm.}$$

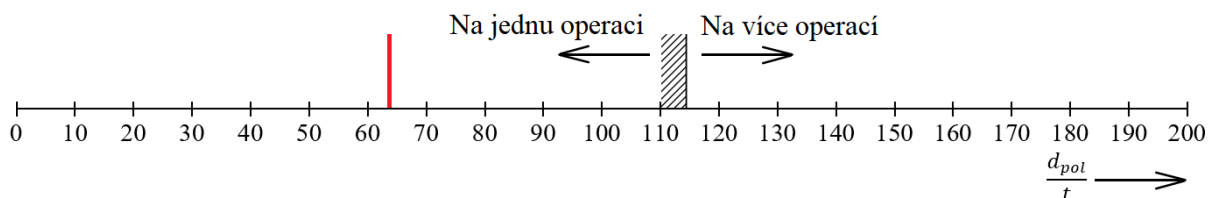
kde: m_1 - zvoleno 0,55 z rozsahu (0,53 - 0,55).

$116,6 > 113,2 \rightarrow$ Při zvolení méně příznivé hodnoty součinitele tažení není dosaženo požadovaného průměru. Jelikož je požadovaný průměr hraniční, znamená to, že při tažení součásti bude nutné využít kalibrace [34; 37].

Pro stanovení počtu tahů pro zpětný tah bude geometrie dna zjednodušena na polokouli a ke stanovení počtu tahů využito grafu obsaženém v obrázku 31. Před samotným stanovením je nutné vypočítat poměr průměru polokoule [53]:

$$\frac{d_{pol}}{t} = \frac{79,78}{1,25} = 63,824, \quad (3.3)$$

kde: d_{pol} - odečteno programem Autodesk inventor professional 2021

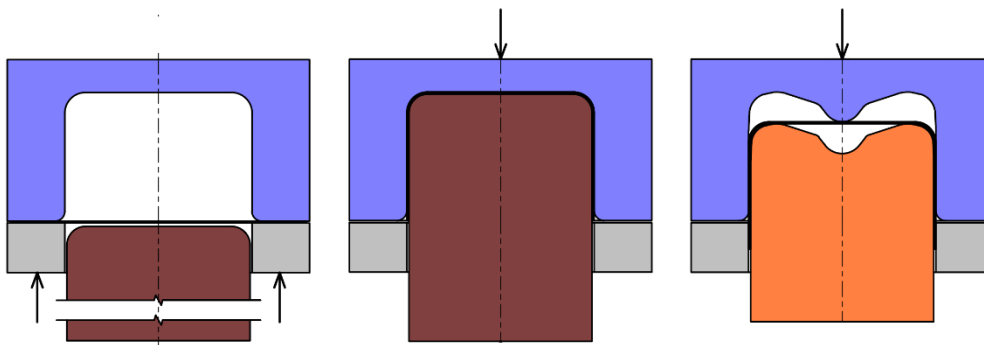


Obr. 31 Mezní stupeň tažení polokoulí [53]

Po zanesení vypočtené hodnoty (červená přímk) poměru do grafu je viditelné, že by na tažení dna měla stačit jedna operace, viz obrázek 31.

3.2 Varianty postupu výroby

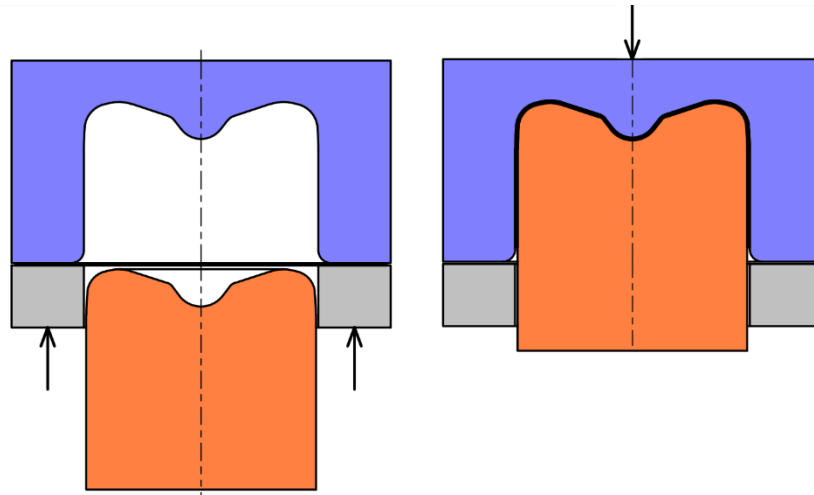
Zdánlivě nejjednodušší variantou postupu součásti by bylo v prvním tahu zhotovit kalíšek o dopovídajícím průměru a v následném tahu dokončit tvarované dno viz obrázek 32. Tato varianta je ekonomicky a technologicky nevhodná. Bylo by potřebné zhotovit 2 nástroje, navýší se výrobní čas potřebným přesunem mezi jednotlivými tahy a výroba tažnice pro druhý tah by díky tvarovanému dnu byla značně náročná.



Obr. 32 První varianta postupu.

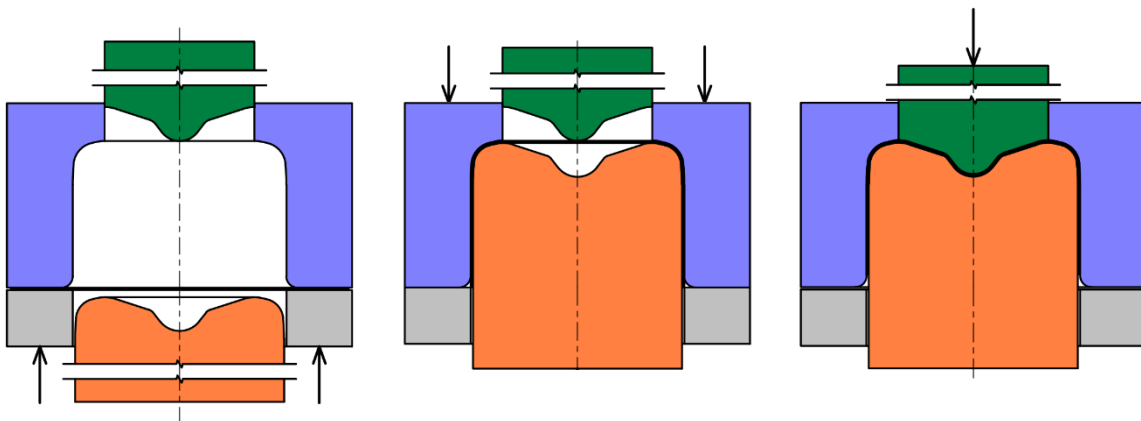
Další variantou postupu tažení součásti by bylo celý tvar vytáhnout na jeden tah viz obrázek 32. Při této variantě by tažník i tažnice přesně kopírovali tvar vyráběného dílce.

Oproti první variantě odpadá potřeba navýšení výrobního času způsobeného mezioperačním přesunem. Nicméně zůstává technologická náročnost výroby tažnice, která by zvýšila cenu nástroje.



Obr. 33 Druhá varianta postupu

Třetí variantou je tažení rozdělít na dva kroky. V první fázi pohyblivý tažník protáhne pouze válcovou část s rovným dnem (obr. 34). Jakmile tažník vyjede do mezní polohy zpětný tažník provede vytažení zaoblení dna sifonu.

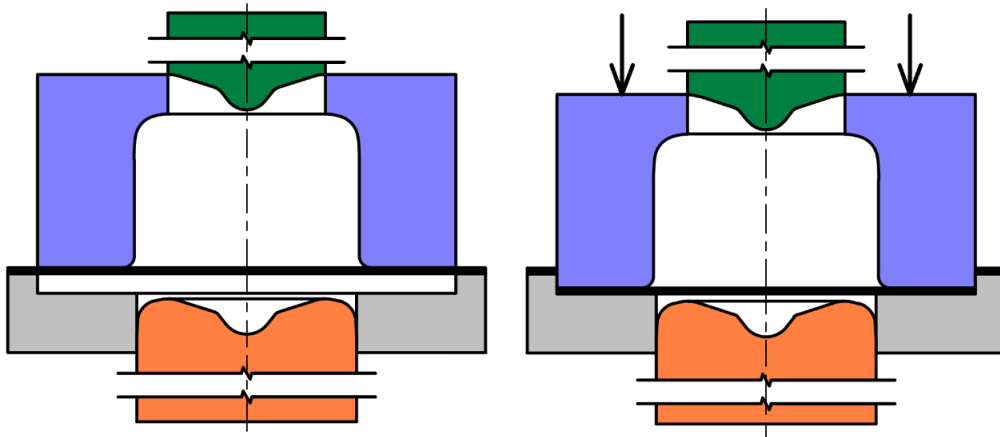


Obr. 34 Třetí varianta postupu

Tím, že by nástroj obsahoval dva tažníky, bude jeho konstrukce složitější, čímž se zvýší i finanční náklady na výrobu nástroje. Další nevýhodou oproti předchozím variantám je potřeba využití trojčinného lisu. Nicméně odpadají mezioperační přesuny a tažnice je tvarově jednodušší. V případě opotřebení bude možné vyměnit jen jednu část nástroje. Proto je tento postup nejefektivnější a nejvhodnější.

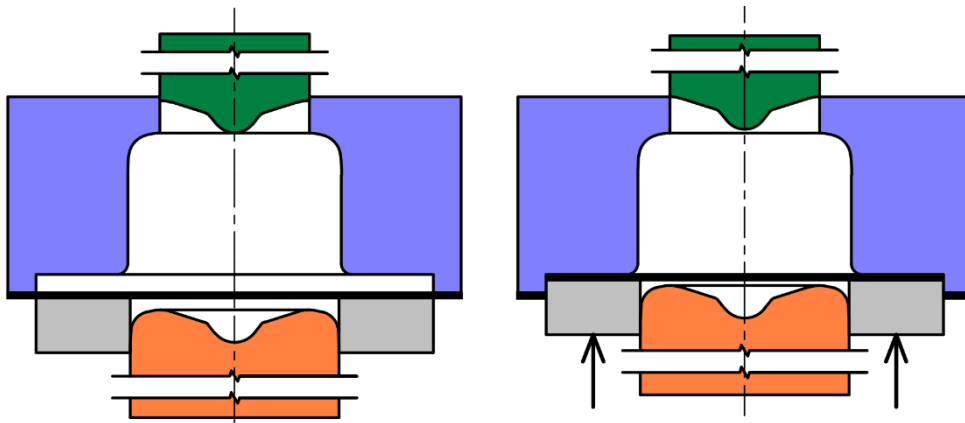
S ohledem na volbu třetí varianty postupu tažení, velikost série a nutnost využití zpětného lisu, bude přístřih zhotoven přímo v nástroji současně s tažením – nástroj bude sdružený pro stříh a hluboké tažení. Při vybraném postupu výroby součásti ve sdruženém nástroji pro stříh a hluboké tažení a s uvážením tvaru přístřihu se nabízí dvě varianty uspořádání střižné části nástroje.

Při první z nich by přidržovač tažení by zároveň plnil funkci střižnice a okrajová hrana tažnice by fungovala i jako střižník, viz obrázek 35. V této variantě by se pás plechu posunul do požadované pozice, přidržovač by jej natlačil na tažnici, vnější hranou tažnice a převislou hranou přidržovače by došlo ke stříhu. Nevýhodou této metody je neustálý styk obvodové plochy tažnice s pásem plechu. Tento styk by mohl způsobovat zasekávání pásu na nástroji a tím narušení výroby.



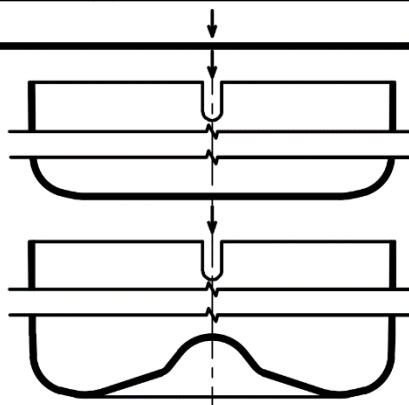
Obr. 35 První varianta stříhu

Druhou variantou zobrazenou na obrázku 36 je uspořádání stříhu opačně. Přidržovač by působil jako střížník a tažnice by měla vnější osazení, které by plnilo úkon střížnice. Tato možnost je při využití předem vybraného postupu a klasického uspořádání nástrojů, pevný tažník na spodní straně nástroje, technologicky nemožná. Při zdvihu tažnice by překážel odpadový pás plechu. Muselo by dojít k vyměnění umístění tažnice s tažníkem. Navíc by docházelo k nadzvedávání pásu vlivem zdvihu střížníku/přidržovače.



Obr. 36 Druhá varianta stříhu

Pro další postup návrhu výroby byla zvolena první varianta uspořádání střížné části. Konečný postup zvolený pro výrobu dílce tedy bude (obr. 37):



Obr. 37 Konečný postup výroby

3.3 Technologické výpočty tažení

Jelikož bude součást zhotovena na jeden tah, bude zaoblení tažníku dáno tvarem dna součásti. Zatímco poloměr zaoblení tažné hrany tažnice je závislý na tloušťce plechu a stanovuje se dle normy ČSN 22 7301 [54].

Zaoblení hrany tažnice r_t z normy ČSN 22 7301 dle vzorce (2.43):

$$r_t = 9 \cdot t = 9 \cdot 1,25 = 11,25 \text{ mm}$$

kde: 9 - zvoleno dle ČSN 22 7301 z rozsahu (8 až 10)

Zaoblení hrany tažnice r_{to} z odborné literatury dle vzorce (2.44):

$$r_{to} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d_1^*) \cdot t_0} = 0,8 \cdot \sqrt{(212 - 113,2) \cdot 1,25} = 8,89 \text{ mm}$$

V dalších výpočtech bude použita hodnota $r_t = 10 \text{ mm}$, jakožto průnik mezi hodnotou dle normy a hodnotou stanovenou dle odborné literatury. Geometrie nástrojů pro zpětný tah je dána tvarem dna dílce, proto se hodnoty zaoblení nástrojů nestanovují [54; 43].

Tažná mezera z_t ČSN 22 7301, dle vzorce (2.19):

$$z_t = 1,2 \cdot t = 1,2 \cdot 1,25 = 1,5 \text{ mm}$$

kde: 1,2 - zvoleno dle ČSN 22 7301 z rozsahu (1,2 až 1,3) [-]

Tažná mezera z_{to} dle Oehlera, dle vzorce (2.21):

$$z_{to} = t_{max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot t_0} = 1,25 + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot 1,25} = 1,5 \text{ mm}$$

kde: k - zvoleno dle odborné literatury 0,07 [-]

Tažná mezera stanovená dle normy ČSN 22 7301 i dle výpočtu podle Oehlera vychází identicky a to 1,5 mm.

Dalším parametrem je kontrola potřeby využití přidržovače. Ověření potřeby přidržovače bude ověřeno dvěma způsoby:

- dle ČSN 22 7301, pomocí součinitele k_p , dle vzorce (2.37; 2.38):

$$k_p = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{1,25}}{\sqrt[3]{212}} \right) = 90,8 \text{ [-]}$$

kde: Z - dle ČSN 22 7301 pro ocelový plech 1,9 [-]

$$k_p \geq 100 \cdot \frac{d_1^*}{D_0} \rightarrow 90,8 \geq 100 \cdot \frac{113,2}{212} \rightarrow 90,8 \geq 53,4$$

- dle Šofmana, dle vzorce (2.39)

$$D_0 - d \geq 18 \cdot t \rightarrow 212 - 113,2 \geq 18 \cdot 1,25 \rightarrow 98,8 \geq 22,5$$

Z obou variant vychází, že při tažení je nutné využít přidržovač. [47; 54]

3.4 Technologické výpočty stříhání

Po stanovení velikosti přístříhu je nutné zajistit vhodný vstupní polotovar pro jeho výrobu a následné rozmístění přístříhu na pásu či tabuli plech. Vhodné rozmístění má zásadní vliv na velikost odpadu vzniklého při výrobě, a tím pádem i na vstupních nákladech na materiál.

Jelikož se jedná o dílec vyrobený z plechu, polotovar bude ve formě svitku nebo tabule. Svitek je dodáván v požadované šířce, což ušetří dobu manipulace. Není potřebná další operace a stroj na dělení na pásy, čímž dojde k ušetření nákladů a výrobního času. Nicméně oproti tabuli je nutné před samotný stroj s nástrojem umístit odvíjecí, rovnací a podávací zařízení.

- Stanovení šířky pásu plechu:

Šířka pásu \check{s} je průměr stříhaného dílce z obou stran zvětšený o velikost mezery m , viz obrázek 38 [45].

$$\check{s} = D_0 + 2 \cdot m = 212 + 2 \cdot 5,3 = 222,6 \text{ mm} \quad (3.4)$$

kde: m - odečteno 5,3 z odborné literatury [mm]

D_0^* - průměr polotovaru zmenšený o chybějící úsek vybrání [mm]

- Stanovení kroku dle [45]:

Jednotlivé kroky k jsou odděleny můstkem n , viz obrázek 38.

$$k = D_0^* + n = 211,92 + 4 = 215,92 \text{ mm} \quad (3.5)$$

kde: n - odečteno 4 z odborné literatury [mm].

- Stanovení mezery m pomocí novější odborné literatury [37]:

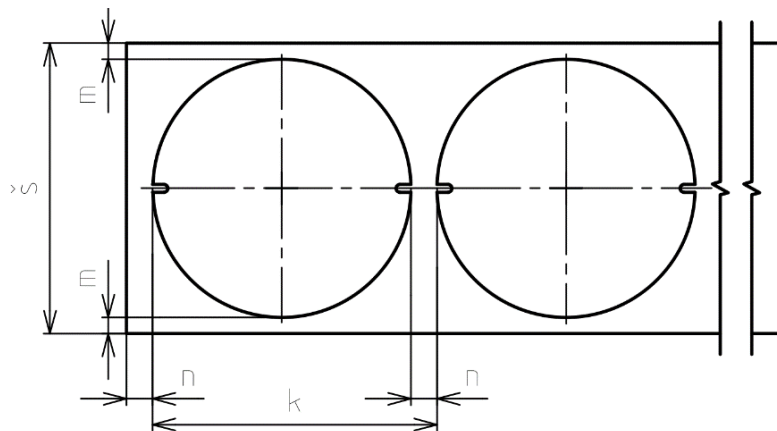
$$m = t + 0,015 \cdot D_0 = 1,25 + 0,015 \cdot 212 = 4,43 \text{ mm} \quad (3.6)$$

- Stanovení šířky pásu plechu \check{s} [37]:

$$\check{s} = D_0 + 2 \cdot m = 212 + 2 \cdot 4,43 = 220,86 \cong 221 \text{ mm} \quad (3.7)$$

- Stanovení kroku k pomocí novější odborné literatury [37]:

$$k = D_0^* + n = 211,92 + 4,3 = 216,22 \cong 216,2 \text{ mm} \quad (3.8)$$



Obr. 38 Pás plechu

Pro další výpočty a návrh nástroje budou využity hodnoty získané postupem z novější odborné literatury.

3.4.1 Využití materiálu

Využití materiálu bude vypočteno pro všechny normalizované rozměry tabulí plechu, a pro možné rozměry svitku odstupňované po 100 mm vnějšího průměru. Mezní průměry svitku jsou dány rozměry odvíjecího bubnu viz příloha 5 [71].

Uvedené vzorové výpočty jsou pro největší svitek a největší tabuli. Využití dalších variant bylo stanoveno pomocí tabulkového procesoru Microsoft excel. Výpočet využití svitku o vnějším průměru $D_{sv} = 2100$ mm a vnitřním $d_{sv} = 480$ mm:

Objem svitku V_{sv} :

$$V_{sv1} = \frac{\pi \cdot (D_{sv1}^2 - d_{sv1}^2)}{4} \cdot \check{s} = \frac{\pi \cdot (2100^2 - 480^2)}{4} \cdot 221 = 725465686,2 \text{ mm}^3. \quad (3.9)$$

Délka svitku L_{sv} :

$$L_{sv1} = \frac{V_{sv1}}{\check{s} \cdot t} = \frac{725465686,2}{221 \cdot 1,25} = 2626120,13 \text{ mm}. \quad (3.10)$$

Počet přístřihů na svitku n_{vsv} :

$$n_{vsv1} = \frac{L_{sv1}}{k} = \frac{2626120,13}{216,2} = 12146,7 \rightarrow 12146 \text{ ks nelze vyrobit část}. \quad (3.11)$$

Využití svitku η_{sv} dle vzorce (2.3):

$$\eta_{sv1} = \frac{S_{v1} \cdot n_{vsv1}}{\check{s} \cdot L_{sv1}} \cdot 100 = \frac{35164,53 \cdot 12146}{221 \cdot 2626120,13} \cdot 100 = 73,6 \%,$$

kde: S_{v1} - plocha výstřižku, hodnota ze softwaru Autocad Inventor [mm^2].

Potřebný počet svitků n_{sv} :

$$n_{sv1} = \frac{Q}{n_{v1}} = \frac{150000}{12146} = 12,35 \rightarrow 13 \text{ ks, nelze zakoupit část svitku}, \quad (3.12)$$

kde: Q - velikost roční série [ks].

Výpočet využití tabule o rozměrech 1500 x 3000 mm:

Počet pásů z tabule n_{p1} :

$$n_{p1} = \frac{b}{\check{s}} = \frac{1500}{221} = 6,79 \rightarrow 6 \text{ ks, zbytek pásu je nevyužitelný}, \quad (3.13)$$

kde: b - šířka plechu [ks].

Počet přístřihů z pásu n_{vp1} :

$$n_{vp1} = \frac{l_{tab}}{\check{s}} = \frac{3000}{216,2} = 13,88 \rightarrow 13 \text{ ks, zbytek pásu je nevyužitelný}, \quad (3.14)$$

kde: l_{tab} - délka pásu [ks].

Počet přístřihů z tabule n_{vt1} :

$$n_{vt1} = n_{p1} \cdot n_{vp1} = 6 \cdot 13 = 78 \text{ ks}. \quad (3.15)$$

Počet tabulí pro zhotovení série n_{t1} :

$$n_{t1} = \frac{Q}{n_{vt1}} = \frac{150000}{78} = 1923,08 \rightarrow 1924 \text{ ks, nelze zakoupit část tabule.} \quad (3.16)$$

Využití materiálu tabule 1500 x 3000 mm η_{t1} , dle vzorce (2.3):

$$\eta_{t1} = \frac{S_{v1} \cdot n_{vsv1}}{S_{t1}} \cdot 100 = \frac{35164,53 \cdot 78}{1500 \cdot 3000} \cdot 100 = 60,95 \%,$$

kde: S_{t1} - plocha tabule 1500 x 3000 mm [mm²].

Tab. 3 Využití polotovarů

Polotovar	Vnější průměr svitku [mm]				Tabule plechu [mm]		
	2100	2000	1900	1800	1500x3000	1250x2500	1000x2000
Využití [%]	73,6	73,6	73,6	73,6	63,3	61,9	61,0

Využití jednotlivých svitků vychází identicky, ale použití tabulí vychází o více než 10 % hůře. Bude použit svitek s největším vnějším průměrem. Oproti ostatním bude ušetřena doba na výměnu polotovaru, jelikož je na celou sérii potřeba méně kusů.

3.4.2 Výpočty rozměrů funkčních částí

Funkční rozměry nástroje tažné i střížné části musí být zhotoveny v třídě přesnosti o třídu nižší, než je navržena součást. Tolerance musí být zvoleny správně, aby byl zajištěn správný chod, a tím nedocházelo k přílišnému opotřebení [63].

Součást obsahuje úchytky v rámci milimetrů a nepředepsané mezní úchytky jsou stanoveny dle ČSN ISO 2768 – mL. Funkční rozměry nástroje proto budou navrženy v toleranci IT 8, která bude zaručovat dostatečnou plynulost chodu a měla být naprosto dostačující pro dodržení tolerance dílce. Nefunkční rozměry nástroje budou předepsány dle ČSN ISO 2768 – fK o třídu nižší než dílec [72].

Při stříhu polotovaru pro tažení z pásu plechu je vystřížený tvar brán jako výstup stříhu, proto se jedná o vystřihování. Před výpočtem rozměrů je nutné stanovit velikost střížné vůle dle vzorce (2.1):

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot (c \cdot t \cdot \sqrt{0,1 \cdot 0,8 \cdot Rm}) = 2 \cdot (0,02 \cdot 1,25 \cdot \sqrt{0,1 \cdot 0,8 \cdot 720}) = 0,38 \text{ mm},$$

kde: c - zvoleno 0,02 z rozsahu (0,005 až 0,035) [-].

Průměr přístříhu byl stanoven na 212 mm s tolerancí odpovídající součásti ± 1 mm.

Výpočet průměru střížnice pro vnější průměr polotovaru 212 ± 1 dle vzorce (2.45) [72]:

$$A_{e\emptyset} = (A_{j\emptyset} - \Delta)^{+\delta_{e\emptyset}} = (212 - 1)^{+0,072} = \emptyset 211^{+0,072} \text{ mm},$$

kde: $\delta_{e\emptyset}$ - odečteno z tabulek [mm].

Výpočet průměru střížníku pro vnější průměr polotovaru 212 ± 1 dle vzorce (2.46) [72]:

$$A_{k\emptyset} = (A_{j\emptyset} - \Delta - v)_{-\delta_{k\emptyset}} = (212 - 1 - 0,38)_{-0,072} = \emptyset 210,62_{-0,072} \text{ mm},$$

kde: $\delta_{k\emptyset}$ - odečteno z tabulek [mm].

Výpočet rozměru střížnice pro drážku šířky $6 \pm 0,1$ dle vzorce (2.45) [72]:

$$A_{ed} = (A_{jd} - \Delta)^{+\delta_{ed}} = (6 - 0,1)^{+0,018} = 5,9^{+0,018} \text{ mm.}$$

Výpočet rozměru střížníku pro drážku šířky $6 \pm 0,1$ dle vzorce (2.46) [72]:

$$A_{kd} = (A_{jd} - \Delta - v)_{-\delta_{kd}} = (6 - 0,1 - 0,38)_{-0,018} = 5,52_{-0,018} \text{ mm.}$$

Jelikož je přístřih zvětšený o přídavek na odstřížení, musí být zvětšena i délka drážky. Hodnota zvětšení byla stanovena pomocí aplikace zákona o zachování objemu a softwaru Autodesk inventor professional. Pomocí objemu součásti bez přidání přídavku a objemu přístřihu se drážka prohloubí o 6,316 mm. Jelikož není vyžadována přílišná přesnost a v dalším postupu výroby vpusti bude skrze drážku přivařeno madlo, hodnota bude zaokrouhlena na 6,4 mm.

Stanovení délky drážky tudíž:

$$l_d = 5,5 + 6,4 = 11,9 \text{ mm.} \quad (3.17)$$

Výpočet rozměru střížnice pro drážku délky $11,9 \pm 0,1$ dle vzorce (2.45) [72]:

$$A_{el} = (A_{jl} - \Delta)^{+\delta_{el}} = (11,9 - 0,1)^{+0,027} = 11,8^{+0,027} \text{ mm.}$$

Výpočet rozměru střížníku pro drážku délky $11,9 \pm 0,1$ dle vzorce (2.46) [72]:

$$A_{kl} = (A_{jl} - \Delta - v)_{-\delta_{kl}} = (11,9 - 0,1 - 0,38)_{-0,027} = 11,42_{-0,027} \text{ mm.}$$

3.5 Síla a práce

Výpočet síly a práce byl vypočten pomocí tabulkového kalkulátoru Microsoft Excel pro všechny koeficienty zmenšení průměru polotovaru ρ v rozpětí 0,65 až 0,99. Jakožto první byla stanovena síla pro první tah – tažení válcového kalíšku, následně stanovení síly pro zpětný tah. Kontrolní analytický výpočet byl proveden pro nejvyšší výslednou tvářecí sílu, výsledky jsou shrnuty v grafu a tabulce 4. Prvním krokem je stanovení zmenšení vnějšího průměru polotovaru R viz vzorec (2.29) [39]:

$$R = \rho \cdot R_0 = 0,9 \cdot 106 = 95,4 \text{ mm}$$

Střední hodnota přetvárného odporu σ_{ps} dle vzorce (2.28) [39]:

$$\begin{aligned} \sigma_{ps} &= \frac{R_m}{1 - \psi_{krč}} \cdot \left[\frac{1 - 0,5 \cdot \left(\rho + \frac{m_1}{\sqrt{1 - \rho^2 + m_1^2}} \right)}{\psi_{krč}} \right]^{1 - \psi_{krč}} = \\ &= \frac{520}{1 - 0,25} \cdot \left[\frac{1 - 0,5 \cdot \left(0,9 + \frac{0,53}{\sqrt{1 - 0,9^2 + 0,53^2}} \right)}{0,25} \right]^{1 - 0,25} = 602,22 \text{ MPa,} \end{aligned}$$

kde: $\psi_{krč}$ - zvoleno 0,25 z rozsahu (0,25 až 0,30) [-].

Měrný tlak přidržovače p_p dle vzorce (2.30) [45]:

$$\begin{aligned} p_p &= Rm \cdot \gamma_1 \left(\frac{1}{m_1} - \gamma_1' \right) \cdot \frac{D_0}{100 \cdot t_0} \gamma_1'' = \\ &= 520 \cdot 0,8 \left(\frac{1}{0,53} - 1,1 \right) \cdot \frac{212}{100 \cdot 1,25} \cdot 0,007 = 3,89 \text{ MPa}, \end{aligned}$$

kde: $\gamma_1; \gamma_1'; \gamma_1''$ - empiricky získané koeficienty z odborné literatury [-].

Přidržovací síla F_p dle vzorce (2.31):

$$\begin{aligned} F_p &= S_v \cdot p_p = \frac{\pi \cdot (D^2 - d_0^2)}{4} \cdot p_p = \frac{\pi \cdot (190,8^2 - 133,2^2)}{4} \cdot 3,89 = \\ &= 57\,017,34 \text{ N}, \end{aligned}$$

kde: $d_0 = d_1^* + 2 \cdot r_t = 113,2 + 2 \cdot 10 = 133,2 \text{ mm}$.

Maximální deformační odpor σ_{dmax} dle vzorce (2.27):

$$\begin{aligned} \sigma_{dmax} &= \sigma_{zmax} = \sigma_{ps} \cdot \left(\zeta \cdot \ln \frac{2R}{d_s} + \frac{f \cdot F_p}{\sigma_{ps} \cdot \pi \cdot R \cdot t_0} + \frac{t_0}{t_0 + 2r_t} \right) \cdot (1 + 1,6f) = \\ &= 602,22 \cdot \left(1,1 \cdot \ln \frac{2 \cdot 95,4}{111,95} + \frac{0,14 \cdot 57017,34}{602,22 \cdot \pi \cdot 95,4 \cdot 1,25} + \frac{1,25}{1,25 + 2 \cdot 10} \right) \cdot \\ &\quad \cdot (1 + 1,6 \cdot 0,14) = 501,75 \text{ MPa}, \end{aligned}$$

kde: $d_s = d - t = 113,2 - 1,25 = 111,95 \text{ mm}$,

f - zvoleno 0,14 z rozsahu 0,14 až 0,16 viz příloha 4.

Tažná síla $F_{taž}$ dle vzorce (2.32):

$$F_{taž} = \sigma_{zmax} \cdot \pi \cdot d_s \cdot t = 501,75 \cdot \pi \cdot 111,95 \cdot 1,25 = 220,58 \text{ kN}.$$

Síla přetržení F_{pr} dle vzorce (2.33):

$$F_{pr} = Rm \cdot \pi \cdot d_s \cdot t = 520 \cdot \pi \cdot 111,95 \cdot 1,25 = 228,61 \text{ kN},$$

kde: Rm - bráno 520 MPa z rozsahu 520 až 720 – nejvyšší riziko porušení.

Kontrola podmínky protržení dna:

$$F_{taž} < F_{pr} \rightarrow 220,58 < 228,61 \rightarrow \text{splněno, nemělo by dojít k protržení.}$$

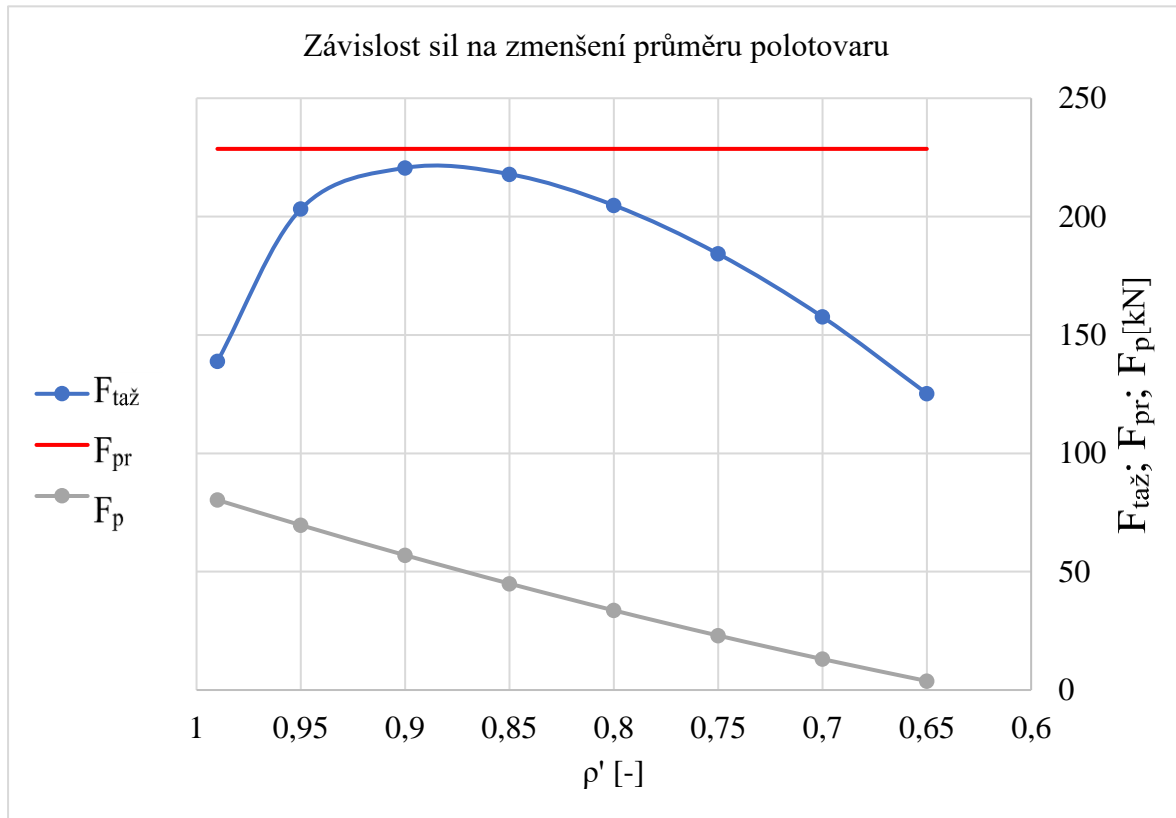
Tažná práce dle vzorce (2.35):

$$A_t = F_{taž} \cdot C \cdot h_t = 220582,66 \cdot 0,8 \cdot 0,09045 = 15\,961,4 \text{ J},$$

kde: h_t - dráha nástroje [mm],

C - zvoleno 0,8 z rozsahu (0,6 až 0,8) [-].

Zhodnocení výhledných sil je znázorněno na obrázku 39, kde je viditelné, že skutečná síla potřebná pro zhotovení první fáze tažení má jistou rezervu oproti síle pro protržení. Nejvyšší síla vychází při využití koeficientu zmenšení $\rho' = 0,9$



Obr. 39 Závislost sil na zmenšení průměru

Výpočet síly pro zpětný tah byl vzhledem tažení kulového tvaru upraven. Při využití stejného postupu a vztahu jako při předchozím výpočtu vychází hodnota přídržovací síly záporně. K této chybě dochází kvůli části vzorce obsahujícího plochu. Rozdíl D_2 a d_{02} vychází při využití přepočtu zmenšení průměru polotovaru vždy záporně. Kvůli tomuto jevu byl postup výpočtu upraven, a to tak, že do výpočtu byla dosazena plocha přídržovače S_{v2} odečtená z geometrie nástroje pomocí programu Autodesk inventor professional 2021.

Stanovení zmenšení vnějšího průměru polotovaru R viz vzorec (2.29):

$$R_2 = \rho \cdot R_{02} = 0,9 \cdot 56,6 = 50,94 \text{ mm}$$

Střední hodnota přetvárného odporu σ_{ps2} dle vzorce (2.28):

$$\begin{aligned} \sigma_{ps2} &= \frac{R_m}{1 - \psi_{krč}} \cdot \left[\frac{1 - 0,5 \cdot \left(\rho + \frac{m_2}{\sqrt{1 - \rho^2 + m_2^2}} \right)}{\psi_{krč}} \right]^{\frac{\psi_{krč}}{1 - \psi_{krč}}} = \\ &= \frac{520}{1 - 0,25} \cdot \left[\frac{1 - 0,5 \cdot \left(0,9 + \frac{0,7}{\sqrt{1 - 0,9^2 + 0,7^2}} \right)}{0,25} \right]^{\frac{0,25}{1 - 0,25}} = 551,12 \text{ MPa}, \\ \text{kde: } m_2 &= \frac{79,78}{113,2} = 0,7 [-]. \end{aligned} \quad (3.20)$$

Hodnota měrného tlaku přídržovače $p_{p2} = 2,5 \text{ MPa}$, byla odečtena z odborné literatury [38].

Přidržovací síla F_{p2} dle vzorce (2.31):

$$F_{p2} = S_{v2} \cdot p_{p2} = 10278,628 \cdot 2,5 = 25\,696,57 \text{ N},$$

Maximální deformační odpor σ_{dmax2} dle vzorce (2.27):

$$\begin{aligned} \sigma_{dmax2} &= \sigma_{ps2} \cdot \left(\zeta \cdot \ln \frac{2R_2}{d_{s2}} + \frac{f \cdot F_{p2}}{\sigma_{ps2} \cdot \pi \cdot R_2 \cdot t_0} + \frac{t_0}{t_0 + 2r_{t2}} \right) \cdot (1 + 1,6f) = \\ &= 551,12 \cdot \left(1,1 \cdot \ln \frac{2 \cdot 50,94}{78,53} + \frac{0,14 \cdot 25696,6}{551,12 \cdot \pi \cdot 50,94 \cdot 1,25} + \frac{1,25}{1,25 + 2 \cdot 18,35} \right) \cdot \\ &\quad \cdot (1 + 1,6 \cdot 0,14) = 237,39 \text{ MPa}, \end{aligned}$$

kde: $d_{s2} = d_2 - t = 79,78 - 1,25 = 78,53 \text{ mm}$,
 f - zvoleno 0,14 z rozsahu 0,14 až 0,16 viz příloha 4.

Tažná síla $F_{taž2}$ dle vzorce (2.32):

$$F_{taž2} = \sigma_{zmax2} \cdot \pi \cdot d_{s2} \cdot t = 237,39 \cdot \pi \cdot 78,53 \cdot 1,25 = 73207,89 \text{ N}.$$

Síla přetržení F_{pr2} dle vzorce (2.33):

$$F_{pr2} = Rm \cdot \pi \cdot d_{s2} \cdot t = 520 \cdot \pi \cdot 78,53 \cdot 1,25 = 160361,03 \text{ N}.$$

Kontrola podmínky protržení dna dle vzorce (2.34):

$$F_{taž2} < F_{pr2} \rightarrow 73,21 < 160,16 \rightarrow \text{splněno, nemělo by dojít k protržení.}$$

Tažná práce dle vzorce (2.35):

$$A_{t2} = F_{taž2} \cdot C \cdot h_{t2} = 73207,89 \cdot 0,8 \cdot 0,018 = 1054,19 \text{ J},$$

kde: h_{t2} - dráha nástroje [mm],
 C - zvoleno 0,8 z rozsahu (0,6 až 0,8) [-].

Střížná síla dle vzorce (2.22):

$$F_s = n \cdot 0,8 \cdot Rm \cdot l_s \cdot t = 1,3 \cdot 0,8 \cdot 720 \cdot 696,076 \cdot 1,25 = 651\,527,14 \text{ N},$$

kde: n - zvoleno 1,3 z rozsahu (1,1 až 1,5) [-].

Střížná práce dle vzorce (2.36):

$$A_s = x_a \cdot t \cdot F_s = 0,46 \cdot 0,00125 \cdot 651\,527,14 = 374,63 \text{ J},$$

kde: x_a - zvoleno 0,46 z rozsahu (0,45 až 0,47) viz příloha 3 [-].

Výsledné hodnoty sil a prací jsou znázorněny v tabulce 4, uvedené hodnoty jsou brány z tabulkového kalkulátoru Microsoft Excel.

Tab. 4 Zhodnocení výsledků

Parametry tažení						Parametry stříhu	
$F_{taž}$	F_{pretr}	A_t	$F_{taž2}$	F_{pretr2}	A_{t2}	F_s	A_s
[kN]	[kN]	[J]	[kN]	[kN]	[J]	[kN]	[J]
220,57	228,61	15960,62	73,21	160,36	1054,21	651,53	374,63

3.6 Kontrolní výpočty

Před samotným návrhem nástroje je nutné provést kontrolu některých částí, aby nedošlo k jejich porušení během procesu výroby. Bude provedena kontrola na otláčení a vzpěr. Otláčení je kontrolováno na styčné ploše nástrojů a desek, případně upínacích částí.

V případě, že by došlo k překročení dovoleného napětí σ_{dov} daného materiálem, je nutné využít kalené opěrné desky. Pro střížné nástroje je využito nástrojové oceli ČSN 19 422 s dovoleným napětím 180 MPa [42; 61; 72; 73].

Kontrola otláčení střížné vložky střížníku [42; 61; 73]:

$$\sigma_{otv} = \frac{F_s}{S_{sv}} = \frac{651527,14}{9330,24} = 69,83 \text{ MPa} \quad (3.21)$$

kde: S_{sv} - plocha styčné části střížné vložky [mm]

$$\sigma_{otv} \leq \sigma_{dov} \rightarrow 69,83 \leq 180 \rightarrow \text{není potřebná kalená deska} \quad (3.22)$$

Kontrola otláčení drážkové vložky střížnice [59; 61; 73]:

$$\sigma_{otd} = \frac{F_{s*}}{S_{sd}} = \frac{39368,16}{363,94} = 108,17 \text{ MPa} \quad (3.23)$$

kde: F_{s*} - přepočtená síla působená vložkou [N]

$$- F_{s*} = n \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot l_s \cdot t =$$

$$= 1,3 \cdot 0,8 \cdot 720 \cdot 42,06 \cdot 1,25 = 39368,16 \text{ N} \quad (3.24)$$

$$\sigma_{otd} \leq \sigma_{dov} \rightarrow 108,17 \leq 180 \rightarrow \text{není potřebná kalená deska} \quad (3.25)$$

Kontrola otláčení kruhové vložky střížnice [59; 61; 73]:

$$\sigma_{otd} = \frac{F_{s**}}{S_{sd}} = \frac{621\,137,09}{17856,26} = 34,79 \text{ MPa} \quad (3.26)$$

kde: F_{s**} - přepočtená síla působená kruhovou vložkou [N]

$$\sigma_{otd} \leq \sigma_{dov} \rightarrow 34,79 \leq 180 \rightarrow \text{není potřebná kalená deska} \quad (3.27)$$

Kontrola vedení přídržovače na vzpěr [45; 61]:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot J}{n_b \cdot F_v}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 19174,76}{2 \cdot \frac{651527,14}{6}}} = 855,56 \text{ mm}, \quad (3.28)$$

kde: n_b - koeficient vzpěrné délky – volný konec – $n_b = 2$ [-],

J_v - Kvadratický moment průřezu [mm⁴],

$$- J_v = \frac{\pi \cdot d_v^4}{64} = \frac{\pi \cdot 25^4}{64} = 19174,76 \text{ mm}^4,$$

F_v - síla působící na vedení,

$$- F_v = \frac{F_s}{6} \text{ [N]}.$$

Délka volného konce tyčí je v nejzazší poloze 114 mm.

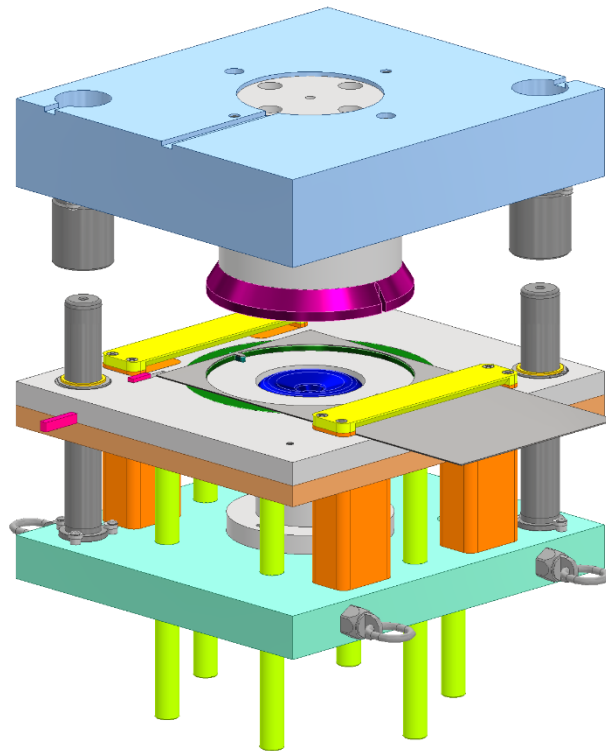
$$l_t < l_{krit} \rightarrow 114 < 856 \rightarrow \text{nehrozí porušení vzpěrné stability}$$

3.7 Návrh nástroje

Pro výrobu dílu pachového uzávěru odvodňovací vpusti byl navržen sdružený nástroj (obr. 40) pro stříh a hluboké tažení. Požadovaného tvaru bude dosaženo ve třech operacích jednoho pracovního zdvihu nástroje. Před samotný nástroj bude umístěno odvíjecí, rovnací a podávací zařízení, které předpřipraví polotovar ve formě svitku a zavedou jej do nástroje.

Zhotovený návrh nástroje obsahuje 115 dílu z nichž je:

- 42 normalizovaných, převážně spojovacích součástí,
- 42 dodaných od externích firem (vedení, pružiny atd.),
- 2 dodané desky dále upravené pro konkrétní potřeby nástroje,
- 29 dílů přímo navržených (nástroje, vložky nástrojů atd.)



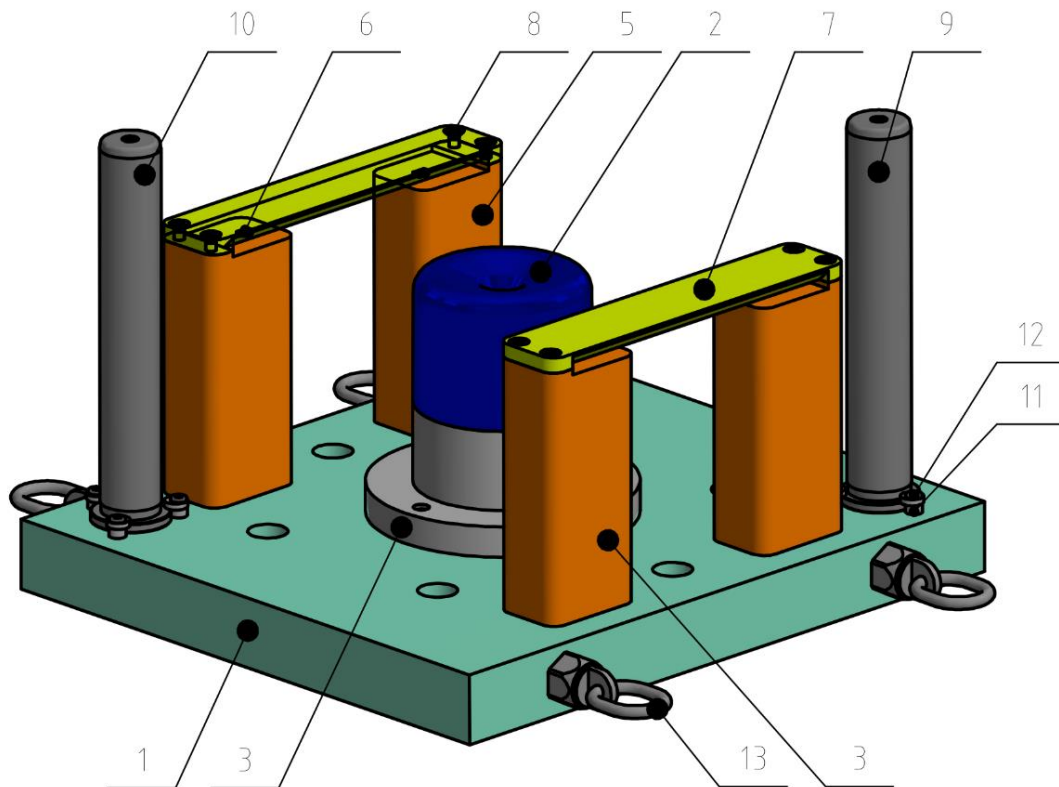
Obr. 40 Sdružený nástroj

Lze rozdělit na tři části:

- spodní část – pevná základová deska
- střední část – pohyblivý segment přidržovače/střižnice
- horní část – pohyblivá upínací deska beranu

Pevná spodní část (obr. 41) je tvořena základovou deskou SD 80/396x446/27 od firmy Meusburger (pozice 1, dále jen poz.). K ní je dvěma kolíky ČSN EN 22339 A - 12x65 a dvěma šrouby ČSN 02 1143 A M12x50 napevno připevněna stopka hlavního tažníku (poz. 3). Hlavní tažník (poz. 2) je ke stopce upevněn dvěma šrouby ČSN 02 1143 A M12x70. [72; 74]

K základové desce jsou dále připevněny čtyři podpěrné sloupky, po kterých se plech posouvá a je mezi nimi veden (poz. 4 a 5). Ty, jenž jsou umístěny na výstupní straně výroby (poz. 5), mají na styčné ploše s plechem nalisovány dva dorazy 10x2 dle ČSN 22 6060.01 (poz. 6). Dorazy zajišťují dodržení správného kroku při výrobě. Všechny podpěry jsou k základové desce připevněny dvěma stejnými šrouby jako stopka tažníku. [72; 74; 25]



Obr. 41 Spodní část nástroje

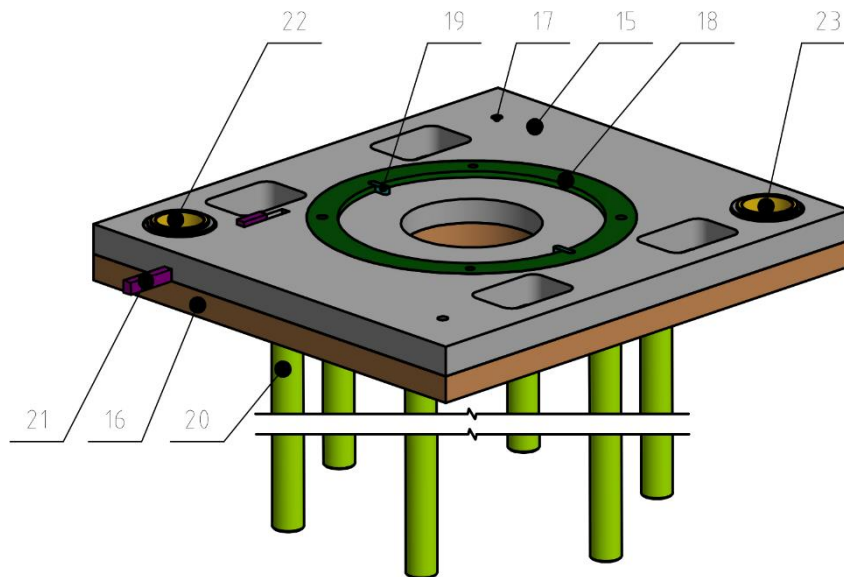
Jelikož by vlivem neustálého kontaktu pásu a vnější hrany sestavy tažnice mohlo při návratu do klidové polohy nástroje docházet k nadzvedávání a ulpívání pásu, jsou na podpěrách připevněny zachycovače (poz. 7). Ty by měly zaručit zadržení pásu plechu v požadované poloze a zabránit jeho nadzvedávání. Jejich připevnění k podpěrám je zajištěno čtyřmi šrouby ČSN EN ISO 7046-2 H M6x20 - 8.8 – H. [72]

Přesné propojení a vedení s dalšími částmi nástroje je dáno dvěma vodícími sloupky E 5000 firmy Meusburger umístěnými do kříže. Jejich délka a konstrukce je stejná, nicméně první sloupek (poz. 9) má vnější průměr 40 mm a druhý (poz. 10) 38 mm. Rozdílnost průměrů je dána výrobcem. Připevnění sloupků je zajištěno excentrickými držáky E 5270 (poz. 11), které jsou přišroubované k základové desce pomocí šroubů E 1226. [75]

Protože se jedná o nástroj vyšších rozměrů, a jeho hmotnost činí 309 kg, jsou k základové desce upevněna čtyři závěsná oka (poz. 13), pomocí kterých bude možné nástroj přesouvat jeřábem, viz příloha 7. Průchozí otvory průměru 35 mm v základové desce jsou pro vodící čepy přídržovače [75].

Střední část nástroje (obr. 42) plní funkci přídržovače a v první fázi zdvihu střížnice. Do desky přídržovače (poz. 15) jsou zasazeny střížné vložky (poz. 18 a 19). Drážková vložka (poz. 19) má osazení, které je usazeno do upínací desky přídržovače (poz. 16). Kruhová vložka je připevněna dvěma šrouby ČSN 02 1143 A M8x35 a její poloha zajištěna dvěma kolíky ČSN EN 22339 A - 8x40, všechny tyto spojovací prvky prochází skrze obě desky. Aby bylo zaručeno dostatečně pevné a přesné spojení obou desek, jsou navíc vzájemně spojeny dvěma šrouby ČSN 02 1143 A M10x30 (poz. 17).

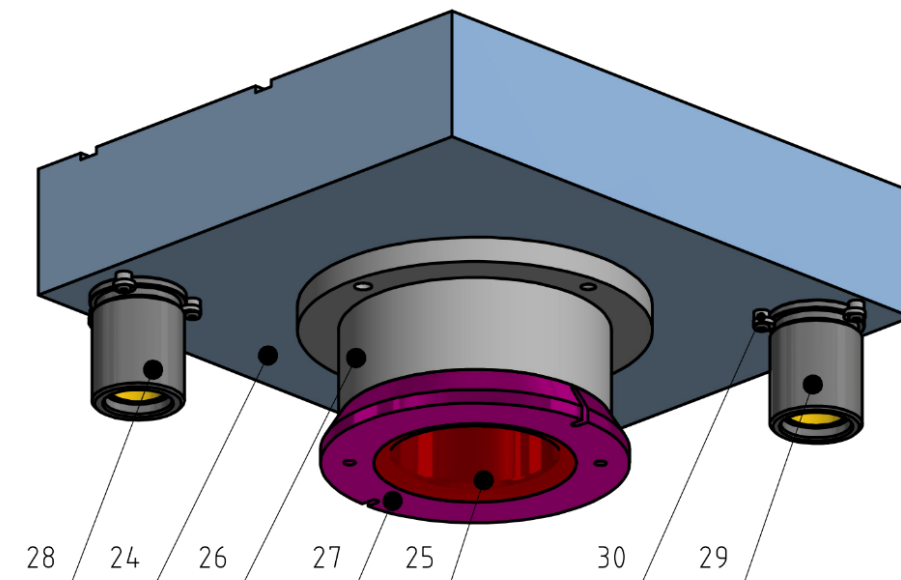
Do desky přídržovače je zasazen načínací doraz (poz. 21), kterým je při prvním cyklu nastavena poloha plechu. Po vyrobení prvního dílu se zpětný doraz vysune mimo operační plochu nástroje [72; 75].



Obr. 42 Střední část nástroje

Vyvození síly a zdvihu přidržovače je dáno šesti vodícími čepy (poz. 20), které jsou volně opřeny o upínací desku přidržovače. Prochází hlavní deskou stroje do jeho spodní části kde je vnitřní píst [76].

Pohyblivé spojení s ostatními částmi nástroje je zajištěno kuličkovým vedením E 5140 (poz. 22 a 23) nalepeným skrze desky. Průměry vedení jsou odpovídající průměrům sloupků. Toto pouzdro bylo zvoleno kvůli svým kompaktním rozměrům, vedení s osazením by překáželo dalším dílům při plném sevření [75].



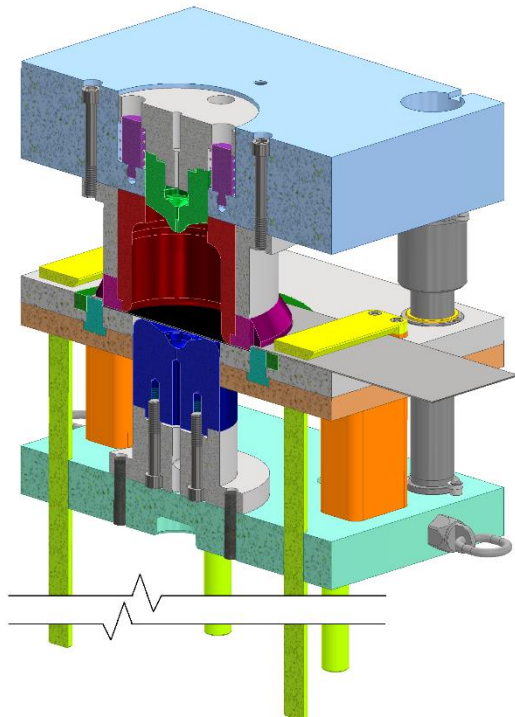
Obr. 43 Horní část nástroje

Horní část (obr. 43) obsahuje upínací desku (poz. 24) SD 80/396x446/ tloušťky 90 a díly k ní upevněné. Nástrojová část obsahující tažnici (poz. 25), střižníkovou vložku (poz. 27) a objímku tažnice (poz. 26) je vzájemně spojena a zaaretována dvěma šrouby ČSN 02 1143 A M8x80 a kolíky ČSN EN 22339 A - 8x100. Následné připevnění k upínací desce zajišťují obdobně dva šrouby a kolíky, nicméně pro vyšší bezpečnost chodu byly zvoleny větší, a to M12x90 a kolík 12x100. Tažnice je navíc zvlášť připevněna k desce čtyřmi šrouby ČSN 02 1143 A M8x25 [75].

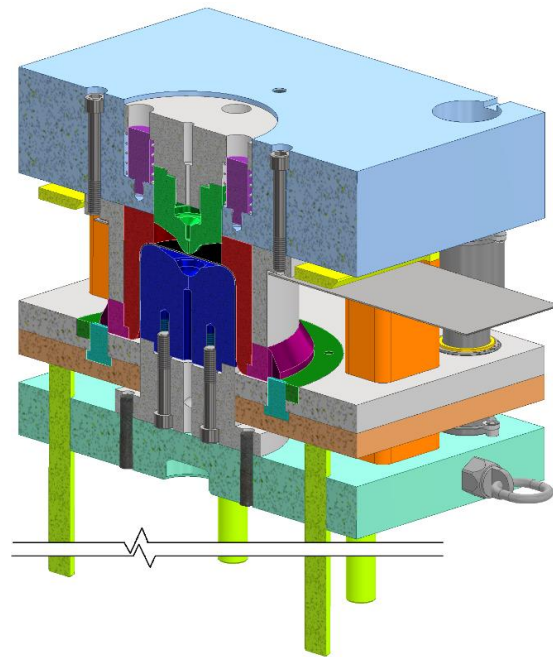
Pohyb a zajištění pozice oproti ostatním částem nástroje zajišťují dvě ložisková vodící pouzdra E5212 (poz. 28 a 29) pasující k vodícím sloupkům. Pouzdra jsou k desce uchycena, stejně jako sloupky, excentrickými držáky E 5270 (poz. 30), které jsou přišroubované k základové desce pomocí šroubů E 1226 [75].

V první fázi výroby pás projede po přídržovači a mezi podpěrou a pevným zachycovačem až po načínací doraz zajišťující správný krok prvního dílce. Doraz je zasouvací, a po prvním kusu bude vysunut mimo pracovní plochu. Při výrobě dalších dílců bude plech zadržen dorazy dle ČSN 22 6060.01 za vystříženou kruhovou hranu plechu [74].

Po ustálení polotovaru vrchní část nástroje sjede o 104 mm do vybrání přídržovače s působením síly 651,5 kN a provede stříh (obr. 45). Přídržovač je v této fázi nepohyblivý.



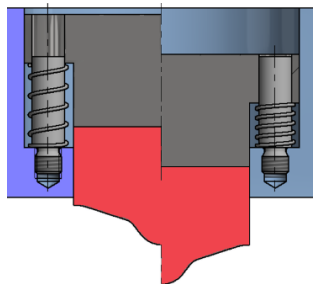
Obr. 45 Střížná operace



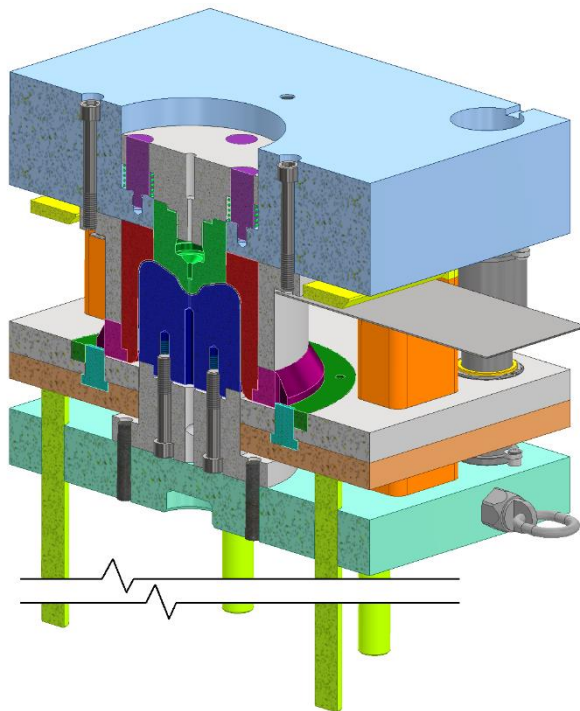
Obr. 44 První tažná operace

Po provedení stříhu je polotovar pro tažení přidržován mezi tažnicí a přídržovačem silou o hodnotě 57 kN. Horní část nástroje pokračuje ve zdvihu jmenovitou silou 221 kN o dalších 91 mm a prování první tah (obr. 44). Přídržovač sjíždí společně s tažnicí a přidržuje přístřih.

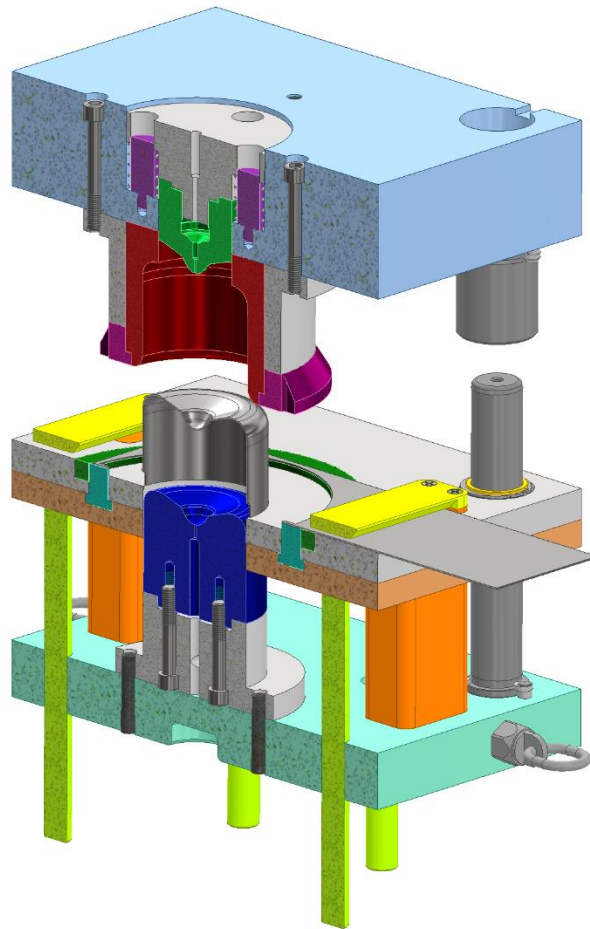
Jakmile je dokončena první tažná operace, dojde k redukci působící síly od tažnice na sílu přidržovací pro zpětný tah – 26 kN. Horní píst stroje vyvolá zdvih 19 mm zpětného tažníku, který provede další tah (obr. 47). Upínací deska zůstává statická. Po provedení zpětného tahu a následného odlehčení tažníku, čtyři vinuté pružiny C12250851500M firmy Sodemann (příloha 6) vrátí zpětný tažník do základní polohy viz obrázek 46 [76; 77].



Obr. 46 Pracovní cyklus pružin zpětného tažníku



Obr. 47 Zpětný tah



Obr. 48 Návrát do výchozí polohy

Pracovní cyklus je ukončen návratem všech částí do základní polohy (obr. 48). Při návratu přídržovač stírá hotový díl z tažníku a vytlačí jej až nad jeho horní hranu. Volný díl je vytlačen robotem nebo odebrán pracovníkem výroby. Po odstranění dalšího dílu dojde k posunu plechu a cyklus je opakován.

Celková konstrukce nástroje je koncipována tak, aby mohlo docházet k jednoduché výměně jeho funkčních částí v případě opotřebení. Krátší trvanlivost je předpokládána u střižných vložek drážky (obr. 21; poz.19). Ty byly proto navrženy způsobem, aby v případě jejich opotřebení mohlo dojít pouze k otočení o 180° ve vodorovném směru.

3.8 Volba lisu

Při výběru lisu jsou hlavními parametry velikost síly a práce. Velikost práce je důležitá zejména pro mechanické lisu. Pokud by síla stroje byla nedostatečná pro tváření dílce, mohlo by dojít k přetížení stroje či poškození nástroje. Z hlediska rozměrů je nutné, aby velikost stolu byla dostatečná pro upnutí nástroje. Posledními parametry pro výběr jsou výška nástroje a jeho pracovní zdvih. Těm odpovídá maximální sevření, kterého je nástroj schopen dosáhnout a jeho zdvih.

Výroba probíhá ve fázích a největší potřebná síla, působená hlavním posuvem stroje, je při střižné operaci $F_s = 652$ kN. Nejvyšší síla spodního vnitřního pístu lisu je 57 kN, jedná se o přídržování prvního tahu F_p . Třetí pohyb lisu je potřebný pro provedení zpětného tahu s potřebnou silou $F_{taz2} = 73$ kN. Sevřená výška nástroje činí 323 mm, což odpovídá minimální sevřené výšce stroje. Nejmenší potřebný zdvih je 195 mm.

Firma ACO má v dispozici vícero lisů firmy Dieffenbacher. Jakožto nejvhodnější z nich vychází hydraulický tažný lis se dvěma spodními přídržovači pro tažení výlisků z nerezového plechu. Ten disponuje horním i spodním přidavným přídržovačem. Z tabulky 5 je patrné, že síly jsou naprosto vyhovující, a to i s dostatečnou bezpečnostní rezervou. Upínání nástroje na stůl a beran je zajištěno magneticky a vystředění kuželovým trnem na stole lisu. Jemu odpovídá otvor ve základové desce nástroje [76]

Další vybavení lisu Dieffenbacher PO 250 [76]:

- rozvody pro pomocné funkce nástrojů – hydraulické + pneumatické
- vyvážecí konzoly

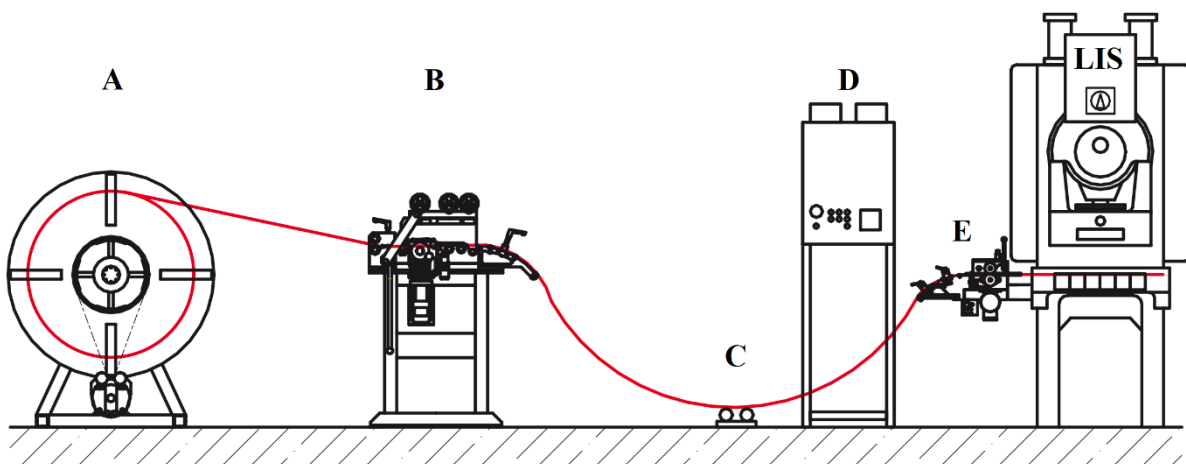
Tab. 5 Parametry lisu [76]

Lis Dieffenbacher PO 250	
Tvářecí síla	2 500 kN
Zdvih	900 mm
Sevřená výška	200 mm
Velikost stolu	1500 x 1200 mm
Tvářecí rychlost	17 mm · s ⁻¹
Spodní přídržovač - vnitřní síla	500 kN
Spodní přídržovač - vnější síla	1000 kN
Síla horního přídržovače	200 kN

3.8.1 Pomocná zařízení

Před stroj je nutné umístit zařízení, jež budou polotovary ve formě svitku připravovat a podávat jej do nástroje. Jako nejvhodnější řešení byla vybrána rovnací a podávací linka ARPL firmy Attl a spol. s.r.o. Parametry linky shrnuty v příloze 8 [78].

Svítek se umístí do odvíjecího bubnu (obr. 49 A), z něj pokračuje do rovnačky (obr. 49 B), ve které dojde k narovnání pásu, který je namotáním na svitek mírně zakřivený. Poté plech projede po senzoru sledování smyčky (obr. 49 C), který zaznamenává kolik materiálu bylo již zpracováno a kolik zbývá. K lisu je připevněn podavač (obr. 49 D) zajišťující správný krok posuvu s přesností chodu $\pm 0,1$ mm/1000 mm. Posledním dílem linky je ovládací panel (obr. 49 E), který celý chod řídí [78].



Obr. 49 Automatizovaná linka ARPL [79]

Jelikož nedochází k dělení pásu plechu v nástroji, je nutné za stroj umístit zařízení, jenž jej rozdělí na menší kusy. V tomto případě se jako nejvhodnější jeví takzvané šrotovací nůžky.

Jako vhodné řešení byly vybrány nůžky firmy Gensco Equipment DTX 300 (obr. 50). Jejich parametry jsou shrnuty v tabulce 6. Jmenovitá síla nůžek i délka břitu jsou pro daný pás naprosto dostačující. K zařízení je navíc dodáván přídatný dopravník, po kterém bude plech z nástroje posouván na pracovní část nůžek [80].



Obr. 50 Šrotovací nůžky Gensco Equipment DTX 300 [80]

Tab. 6 Základní parametry nůžek Gensco Equipment DTX 300 [80]

Délka břitu	Maximální střižná síla	Zdvihů za minutu	Hmotnost
[mm]	[kN]	zdvih/min ⁻¹	[kg]
300	951	max 60	840

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Cílem technicko ekonomického zhodnocení je stanovení výrobních nákladů a určení ekonomické návratnosti. Tou se rozumí počet kusů, při kterém dojde k nahrazení vstupních nákladů a výroba začne být výtěžná.

Do zhodnocení nebudou započítány náklady na pořízení lisu a zařízení k němu přidružených, jelikož jimi firma ACO Industries k.s. již disponuje. Veškeré odhadované hodnoty byly konzultovány s pracovníkem strategie výroby. Původně navržená série 150 000 ks/rok bude přizpůsobena vybranému polotovaru. Navýší se o počet dílů, které je možné ze zbytku svitku zhotovit. Dále bude uvažována zmetkovitost 1,5 %. Nová velikost série n_d je tudíž:

$$n_d = n_{vsv} \cdot n_{sv} \cdot 0,985 = 12146 \cdot 13 \cdot 0,985 = 155\,529 \text{ ks}, \quad (4.1)$$

kde: S_v - plocha výstřížku, hodnota ze softwaru Autocad Inventor [mm^2].

Jako první budou stanoveny náklady na vstupní materiál pro výrobu. Stanovení hmotnosti svitku m_{sv} se určí:

$$m_{sv} = V_{sv} \cdot \rho_{sv} \cdot n_{sv} = 0,7255 \cdot 7900 \cdot 13 = 74\,508,85 \text{ kg}, \quad (4.2)$$

kde: ρ_{sv} - hustota materiálu – 7900 [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$].

Stanovení ceny svitků C_{sv} [81]:

$$C_{sv} = m_{sv} \cdot c_{mat} = 74508,85 \cdot 174,28 = 12\,985\,402 \text{ Kč}, \quad (4.3)$$

kde: c_{mat} - cena za kg materiálu, poptávka na MONTAN OCEL, s r.o. [Kč].

Stanovení hmotnosti odpadu m_{od} :

$$\begin{aligned} m_{od} &= m_{sv} - m_{dílů} = m_{sv} - (n_d \cdot m_d) = \\ &= 74508,85 - (155529 \cdot 0,326) = 23806,4 \text{ kg}, \end{aligned} \quad (4.4)$$

kde: $m_{dílů}$ - hmotnost dílce [kg].

Zisk za odpad C_{od} , dle aktuální výkupní ceny [82]:

$$C_{od} = m_{od} \cdot c_{vykup} = 23806,4 \cdot 40 = 952\,256 \text{ Kč}, \quad (4.5)$$

kde: c_{vykup} - výkupní cena odpadu [Kč za kg].

Náklady na vstupní materiál C_{mat} :

$$C_{mat} = C_{sv} - C_{od} = 12\,985\,402 - 952\,256 = 12\,033\,146 \text{ Kč}. \quad (4.6)$$

Cena materiálu jednoho dílce C_{md} :

$$C_{md} = \frac{C_{mat}}{n_d} = \frac{12\,033\,146}{155\,529} = 77,4 \text{ Kč}. \quad (4.7)$$

Náklady na zhotovení nástroje obsahují cenu materiálu, náklady na konstrukci a výrobu, normalizovaných dílů firmy Meusburger a pružin pro zpětný tažník. Jejich hodnoty jsou zjištěné přímo od výrobců. Konstrukce nástroje s odhadnutím zpracování kompletní výkresové dokumentace t_{kon} je 250 hodin. Hodinová sazba konstrukce M_{kon} včetně započtení režijních nákladů stanovena 800 Kč/hod. Náklady na konstrukci C_{kon} :

$$C_{kon} = M_{kon} \cdot t_{kon} = 250 \cdot 800 = 200\,000 \text{ Kč}. \quad (4.8)$$

Doba výroby navržených dílů t_v nástroje byla odhadnuta, dle jejich počtu, rozměrů, geometrie a materiálu, na 100 hodin. Hodinová sazba obrábění nástrojů brána 1000 Kč/hod. Náklady na zhotovení nástrojů tedy C_{vn} [83]:

$$C_{vn} = M_{z_{nas}} \cdot t_v = 1000 \cdot 100 = 100\,000 \text{ Kč}, \quad (4.9)$$

kde: $M_{z_{nas}}$ - hodinová sazba obrábění nástrojů [Kč/hod].

Na výrobu ostatních navržených dílů jsou kladeny nižší nároky. Z nakoupených dílů je nutné doobrobení desek pro konkrétní potřeby konstrukce nástroje. Dle geometrie a objemu materiálu desek a dalších dílů byla doba jejich obrábění stanovena na 160 hodin, hodinová sazba obrábění nástrojů M_{obr} stanovena na 750 Kč/hod [83].

Náklady na výrobu dílů a dokončení desek C_{dok} [83]:

$$C_{dok} = M_{obr} \cdot t_{vd} = 750 \cdot 160 = 120\,000 \text{ Kč}, \quad (4.10)$$

t_{vd} - doba dokončení dílů a desek [hod].

Zisk výrobce vyrábějícího díly a nástroje C_{zv} , odborným odhadem 20 %:

$$C_{zv} = (C_{vn} + C_{dok}) \cdot 0,2 = (100\,000 + 120\,000) \cdot 0,2 = 44\,000 \text{ Kč}. \quad (4.11)$$

Režie obráběcí firmy C_{ro} ve formě 25 %:

$$C_{ro} = (C_{vn} + C_{dok}) \cdot 0,25 = (100\,000 + 120\,000) \cdot 0,25 = 55\,000 \text{ Kč}. \quad (4.12)$$

Tab. 7 Cena normalizovaných dílů [75]

Normalizované díly			
Díl	ks	Cena za kus [Kč]	Cena za díly [Kč]
Vodící sloupek E5000/38x250	1	2645,0	2645,0
Vodící sloupek E5000/40x250	1	2645,0	2645,0
Dorazová podložka E290/50/25	2	126,1	252,1
Vedení E5140/38x47	1	1396,7	1396,7
Vedení E5140/40x47	1	1396,7	1396,7
Vedení E5212/38x45/80/120	1	4721,5	4721,5
Vedení E5212/40x45/80/120	1	4721,5	4721,5
Klec vedení E5202/38x45	1	1001,2	1001,2
Klec vedení E5202/40x45	1	1001,2	1001,2
Excentrický držák E5270/6/6	12	63,0	756,4
Šroub držáku	12	5,7	68,2
Základová deska SD 40 396/446	1	10407,1	10407,1
Upínací deska SD 80 396/446	1	13027,4	13027,4
Pružiny C12250851500M	4	336,21	1344,84
Celková cena: [Kč]			45 385 Kč

Tab. 8 Využití materiálu a jejich cena [84]

Náklady na materiály nástroje			
Ocel	[kg]	cena za kg [Kč/kg]	Náklady [Kč]
19 436	56	130	7280
11 500	93	36	3348
15 142	13	42	546
Σ			11 174 Kč

Nástroj obsahuje velký počet spojovacích dílů. Jejich cena byla stanovena na 573 Kč. Výsledná cena nástroje C_n bude navýšena o 15 %, s ohledem na jeho montáž a přepravu a seřízení, finální cena nástroje [85]:

$$\begin{aligned}
 C_n &= (C_{kon} + C_{vn} + C_{dok} + C_{ro} + C_{zv} + C_{mn} + C_d + C_{spoj}) \cdot 1,15 = \\
 &= (200000 + 100000 + 120\,000 + 55\,000 + 44\,000 + \\
 &\quad + 11174 + 45385 + 573) \cdot 1,15 = 662\,552 \text{ Kč}
 \end{aligned}
 \tag{4.13}$$

kde: C_d - náklady na normalizované díly [Kč],
 C_{spoj} - náklady na spojovací díly [Kč],
 C_{mn} - náklady na materiály nástroje [Kč].

Celková doba zdvihu a navrácení nástroje do výchozí polohy je, dle rychlosti lisu a zdvihu nástroje, 25 s. Doba pro pracovníka výroby na odebrání dílce z lisu je 20 s, doba na výrobu jednoho dílce N_{zd} [76]:

$$N_{zd} = t_{zd} + t_{prac} = 25 + 20 = 45s \rightarrow 0,75 \text{ min.} \tag{4.14}$$

Výroba bude probíhat ve dvousměnném provozu, kde je čistá doba směny 11 h. Počet dílců za směnu N_a , se započítáním vytížení stroje 85 %, je:

$$N_d = t_{sm} \cdot \frac{60}{N_{zd}} \cdot 0,85 = 11 \cdot \frac{60}{0,75} \cdot 0,85 = 748 \text{ ks,} \tag{4.15}$$

kde: t_{sm} - doba směny [h].

Počet směn na zhotovení celé série N_{sm} :

$$N_{sm} = \frac{n_d}{N_d} = \frac{155\,529}{748} = 208 \text{ směn.} \tag{4.16}$$

Hodinová sazba stroje je stanovena na 1200 Kč/hod, obsahuje odpis stroje, mzdu pracovníka a energie. Náklady na stroj C_{stroj} [83]:

$$C_{stroj} = M_{stroj} \cdot N_{sm} \cdot t_{sm} = 1200 \cdot 208 \cdot 11 = 2\,745\,600 \text{ Kč,} \tag{4.17}$$

kde: M_{stroj} - hodinová sazba lisu [Kč/hod].

Následuje stanovení režijních nákladů výroby C_r . Ty byly dle odborného odhadu stanoveny na 25 %. Režijní náklady tedy:

$$C_r = C_{stroj} \cdot 0,25 = 2\,745\,600 \cdot 0,25 = 686\,400 \text{ Kč.} \tag{4.18}$$

Mezi fixní náklady se řadí pouze cena nástroje, která je 662 552 Kč.

Variabilní náklady C_{var} se stanoví:

$$\begin{aligned} C_{var} &= C_{stroj} + C_r + C_{mat} = \\ &= 2\,745\,600 + 686\,400 + 12\,033\,146 = 15\,465\,146 \text{ Kč.} \end{aligned} \quad (4.19)$$

Variabilní náklady na jeden kus $C_{var;kus}$:

$$C_{var;kus} = \frac{C_{var}}{n_d} = \frac{15\,465\,146}{155\,529} = 99,44 \text{ Kč.} \quad (4.20)$$

Náklady na jeden kus C_{nkus} :

$$C_{nkus} = \frac{C_{var} + C_n}{n_d} = \frac{15\,465\,146 + 662\,552}{155\,529} = 103,7 \text{ Kč.} \quad (4.21)$$

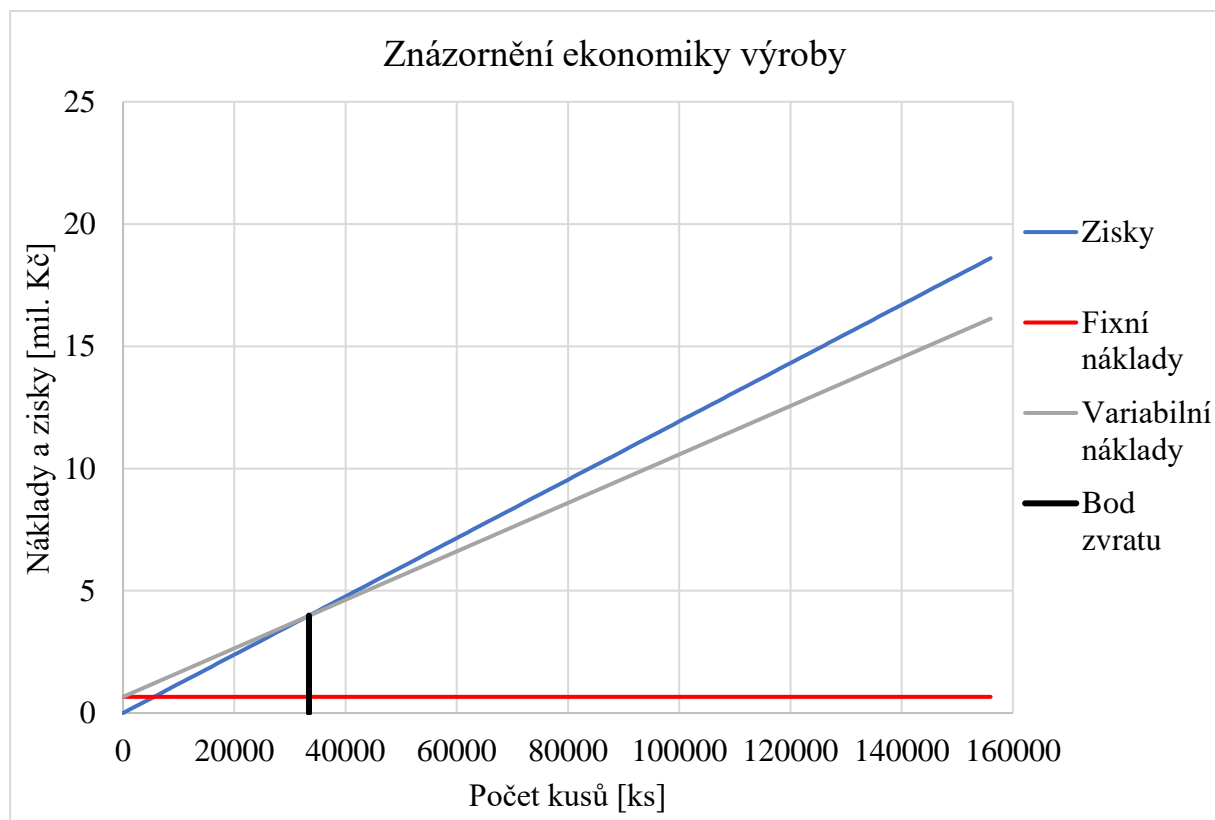
Kompletní sestava sifonu se aktuálně prodává za 1500 Kč. Cena za další části není známá. Při zjednodušené úvaze, že prodejní cena a náklady všech tří dílů jsou identické, a započtou se náklady na svaření a očištění svarové plochy, lze předpokládat zisk přibližně 15 % [86].

Prodejní cena kusu C_{kus} :

$$\begin{aligned} C_{kus} &= C_{nkus} + (0,15 \cdot C_{nkus}) = \\ &= 103,7 + (0,15 \cdot 103,7) = 119,26 \text{ Kč.} \end{aligned} \quad (4.22)$$

Stanovení bodu zvratu:

$$BZ = \frac{C_n}{C_{kus} - C_{var;kus}} = \frac{662\,552}{119,26 - 99,44} = 33\,428 \text{ ks.} \quad (4.23)$$



Obr. 51 Graf bodu zvratu

ZÁVĚR

Řešenou součástí je těleso pachového uzávěru odvodňovací vpusti vyráběné firmou ACO Industries, k.s. S ohledem na působení dílce v korozním prostředí byla vybrána chrom – niklová austenitická ocel s označením 1.4301 o tloušťce 1,25 mm. Velikost výrobní série byla stanovena na 150 000 kusů ročně.

Po posouzení tvaru, materiálu a velikosti bylo navrženo vícero variant výroby, jimiž by bylo možné dílec zhotovit. Jako nejvhodnější z nich bylo vybráno hluboké tažení bez ztenčení stěny a stříhání pro přípravu jeho polotovaru.

V návrhové části byl stanoven rozměr přístřihu zvětšený o přídavek na ostřížení o průměru 212 mm. Následně byly navrženy možné postupy tažení, z nichž byla jako nejvýhodnější vybrána varianta postupu, ve které bude kontura dna zhotovena zpětným tahem. S výběrem této varianty vyplynula nutnost využití trojčinného lisu. Na základě této skutečnosti bylo rozhodnuto o sloučení obou technologií výroby do jednoho nástroje.

Využití vstupního materiálu bylo stanoveno pro vícero rozměrů sviteků i tabulí, přičemž jako nejvýhodnější vyšel svitek o vnějším průměru 2100 mm a vnitřním 480 mm. Jeho využití vychází 73,6 %. Pro zhotovení navržené série je nutné zakoupit 13 kusů.

V dalším postupu byly stanoveny technologické výpočty parametrů výroby. Hodnoty obou tažných sil vychází, při porovnání s hodnou síly protržení dna, menší. Nemělo by tudíž dojít k porušení materiálu. Následně navržený nástroj dílec zhotoví během jednoho zdvihu ve třech operacích. Jeho konstrukce je navržena tak, aby bylo možné všechny funkční součásti trpící opotřebením jednoduše opravit či vyměnit.

Pro výrobu dílce byl zvolen trojčinný hydraulický lis Dieffenbacher PO 250 dostupný ve firmě ACO Industries, k.s. Jeho parametry odpovídají potřebným silovým a konstrukčním požadavkům. Doba výroby jednoho dílce, dle parametrů stroje, nástroje a předpokládané obsluhy byla stanovena na 45 s, a to včetně navrácení nástroje do výchozí polohy.

V poslední části práce bylo provedeno technicko – ekonomické hodnocení výroby. To bylo zhotoveno pouze pro řešený dílec, náklady na ostatní dílce sestavy byly odhadnuty. Fixní náklady výroby byly stanoveny na 864 198 Kč, variabilní na 15 465 146 Kč. Z nákladů je patrný teoretický předpoklad, že většinu nákladů tvoří vstupní materiál. V tomto případě téměř 74 %. Dle celkových nákladů na dílec, 105 Kč, byla stanovena prodejní cena 121 Kč. Při které nastane bod zvratu po prodeji 40 554 kusů.

Navržený postup a nástroj by měl vést k výraznému technologickému i ekonomickému zefektivnění výroby. Před jejím zahájením je doporučeno provést numerické simulace procesu, případně zkušební sérii. Dalším krokem k navýšení efektivity by mohlo být nahrazení pracovníka obsluhy lisu robotem, který by vyhazoval zhotovené dílce mimo prostor lisu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. TOUFAR, Jan. *Výroba zarážky* [online]. Brno, 2021 [cit. 2020-09-08]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129712>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.
2. Strojírenství. *Industry EU, s.r.o.* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.industry-eu.cz/strojirenstvi/>
3. LENFELD, Petr. *Technologie II: Technologie tváření kovů* [online]. Liberec [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/uvod.htm
4. Akademie tváření: Hluboké tažení. TATÍČEK, František. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011, 2011, **2011**(11) [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni>
5. Intro to Sheet Metal Forming: From Prototyping to Production. *Formlabs* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://formlabs.com/blog/sheet-metal-forming/>
6. Sheet Metal Stamping Parts Components. In: *Made-in-china* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://image.made-in-china.com/44f3j00TiiEAlPtJhqK/Hot-Sale-OEM-Metal-Sheet-Metal-Stamping-Parts-Components.jpg>
7. Dental bowl deep draw. In: *Not just taps* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.notjusttaps.co.uk/user/products/large/dental-bowl-deep-draw.jpg>
8. Sink. In: *AMPCO Academy* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://academy.ampcometal.com/hs-fs/hubfs/AMPCO%20Images/Metal%20forming/sink%20.jpg?width=507&name=sink%20.jpg>
9. ACO Foul Air Trap Stainless Steel: EG150 Gully. In: <https://www.drainagesuperstore.co.uk/> [online]. [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://static.cmostores.com/uploads/products/3/1/5758.jpg?auto=compress&w=800&h=800&_ga=2.189891304.2129484553.1636210270-337476522.1636209911
10. *ACO Gully 157: fixed and adjustable height gullies* [online]. ACO [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.acogully.com.au/products/aco-gully-157/#GullyBody>
11. ČSN ISO 2768-1. *Všeobecné tolerance. Nepředepsané mezní úchylnky délkových a úhlových rozměrů*. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 1992. Třídící znak 014240.
12. ČSN EN 10088-2. *Korozivzdorné oceli - Část 2: Technické dodací podmínky pro plechy a pásy z oceli odolných korozi pro obecné použití*. Praha: Federální úřad pro normalizaci a měření, 2015. Třídící znak 420927.
13. Jakosti nerezových materiálů. *3Q Metal s.r.o.* [online]. Libišany [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: <https://www.inerez.cz/jakosti-nerezovych-materialu/>
14. *Cr-Ni austenitická ocel odolná korozi: Materiálový list* [online]. In: . s. 1-5 [cit. 2022-05-17]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRjhvvhWt6GT3USXlrODF32bS3UUhLnzl00RA9x7p75N8MGgz73w
15. Waterjet Cutting 101. *Boulder Engineering Studio* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.boulderes.com/resource-library/waterjet-cutting-101>

16. Řezání vodním paprskem. BOUDA, Luděk. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008, (7,8) [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rezani-vodnim-paprskem>
17. Hydroabrazivní paprsek. In: <https://chps.cz/> [online]. Chomutov [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://chps.cz/deleni-materialu/>
18. Jak nejlépe řezat ocelové plechy. BOUDA, Luděk. *VZDĚLÁVACÍ CENTRUM SPOLEČNOSTI ESAB* [online]. 2008 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.esab.cz/cz/cz/education/blog/what-is-the-best-way-to-cut-steel-plate.cfm>
19. Autogen, plazma či laser?. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2018, (1) [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/autogen-plazma-ci-laser.html?fbclid=IwAR2dTurdIII7OjkMsBECEPFoJksCDBBDukhelx1Kguk2YEmU6x-LP9HhhU0>. Kód článku: 180133.
20. CO2 Laser Cutting Thickness & Speed Chart: (25-200W). *Artizono* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://artizono.com/co2-laser-cutting-thickness-speed-chart/>
21. Water Jet Cutting. In: *Sciencemark* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://sciencemark.org/wp-content/uploads/2019/11/Water-Jet-Cutting01.jpg>
22. Laser Cutting. In: *All3dp* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://i.all3dp.com/cdn-cgi/image/fit=cover,w=1200,h=675,gravity=0.5x0.5,format=auto/wp-content/uploads/2019/08/30155631/laser-cutting-basics-soulcraftcleorg-190828.jpg>
23. Plasma Cutting table. In: *Www.westermans* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.westermans.com/blog/wp-content/uploads/2019/09/plasma-cutting-table-1.jpg>
24. MATTHEWS, Sami, Amir TOGHYANI, Mikael OLLIKAINEN, Panu TANNINEN, Ville LEMINEN a Juha VARIS. Effect of Stamping Clearance in Rapid CNC Punching of WPC Sheets. *Procedia manufacturing* [online]. Elsevier B.V, 2020, **47**, 51-54 [cit. 2022-05-19]. ISSN 2351-9789. Dostupné z: doi:10.1016/j.promfg.2020.04.122
25. ULINTZ, Peter. Technology Advances in Metal Stamping. *Metal forming magazine* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.metalformingmagazine.com/article/?/quality-control/quality-systems/technology-advances-in-metal-stamping>
26. Vysekavani. In: *Kavale* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://kavale.cz/wp-content/uploads/2019/03/AdobeStock_3779205-vysekavani-1170x694.jpg
27. Metal press tool. In: *5.iming* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://5.imimg.com/data5/QX/YY/MY-18066085/metal-press-tool-500x500.jpg>
28. Rotační tlačené plechu s povrchovou úpravou. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001, (7,8) [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rotacni-tlaceni-plechu-s-povrchovou-upravou>
29. KANDIL, Anwar. An experimental study of hydroforming deep drawing. *Journal of materials processing technology* [online]. Elsevier B.V, 2003, **134**(1), 70-80 [cit. 2022-05-19]. ISSN 0924-0136. Dostupné z: doi:10.1016/S0924-0136(02)00922-6
30. PODANÝ, Kamil, Jan ŘIHÁČEK a Eva PETERKOVÁ. Kapalina jako tvářecí medium. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2019, (1,2) [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/kapalina-jako-tvareci-medium>

31. Principle of sheet hydroforming. In: *Researchgate* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/333933380/figure/fig2/AS:772286143557634@1561138773281/Principle-of-sheet-hydroforming-a-hydro-deep-drawing-and-b-fluid-punch-drawing.png>
32. Kovotlačení. In: *První strojírenský portál* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.engineering.sk/images/stories/2019/12-december/kovotlac/obr1.jpg>
33. Deep drawing principle. In: *Manufacturing Guide Sweden AB* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/sites/default/files/styles/illustration/public/illustrations/djupdragning.png?itok=3VfB4OLM>
34. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání - teoretický základ: Tažení složitých výtažků* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2022-05-17]. ISBN 978-80-248-3015-5. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie%20tv%C3%A1%C5%99en%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/7.%20TA%C5%BDEN%C3%8D%20SLO%C5%BDIT%C3%9DCH%20V%C3%9DTA%C5%BDK%C5%AE.pdf
35. Deep Drawing. *The Open University* [online]. 2017 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/deep-drawing>
36. Metal stamping and die design: Deep drawing. *Machinemfg* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.machinemfg.com/metal-stamping-and-die-design-deep-drawing/>
37. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 0-831 1-3182-9.
38. *Metal forming handbook*. Berlin: Springer, 1998, 563 s. ISBN 3-540-61185-1.
39. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
40. FINDA, Luděk a Roman HALTUF. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2010, **2010**(6), 1 [cit. 2019-11-24]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
41. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN ISBN978-80-7231-579-6.
42. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s. : il.
43. 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.
44. ČADA, Radek. *Technologie I* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007 [cit. 2022-05-19]. ISBN 978-80-248-1507-7. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TECH1/Technologie-I.pdf>
45. GAJDOŠ, František. *Teorie tváření: návody do cvičení*. Praha: MON, 1989, 60 s. : il. ISBN 80-214-1032-9.

46. ŠPAČEK, Jindřich a Ladislav ŽÁK. *Speciální technologie I a II: návody do cvičení - část*. Praha: VUT Brno, 1991, 109 s. : il., tabulky, grafy, schémata. ISBN 80-214-0259-8.
47. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
48. MARCINIAK, Zdislaw, John L. DUNCAN a Jack S. HU. *Mechanics of Sheet Metal Forming*. 2.ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.
49. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-00452-8.
50. GAU, En-zhi, Hong-wei LI, Hong-chao KOU, Hui CHANG, Jin-shan LI a Lian ZHOU. Influences of material parameters on deep drawing of thin-walled hemispheric surface part. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* [online]. Elsevier, 2009, **19**(2), 433-437 [cit. 2022-05-19]. ISSN 1003-6326. Dostupné z: doi:10.1016/S1003-6326(08)60291-5
51. TZOU, Gow-yi, Yeong-maw HWANG, Hua-liang HU, Wen-tung CHIEN a Jeng-jie HU. Study on the Hemisphere Deep Drawing Process of Metal Sheet Based on the FEM Simulation. *AIP conference proceedings* [online]. United States, 2007, **908**(1), 649-654 [cit. 2022-05-19]. ISBN 0735404151. ISSN 0094-243X. Dostupné z: doi:10.1063/1.2740884
52. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a MÁDLE, Luděk. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1990. ISBN 80-03-00221-4.
53. TOMÁŠEK, Jiří. *Směrnice pro stanovení mezních stupňů přetvoření pravidelných tvarů součástí z plechu*. Brno: VUT, 1975, 11 s.
54. ČSN 22 7301. *Lisovací nástroje. Tažení dutých válcových výtazků. Směrnice pro konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1969. Třídící znak 227301.
55. FOREJT, Milan. *TEORIE TVÁŘENÍ: Návody do cvičení SYLABUS* [online]. Brno: VUT FSI, 2004 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hta_theorie_tvareni_navody_do_cviceni_forejt.pdf
56. BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971.
57. Střížný nástroj. In: *Projekt 4 you* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: http://www.projekt4you.cz/img/reference_stroje/hch_1.jpg
58. Tažidlo. In: *Autodesk* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <http://dl36mmdz94630.cloudfront.net/uploads/assets/images/000/044/933/large/ShareToFusion360Hub.jpg?1445783996>
59. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
60. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983, 213 s. : il., tabulky, grafy.
61. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-01-01003-1.
62. LIDMILA, Zdeněk. *Technologické procesy*. Brno: VUT FSI, 2020. [Přednášky].

63. ČSN 22 6015. *Lisovací stroje. Stříhadla a střížné vřle. Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1977. Třídící znak 226015.
64. Rychloběžné hydraulické lisy. JOPEK, Miroslav. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2010, (11) [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rychlobezne-hydraulicke-lisy>
65. VAVERKA, Ivo. *Výroba součástí garážového automatického zamykání sdruženým nástrojem*. Brno, 2014. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí diplomové práce Ing. Eva Peterková, Ph.D. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=84199
66. TRIBOLOGIE. *TRIBOTECHNIKA* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.tribotechnika.cz/index.php/obor/tribologie>
67. BEČKA, Jan. *Tribologie*. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-010-1621-8.
68. GÅÅRD, Anders. *Wear in sheet metal forming* [online]. Karlstad: Karlstad University Faculty of Technology and Science Materials Engineering, 2008 [cit. 2022-05-20]. ISBN 978-91-7063-168-9. Dostupné z: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:5516/FULLTEXT01.pdf>
69. Tooling and Die Wear: Forming. *World Steel Association AISBL* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://ahssinsights.org/forming/tooling/tooling-and-die-wear/>
70. ZBROJOVKA BRNO. LISOVACÍ NÁSTROJE: *Konstrukční směrnice, rozměrové tabulky dílů. ČÁST I*. Brno, 1981.
71. Odvíjecí bubny a odvíjecí zařízení. *Swah* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.swah.cz/profilovaci-linky/odvijeci-bubny-a-odvijeci-zarizeni/>
72. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
73. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky, 1994, 229 s.
74. ČSN 22 6060. *Lisovací nástroje. Dorazy*. Praha: Normalizační institut, 1976. Třídící znak 226060.
75. *Normálie pro lisovací techniku* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.meusburger.com/CS/CZ/zakaznici/die-making/products>
76. *Tvářecí stroje* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://dieffenbacher.cz/upload/Downloads/dieffenbacher_plosne_tvareni_plechu.pdf
77. C12250851500M: Pružina. *Sodemann-pruziny* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.sodemann-pruziny.cz/c12250851500m>
78. *Attl a spol.* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.attl.cz/>
79. *Linky na rovnání pásů ze svitků* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://www.attl.cz/dokumenty/ostatni_produkty-rovnani_pasu.pdf
80. *Šrotovací nůžky* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.genscoequip.com/scrap-metal-alligator-shears>
81. *Svitky* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.montanocel.cz/>

82. *Ceník výkupu kovů* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.druhotnesuroviny.cz/cenik.htm#zelezny-srot>
83. *Mzdy* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://prace.kurzy.cz/urad-prace/volnamista/nastrojar/mzdy>
84. *CBOcel Materiály* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://cbocelshop.cz/>
85. *Spojovací materiály* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://www.briol.cz/>
86. *Ceník ACO Industries k.s.* [online]. [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: https://www.aco.cz/fileadmin/standard/aco.cz/04_Ke_stazeni/Ceniky/Dokumente/ACO_B21_cen%C3%ADk_od_1.7.2021.xlsx
87. Citace Pro. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažnost	[%]
A _e	Rozměr střížnice	[mm]
A _j	Jmenovitý rozměr stříhu	[mm]
A _k	Rozměr střížníku	[mm]
A _s	Střížná práce	[J]
A _t	Tažná práce	[J]
b	Šířka tabule	[mm]
BZ	Bod zvratu	[kus]
c	Koeficient závislý na druhu stříhání	[-]
C _d	Náklady na normalizované díly	[Kč]
C _{dok}	Náklady na zhotovení dílů	[Kč/hod]
C _{kon}	Náklady na konstrukci	[Kč]
C _{kus}	Prodejní cena kusu	[Kč]
c _{mat}	Cena materiálu svitku	[Kč/kg]
C _{mat}	Náklady na vstupní materiál	[Kč]
C _{md}	Cena materiálu jednoho dílce	[Kč]
C _{mn}	Náklady na materiály nástroje	[Kč]
C _n	Cena nástroje	[Kč]
C _{nkus}	Náklady na jeden kus	[Kč]
C _{od}	Zisk za odpad	[Kč]
C _r	Režijní náklady	[Kč]
C _{ro}	Režijní náklady obráběcí firmy	[Kč]
C _{spoj}	Náklady na spojovací díly	[Kč]
C _{stroj}	Náklady na provoz stroje	[Kč]
C _{sv}	Cena za svitky	[Kč]
C _{var}	Variabilní náklady	[Kč]
C _{var;kus}	Variabilní náklady na kus	[Kč]
C _{vn}	Náklady na zhotovení nástrojů	[Kč]
C _{vykup}	Výkupní cena odpadu	[Kč/kg]
C _{zv}	Zisk výrobce dílů	[Kč]
D ₀	Průměr přístříhu	[mm]
D ₀ *	Průměr polotovaru zmenšený o vybrání	[mm]
d ₁	Průměr dílce po prvním tahu	[mm]
d ₁ *	Průměr dna	[mm]
d _{pol}	Průměr polokoule	[mm]
d _s	Střední průměr výtažku	[mm]
D _{svi}	Vnější průměr svitku	[mm]
d _{svi}	Vnitřní průměr svitku	[mm]
d _v	Průměr tyče přidržovače	[mm]
Dσ ₂	Deviátor napětí σ ₂	[Mpa]
f	Součinitel tření	[-]
F _p	Přidržovací síla	[N]

F_{pr}	Síla protržení dna	[N]
F_s	Střižná síla	[N]
F_s^*	Síla působená vložkou drážky	[N]
F_s^{**}	Síla působená kruhovou vložkou	[N]
$F_{taž}$	Tažná síla	[N]
F_v	Síla působící na vedení	[N]
h_{el}	Hloubka elastické deformace	[%]
h_{pl}	Hloubka plastické deformace	[%]
h_s	Hloubka vniknutí při stříhu	[mm]
h_t	Výška výtažku před zpětným tahem	[mm]
h_t	Výška dílce	[mm]
J_v	Kvadratický moment průřezu	[mm ⁴]
k	Krok	[mm]
k_p	Součinitel nutnosti požití přidržovače	[-]
l_{krit}	Kritická délka	[mm]
L_{svi}	Délka svitku	[mm]
l_t	Délka tyče	[mm]
m	Mezera	[mm]
m_c	Celkový součinitel tažení	[-]
m_i	Součinitel tažení pro i-tý tah	[-]
M_{kon}	Hodinová sazba konstrukce	[Kč/hod]
M_{obr}	Hodinová sazba obrábění nástrojů	[Kč/hod]
m_{od}	Hmotnost odpadu	[kg]
M_{stroj}	Hodinová sazba stroje	[Kč/hod]
m_{sv}	Hmotnost svitku	[kg]
m_v	Hmotnost výrobku	[kg]
MZ_{nas}	Hodinová sazba obrábění nástrojů	[Kč/hod]
n	Mústek	[mm]
n_b	Koeficient vzpěrné délky	[-]
n_d	Upravená velikost série	[ks]
N_d	Počet dílců za směnu	[kus]
n_{pi}	Počet pásů z tabule	[ks]
N_{sm}	Počet směn na zhotovená série	[-]
n_{svi}	Potřebný počet svitků	[ks]
n_{ti}	Potřebný počet tabulí	[ks]
n_{vpi}	Počet přístřihů z pásu	[ks]
n_{vsvi}	Počet výstřížků na svitku	[ks]
n_{vti}	Počet přístřihů z tabule	[ks]
N_{zd}	Doba zdvihu stroje	[min ⁻¹]
p_p	Tlak přidržovače	[Mpa]
Q	Počet kusů série	[ks]
R	Zmenšení vnějšího průměru polotovaru	[mm]
R	Zmenšení vnějšího průměru polotovaru	[mm]
R_0	Poloměr polotovar	[mm]
R_a	Koeficient deformace šířky ku tloušťce	[-]

R _m	Mez pevnosti	[Mpa]
R _{p0,2}	Smluvní mez kluzu	[Mpa]
R _s	Poloměr dílce	[mm]
r _t	Zaoblení hrany tažnice	[mm]
S _c	Celková plocha výtažku	[mm ²]
S _p	Plocha přidržovače	[mm ²]
S _s	Plocha stříhu	[mm ²]
S _{sd}	Plocha styčné části střížné vložky drážky	[mm ²]
S _{sv}	Plocha styčné části střížné vložky střížnice	[mm ²]
S _{vi}	Plocha výstřížku	[mm ²]
š	Šířka pásu plechu	[mm]
t	Tloušťka materiálu	[mm]
t _{kon}	Časová náročnost konstrukce	[hod]
T _r	Poměrná tloušťka materiálu	[-]
t _{sm}	Doba směny	[hod]
t _v	Časová náročnost výroby nástrojů	[hod]
t _{vd}	Časová náročnost výroby dílů	[hod]
v	Střížná vůle	[mm]
V _{svi}	Objem svitku	[mm ³]
x _a	Koeficient střížné práce	[-]
X _{dt}	Poměr průměru polokoule a tloušťky	[-]
Z	Materiálová konstanta dle ČSN 22 7301	[-]
z	Střížná mezera	[mm]
z _t	Tažná mezera	[mm]
z _{to}	Tažná mezera dle Oehlera	[mm]
Δ	Tolerance jmenovitého rozměru	[mm]
α	Kuželovitost dílce	[°]
γ _i	Empiricky získaný koeficient	[-]
δ _e	Tolerance střížnice	[mm]
δ _k	Tolerance střížníku	[mm]
ε _y	Deformace šířky	[-]
ε _z	Deformace tloušťky	[-]
ζ	Lodeho součinitel tažení	[-]
η _{sv}	Využití svitku	[%]
η _{ti}	Využití tabule	[%]
ρ	Hustota	[kg · m ⁻³]
ρ'	Koeficient poměrného zmenšení průměru polotovaru	[-]
ρ _{sv}	Hustota materiálu svitku	[kg · m ⁻³]
σ ₁	Tahové napětí	[Mpa]
σ ₂	Střední napětí	[Mpa]
σ ₃	Tlakové napětí	[Mpa]
σ _{dmax}	Maximální deformační odpor	[Mpa]
σ _{dov}	Dovolené napětí	[Mpa]
σ _{otd}	Napětí na střížné vložce drážky	[Mpa]

σ_{otv}	Napětí na střižné vložce střižníku	[Mpa]
σ_{ps}	Střední hodnota přetvárného odporu	[Mpa]
τ_{max}	Maximální smykové napětí	[Mpa]
τ_s	Mez pevnosti ve stříhu	[Mpa]
ψ_{krc}	Počátek tvorby krčku	[-]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres ACO Industries, k.s.
Příloha 2	Součinitele tažení [37].
Příloha 3	Tabulka koeficientu střižné práce [56].
Příloha 4	Tabulka průměrných hodnot třetí pro tvářené materiály [37].
Příloha 5	Parametry odvíjecího bubnu [71].
Příloha 6	Pružina C12250851500M [77]
Příloha 7	Závěsné oko otočné a výkyvné [75]
Příloha 8	Parametry podávací linky [79]
Příloha 9	Tabulka střižné vůle [37]
Příloha 10	Graf střižné vůle [40]

Seznam výkresů

Dílec E23319;	2022-DP-191922-D01
Nástroj E23319;	2022-DP-191922-S01
Kusovník;	2022-DP-191922-K01
Tažnice;	2022-DP-191922-V01
Tažník;	2022-DP-191922-V02
Zpětný tažník;	2022-DP-191922-V03

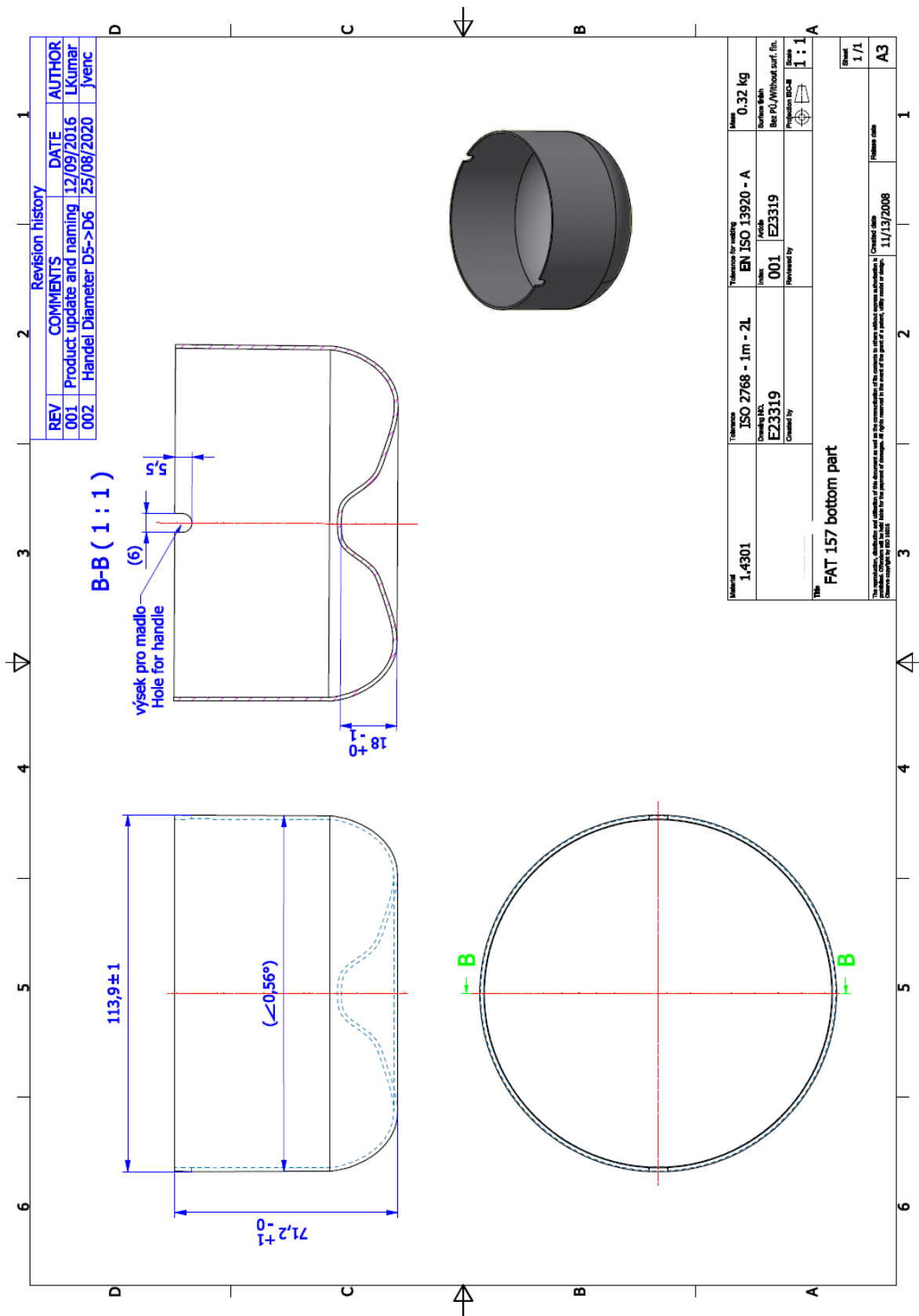


Table 6.2 Optimal ratio m for drawing a cylindrical cup without flange.

Ratio of drawing M	Relative thickness of the material $T_r = \frac{t}{D} 100\%$					
	2.0 - 1.5	1.5 - 1.0	1.0 - 0.6	0.6 - 0.3	0.3 - 0.15	0.15 - 0.08
$m1=ds1/D$	0.48-0.50	0.50-0.53	0.53-0.55	0.55-0.58	0.58-0.60	0.60-0.63
$m2=ds2/ds1$	0.73-0.75	0.75-0.76	0.76-0.78	0.78-0.79	0.79-0.80	0.80-0.82
$m3=ds3/ds2$	0.76-0.78	0.78-0.79	0.79-0.80	0.81-0.82	0.81-0.82	0.80-0.84
$m4=ds4/ds3$	0.78-0.80	0.80-0.81	0.81-0.82	0.80-0.83	0.83-0.85	0.85-0.86
$m5=ds5/ds4$	0.80-0.82	0.82-0.84	0.84-0.85	0.85-0.86	0.86-0.87	0.87-0.88

Materiál	Tloušťka sřížaného materiálu [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
ocel $R_m = (250 \div 350)$ Mpa	0,70 ÷ 0,75	0,65 ÷ 0,70	0,55 ÷ 0,65	0,40 ÷ 0,55
ocel $R_m = (350 \div 500)$ Mpa	0,60 ÷ 0,65	0,55 ÷ 0,60	0,45 ÷ 0,55	0,35 ÷ 0,45
ocel $R_m = (500 \div 700)$ Mpa	0,47 ÷ 0,50	0,45 ÷ 0,47	0,35 ÷ 0,45	0,25 ÷ 0,35

LUBRICANT	DRAWING MATERIAL		
	Steel	Aluminum	Duralumin
Mineral oil	0.14 to 0.16	0.15	0.16
Vegetable oil		0.10	
Graphite grease	0.06 to 0.10	0.10	0.08 to 0.10
No lubricant	0.18 to 0.20	0.35	0.22



Odvíjecí buben svislý – 2t

Maximální nosnost: 2000kg

Rozměry otvoru svitku: 480 – 650mm

Maximální vnější průměr svitku: 2100mm

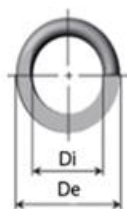
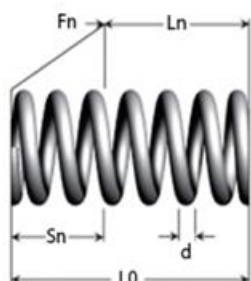
Maximální šíře svitku: 400mm

Rozměry: 920x1350x1950

Hmotnost bubnu: 360kg

Rozevírání vřetene: manuální, otáčením středové matice

Volitelné příslušenství: přitlačné rameno, pohon



Materiál	Strunový drát
d - Průměr drátu (mm)	2.16
De - Vnější průměr (mm)	31.12
Di - Vnitřní průměr (mm)	26.80
L0 - Délka bez zatížení (mm)	38.10
Ln - Max. délka při zatížení (mm)	19.28
Sn - Maximální zdvih (mm)	18.82
Fn - Maximální zatížení při Ln (N)	64.05
R - Tuhost pružiny (N/mm)	3.40
Řada	B

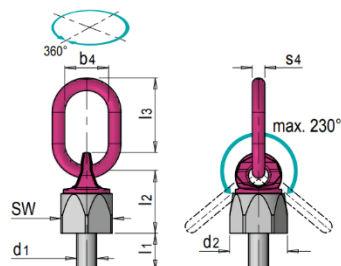
meusburger

REVOLVABLE AND TILTABLE EYE BOLT



PRODUCT DESCRIPTION

- » Loadable in any direction
- » Safety factor 4:1
- » Revolvable under load in vertical direction
- » All load-bearing parts are 100% crack tested and proof load tested according to EN 1677



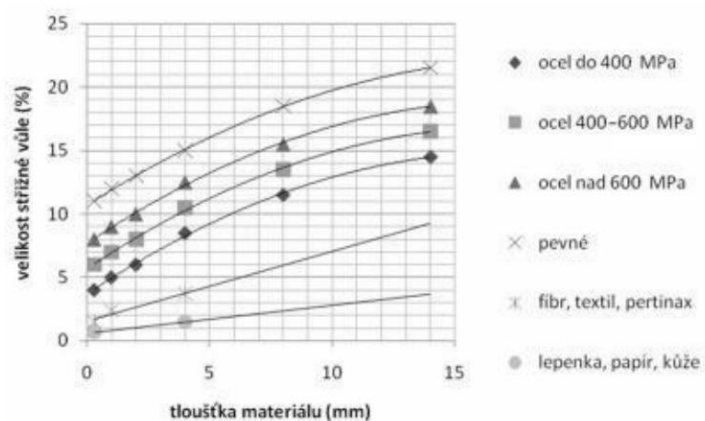
SW	b4	l1	l2	l3	d2	s4	d1		WLL	WLL			No.
								max. kg	max. kg	max. kg	max. kg	max. kg	
30	29	17	45	33	36	8	M10	900	600	450	1,200	840	E 1274/10

Řada podávacích a rovnacích linek ARPL / Coil straightening and feeding lines ARPL

Typ/Type	Přesnost podání Accuracy of feed (mm na/per 1000 mm)	Průměr válců Diameter of rollers (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost linky Mill speed max. (m/min.)	Celkový příkon Power input (kW)	Max délka podání Length of feed max. (mm)
RAL 150	± 0,05 ÷ 0,1	40	100	0,5 ÷ 3,0	40	7,5	3 000
RAL 250	± 0,05 ÷ 0,1	60	200	0,5 ÷ 3,5	35	10,2	3 000
RAL 500	± 0,05 ÷ 0,1	80	500	0,8 ÷ 3,0	35	10,2	6 000

Table 4.1 Values for clearance as a percentage of the thickness of the materials

MATERIAL	Material thickness T (mm)				
	< 1.0	1.0 to 2.0	2.1 to 3.0	3.1 to 5.0	5.1 to 7.0
Low carbon steel	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
Copper and soft brass	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0
Medium carbon steel 0.20% to 0.25% carbon	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
Hard brass	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
Hard steel 0.40% to 0.60% carbon	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0



h/d	< 0.6	0.6 to 1.4	1.4 to 2.5	2.5 to 4.0	4.0 to 7.0	7.0 to 12.0
n	1	2	3	4	5	6