



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY TĚSNÍCÍ DESKY

DESIGN OF PRODUCTION OF THE SEALING PLATE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Pavλίna Hanáčková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Studentka: **Pavλίna Hanáčková**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25

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

Návrh výroby těsnící desky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby těsnící desky z ocelového plechu, které je jednou z částí kombajnu. Součástka je nepravidelného prostorového tvaru s otvorem a pravděpodobně bude vyráběna technologií stříhání a tažení. Na zvolenou problematiku bude také zaměřena literární studie a následně i vlastní řešení.

Cíle bakalářské práce:

- popsat zadanou součást – desku,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolené technologie,
- zhodnotit technologičnost desky,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj,
- zhotovit výkres sestavy nástroje, kusovník a výkresy vybraných pozic.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan; GAJDOŠ, František a NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Brno: CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. ISBN 80-214-0401-9.

SAMEK, Radko; ŠMEHLÍKOVÁ, Eva a LIDMILA, Zdeněk. Speciální technologie tváření. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-214-4406-52.

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

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 978-3-540-33216-9.

MARCINIAK, Zdislaw; DUNCAN, John L. a HU, Jack S. Mechanics of Sheet Metal Forming. 2. vyd. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 07-506-5300-00.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Těsnící deska, která je součástí předního válce kombajnu, je nerotační, ale souměrný dílec. Bude zhotovena z oceli 11 321 ve výrobní sérii 1 000 kusů ročně s pravidelnou opakovatelností po dobu deseti let. Bude vyrobena kombinací pěti na sebe navazujících kroků, jako je zhotovení polotovaru, vytažení součásti, výroba otvorů a úprava tvaru příruby, přivaření matic a nakonec proběhne povrchová úprava. Z daných kroků bude práce zaměřena na výrobu výtažku pomocí hlubokého tažení. Pomocí výpočtů bylo určeno, že díl bude zhotoven na jednu tažnou operaci, pro kterou vyšla síla $F_c = 246$ kN a tažná práce $A_t = 4,7$ kJ. Na základě provedených technologických výpočtů byl zkonstruován tažný nástroj a zvolen vhodný lis PO 250.

Klíčová slova

Hluboké tažení, těsnící deska, ocel 11 321, výtažek, hydraulický tažný lis PO 250.

ABSTRACT

The sealing plate, which is part of the front cylinder of a combine harvester, is a non-rotating but symmetrical component. It will be manufactured from steel grade 11 321 in a production series of 1 000 units per year, with regular repeatability over a period of ten years. The production will involve a combination of five consecutive steps, including the production of the semi-finished blank, deep drawing of the component, creation of holes and the outer shape, attachment of nuts, and finally surface finishing. Out of these steps, the focus of the work is on the production of the drawn part using the deep drawing process. Based on calculations, it was determined that the part can be formed in a single drawing operation, for which the required force is $F = 246$ kN and the drawing work is $A_t = 4,7$ kJ. Based on these values, a suitable tool was designed and the PO 250 drawing press was selected.

Keywords

Deep drawing, sealing plate, steel grade 11 321, drawn part, hydraulic drawing press PO 250.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HANÁČKOVÁ, Pavlína. *Návrh výroby těsnící desky*. Online, bakalářská práce. Kamil PODANÝ (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/165622>.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Návrh výroby těsnící desky vypracovala samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 23.5.2025

místo, datum

Pavλίna Hanáčková

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D., za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Také děkuji své rodině za podporu při studiu.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Varianty řešení výroby	12
2 HLUBOKÉ TAŽENÍ.....	15
2.1 Polotovary	16
2.2 Tažné operace	17
2.3 Kontrola výšek výtažku	18
2.4 Tažná mezera	19
2.5 Použití přidržovače	20
2.6 Síly a práce	21
2.7 Nástroj	23
2.7.1 Tažník	24
2.7.2 Tažnice.....	25
2.8 Stroj	26
2.9 Technologičnost	27
3 NÁVRH.....	28
3.1 Velikost polotovaru	30
3.2 Počet tažných operací	32
3.3 Technologické parametry tažení	33
3.4 Síly, práce a tvar polotovaru.....	34
3.5 Volba tabule plechu	35
3.6 Volba stroje	37
3.7 Nástroj	38
ZÁVĚR.....	43

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD

Strojírenská technologie, která v současné době prochází velkým množstvím inovací a zažívá velký rozmach, je obor zaměřující se na různé postupy výroby, jejich zdokonalování nebo automatizaci. Zahrnuje širokou škálu metod a technik využívaných k efektivnímu a kvalitnímu zhotovení nejrůznějších produktů a součástí v mnoha odvětvích průmyslu. Mezi nejrozšířenější technologie patří obrábění, odlévání, svařování a tváření. [1]

Tváření je proces, při kterém dochází k řízené deformaci materiálu s cílem dosáhnout požadovaného tvaru. Dělí se na dva základní typy, objemové a plošné. Nejvyužívanějšími způsoby výroby jsou hlavně protlačování, kování, ohýbání, stříhání a tažení. [2]

Tažení je jednou z metod plošného tváření, jehož výsledkem je nejčastěji dutá nádoba, která se vyznačuje tím, že jako vstupní materiál je využíván plechový polotovár. Komponenty vyrobené tažením většinou nedosahují vysoké přesnosti a kvality povrchu. Jejich využití lze uplatnit v různých odvětvích strojírenství, například v automobilovém, zemědělském nebo spotřebním průmyslu. Výrobky mohou být například hrnce, víka motorů, karosérie vozidel nebo dřezy (obr. 1). [2; 3]



Obr. 1 Příklad výrobků zhotovených plošným tvářením. [4; 5; 6]

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Vyráběnou součástí je těsnící deska (obr. 2), nacházející se na jednom z nejpoužívanějších zemědělských strojů, konkrétně kombajnu (obr. 3). Na stroji je k nalezení na jednom z jeho předních válců drtiče kukuřice, umístěna z obou stran (obr. 4), viz příloha 1. Obvykle bývá upevněna k rámu nebo přímo k tělesu spodního kusu válce, a to buď pomocí šroubů, nebo speciálních držáků, aby zůstala na svém místě i při vysokých vibracích.

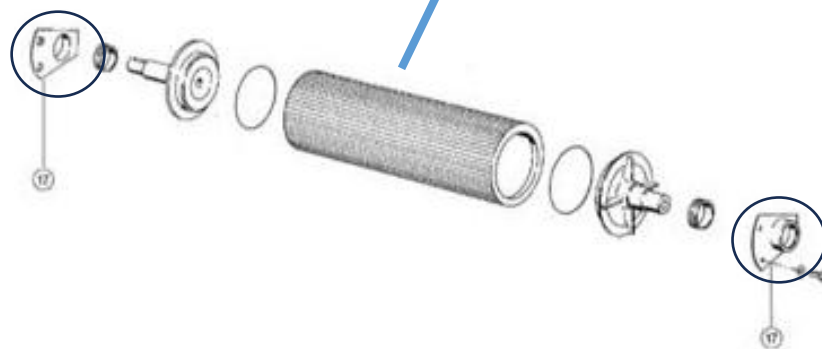
Otvor v dílci slouží jako hřídelové vedení určené pro osu válce. Deska je využívána k těsnění prostoru, čímž zabráňuje úniku drceného materiálu mimo vymezenou oblast. Zároveň slouží jako ochrana před vniknutím cizích předmětů. Dílec bude vyráběn v požadované sérii 1000 kusů za rok s pravidelnou opakovatelností a výrobou náhradních dílů po dobu 10 let, což znamená, že bude vyrobeno celkem 10 000 kusů.



Obr. 2 Vyráběná součást.

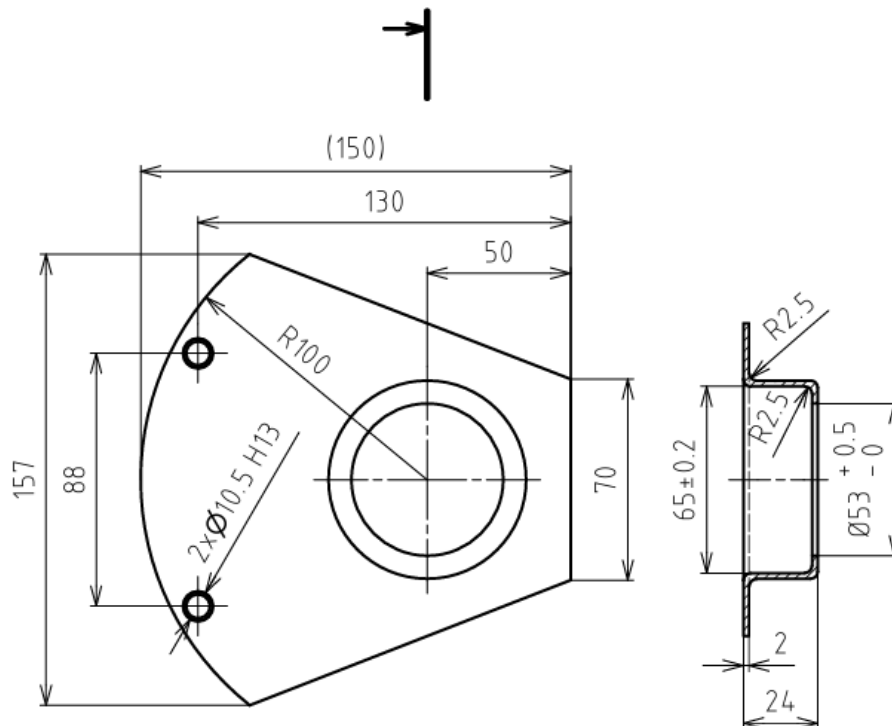


Obr. 3 Kombajn. [7]



Obr. 4 Umístění součásti v sestavě.

Deska je tvarově složitou, ale souměrnou součástí o celkové délce 150 mm, o maximální šířce 157 mm, se zaoblením 100 mm (obr. 5). V jejím středu se nachází otvor o vnitřním průměru $65 \pm 0,2$ mm. Celková výška dílce je 24 mm. Tloušťka 2 mm je v celém průřezu konstantní. Všechny vnitřní i vnější ostré hrany jsou zaobleny přechodovým poloměrem 2,5 mm. Dále se na desce nachází dva otvory o průměru 10,5 mm sloužící pro šrouby, které budou přitaženy k maticím. Netolerované rozměry na součásti jsou předepsány tolerancí ISO 2768-mH.



Obr. 5 Náskres součásti.

S ohledem na umístění a oblast využití těsnící desky musí zvolený materiál splňovat určité požadavky. Dílec je vystavován povětrnostním vlivům a vlhkému prostředí, ve kterém by v důsledku špatně zvoleného materiálu mohl korodovat.

Existují dvě možnosti, jak při volbě postupovat. Jako první byla zvažována korozivzdorná ocel 17 240, která by byla ideální možností pro výrobu dílce do zemědělského průmyslu, zejména díky jejím vlastnostem. Je vhodná ke tváření za studena, ale velkou nevýhodou je její vysoká cena a následná nutnost přivaření matic, při kterém by zvolená ocel v místě svaru ztratila korozivzdornost. Z toho důvodu byla zvolena obyčejná nelegovaná ocel 11 321. Pro výrobu dané součásti je vhodná zejména její schopností k tváření za studena, lakování a pokovování. Svařitelnost materiálu je nezbytnou vlastností, která je v tomto případě zajištěna. Není ale korozivzdorná, takže bude nutné součást povrchově upravit. Mechanické a chemické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1. [8]

Tab.1 Vlastnosti oceli 11 321 [8]

Chemické složení [%]			
C max.	Mn max.	P max.	S max.
0,1	0,045	0,03	0,03
Mechanické vlastnosti			
Re [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	
235	380	28	

1.1 Varianty řešení výroby

Komplexní výroba součástí bude zahrnovat několik kroků. Musí být brán ohled na dosažení požadovaných rozměrů dílce, efektivní využití zvoleného materiálu a s tím spojenou ekonomičnost. Dále je nutné zohlednit strojové vybavení firmy a posoudit časovou nenáročnost technologie vzhledem k zadané sérii výroby. Celý postup je podrobněji popsán v jednotlivých etapách výroby:

- Zhotovení polotovaru – je uvažováno ze dvou možných variant. Jednou z nich je řezání vodním paprskem, které využívá vysokého tlaku kapaliny k velmi přesnému dělení materiálu (obr. 6). Jelikož v tomto konkrétním kroku výroby není nutné dosahovat vyšších přesností při dělení, a zároveň by kvůli zvolené oceli 11 321 mohlo dojít ke korozi, bude brána v úvahu i jiná metoda, a to řezání laserem. Využívá intenzivního laserového paprsku zaměřeného na malou plochu, což vede k zahřátí a roztavení kovu (obr. 7). Lze díky němu také efektivně zhotovit požadovaný tvar. Při zadané tloušťce plechu 2 mm je možné dosáhnout velmi dobré přesnosti a kvality řezu. Nevýhodou by mohly být vysoké pořizovací náklady na zařízení, což ale nebude problém, jelikož je stroj součástí výroby firmy. [9; 10; 11]



Obr. 6 Řezání vodním paprskem. [12]



Obr. 7 Řezání laserem. [13]

- Vytažení součástky – jelikož se jedná o nesymetricky umístěný výtažek, nepřipadá pro jeho zhotovení v úvahu metoda kovotlačení. Bude probíhat tvarováním připraveného polotovaru pomocí tažníku a tažnice. Existují různé možnosti při volbě nástroje. Může jím být například kapalina, která se používá u nekonvenční metody tažení Hydroform (obr. 8), vhodné pro výrobu především menších dílců. Nevýhodou je však nutnost výroby speciálního zařízení, kterým firma nedisponuje. Dále byla možnost volby konvenčního hlubokého tažení pevným nástrojem (obr. 9). Jedná se o velmi vhodnou technologii pro výrobu 1000 kusů za rok s pravidelnou opakovatelností. Zadaná ocel 11 321 s konstantní tloušťkou 2 mm má ideální vlastnosti pro zvolenou metodu tváření. [2; 3; 14; 15]



Obr. 8 Hydroform. [16]



Obr. 9 Konvenční hluboké tažení. [17]

- Zhotovení otvorů a vnějšího tvaru příruby – bude probíhat po vytažení dílce. První možností je řezání plazmou. Proces spočívá v tom, že dochází k vytvoření oblouku mezi elektrodou a materiálem, což vede k roztavení kovu, který je následně odfouknut proudem plazmy (obr. 10). Jedná se o rychlý a efektivní způsob výroby, při kterém ale musí být brán v úvahu možný vznik deformací způsobený tepelným ovlivněním materiálu. Z toho důvodu bude řešen ještě druhý způsob zhotovení otvorů, a to opět řezáním laserem (obr. 11). Jeho použití připadá v úvahu hlavně kvůli jeho dostupnosti ve firmě. Výhodou je velmi dobrá přesnost a efektivita zhotovení daného tvaru. [11; 18]



Obr. 10 Řezání plazmou. [19]



Obr. 11 Řezání laserem. [13]

- Připevnění matic – je nutné provést na již vyhotovených otvorech a způsob zhotovení bude volen ze dvou možností. První z nich je metoda svařování v ochranné atmosféře MIG/MAG, což je jeden z nejběžnějších postupů trvalého spojení ocelí (obr. 12). Spočívá v hoření elektrického oblouku mezi svařovaným a přídavným materiálem, kterým je v tomto případě odvíjený drát. Bylo ale také bráno v úvahu svorníkové svařování, které využívá krátkého časového impulzu vysoké teploty působící na základní materiál a kovové komponenty, jako jsou právě matice (obr. 13). Vyniká zejména vysokou pevností vzniklého svaru a rychlostí a efektivitou celého procesu. Je vhodné i ke spojování tenkých plechů, jelikož nedochází k jejich výraznému zdeformování. [20; 21]



Obr. 12 Svařování MIG/MAG. [22]



Obr. 13 Svorníkové svařování. [23]

- Povrchová úprava – provádí se zejména kvůli ochraně základního materiálu, kterým je ocel 11 321, a to hlavně před korozí nebo jinými vnějšími vlivy. Zároveň výrazně prodlužuje jeho životnost a zachovává beze změny jeho vlastnosti a odolnost. Jako první připadá v úvahu práškové lakování (obr. 14), při kterém se mechanicky a vizuálně vylepšuje povrch nanesením práškové barvy elektrostatickým nábojem, roztavením a následným vytvrzením v peci. Kvůli snadnější dostupnosti bylo ale v posledním kroku výroby zvažováno i žárové zinkování (obr. 15). Proces probíhá tak, že se předem očištěný dílec ponoří do lázni s kyselinou sloužící k odmoření. Následuje jeho důkladný oplach ve vodě a následné ponoření do tavidla. Po osušení je součást máčena do roztaveného zinku za účelem vytvoření ochranné vrstvy. Největšími výhodami daného postupu jsou nízké náklady, odolnost povlaku proti mechanickým vlivům, vlhkosti a hlavně prodloužení životnosti celého dílce. [24; 25]



Obr. 14 Práškové lakování. [26]



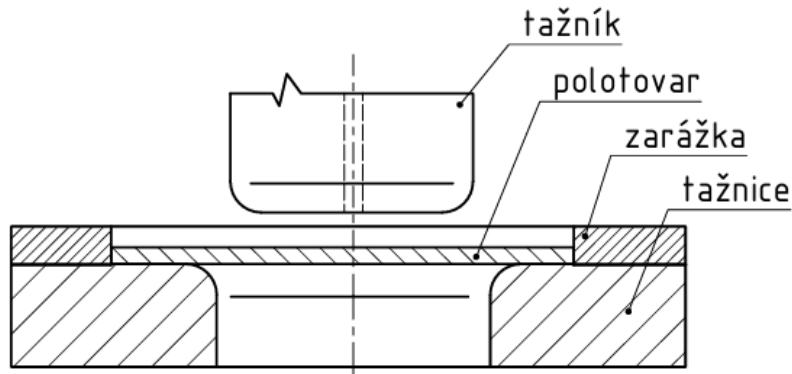
Obr. 15 Žárové zinkování. [27]

Z postupu a navržených možností výroby je pro výrobu polotovaru zvoleno laserové řezání. Pro zhotovení tvaru bude použito hluboké tažení konvenčním nástrojem. Zvolená ocel 11 321 má totiž optimální vlastnosti pro tváření za studena a stroj pro daný postup je součástí firmy. Vnější tvar příruby a otvory na součásti budou opět vyrobeny pomocí laseru. Pro následné přivaření matic bude použita metoda svorníkového svařování a konečná povrchová úprava bude provedena žárovým zinkováním.

Práce bude zaměřena na konvenční hluboké tažení, pro které bude zhotovena teorie i návrh výroby. Ostatní technologie budou případně řešeny dodatečně.

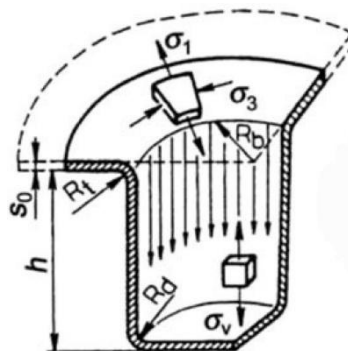
2 HLUBOKÉ TAŽENÍ

Tažením je myšlen proces, při kterém dochází k trvalému přetvoření rovinného plechu na duté těleso během jedné nebo více operací. Jejich počet závisí především na poměru mezi rozměry počátečního polotovaru a požadovanými rozměry hotového dílce. Výchozí polotovaz je uložen a vystředěn, a následně tvarován působením tlaku tažníku přes hranu do otvoru tažnice (obr. 16). [28]



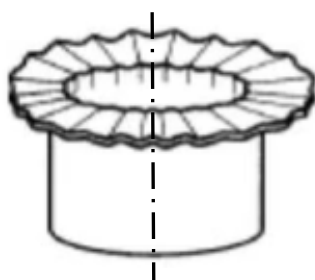
Obr. 16 Tažení. [29]

Při zhotovení výtažku dochází v jeho jednotlivých oblastech k plastickým deformacím, aniž by se měnila tloušťka jeho stěny. Během procesu vznikají v různých částech odlišné napjatosti. Například v přírubě se odehrává kombinace radiálního tlakového a obvodového tahového napětí (obr. 17). Stěna výtažku je deformována především tahem. Přechodová oblast mezi dnem a stěnou je nejvíce namáhána a je vystavována dvojosé tahové napjatosti, zatímco dno zůstává téměř nedeformované. [2; 30]

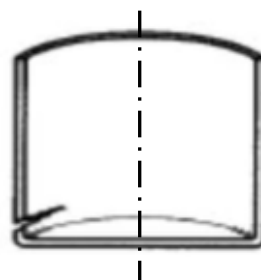


Obr. 17 Schéma napjatosti při tažení. [31]

Při procesu tažení dochází k pěchování materiálu v oblasti příruby, což může vést ke zvlnění (obr. 18). Nežádoucí jev lze minimalizovat použitím přidržovače, který pomáhá vyrovnávat působící tlak. Jako další mohou u dna výtažku vznikat trhliny, které zaviňují jeho utržení (obr. 19). Technologie tedy vyžaduje pečlivou přípravu, aby nedošlo k porušení materiálu. [32; 33]



Obr. 18 Zvlnění na přírubě. [34]



Obr. 19 Utržení dna. [34]

2.1 Polotovar

Správné rozměry a výběr materiálu polotovaru mají klíčový vliv na kvalitu a efektivitu procesu tažení. Pokud je polotovar příliš malý, dochází k nadměrnému vtahování materiálu, což zvyšuje riziko vzniku defektu dílů. Rozměry polotovaru jsou určeny na základě geometrie výsledného dílce a vlastnostech zvoleného materiálu. Parametry vstupního polotovaru lze stanovit pomocí několika výpočtů, s geometrií naznačenou v obrázku 20 [35]:

- Zákonem zachování ploch – lze počítat, pokud je splněn předpoklad konstantní tloušťky stěny a rovnosti ploch:

$$S_v = S_{pol} \rightarrow D_{01} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_v}{\pi}} \text{ [mm]}, \quad (2.1)$$

kde: S_v – plocha výtažku [mm²],
 S_{pol} – plocha polotovaru [mm²].

- Dle normy bez zaoblení – je možné použít v případě, že budou zanedbány zaoblení rohů a nerovnosti dna i příruby:

$$D_{02} = \sqrt{d_{vo}^2 + 4 \cdot d_{des} \cdot h} \text{ [mm]}, \quad (2.2)$$

kde: d_{vo} – největší průměr příruby [mm],
 d_{des} – vnější průměr výtažku [mm],
 h – výška výtažku [mm].

- Dle normy se zaoblením – jsou uvažována zaoblení nacházející se na dílci:

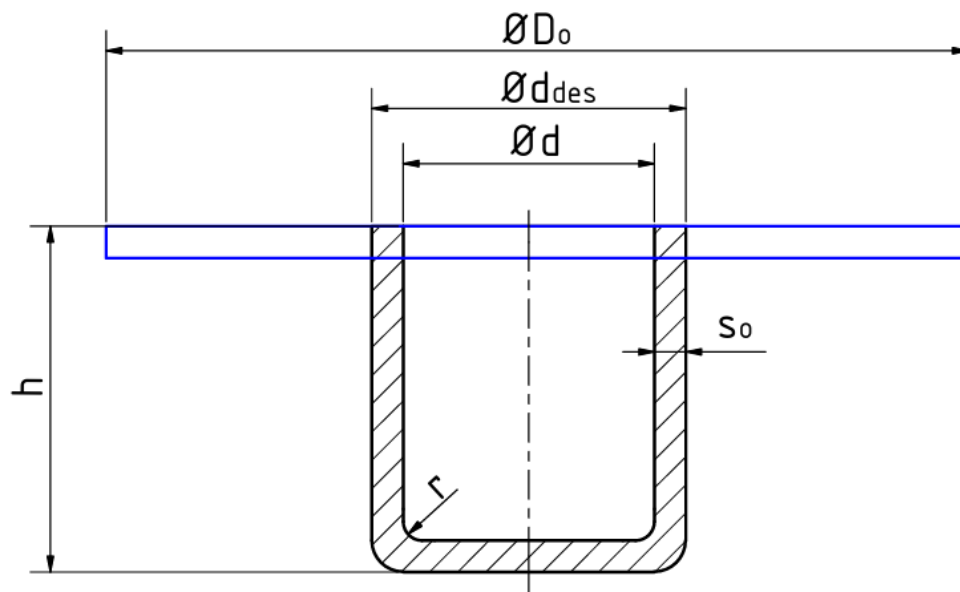
$$D_{03} = \sqrt{d_{vo}^2 + 4 \cdot d_{des} \cdot h - 1,72 \cdot d_{des} \cdot r} \text{ [mm]}, \quad (2.3)$$

kde: r – poloměr zaoblení dna výtažku [mm].

- Dle hmotnosti – z programu Autodesk Inventor je z modelu součásti zjištěna hmotnost výtažku, ze které je následně vypočítán průměr:

$$D_{04} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{m_v}{\rho_h \cdot s_o}} \text{ [mm]}, \quad (2.4)$$

kde: m_v – hmotnost výtažku [kg],
 ρ_h – hustota materiálu [g·mm⁻³],
 s_o – tloušťka stěny [mm].



Obr. 20 Rozměry výtažku. [36]

2.2 Tažné operace

Cílem je vždy dosáhnout požadovaného průměru výlisku při co nejmenším počtu tahů. Během procesu nesmí být překročena maximální hodnota stupně deformace, jinak by mohlo dojít k porušení dílce. Hlavními faktory ovlivňujícími celý průběh jsou materiálové vlastnosti oceli, hloubka a tloušťka plechu. Pro zjištění počtu operací je nejprve potřeba vypočítat poměrnou tloušťku dle vztahu [37]:

$$s_p = \frac{s_o}{D_o} \cdot 100 \quad [-]. \quad (2.5)$$

kde: s_p – poměrná tloušťka určující součinitele tažení pomocí tabulky 2.

Tab. 2 Hodnoty součinitelů tažení. [38]

s_p		2,0 ÷ 1,5	1,5 ÷ 1,0	1,0 ÷ 0,6
Součinitel tažení	m_1	0,49	0,515	0,54
	m_2	0,74	0,755	0,77
	m_3	0,77	0,785	0,795
	m_4	0,79	0,805	0,815
	m_5	0,81	0,83	0,845

S ohledem na správnost tažného procesu existují omezení týkající se rozměrů a tvaru součásti, které je možno zhotovit v jedné operaci. Pokud daná kritéria nejsou splněna, je nutné zařadit více operací. Na obr. 21 je znázorněno jejich odstupňování, kdy je v prvním tahu získán výtažek o výšce h_1 a průměru d_1 . Celkový počet tahů je určen postupným násobením součinitele a průměru výtažku z předchozí operace a jeho následným srovnáním s původním rozměrem dílce. To bude prováděno až do chvíle, kdy bude splněna podmínka $d_i < d$. Jednotlivé průměry lze pak spočítat dle vztahu [31]:

$$d_i = m_i \cdot D_{i-1} \quad [\text{mm}], \quad (2.6)$$

kde: m_i – součinitel tažení pro i -tý tah [-],

D_{i-1} – průměr součásti v předchozím tahu [mm],

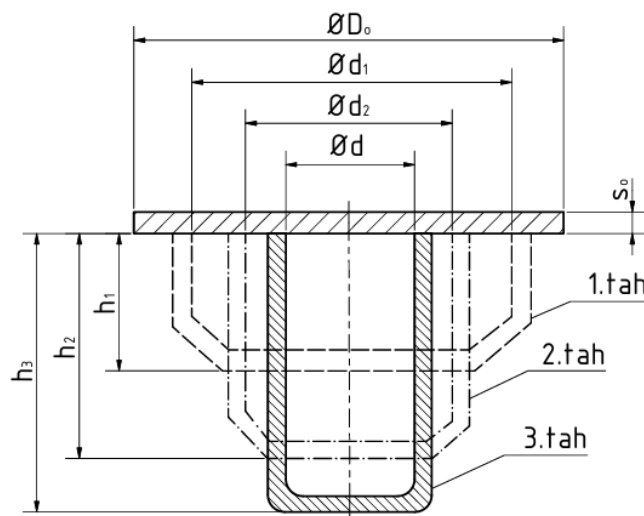
d_i – průměr součásti v následujícím tahu [mm].

Pro jednotlivé operace mají výpočty následující tvar:

$$1. \text{ tah: } d_1 = m_1 \cdot D_o \quad [\text{mm}],$$

$$2. \text{ tah: } d_2 = m_2 \cdot d_1 \quad [\text{mm}],$$

$$3. \text{ tah: } d_3 = m_3 \cdot d_2 \quad [\text{mm}].$$



Obr. 21 Schéma víceoperačního tažení. [2]

2.3 Kontrola výšek výtažku

Kontrola výšek výtažku při hlubokém tažení je klíčovým krokem v procesu, který zajišťuje správnou kvalitu výsledného výrobku. Jedním z hlavních kritérií je poměr mezi výškou výtažku a jeho průměrem (obr. 21), který vychází ze součinitele tažení. Jeho hodnota závisí na mechanických vlastnostech materiálu a pro hlubokotažnou ocel se pohybuje v rozmezí (0,5 – 0,6) určeném z tabulky 2. Odpovídá také maximální získatelné výšce, kterou lze dosáhnout bez vzniku defektu. Hodnota orientační největší výšky je pro první a ostatní operace odlišná a bude spočítána pomocí vzorců:

- Pro 1. operaci:

$$h_1 = \frac{h}{d} \cdot d_1 \text{ [mm].} \quad (2.7)$$

kde: h/d – největší poměrná hloubka tažení, určena z tab. 3.

- Pro další operace:

$$h_i = \frac{h}{d} \cdot d_n \text{ [mm].} \quad (2.8)$$

Tab. 3 Hodnoty součinitelů pro zjištění maximální hloubky. [39]

Operace	Největší poměrná hloubka tažení h/d					
1	0,855	0,745	0,635	0,56	0,485	0,42
2	1,71	1,465	1,23	1,035	0,895	0,8
3	3,1	2,5	2,05	1,7	1,45	1,2
4	4,95	3,9	3,25	2,65	2,45	1,75
5	7,75	5,85	4,65	3,7	3,5	2,35

Orientační nejvyšší poměrná výška výrobku není dostatečným ukazatelem. Z toho důvodu bude potřeba vypočítat reálnou výšku výtažku. Hodnoty z obou výpočtů budou následně porovnány. Pokud bude splněna podmínka $h_i \leq h_{ki}$, nedojde při procesu k protržení dna dílce. Skutečná výška pak bude zjištěna pomocí zákona zachování konstantního objemu polotovaru:

- Výška po 1. operaci:

$$h_{k1} = \frac{V - \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot s_o}{\frac{\pi \cdot (d_1 + 2 \cdot s_o)}{4} - \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}} \text{ [mm],} \quad (2.9)$$

kde: V – konstantní objem [mm³].

$$V = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot s_o \quad (2.10)$$

- Výška po dalších operacích:

$$h_{ki} = \frac{V - \frac{\pi \cdot d_i^2}{4} \cdot s_o}{\frac{\pi \cdot (d_i + 2 \cdot s_o)}{4} - \frac{\pi \cdot d_i^2}{4}} \text{ [mm].}$$

2.4 Tažná mezera

Při tažení materiálu je klíčové správné nastavení mezery mezi nástroji (obr. 22), která by měla být širší, než je tloušťka polotovaru. Příliš malá mezera by mohla způsobit zadírání plechu, což velmi často vede k utržení dna výtažku. Naopak příliš velká mezera může mít za následek tvorbu vln na stěnách dílce. Musí být optimálně nastavena, aby bylo minimalizováno tření, snížena tažná síla a prodloužena životnost nástroje, což zlepšuje efektivitu celého procesu. Existují tři způsoby, jak lze vypočítat její velikost [37; 40]:

- Z tabulky – mezera je určena pomocí tloušťky polotovaru (tab. 4). Jedná se pouze o orientační metodu.

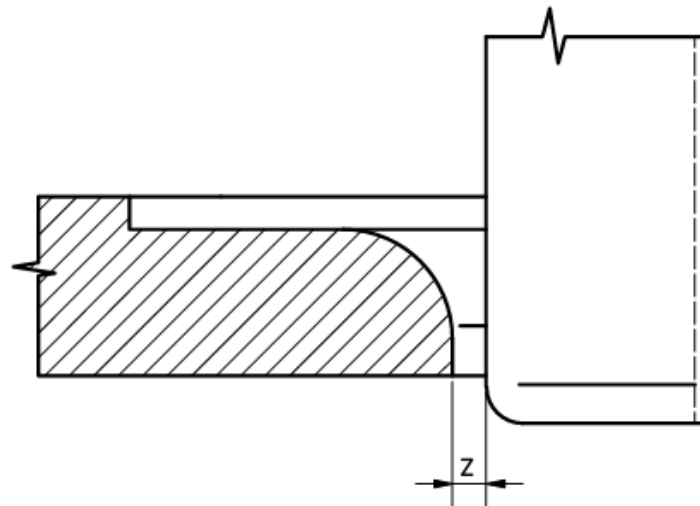
Tab. 4 Určení tažné mezery. [35]

s_o [mm]	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,5	2	3
z [mm]	0,45	0,65	0,9	1,2	1,4	1,75	2,4	3,5

- Dle Oehlera – vychází z toho, že spočtená hodnota je pro všechny tahy konstantní a neměnná a je určena ze vzorce:

$$z = s_o + k \cdot \sqrt{10 \cdot s_o} \quad [\text{mm}], \quad (2.11)$$

kde: k – materiálový koeficient, pro ocelové plechy $k = 0,07$ [-].



Obr. 22 Schéma tažné mezery. [28]

- Dle ČSN 22 7301 – udává výpočet dle pořadí operace:

- pro první tah:

$$z_1 = (1,2 \div 1,3) \cdot s_o \quad [\text{mm}], \quad (2.12)$$

- pro další tahy:

$$z_n = (1,1 \div 1,2) \cdot s_o \quad [\text{mm}], \quad (2.13)$$

- pro kalibraci:

$$z_k = (1,0 \div 1,1) \cdot s_o \quad [\text{mm}]. \quad (2.14)$$

2.5 Použití přidržovače

Přidržovač je nástroj používaný pro zlepšení kvality a přesnosti při tažení. Zajišťuje stabilní pozici polotovaru během procesu a jeho rovnoměrný tok do tažnice. Zároveň ale zabraňuje zvlnění příruby a deformaci. Existuje několik výpočtů, jak zjistit, zda je jeho použití nezbytné [28]:

- Dle ČSN 22 7301 – jsou aplikovány vztahy, které jsou pro jednotlivé pořadí operace rozdílné [28]:

- Pro první tah:

$$k_p = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s_o}}{\sqrt[3]{D_o}} \right) \quad [-], \quad (2.15)$$

kde: Z – materiálová konstanta, pro ocelový plech $Z = 1,9$. [-]

Následně je nutné součinitel k_p porovnat dle podmínky a v případě její platnosti bude nutné použití přidržovače:

$$k_p \geq \frac{d_1}{D_o} \cdot 100 \quad [-]. \quad (2.16)$$

- Pro další tahy:

$$\frac{d_i}{d_{i-1}} < 0,9 \quad [-]. \quad (2.17)$$

Při splnění podmínky lze provést tažení bez pomoci přidržovače.

- Dle Šofmana – v případě platnosti podmínky je možnost táhnout bez nutnosti použití přidržovače [28]:

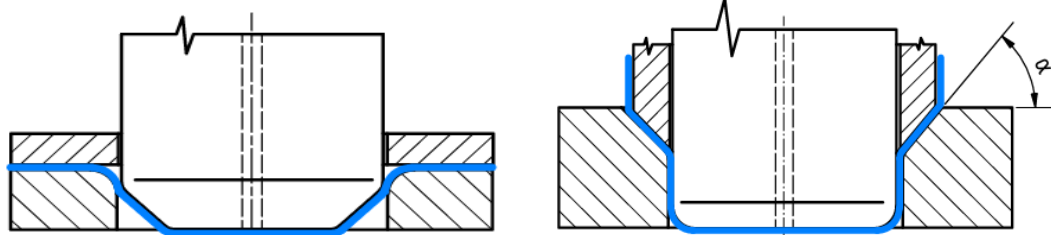
$$D_o - d \leq 18 \cdot s_o \quad [-]. \quad (2.18)$$

- Dle Freilinga – vychází z poměrné tloušťky s_p , ze vzorce (2.5). Výslednou hodnotu je nutné porovnat s výpočty [28]:

$$s_p < 1,5 \% \quad \rightarrow \text{přidržovač je nutný,} \quad (2.19)$$

$$s_p = 1,5 - 2 \% \quad \rightarrow \text{nutné další ověření,} \quad (2.20)$$

$$s_p > 2 \% \quad \rightarrow \text{lze táhnout bez přidržovače.} \quad (2.21)$$



Obr. 23 Tvar přidržovače pro 1. tah. [41] Obr. 24 Tvar přidržovače pro další tahy. [41]

Konstrukční řešení přidržovače může být různé, zejména podle druhu dané operace. V případě první tažné operace má tvar prstence (obr. 23). U dalších tahů má upravenou dosedací plochu s úhlem $\alpha = 30^\circ$ až 45° (obr. 24). [41]

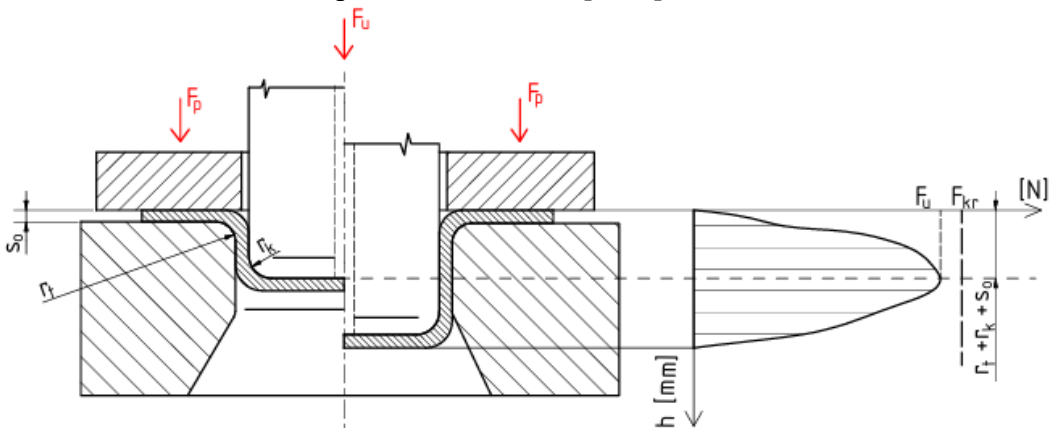
2.6 Síly a práce

Důležitým faktorem pro zhotovení součásti je výpočet síly, která vyjadřuje, jak velkou silou musí být polotovár vtahován do tažnice, aby došlo k vytvoření trvalých plastických deformací. Její přibližný průběh je znázorněn na obr. 25. Hodnota postupně roste až do dosažení její požadované hodnoty. Je známo, že výpočet tažné síly je složitý, proto bude zjednodušeně počítána upravená kritická síla F_u a kritická F_{kr} , kde musí platit podmínka $F_{ui} \leq F_{kri}$. Následně bude potřeba sečíst všechny vypočtené složky síly pro jednotlivé operace a z nich zjistit sílu celkovou [2]:

- Kritická síla – maximální přípustná síla, při jejímž překročení by došlo k porušení výtažku. Lze vypočítat ze zjednodušeného vzorce:

$$F_{kr} = \pi \cdot d_n \cdot s_o \cdot R_m \quad [\text{N}]. \quad (2.22)$$

kde: R_m – mez pevnosti materiálu [MPa].



Obr. 25 Průběh tažné síly. [2]

- Upravená kritická síla – nesmí překračovat kritickou hodnotu F_{kri} a je určena výpočtem:

$$F_u = \pi \cdot d_n \cdot s_o \cdot R_m \cdot C \quad [\text{N}]. \quad (2.23)$$

kde: C – součinitel pro výpočet tažné síly, určený z tab. 5. [-]

Tab. 5 Hodnoty součinitelů pro výpočet tažné síly. [39]

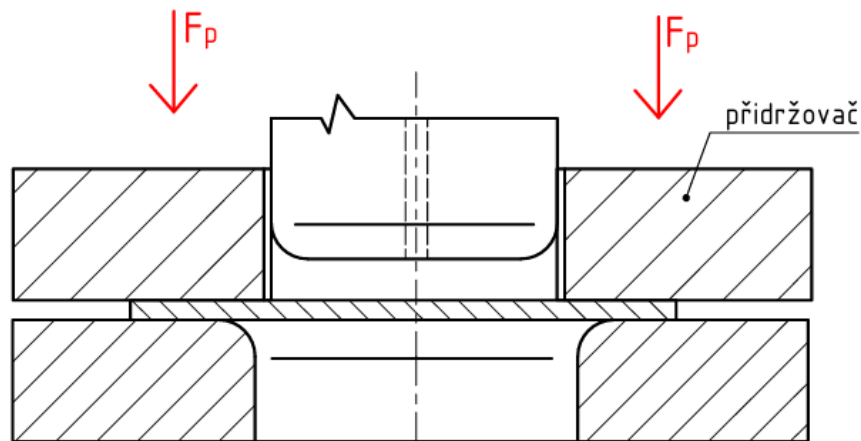
1. tah	m_1	0,50	0,52	0,55	0,57	0,60	0,62
	C	1,00	1,00	1,00	0,93	0,86	0,79
Další tah	m_i	0,70	0,72	0,75	0,77	0,80	0,85
	C	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,70

- Přidržovací síla - kterou je polotovár svírán během tažení, nesmí být příliš velká, aby bylo možné vtahování plechu mezi nástroje. Nesmí být ale ani příliš malá, aby stále zabraňovala vzniku zvlnění na přírubě (obr. 26). Lze ji vyjádřit ze vztahu [2]:

$$F_p = S_{\text{čin}} \cdot p \quad [\text{N}], \quad (2.24)$$

kde: $S_{\text{čin}}$ – činná plocha přidržovače [mm^2],

p – tlak přidržovače, pro ocelové plechy platí rozsah (2÷5) [MPa].



Obr. 26 Síla působící na přidržovač. [42]

- Vyhazovací síla – nepůsobí ve stejný okamžik jako přidržovací a kritická síla. Slouží k vyhození výtažku v případě, že se na něm nachází příruba. Bývá vyvozena mechanickou pružinou nebo hydraulicky. Její celková velikost je ale vzhledem k ostatním silám zanedbatelná.

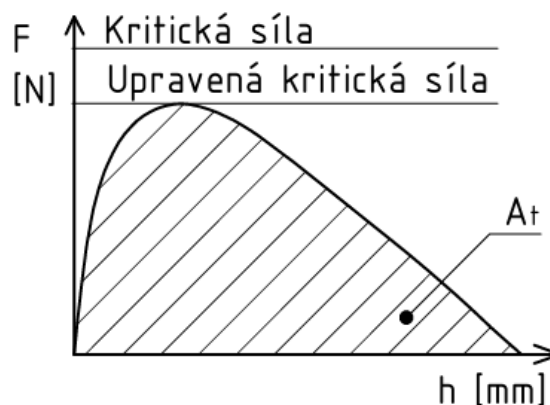
Celková síla, ze které bude následně vypočtena celková použitá práce a zvolen stroj, je součet hodnot kritické síly a síly od přidržovače, spočtena jako:

$$F_c = F_{ui} + F_p \quad [\text{N}]. \quad (2.25)$$

Další nezbytný parametr při návrhu výroby výtažku je hodnota potřebné práce k provedení tahu, znázorněná vyšrafovanou oblastí pod křivkou na obr. 27. Z toho vyplývá, že závisí na celkové síle, a tím pádem i na zvoleném materiálu a geometrii tažného nástroje. Její hodnotu lze získat pomocí vzorce [2]:

$$A_t = \frac{F_c \cdot h \cdot c}{1000} \quad [\text{J}]. \quad (2.26)$$

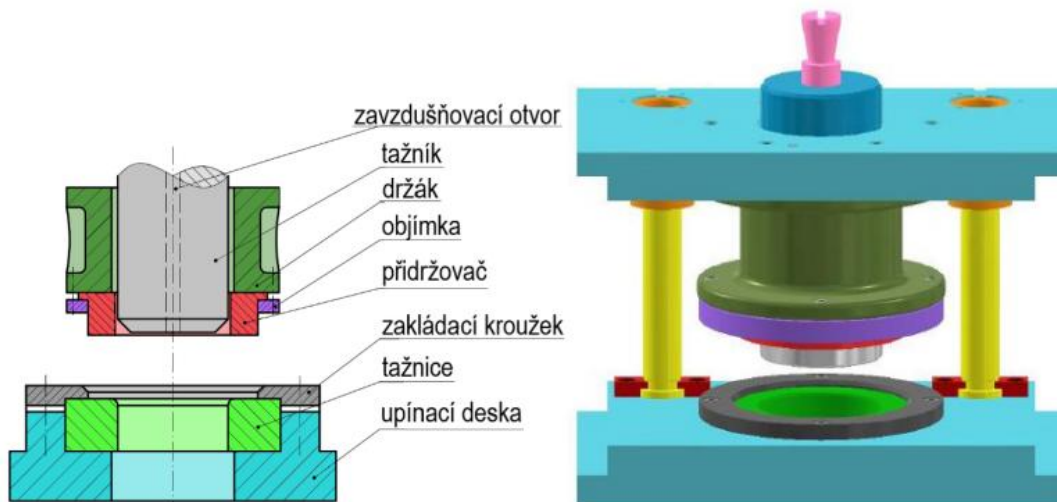
kde: c – koeficient zaplnění plochy, pohybuje se v rozmezí $(0,6 \div 0,8)$.



Obr. 27 Znázornění tažné práce. [28]

2.7 Nástroj

Tažidlo představuje nástroj pro hluboké tažení plechů a je složeno z více částí. Do jedné poloviny je vložen polotovár, který je následně tváren do požadovaného tvaru pomocí pohybu druhé poloviny nástroje. Existuje řada konstrukčních provedení, které se volí na základě charakteru dané výroby. Velkou roli hraje i typ použitého lisu, který ovlivňuje způsob upnutí jednotlivých částí nástroje. Počet činných beranů pak rozhoduje o složitosti celého zařízení. Klíčové části se navrhují s ohledem na velikost výrobní série, dále na tvar, rozměry a zvolený materiál výtažku. [28; 41; 43]



Obr. 28 Model jednoduchého tažidla. [43; 44]

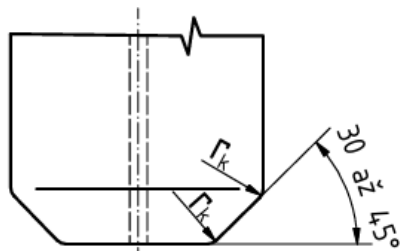
Konstrukčně nejjednodušším je jednoduché tažidlo (obr. 28). Je vhodné pro jednoduché a mělké výtažky, které lze zhotovit v jedné operaci. Výhodou je snadná obsluha, naopak nevýhodou je nižší produktivita. Kromě funkčních částí, jako jsou tažník, tažnice a přidrzoač, se nástroj skládá z následujících prvků:

- Držák – obvykle se jedná o odlitek ze šedé litiny, která se snadno obrábí. Spojuje přidrzoač s horní upínací deskou a na obrázku 28 je zobrazen tmavě zelenou barvou.
- Objímka – zajišťuje vystředění a upevnění přidrzoače k držáku. Na obr. 28 znázorněna fialově.
- Upínací desky – umožňují upevnění nástroje do lisu pomocí upínek a T-drážky. Spodní deska je připevněna ke stolu lisu a horní k beranu. Na obrázku 28 jsou modré.
- Stopka – slouží k upnutí nástroje do beranu lisu. Důležité je její přesné ustavení. Má normalizované rozměry a na obrázku 28 je označena růžově.
- Vodicí prvky – zajišťují přesné vedení pohyblivých částí nástroje. Skládají se ze sloupků, které jsou na obrázku 28 znázorněny žlutou barvou, a z pouzder, které mají barvu oranžovou.
- Zakládací kroužek – je na obrázku 28 tmavě šedě a slouží k ustavení přístřihu před tažením.

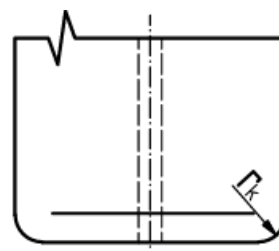
2.7.1 Tažník

Tažník je jednou z hlavních částí nástroje, která se aktivně podílí na procesu tažení. Jeho vnější rozměr určuje budoucí vnitřní rozměr výtažku. Správně navržený tažník má zásadní vliv na kvalitu a přesnost výsledného výrobku a bude zajištěna jeho dlouholetá životnost. Výsledný tvar se liší, a to zejména na základě operací, pro které je využíván. Při konstrukci ploch jsou kladeny vysoké nároky na přesnost, pevnost a oteruvzdornost. Z toho důvodu jsou pro výrobu využívány nástrojové oceli třídy 19, které jsou následně kaleny a popouštěny na tvrdost přibližně 60 HRC. [43]

Tvar dna tažníku je uzpůsobován podle počtu tahů a požadavků na výslednou součást. Jeho tvar bývá nejčastěji zkosený nebo zaoblený. Zkosené dno tažníku se vyznačuje sraženou hranou pod úhlem 30 až 45° (obr. 29). Dané zešíkmení na činné části nástroje vytváří na výtažku plochu určenou pro přidržovač do následující operace. V případě zaobleného dna tažníku je jeho velikost dána dle tvaru výsledného dílce (obr. 30). [28]



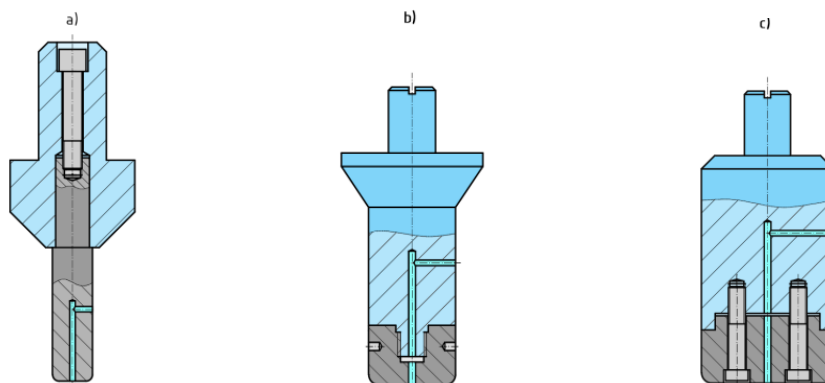
Obr. 29 Tažník se zkosenou hranou. [43]



Obr. 30 Tažník pro poslední operaci. [43]

Dalšími možnostmi při konstrukčním řešení tažníku může být například rozlišení dle průměru [43]:

- Celistvé – se používají zejména při konstrukci tažníků s menším průměrem, kdy ještě není výroba celku tolik nákladná. Ke stopce může být připevněn pomocí šroubu (obr. 31a).
- Dělené – jsou vhodnější k použití pro tažníky s většími průměry, které jsou, hlavně z ekonomického hlediska, vhodnější rozdělit. Dělené jsou na hlavní část, u které jsou dodrženy požadavky na přesnost a mechanické vlastnosti, a na držák, který nepřichází do kontaktu s výtažkem, a proto je použit levnější materiál. Existuje několik možností, jak tyto dvě části spojit. Prvním způsobem je pomocí závitu v ose (obr. 31b). Druhou možností je pomocí šroubů na čele (obr. 31c).

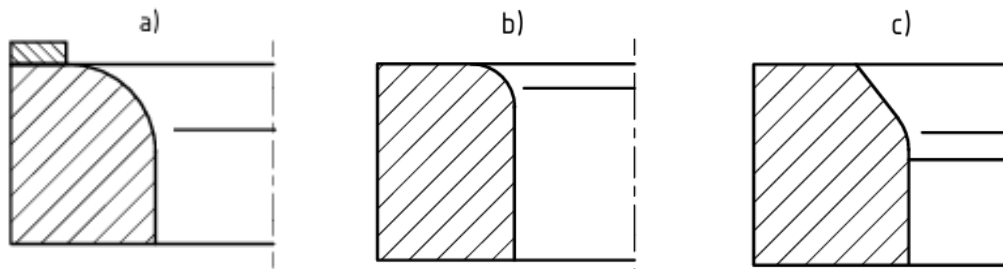


Obr. 31 Druhy tažníků. [43]

2.7.2 Tažnice

Tažnice je druhou, velmi důležitou částí nástroje. Slouží jako forma, do které je materiál vtahován, a zároveň definuje výsledný vnější tvar výrobku. Pro symetrické válcové výtažky má celistvý prstencový tvar. Její funkční části jsou pak konstruovány z nástrojové oceli třídy 19 a následně kaleny a popuštěny na přibližně 60 HRC, stejně jako u tažníku. Nejdůležitějším prvkem je pak tažná hrana, jejíž geometrie závisí na druhu operace, způsobu stírání hotového dílce a nebo na použití přídržovače [41]:

- Bez použití přídržovače – je konstrukčním řešením určeným především při mělkém tažení nebo při tvarování tlustších plechů. Pro daný způsob je vhodné velké zaoblení hrany tažnice (obr. 32a).
- S přídržovačem pro 1. operaci – se matrice vyznačuje horizontální plochou, na kterou je přiložen polotovar následně přitisknutý přídržovačem. Výtažek propadá pod nástroj, je setřen ostrou hranou tažnice nebo speciálním stíračem (obr. 32b).
- S přídržovačem pro další operace – je charakteristické použitím kuželové plochy s potřebným úhlem. Na zmíněnou plochu je přitlačen výtažek již zhotovený po první operaci, který bude následně přetvářen přes tažný poloměr tažnice. (obr. 32c).



Obr. 32 Druhy tažnic. [41]

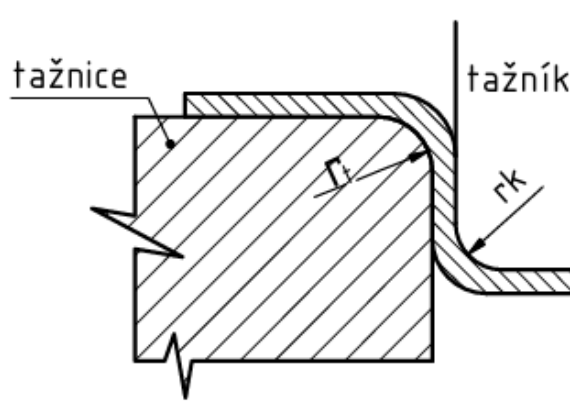
Poloměry hran výrazně ovlivňují velikost napětí v materiálu a vznik vad, což znamená, že mají velký vliv na celý proces. Přes rádius, jehož optimální hodnotu je nutné zjistit pomocí výpočtu, je vtahován polotovar do pevné části nástroje (obr. 33). V případě, že je poloměr příliš malý, má tažený materiál tendenci se trhat, naopak velký rádius způsobuje zvlnění na okrajích. Velikost zaoblení je spočítána pro každý tah zvlášť ze vztahu dle ČSN 22 7301 [41]:

- Pro 1. tah:

$$r_{t1} = (8 \div 10) \cdot s_o \quad [\text{mm}]. \quad (2.28)$$

- Pro další tahy:

$$r_{ti} = (6 \div 8) \cdot s_o \quad [\text{mm}]. \quad (2.29)$$



Obr. 33 Schéma zaoblení. [37]

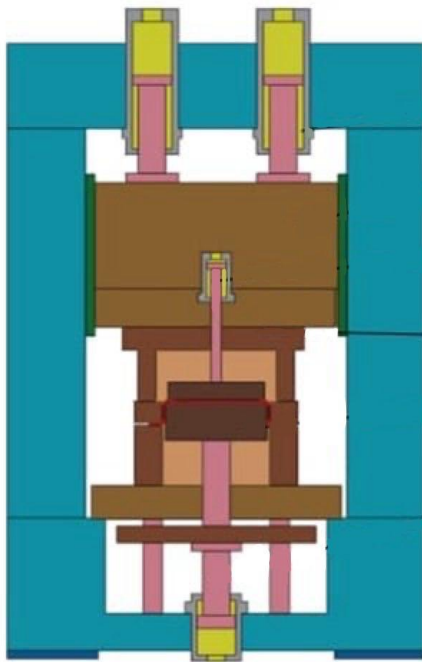
2.8 Stroj

Při výběru vhodného stroje pro hluboké tažení je důležité zohlednit hlavně tvar a velikost součásti. Dále je potřeba uvažovat požadovanou sílu, počet vyráběných kusů a také provozní a ekonomické možnosti dané firmy. Mezi běžně využívané stroje patří tažné lisy, které se odlišují počtem činných beranů [45; 46]:

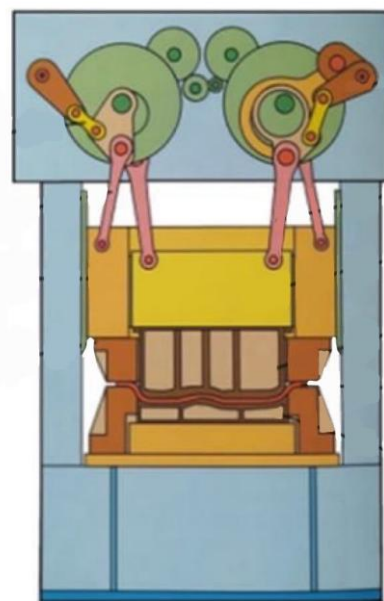
- Jednočinné – jsou vybaveny pouze jedním beranem, ke kterému je připevněna vrchní část nástroje. Jedná se o konstrukčně jednoduché stroje s nižší pořizovací cenou. Jsou vhodné pro výrobu tvarově nenáročných a mělkých výtažků.
- Dvojčinné – disponují dvěma nezávislými berany, které umožňují současné řízení tažníku a přidržovače. Díky této vlastnosti jsou ideální pro složitější a hluboké výtažky. Podle polohy beranu se rozlišují dvě konstrukční varianty, a to s horním nebo spodním přidržovacím beranem.
- Trojčinné – využívají tři berany, obvykle dva horní a jeden spodní. Umožňují ovládat tažník, přidržovač i vyhazovač současně. Jsou určeny především pro náročnější aplikace.

Dále jsou lisy pro hluboké tažení děleny podle způsobu jejich pohonu a způsobu přenosu energie [45; 46]:

- Hydraulické – pracují na základě principu rovnoměrného přenosu tlaku kapalinou dle Pascalova zákona. Vynikají konstantní tvářecí silou v celém zdvihu, tichým chodem a absencí vibrací. Umožňují přesné nastavení rychlosti beranu a jeho zdvihu. Jsou ideální pro hluboké tažení tenkých plechů. Jejich konstrukce je však složitější s vyššími náklady (obr. 34). Mají také delší pracovní cyklus, což snižuje produktivitu.
- Mechanické – využívají kinetickou energii, která je akumulována v setrvačnicku a přenášena klikovým mechanismem (obr. 35). Jejich výhodou je rychlost výroby a vysoká produktivita. Nevýhodou je však omezená flexibilita, protože zdvih nelze měnit a průběh síly i rychlosti je nerovnoměrný. To může mít vliv na kvalitu výtažku, zejména u složitějších tvarů.



Obr. 34 Dvojčinný hydraulický tažný lis. [47]



Obr. 35 Dvojčinný klikový tažný lis. [47]

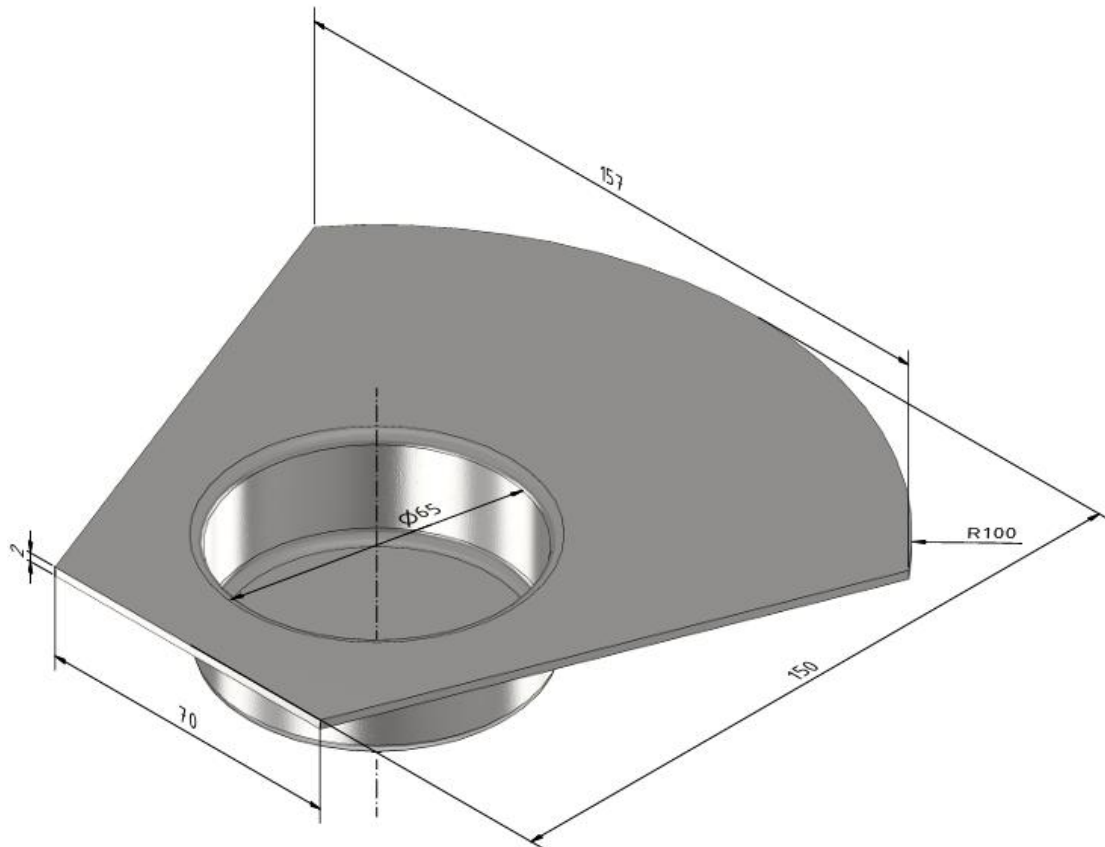
2.9 Technologičnost

Z hlediska kvality a ekonomičnosti je nutné přihlédnout k několika faktorům, které umožňují zvolit nejvhodnější a nejhospodárnější výrobu pro danou sérii. Cílem je minimalizovat provozní a konstrukční požadavky na součást. V případě zjištění jakéhokoliv problému zvyšujícího náročnost výroby, je hledána a navržena optimální změna. Níže je uvedeno několik důležitých zásad, které je nutno dodržovat:

- Rozměry – součást by měla mít zaoblené dno bez ostrých přechodů. V těchto místech je ale nejvíce namáhána a nejčastěji tam dochází k porušení materiálu. Z toho důvodu by neměly být předepisovány příliš velké požadavky na drsnost povrchu. Tloušťka polotovaru musí být taková, aby těsnicí deska vydržela v provozu a zároveň byla dobře tvářitelná. U velkého průměru by mohl nastat problém při volbě vhodného nástroje a lisu.
- Posouzení materiálu – musí mít vhodné vlastnosti pro hluboké tažení, to znamená, že jeho tažnost musí být vyhovující, stejně tak jako mez kluzu a mez pevnosti. Při skladování a dlouhých pauzách během prostojů může u některých materiálů docházet k degradaci vlastností vlivem stárnutí, na což je také nutno brát ohled. Další musí být zohledněny třecí vlastnosti, anizotropie a odpružení. [48]
- Jednoduchost tvaru – ideálním tvarem je symetrický válcový výtažek. Dno by mělo být, pokud možno, rovné a kolmé na osu dílce. Neměly by se na něm nacházet ostré přechody, aby nedošlo ke vzniku trhlin nebo jiných vad. Čím je součást složitější, tím bude potřeba více kroků při výrobě, což zvyšuje celkové náklady. [48]
- Tolerance – nepředepisovat příliš přesné rozměrové a geometrické tolerance, především na válcové části. Dosažitelná přesnost se při běžném hlubokém tažení pohybuje mezi IT9 až IT18. Při kalibraci je pak možné dosáhnout IT7 až IT8.
- Výška výtažku – čím větší bude výška výtažku, tím více operací bude nutné provést, což je z ekonomického hlediska nežádoucí.

3 NÁVRH

Řešenou součástí je těsnící deska z oceli 11 321. Jedná se o tvarově složitější, ale souměrný dílec. Návrh výroby bude řešen pro technologii hlubokého tažení. V zadání se na desce nachází otvory pro šrouby s maticemi, dále ale bude uvažován tvar dílce bez otvorů, které budou zhotoveny až po samotném tažení. Jeho hlavní rozměry jsou zobrazeny na obr. 36. Výrobní série činí 1 000 kusů za rok s pravidelnou opakovatelností po dobu deseti let.



Obr. 36 Vyráběná součást bez otvorů.

Prvotním krokem pro stanovení výrobního postupu součásti je ověření její technologičnosti. Při návrhu procesu hlubokého tažení bylo posouzeno:

- Materiál – pro výrobu dané součásti byla zvolena ocel 11 321. Je velmi vhodná pro hluboké tažení díky své nízké mezi kluzu a tažnosti 28 %. Výhodou je i jeho cenová dostupnost.
- Přesnost rozměrů – při konvenčním hlubokém tažení lze bez dalších úprav dosáhnout přesnosti IT14, což vyhovuje normě ISO 2768-mH, která je předepsána na výkresu.
- Tolerance tloušťky – na výtažku není předepsána. Je předpokládána výkresová konstantní tloušťka stěny 2 mm. Požadavek je tedy splněn bez nutnosti následných úprav.
- Výška výtažku – celková výška dílce je 24 mm, takže je předpokládána nízká výška výtažku. Při zvolené tloušťce plechu 2 mm je vyrobiteľná.
- Geometrické tolerance – při hlubokém tažení nastává mírná kuželovitost, která je zanedbatelná. U součásti je ale předepsána kolmost mezi jejím dnem a stěnou.

- Zaoblení dna výtažku – součást má zaoblené dno bez ostrých přechodů. V těchto místech ale dochází k největšímu namáhání a často i k porušení materiálu, proto bude provedena kontrola dle tab. 6.

Tab. 6 Kontrola zaoblení výtažku. [31]

Průměr výtažku [mm]	10 – 100	100 – 200
Poloměr zaoblení tažníku [mm]	$(3 - 4) \cdot s_o$	$(4 - 5) \cdot s_o$

Průměr výtažku je 65 mm, proto bude pro výpočet zvolen první sloupec z tabulky 6. Výsledná hodnota r_k bude porovnána se zaoblením ze zadání, které je 2,5 mm. Zaoblení hrany je stanoveno dle (2.27):

$$r_k = (3 \div 4) \cdot s_o = 3 \cdot 2 = 6 \text{ mm}$$

kde: z intervalu bude zvolena hodnota 3.

Musí platit podmínka $r_k > R$:

$$r_k > R$$

$$6 > 2,5$$

Podmínka byla splněna. Minimální poloměr vnitřního zaoblení musí mít alespoň 6 mm. Poloměr ze zadání má hodnotu 2,5 mm, což nevyhovuje. Pro dosažení výrobitelnosti existují dvě možnosti. První je přidání kalibrační operace a druhou je konzultace s konstruktérem, při které by bylo navrženo zvětšení poloměru dna dílce.

- Zaoblení tažné hrany – mezi pláštěm a přírubou se nachází zaoblení 2,5 mm zjištěné ze zadání. V těchto místech ale často dochází k porušení materiálu, a proto bude nutné provést kontrolu. Zaoblení hrany tažnice lze spočítat podobně jako u tažníku, kdy interval bude zvětšen o jednu hodnotu:

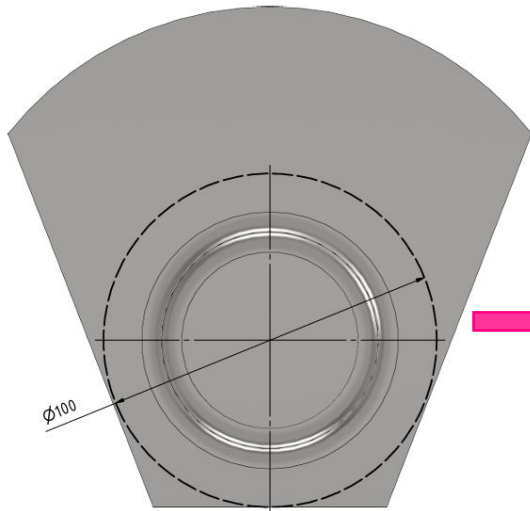
$$r_t = (4 \div 5) \cdot s_o = 4 \cdot 2 = 8 \text{ mm} \quad (3.1)$$

Poloměr ze zadání má hodnotu 2,5 mm, což podle výpočtu nevyhovuje. Stejně jako u zaoblení tažníku, bude potřeba zvážit dvě možnosti pro navržení správného rozměru.

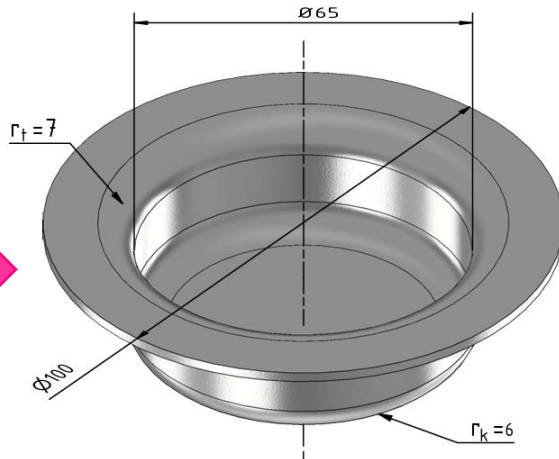
Technologičnost nebyla splněna ve dvou bodech, a to v poloměru zaoblení dna a tažné hrany. Po konzultaci s konstruktérem byl původní poloměr 2,5 mm u zaoblení dna výtažku změněn na 6 mm, což je i největší přípustné zaoblení dna vzhledem k funkčnosti dílce (obr. 38). U zaoblení na přírubě byl zvolen obdobný postup s výslednou hodnotou poloměru 8 mm. Opět byla nutná konzultace s konstruktérem, kdy bylo rozhodnuto, že poloměr 8 mm nebude použit, jelikož by součást nebylo možno vyrobit. Z toho důvodu bylo zvoleno zaoblení 7 mm, které je velmi blízko vypočtené hodnotě. Jedná se o maximální přípustné zaoblení, které lze vyrobit (obr. 38).

3.1 Velikost polotovaru

Z celkových rozměrů součásti bude nejprve potřeba určit velikost polotovaru. Jelikož má ale dílec nepravidelnou přírubu, bude návrh řešen tak, že do něj kolem vytažené části bude vepsána kružnice, která bude zároveň sloužit jako příruba upraveného tvaru součásti (obr. 37). Daný postup byl zvolen z toho důvodu, že se vytažená část nenachází uprostřed dílce.



Obr. 37 Součást bez otvorů.



Obr. 38 Upravený tvar součásti pro výpočty.

Pro následné výpočty pak bude uvažováno pouze s válcovou částí o průměru 65 mm rozšířenou o přírubu s průměrem 100 mm (obr. 38).

Rozměr polotovaru je zjišťován pomocí následujících metod:

- Zákon zachování ploch – součást je rozdělena na několik dílčích segmentů (obr. 39), za uvažování její konstantní tloušťky. V tom případě lze snadno vypočítat ze vzorce (2.1):

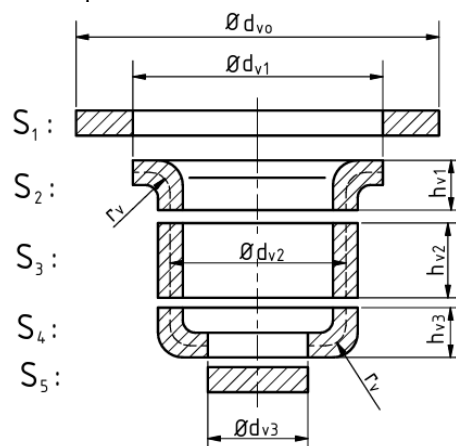
$$D_{01} = \sqrt{\frac{4 \cdot S_v}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 11\,687,1}{\pi}} = 122,01 \text{ mm}$$

kde: S_v – výsledná plocha výtažku:

$$\begin{aligned} S_v &= S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 \\ &= 2\,950,8 + 2\,108,2 + 1\,893,4 + 2\,184,2 + 2\,550,5 \\ &= 11\,687,1 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (3.2)$$

kde: S_1 – plocha příruby

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{\pi}{4} \cdot (d_{v0}^2 - d_{v1}^2) \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot (100^2 - 79^2) = 2\,950,8 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (3.3)$$



Obr. 39 Součást rozložená na jednoduché tvary.

S_2 – plocha zaoblení:

$$\begin{aligned} S_2 &= \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_{v1} \cdot r_v - h_{v1} \cdot r_v^2) \\ &= \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 79 \cdot 7,4 - 9 \cdot 7,4^2) \\ &= 2\,108,2 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (3.4)$$

S_3 – plocha pláště:

$$\begin{aligned} S_3 &= \pi \cdot d_{v2} \cdot h_{v2} \\ &= \pi \cdot 67 \cdot 9 = 1\,893,4 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (3.5)$$

S_4 – plocha spodního zaoblení:

$$\begin{aligned} S_4 &= \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot d_{v3} \cdot r_v + h_{v3} \cdot r_v^2) \\ &= \frac{\pi}{2} \cdot (\pi \cdot 57 \cdot 6,4 + 6 \cdot 6,4^2) \\ &= 2\,184,2 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

S_5 – plocha dna:

$$\begin{aligned} S_5 &= \frac{\pi}{4} \cdot d_{v3}^2 \\ &= \frac{\pi}{4} \cdot 57^2 = 2\,550,5 \text{ mm}^2 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Z výpočtu vyplývá, že minimální průměr polotovaru potřebného ke zhotovení výtažku je 122,01 mm. Výsledný průměr byl zvolen $D_{01} = 123$ mm.

- Bez zaoblení dna, dle vztahu (2.2):

$$\begin{aligned} D_{02} &= \sqrt{d_{vo}^2 + 4 \cdot d_{des} \cdot h} \\ &= \sqrt{100^2 + 4 \cdot 69 \cdot 24} = 128,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

kde: d_{des} – vnější průměr výtažku, $d_{des} = 69$ mm.

Průměr polotovaru z výpočtu bez zohlednění zaoblení dna vyšel 128,9 mm. Hodnota byla zaokrouhlena na 129 mm.

- Se zaoblením dna, dle vztahu (2.3):

$$\begin{aligned} D_{03} &= \sqrt{d_{vo}^2 + 4 \cdot d_{des} \cdot h - 1,72 \cdot d_{des} \cdot r} \\ &= \sqrt{100^2 + 4 \cdot 69 \cdot 24 - 1,72 \cdot 69 \cdot 2,5} = 127,8 \text{ mm} \end{aligned}$$

Ze vzorce zohledňujícího zaoblení dna výtažku vyšel průměr polotovaru 127,8 mm.

Výsledná hodnota byla ještě zaokrouhlena jako $D_{03} = 128$ mm.

- Z hmotnosti výtažku – je nutné dosadit hmotnost výtažku $m_v = 203$ g. Hodnota byla zjištěna pomocí programu Autodesk Inventor Professional 2025 a je uvedena v příloze 2. Je vypočten dle vztahu (2.4):

$$D_{04} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{m_v}{\rho_h \cdot s_o}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{203}{0,0078 \cdot 2}} = 128,9 \text{ mm}$$

kde: ρ_h – je pro ocel 7 800 kg · m⁻³.

Výpočet je velmi rychlý a jednoduchý. Výsledná hodnota 128,9 mm byla zaokrouhlena na $D_{04} = 129$ mm.

Z provedených výpočtů vyplývá, že rozměr polotovaru lze určit několika metodami. Výsledný průměr se pohybuje v rozmezí od 123 do 129 mm. Pro další výpočty bude zvolen průměr $D_{01} = 123$ mm ze zákona zachování ploch, který se jeví jako nejpřesnější metoda.

3.2 Počet tažných operací

Prvotním krokem při výpočtu počtu tažných operací bude zjistit součinitel s_p , který je určen ze vzorce (2.5):

$$s_p = \frac{s_o}{D_{01}} \cdot 100 = \frac{2}{124} \cdot 100 = 1,613$$

Z výsledné poměrné tloušťky $s_p = 1,613$, která se nachází v intervalu 1,5 až 2,0, jsou z tab. 2 odečteny doporučené hodnoty mezních součinitelů tažení. Pro přehlednost byla tabulka následně upravena a zjednodušena do tab. 7.

Tab. 7 Hodnoty součinitelů tažení pro interval (1,5÷2,0). [38]

m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
0,49	0,74	0,77	0,79	0,81

Následně lze určit počet potřebných operací ke zhotovení výrobku, kdy musí platit podmínka $d_i \leq d$. Jako první bude proveden výpočet pro první tažnou operaci dle (2.6):

$$d_1 = m_1 \cdot D_{01} = 0,49 \cdot 123 = 60,27 \text{ mm}$$

Po první tažné operaci bude průměr d_1 zaokrouhlen na 61 mm.

Podmínka: $d_1 \leq d$

$$61 \text{ mm} \leq 65 \text{ mm}$$

Jelikož byla podmínka splněna, výsledný průměr byl zvolen $d_1 = 65 \text{ mm}$.

Součást je vyrobitelná na jednu operaci, to znamená, že první operace bude zároveň i dokončovací. Při tažení je ale třeba uvážit přídavky na průměr podle počtu tahů kvůli plošné anizotropii. Pro první tah se jeho hodnota navyšuje o 3 %, což výsledný průměr změní:

$$\begin{aligned} D_0 &= D_{01} \cdot 1,03 \\ &= 123 \cdot 1,03 = 126,7 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Výsledný průměr polotovaru byl zvolen $D_0 = 127 \text{ mm}$.

Průměr bude muset být ale znovu překontrolován, jestli vyhovuje součiniteli tažení a jestli stále odpovídá podmínce $d_i \leq d$:

Kontrolní výpočet první tažné operace:

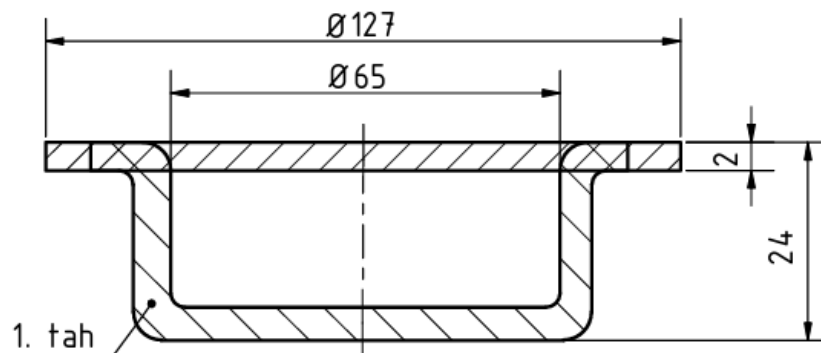
$$\begin{aligned} d'_1 &= m_1 \cdot D_0 \\ &= 0,49 \cdot 127 = 62,2 \text{ mm} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Po první tažné operaci bude zaokrouhlen průměr $d'_1 = 63 \text{ mm}$.

Podmínka: $d'_1 \leq d$

$$63 \text{ mm} \leq 65 \text{ mm}$$

Jelikož byla podmínka splněna, výsledný průměr $d'_1 = 65 \text{ mm}$.



Obr. 40 Rozměry dílu po 1. tažné operaci.

Po zvětšení průměru polotovaru o přídavek 3 % bude stále možné součást vytáhnout na jednu operaci. Průměr polotovaru před tažením je $D_0 = 127 \text{ mm}$ (obr. 40). Výsledný průměr po prvním tahu je $d'_1 = 65 \text{ mm}$.

3.3 Technologické parametry tažení

Nejprve bude spočítána tažná mezera, kterou lze určit několika způsoby:

- Z tabulky 4 – kde tloušťce plechu 2 mm odpovídá hodnota tažné mezery 2,4 mm. Pomocí tabulky byla zvolena velikost tažné mezery 2,4 mm.
- Dle Oehlera – ze vztahu (2.11):

$$z = s_o + k \cdot \sqrt{10 \cdot s_o} = 2 + 0,07 \cdot \sqrt{10 \cdot 2} = 2,31 \text{ mm}$$
 Z výpočtu vyšla hodnota mezery 2,31 mm, která bude zaokrouhlena na $z = 2,35 \text{ mm}$.
- Dle ČSN 22 7301 – určuje výpočty podle druhu operace. Pro první tah je použita rovnice (2.12):

$$z_1 = (1,2 \div 1,3) \cdot s_o = 1,25 \cdot 2 = 2,5 \text{ mm}$$
 kde: z rozsahu bude volena střední hodnota 1,25.
 Tažná mezera pro první tah vyšla v konkrétním případě jako $z_1 = 2,5 \text{ mm}$.

Jednotlivé výsledky vychází obdobně. Jako nejvhodnější se ovšem jeví výpočet dle normy ČSN 22 7301, který vyšel $z_1 = 2,5 \text{ mm}$.

Dalším krokem je provedení kontroly, zda je nutné použít přidržovač. Dané výpočty budou provedeny pro zjednodušený tvar výtažku. Pro první operaci je možné použít několik postupů:

- Dle ČSN 22 7301 – kdy je nejprve potřeba spočítat součinitel nutnosti použití přidržovače dle (2.15):

$$k_p = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s_o}}{\sqrt[3]{D_o}} \right) = 50 \cdot \left(1,9 - \frac{\sqrt{2}}{\sqrt[3]{127}} \right) = 80,93$$

Poté bude zjištěná hodnota dosazena do podmínky (2.16):

$$k_p \geq \frac{d_1}{D_o} \cdot 100$$

$$80,93 \geq \frac{65}{127} \cdot 100$$

$$80,93 \geq 51,18$$

Byl zjištěn součinitel nutnosti použití přidržovače $k_p = 80,93$. Výsledek byl porovnán s kritickou hodnotou, která vyšla jako 52,4. Porovnáním výsledků byla ověřena platnost podmínky, z čehož vyplývá, že bude nutné přidržovač použít.

- Dle Šofmana – je vycházeno z podmínky (2.18):

$$D_o - d \leq 18 \cdot s_o$$

$$127 - 65 \leq 18 \cdot 2$$

$$62 \text{ mm} \leq 36 \text{ mm}$$

Z výpočtu lze zjistit, že daná podmínka nebyla splněna, jelikož hodnota 62 mm překračuje povolenou mez 36 mm. Z toho vyplývá, že je nutné použít přidržovače.

- Dle Freilinga – vychází z velikosti poměrné tloušťky $s_p = 1,613$, která se nachází v rozmezí 1,5 – 2 %, z podmínky (2.20). Dané rozmezí poukazuje na nutnost dalšího ověření, jestli bude potřeba použít přidržovač.

Na základě provedených výpočtů bylo zjištěno, že použití přidržovače je při dané operaci hlubokého tažení nezbytné.

3.4 Síly, práce a tvar polotovaru

Výpočet celkové síly je důležitý pro stanovení potřebného lisu. Celková síla při hlubokém tažení zahrnuje upravenou kritickou, přidržovací a vyhazovací sílu. Velikost vyhazovací síly bývá vzhledem k ostatním složkám velmi malá, a z toho důvodu bude zanedbána.

Jako první bude vypočtena kritická síla pomocí vzorce (2.22):

$$F_{kri} = \pi \cdot d'_1 \cdot s_o \cdot R_m = \pi \cdot 65 \cdot 2 \cdot 380 = 155\,194,67 \text{ N}$$

Kritická síla pro tažení vyšla 155,2 kN. Dále je nutné provést kontrolu, že během procesu nedojde k překročení této mezní hodnoty, kvůli čemuž by došlo k utržení dna. Bude potřeba vypočítat upravenou kritickou sílu ze vztahu (2.23):

$$F_u = \pi \cdot d'_1 \cdot s_o \cdot R_m \cdot C = \pi \cdot 65 \cdot 2 \cdot 380 \cdot 1 = 155\,194,67 \text{ N}$$

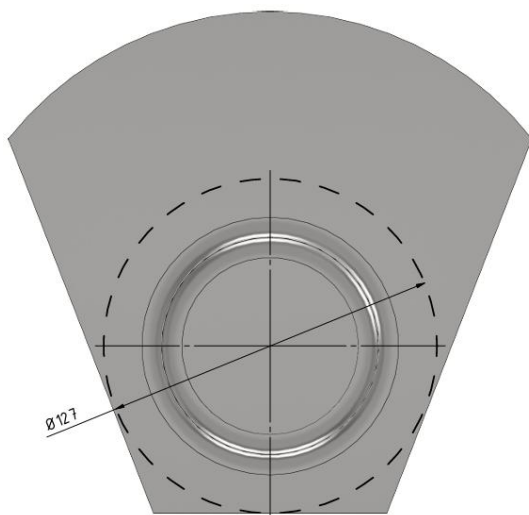
kde: C – hodnota součinitele, určená z tabulky 8. Vzhledem k hodnotě součinitele tažení $m_1 = 0,49$, která je nižší než uvedené číslo 0,5 z tabulky, bude pro první tah zvoleno $C = 1,00$.

Tab. 8 Hodnota součinitele pro výpočet síly. [39]

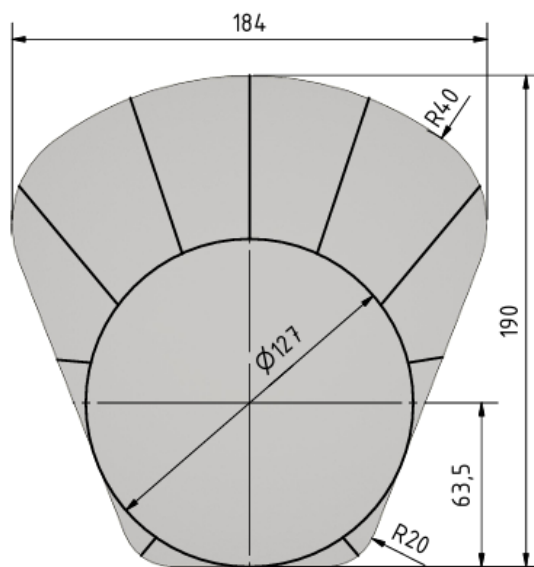
1. tah	m_1	0,5
	C	1,00

Z výpočtů vyplývá, že hodnoty obou sil jsou totožné, což znamená, že podmínka $F_{kri} \geq F_u$ byla splněna. Potřebná síla je tedy přibližně 156 kN.

Pro výrobu součásti s nesouměrnou přírubou (obr. 41), bylo potřeba navrhnout tvar výchozího polotovaru. Do dílce byla vepsána kružnice o průměru 127 mm, což je průměr polotovaru potřebného k vytažení tvaru. Následně byla přičtena jeho zbylá plocha rozšířená o přídavek, se zaoblenými ostrými hranami (obr. 42). Daný tvar bude dále použit při výpočtu přidržovací síly. Přebytečný materiál polotovaru bude po procesu tažení odstraněn.



Obr. 41 Tvar výrobku.



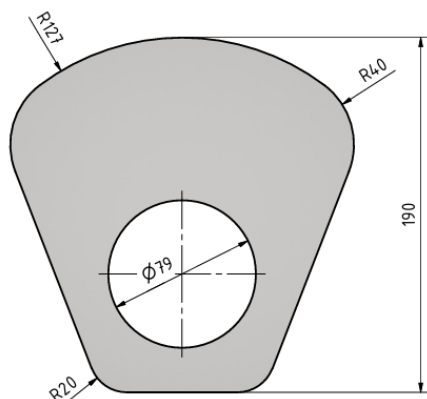
Obr. 42 Tvar a rozměry polotovaru.

Síla, kterou přidržovač na plech působí, je závislá na jeho činné ploše a přidržovacím tlaku. Lze ji vyjádřit ze vztahu (2.24):

$$F_p = S_{\text{čin}} \cdot p = 45\,009,78 \cdot 2 = 90\,019,56 \text{ N}$$

kde: p – voleno z intervalu $(2 \div 5)$, byla zvolena hodnota 2 MPa,

$S_{\text{čin}}$ – činná plocha přidržovače $S_{\text{čin}} = 45\,009,78 \text{ mm}^2$, zjištěná pomocí aplikace Autodesk Inventor Professional 2025, uvedeno v příloze 3 (obr. 43).



Obr. 43 Činná plocha přidržovače.

Výsledná hodnota přidržovací síly činí 90 kN.

Celková síla je sumariací dílčích výsledků dle vztahu (2.25):

$$F_c = F_u + F_p = 155\,194,67 + 90\,019,56 = 245\,214,23 \text{ N}$$

Výsledná hodnota celkové síly potřebné k vytažení dílce vyšla zhruba 246 kN. Jedná se o velmi důležitý parametr při volbě vhodného tvářecího stroje. Z celkové tažné síly totiž vychází hodnota spotřebované práce, která je pro volbu zařízení rovněž určujícím prvkem. Její výpočet bude vycházet ze vztahu (2.26):

$$A_t = \frac{F_c \cdot c \cdot h_1}{1\,000} = \frac{245\,214,23 \cdot 0,8 \cdot 24}{1\,000} = 4\,708,1 \text{ J}$$

kde: c – koeficient zaplnění plochy v rozmezí $(0,6 \div 0,8)$. Zvolená hodnota $c = 0,8$,
 h_1 – výška výtažku po první operaci, $h_1 = 24 \text{ mm}$.

Práce, kterou lis během celého procesu tažení vykoná, činí přibližně 4,7 kJ.

3.5 Volba tabule plechu

Během návrhu je důležité co nejefektivněji určit rozměry tabule plechu a rozmístění polotovaru. Správné navržení zajistí největší využití materiálu a vznik co nejmenšího odpadu, díky čemuž bude následně možné zredukovat náklady na výrobu.

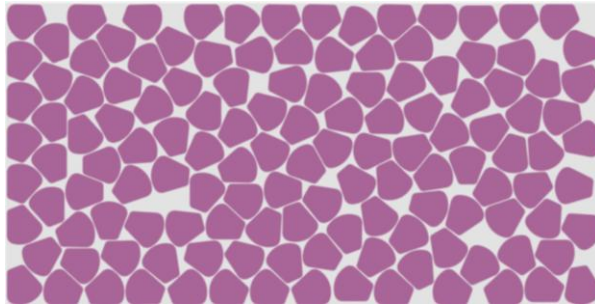
Jsou k dispozici tři typy tabulí plechu o tloušťce 2 mm z materiálu 11 321. Ke každému byl proveden výpočet rozmístění a využitelnosti. Pro konkrétní případ byla zvolena mezera mezi jednotlivými kusy 5 mm. Všechny výsledky byly porovnány v tabulce 9. Vzorový výpočet je pro tabuli o rozměrech 1 500 x 3 000 mm (obr. 44):

- Objem polotovaru – byl odečten z programu Autodesk Inventor Professional 2025, kdy $V_p = 43\,310,1 \text{ mm}^3$.
- Objem tabule:

$$V_t = a \cdot b \cdot s_o = 1\,500 \cdot 3\,000 \cdot 2 = 9\,000\,000 \text{ mm}^3 \quad (3.10)$$
- Využití materiálu:

$$v_m = \frac{V_p \cdot n_{t1}}{V_t} \cdot 100 = \frac{43\,310,1 \cdot 133}{9\,000\,000} \cdot 100 = 64 \% \quad (3.11)$$

kde: n_{t1} – počet kusů polotovaru z pálicího plánu určený pomocí softwaru Nest&Cut (obr. 44).



Obr. 44 Nejeftektivnější rozmístění polotovaru. [49]

- Počet tabulí:

$$n_t = \frac{10\,000}{n_{t1}} = \frac{10\,000}{133} = 75,2 \text{ tabulí} \quad (3.12)$$

Pro zadanou výrobní sérii bude potřeba 76 tabulí plechu.

Tab. 9 Porovnání jednotlivých rozměrů tabulí plechu.

Rozměry tabule	n_{t1} [ks]	V_t [mm ³]	v_m [%]	n_t [ks]
1 000 x 2 000	59	4 000 000	63,8	170
1 250 x 2 500	92	6 250 000	63,7	109
1 500 x 3 000	133	9 000 000	64	76

Po porovnání jednotlivých způsobů rozmístění z tabulky 9 se z ohledu na využitelnost materiálu jeví jako nejvhodnější varianta s rozměry tabule 1 500 x 3 000 mm, s využitím materiálu 64 %. Z jedné tabule plechu je pak možné vyrobit 133 kusů. Na celou výrobní sérii bude potřeba 76 kusů plechu, které budou dodány firmou Atreon.

Ve firmě je k dispozici laser od firmy TRIUMPF TruLaser 3030 fiber s pracovní plochou 3 000 x 1 500 mm (obr. 45), jehož technické parametry jsou uvedeny v tabulce 10. Kromě výroby polotovaru bude využit i pro dokončovací operace, tj. ke zhotovení konečného tvaru a otvorů. [50]

Tab. 10 Technické údaje TruLaser 3030 fiber. [50]

Pojezd v ose x	3 000 mm
Pojezd v ose y	1 500 mm
Pojezd v ose z	115 mm
Výkon laseru	4 až 24 kW
Rychlost řezu	170 m·min ⁻¹



Obr. 45 TruLaser 3030 fiber. [50]

3.6 Volba stroje

Tvářecí zařízení, neboli hydraulický tažný lis, je zvolen podle spotřebované práce, která vyšla přibližně 4,7 kJ. Dalším důležitým parametrem je celková síla potřebná k vytažení dílce, která se skládá ze dvou složek. První je upravená kritická síla 155,2 kN a další je přidržovací síla 90 kN. Zvolený stroj musí mít alespoň jeden beran nahoře a druhý dole.

Jako ideální se jeví hydraulický lis PO 250 od firmy Dieffenbacher s tvářecí silou 2 500 kN (obr. 46), spodním přidržovačem o síle 1 000 kN a horním vyhazovačem o síle 200 kN. Dále je vybaven magnetickými upínacími deskami. Stroj byl zvolen i z toho důvodu, že se již nachází ve strojovém parku firmy. Ostatní parametry jsou uvedeny v tabulce 11 [51].

Tab. 11 Technologické parametry lisu PO 250 [51].

Pracovní prostor	Velikost stolu	1 500 x 1 200 [mm]
Beran	Tvářecí síla	2 500 [kN]
	Zdvih	900 [mm]
	Sevření	200 [mm]
	Tvářecí rychlost	17 [mm·s ⁻¹]
Přidržovač	Spodní přidržovač vnější	1 000 [kN]
	Spodní přidržovač vnitřní	500 [kN]
	Horní vyhazovač	200 [kN]

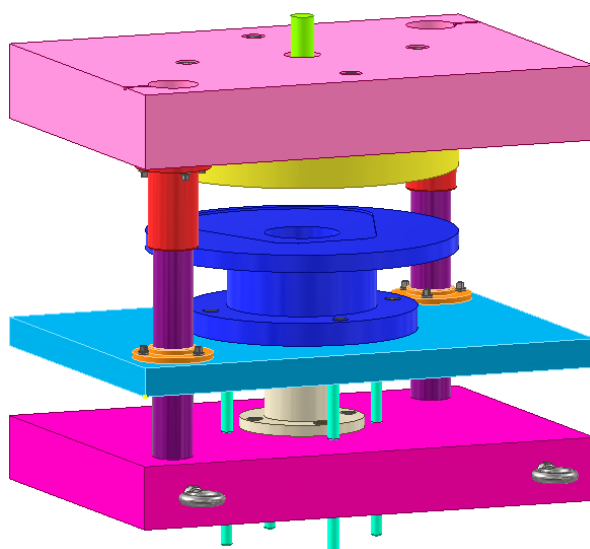


Obr. 46 Lis PO 250 [51].

3.7 Nástroj

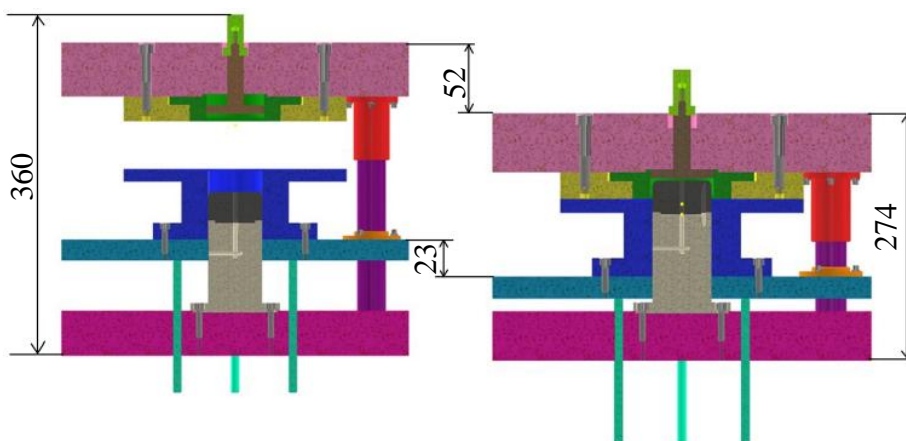
Polotovár bude zpracován pouze na jednu tažnou operaci, což bylo zjištěno posouzením technologičnosti a na základě předešlých výpočtů. Výroba je navržena pomocí jednoduchého tažidla (obr. 47). Na zvoleném lisu je upínání pomocí magnetických desek, což umožňuje snadné upnutí a výměnu daného nástroje.

Při návrhu nástroje je potřeba brát ohled na ekonomičnost výroby jednotlivých dílů, ale také na jeho funkčnost. Díly jsou buď normalizované, nebo vyrobené technologiemi třískového obrábění. Je nutné dodržet parametry zjištěné pomocí výpočtů, jako jsou poloměry zaoblčení tažných hran tažníku a tažnice a tažné mezery. Při první operaci je řešeno přetvoření plechového polotovaru, na dílec s válcovým výtažkem o průměru 65 mm a výškou 24 mm s nepravidelnou přírubou.



Obr. 47 Nástroj pro první tah.

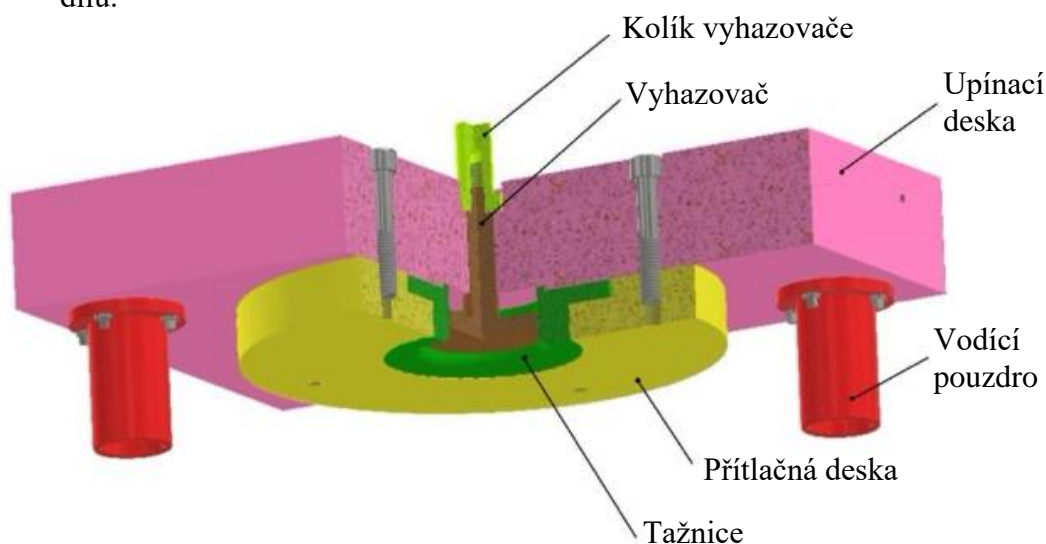
Nástroj má zdvih 52 mm, v otevřeném stavu je jeho výška 360 mm a v sevření je výška 274 mm, což je znázorněno na obrázku 48. Do otevřeného nástroje se do zhloubení v přidržovači vloží polotovár, zhotovený laserovým řezáním. Jakmile je stroj zapnut, horní část sjede dolů, až dojde ke kontaktu tažnice a přítlačné desky s polotovarem. Dále se spolu s horní částí nástroje pohybuje směrem dolů i přidržovací deska se samotným přidržovačem, a jakmile sjedou o 23 mm, dojde k dosažení koncové polohy a k vytvarování výlisku. Následuje zpětný pohyb horní části. Nakonec pomocí horního vyhazovače lisu, s pomocí vyhazovače a jeho kolíku, dojde k vyhození výtažku z tažnice, a tím i k dokončení procesu.



Obr. 48 Rozměry nástroje v otevřeném a zavřeném stavu.

Nástroj je možno rozdělit na horní a spodní část o celkovém půdorysu 420 x 300 mm. Níže je uveden jejich popis:

- Horní část – je upnuta k hlavnímu tvářecímu beranu lisu PO 250 pomocí magnetické desky. Během procesu se pohybuje dolů a nahoru. V řezu na obr. 49 jsou zobrazeny a popsány jednotlivé díly:
 - Upínací deska – je upnuta k beranu lisu na magnetické desce. Má obdélníkový tvar o rozměrech 420 x 300 mm a tloušťce 65 mm. Je vyrobena z nelegované oceli 11 500 a nachází se na ní několik otvorů pro vedení nebo upnutí jiných dílů.



Obr. 49 Řez horní částí nástroje.

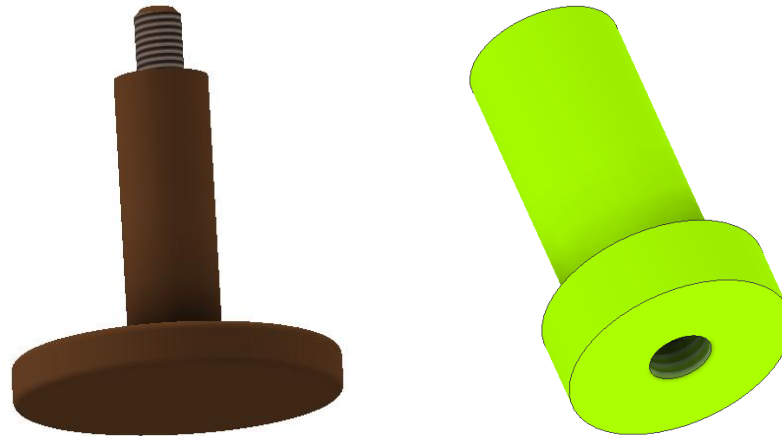
- Tažnice – není k základní desce připevněna žádnými šrouby, je k ní upevněna pomocí přítlačné desky. Na tažnici se nachází vybrání, které slouží k jejímu přesnému ustavení do upínací desky (obr. 50). Rozměr vnitřního průměru odpovídá 70 mm se zaoblením tažné hrany 7 mm. Je vyrobena z oceli 19 312 a je předepsáno kalení a popouštění na 58 ± 1 HRC.



Obr. 50 Tažnice.

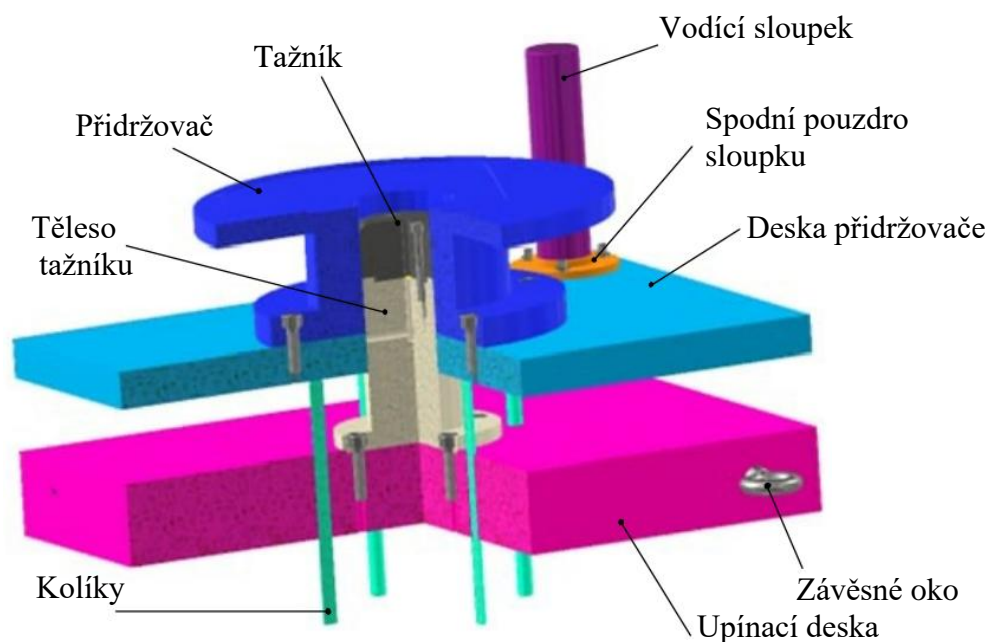
- Přítlačná deska – slouží k přitlačení tvářeného materiálu a zároveň k upevnění tažnice k upínací desce pomocí čtyř zápusťných šroubů M12. Uvnitř tělesa o průměru 270 mm se nachází vybrání pro ustavení plochy tažnice. Je vyrobena z oceli 11 500.
- Vodící pouzdra – jsou používána pro snadné a přesné vedení horní části nástroje. Jsou ustavené do otvorů v upínací desce a připevněny pomocí čtyř šroubů M5. Na jejich vnitřním průměru se nachází mazací drážky. Jsou vyrobené z oceli 11 500.

- Vyhazovač – slouží k tomu, aby výtazek po vytvarování nezůstal v tažnici. Je upevněn pomocí závitu ke kolíku (obr. 51). Je ovládán pomocí vyhazovacího beranu lisu, který bohužel neumožňuje jeho upnutí. Z toho důvodu se pohybuje zároveň s deskou a po vytažení je zatlačen dolů. Je vyroben z oceli 11 500.
- Kolík vyhazovače – jeho dosedací plocha je usazena v upínací desce. Slouží k upnutí vyhazovače pomocí závitu M10, který se nachází uvnitř součásti (obr. 51). Je vyroben z konstrukční oceli 11 500.



Obr. 51 Vyhazovač a kolík.

- Spodní část – je upnuta pomocí magnetické desky ke stolu lisu PO 250 a během tažného procesu se nepohybuje. V řezu na obrázku 52 jsou znázorněny a popsány jednotlivé díly:
 - Upínací deska – je upnuta na magnetickém stole lisu. Má obdélníkový tvar o rozměrech 420 x 300 mm a tloušťce 55 mm. Je vyrobena z nelegované oceli 11 500. Nachází se v ní několik otvorů určených pro vedení nebo upnutí ostatních dílů. Jsou na ní i čtyři závěsná oka M8, sloužící ke snadnější manipulaci.



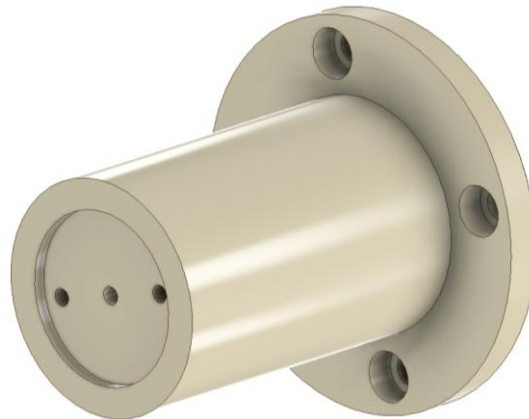
Obr. 52 Řez spodní částí nástroje.

- Tažník – je k jeho tělesu upnutý pomocí dvou zápusťných šroubů M6 a jeho poloha je zajištěna pomocí vybrání (obr. 53). Má kruhový tvar o průměru 65 mm s poloměrem zaoblení tažné hrany 6 mm. V jeho středu se nachází vyvrtaný zavzdušňovací otvor. Je vyroben z nástrojové oceli 19 312 s předepsaným kalením a popouštěním na 59 ± 1 HRC.



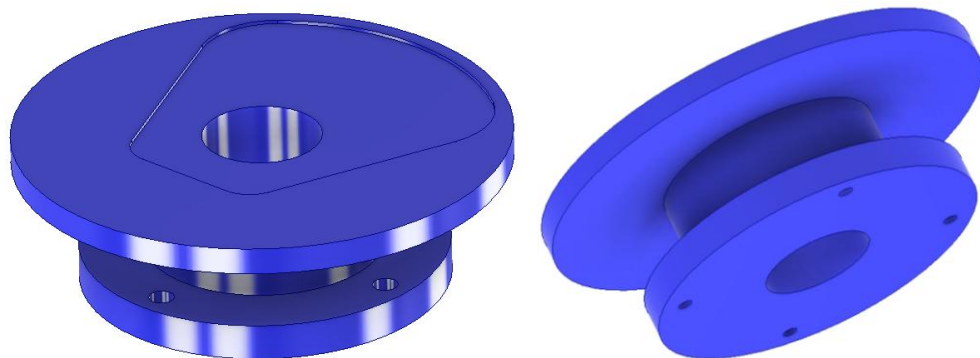
Obr. 53 Tažník.

- Těleso tažníku – je na něj pomocí dvou zápusťných šroubů M6 připevněný tažník. Uprostřed má otvor pro přívod vzduchu (obr. 54) a zároveň je pomocí čtyř šroubů M8 upnut ke spodní desce. Jeho poloha vůči desce i tažníku je zajištěna pomocí středového vybrání. Bude navrženo z oceli 11 500.



Obr. 54 Těleso tažníku.

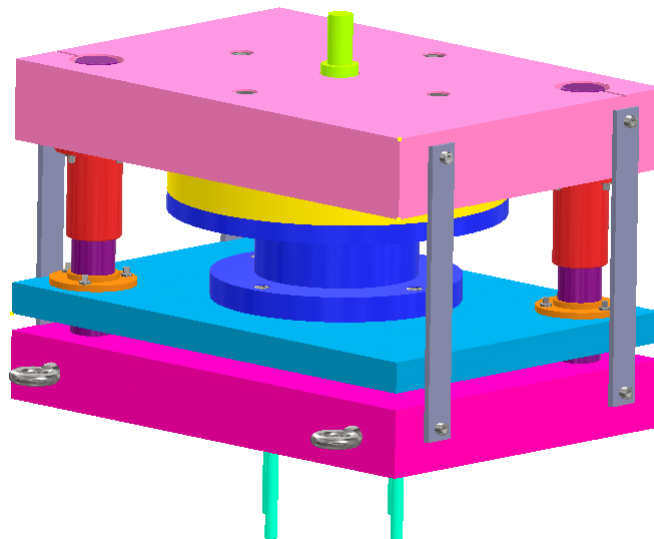
- Přidržovač – je upnutý k pohyblivé desce přidržovače pomocí zápusťných šroubů M8. Má tvar mezikruží s největším průměrem 270 mm (obr. 55). Nachází se v něm otvor pro průchod tažníku a jeho tělesa. Z horní strany je vyfrézované zahloubení, sloužící k založení polotovaru pro snadnější zajištění jeho polohy. Je vyroben z oceli 11 500.



Obr. 55 Přidržovač.

- Deska přidržovače – má obdélníkový tvar o rozměrech 420 x 300 mm a tloušťce 25 mm. Je k ní připevněn přidržovač pomocí čtyř šroubů M8. Její pohyb je zajištěn pomocí čtyř tlačných kolíků. Slouží také k vedení sloupků. Je vyrobena z nelegované oceli 11 500.
- Kolíky – jsou vedeny skrz otvory ve spodní upínací desce, ale i v magnetické. Čtyři tlačné kolíky o průměru 10 mm zajišťují pohyb desky přidržovače. Jsou vyrobeny z oceli 11 500.
- Vodící sloupky – vedou horní část nástroje a zároveň zajišťují přesné vedení. Ke spodní upínací desce jsou napevno připevněny pomocí zápusťných šroubů M12. K desce přidržovače je pak poloha sloupku ustavena pomocí spodního pouzdra. Jsou vyrobeny z oceli 11 500.
- Spodní pouzdro sloupku – slouží k ustavení polohy vodícího sloupku (obr. 56). Je upevněno k desce přidržovače pomocí tří šroubů M5. Pouzdra jsou vyrobena z oceli 11 500.
- Závěsná oka – používají se pro snadnější manipulaci s nástrojem. Jsou zašroubována v otvorech umístěných ve spodní upínací desce pomocí závitu M8.

Na bocích obou upínacích desek jsou zhotoveny čtyři otvory určené pro šrouby M6, které slouží k upevnění skladovacích lišt, zajišťujících polohu horní části vůči spodní (obr. 56). Používají se při skladování nebo přepravě nástroje.



Obr. 56 Nástroj se skladovacími lištami.

Návrh maziva je důležitou součástí výroby, je nutná jeho správná volba a použití při procesu tažení. Bude zvolen vodou nemísitelný tvářecí olej Iloform FST 16 od firmy Castrol. Byl navržen pro středně náročné operace hlubokého tažení na uhlíkové oceli. Vyniká svojí odolností proti tlaku a ochranou proti opotřebení zajišťuje dlouhodobou životnost nástroje. Další výhodou je, že neobsahuje chlor ani těžké kovy, což pomáhá zlepšovat jeho ekologické vlastnosti. Podrobnější technické parametry jsou uvedeny v tabulce 12. [52]

Tab. 12 Technické parametry Iloform FST 16 [52].

Vzhled	Hustota při 15 °C	Viskozita při 40 °C	Bod vzplanutí
Tmavě hnědá kapalina	945 kg/m ³	93 mm ² /s	> 170 °C

ZÁVĚR

Zpracovávaným dílcem je těsnicí deska s primárním využitím v zemědělském průmyslu, umístěná na předním válci drtiče kukuřice, s tloušťkou stěny 2 mm. Pro výrobu byla díky svým vhodným vlastnostem a nízké ceně zvolena nelegovaná konstrukční ocel 11 321. Výrobní série činí 1 000 kusů za rok s pravidelnou opakovatelností po dobu deseti let, z čehož vyplývá, že bude zhotoveno celkem 10 000 kusů.

Z rozboru jednotlivých kroků výroby těsnicí desky bylo pro zhotovení polotovaru zvoleno laserové řezání. Pro vytvarování válcové části bylo vybráno konvenční hluboké tažení a pro následné zhotovení vnějšího tvaru příruby a otvorů bylo opět využito laseru. Dále bylo potřeba připevnit matice, což bylo provedeno svorkovým svařováním. Jako poslední byla provedena povrchová úprava žárovým zinkováním, jelikož se součást nachází v prostředí, kde by mohlo docházet ke korozi. Literární rešerše a návrh výroby byl zhotoven pouze pro jeden krok, kterým je hluboké tažení bez ztenčení stěny.

Před samotným návrhem výrobního postupu byla zkontrolována technologičnost dílce. Zvolená ocel 11 321 je vhodná pro hluboké tažení díky své dobré tažnosti. Geometrie součásti byla zjednodušena odstraněním otvorů, které budou zhotoveny až po tažení. Poloměry zaoblení byly po konzultaci s konstruktérem upraveny, a to na zaoblení dna 6 mm a zaoblení na přechodu příruby a pláště 7 mm, čímž byly splněny požadavky na vyrobiteľnost.

Jelikož má dílec nepravidelnou přírubu, bude pro návrh použit jeho zjednodušený tvar, kdy do něj bude kolem vytažené části vepsána kružnice 100 mm, díky které byl zjištěný rozměr polotovaru pro tažení 127 mm. Dále bylo pomocí výpočtů zjištěno, že bude zapotřebí pouze jedné tažné operace na průměr 65 mm a výšku 24 mm. Průměr polotovaru pro tažení byl následně použitý pro stanovení celkového polotovaru ke zhotovení součásti, který bude vyráběn z tabule plechu o rozměrech 1 500 x 3 000 mm s využitím materiálu 64 %, pomocí laserového řezání na stroji TruLaser 3030 fiber. Celková síla potřebná k vytažení dílce vyšla $F_c = 246$ kN a tažná práce $A_t = 4,7$ kJ. Nástroj byl zkonstruován pro tažný lis PO 250 od firmy Dieffenbacher s jmenovitou silou 2 500 kN. Jako mazivo byl zvolen nemísitelný tvářecí olej Iloform FST 16 od firmy Castrol.

Před zavedením dílce do výroby je potřeba navržený postup ověřit pomocí simulace procesu a otestovat na ověřovací sérii, aby se potvrdily zjištěné výsledky. Vzhledem k rozložení materiálu v přírubě je pravděpodobné, že bude potřeba do nástroje přidat brzdná žebra pro regulaci vstupního materiálu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. JANÁČEK, Petr. *Úvod do strojírenství*. Online. Dostupné z: <https://elektromaniaci.cz/cs/content/obory/strojirenstvi/index.php?page=technologie-historie-vyvoj#>. [cit. 2025-01-21].
 2. CÍSAŘOVÁ, Michaela a DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření*. Online, Studijní opory. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2021. Dostupné z: https://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/ctt_technologie_tvareni_sylabus_dvorak_cisarovna.pdf. [cit. 2025-01-21].
 3. *Deep drawing process*. Online. Zhengxi. 2019-2025. Dostupné z: <https://www.zx-hydraulic.com/news/deep-drawing-forming-process-practical-application/>. [cit. 2025-05-22].
 4. *Dřez Kevin*. Online. In: Baumax. © 2025. Dostupné z: <https://www.baumax.cz/vrobek/drez-kewin-116-580x480x180-len,99689.html>. [cit. 2025-05-22].
 5. *Lisované díly*. Online. In: Rostra s.r.o. © 2021. Dostupné z: <https://www.rostra.cz/produkty/lisovna/>. [cit. 2025-05-22].
 6. *Korba pro kolečko*. Online. In: Hornbach. © 2025. Dostupné z: <https://www.hornbach.cz/p/nahradni-korba-pro-kolecko-80-l/4228025/>. [cit. 2025-05-22].
 7. *Jaguar 800*. Online. Claas. © 2025. Dostupné z: <https://www.claas.com/cs-cz/zemedelske-stroje/sklizeci-rezacky/jaguar-800>. [cit. 2025-05-22].
 8. *Jakost DC01*. Online. Atreon. © 2025. Dostupné z: <https://www.atreon.cz/jakost-dc01/>. [cit. 2025-05-22].
 9. *Water jet cutting*. Online. ABjet. © 2025. Dostupné z: <https://www.abjet.cz/en/water-jet/>. [cit. 2025-05-22].
 10. *Jak funguje řezání vodním paprskem*. Online. ESAB. © 2025. Dostupné z: https://esab.com/cz/eur_cs/esab-university/blogs/how-does-waterjet-cutting-work/. [cit. 2025-05-22].
 11. *Laser cutting*. Online. TWI. © 2025. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/cutting-processes-laser-cutting-052>. [cit. 2025-05-22].
 12. *Řezání vodním paprskem*. Online. In: LIKO-S. © 2025. Dostupné z: <https://www.liko-welding.cz/cs/rezani-vodni-paprsek>. [cit. 2025-05-22].
 13. *Laserová úprava plechů*. Online. Batima. © 2025. Dostupné z: <https://www.batima.cz/blog/laserova-uprava-plechu-liberec>. [cit. 2025-05-22].
 14. *Difference between deep drawing and hydroforming*. Online. TMS. © 2025. Dostupné z: <https://toledometalspinning.com/difference-between-deep-drawing-and-hydroforming>. [cit. 2025-05-22].
 15. MARCINIAK, Zdislaw; DUNCAN, John L. a HU, Jack S. *Mechanics of sheet metal forming. 2. Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 07-506-5300-00*.
 16. *Hydroforming*. YOUTUBE. Online. 2021. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ZqtWJokmvco>. [cit. 2025-02-22]. EMS METAL
 17. *Deep drawing die*. Online. In: EMS. © 2025. Dostupné z: <https://ems-metalworking.com/deep-drawing-die-design/>. [cit. 2025-05-22].
 18. *What is plasma cutting*. Online. TWI. © 2025. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-plasma-cutting>. [cit. 2025-05-22].
-

-
19. CNC řezání plazmou. Online. In: Ditech. © 2012 - 2019. Dostupné z: <https://ditech.cz/component/content/article/9-uncategorised/111-cnc-rezani-plazmou%20cnc-plasma-cutting.html>. [cit. 2025-05-22].
 20. Sváření v ochranné atmosféře CO₂ - MIG/MAG. Online. Svářecí kukla. © 2025. Dostupné z: <https://www.svarcikukla.cz/blog/mig-mag-svarovani-v-ochranne-atmosfere/>. [cit. 2025-05-22].
 21. Technologie svorníkového navařování. Online. Svorníkové navařování. © 2025. Dostupné z: <https://studwelding.cz/technologie-svornikoveho-navarovani/>. [cit. 2025-05-22].
 22. Svářeč CO₂. Online. In: ALEGRI. © 2025. Dostupné z: <https://www.alegrigroup.cz/svarec-co2>. [cit. 2025-05-22].
 23. Svorníkové navařování. Online. In: ARTWELD. © 2025. Dostupné z: <https://artweld.cz/svornikove-svarovani/>. [cit. 2025-05-22].
 24. Práškové lakování. Online. TIGER. © 2025. Dostupné z: <https://www.tiger-coatings.com/cz-cs/co-je-praskove-lakovani>. [cit. 2025-05-22].
 25. Žárové zinkování. Online. Eurometal. © 2025. Dostupné z: <https://www.eurometal.cz/magazin/rozdil-mezi-zarovym-a-galvanickym-zinkovanim-detail-60>. [cit. 2025-05-22].
 26. Práškové lakování. Online. In: GEZ. © 2025. Dostupné z: <http://gez.cz/praskove-lakovani/>. [cit. 2025-05-22].
 27. Žárové zinkování. Online. In: Zinkujeme. © 2025. Dostupné z: <https://zinkujeme.cz/o-zarovem%20zinkovani/>. [cit. 2025-05-22].
 28. DVOŘÁK, Milan; GAJDOŠ, František a NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Brno: CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
 29. BAČA, Jozef; BÍLIK, Jozef a TITTEL, Viktor. *Technológia tvárnenie*. Bratislava: STU, 2010. ISBN 978-80-227-3242-0.
 30. SAMEK, Radko; ŠMEHLÍKOVÁ, Eva a LIDMILA, Zdeněk. *Speciální technologie tváření*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-214-4406-52.
 31. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání - teoretický základ: Tažení složitých výtažků*. Výukové materiály. Ostrava: Vysoká škola Báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2013.
 32. STROJAŘSKÁ BIBLE. *Tažení*. Online. ©2025. Dostupné z: <https://www.strojarskabible.cz/tazeni/>. [cit. 2025-03-08].
 33. TSCHATSCH, Heinz. *Metal forming practise: processes - machines - tools*. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 978-3-540-33216-9.
 34. *Sheet metal forming*. Online. In: SlidePlayer. © 2025. Dostupné z: <https://slideplayer.com/slide/4117703/>. [cit. 2025-05-22].
 35. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.
 36. *Tažení*. Online. Tváření za studena. © 2025. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/STT4_4-tazeni_SPU.pdf. [cit. 2025-05-22].
 37. ČADA, Radek. *Technologie I*. Ostrava: Editační středisko VŠB-TUO, 2007. ISBN 978-80-248-1507-7.
 38. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. 1. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 0-8311-3182-9.
-

-
39. PODANÝ, Kamil. 2. cvičení předmětu Ročníkový projekt I: *Tváření, svařování*. Cvičení. 24.9.2024. VUT Brno, 2024.
 40. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2881-3.
 41. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Nakladatelství VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
 42. *Technologie plošného tváření*. Online. Technologie II. © 2025. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09.htm. [cit. 2025-05-22].
 43. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
 44. BAHULA, Jan. *Návrh výroby krytu osvětlení*. Online, Bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2021. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=224786. [cit. 2025-05-22]. Vedoucí práce Kamil Podaný.
 45. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: část tvářecí stroje*. Odbor technologie tváření kovů a plastů [online]. Brno: Vysoké učení technické, 2002 [cit. 2025-04-20]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/studium/index.php?stranka=opory>.
 46. RUDOLF, Bedřich a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce*. Praha: Bratislava: SNTL; ALFA, 1979, 407 s.: il.
 47. RUSKOVÁ, Marie. *Návrh výroby krytu*. Diplomová práce, vedoucí Jan Řiháček. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2024. Dostupné také z: <https://dspace.vut.cz/server/api/core/bitstreams/b35da216-9328-4ee6-81df-cb479d569baf/content>.
 48. LENFELD, Petr. *Technologie II*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-466-5.
 49. *Rozmístění polotovaru na plech*. Online. Nest&Cut. © 2025. Dostupné z: <https://app.nestandcut.com/>. [cit. 2025-05-22].
 50. *TruLaser 3030 fiber*. Online. TRUMPF. © 2025. Dostupné z: https://www.trumpf.com/en_GB/products/machines-systems/2d-laser-cutting-machines/trulaser-3030-fiber-3040-fiber-3060-fiber-3080-fiber/. [cit. 2025-05-22].
 51. *Lis PO 250*. Online. Dieffenbacher. © 2025. Dostupné z: https://dieffenbacher.cz/fileadmin/dieffenbacher_cz/Spolecnost/Dieffenbacher-katalog.pdf. [cit. 2025-05-22].
 52. *Vodou nemísitelné tvářecí oleje*. Online. Isterex Oil. © 2025. Dostupné z: <https://www.istrexoil.cz/sk/produkty/tvareci-oleje/vodou-nemisitelne-tvareci-oleje.alej>. [cit. 2025-05-22].
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažnost	[%]
A_t	Tažná práce	[N]
C	Součinitel tažení	[-]
c	Koeficient zaplnění plochy	[-]
D_0	Průměr polotovaru po přidání přídavku	[mm]
D_{01}	Průměr polotovaru určený ze zákona zachování ploch	[mm]
D_{02}	Průměr polotovaru určený z normy bez zaoblení	[mm]
D_{03}	Průměr polotovaru určený z normy se zaoblením	[mm]
D_{04}	Průměr polotovaru určený z hmotnosti výtažku	[mm]
d	Požadovaný průměr výtažku	[mm]
d_1	Průměr výtažku po první operaci	[mm]
d_1'	Průměr výtažku po kontrole	[mm]
d_2	Průměr výtažku po druhé operaci	[mm]
d_3	Průměr výtažku po třetí operaci	[mm]
d_{des}	Vnější průměr výtažku	[mm]
d_i	Průměr výtažku v i-té operaci	[mm]
d_{vo}	Největší průměr příruby	[mm]
d_{v1}	Průměr, na kterém začíná zaoblení	[mm]
d_{v2}	Střední průměr výtažku	[mm]
d_{v3}	Průměr dna	[mm]
F_c	Celková síla	[N]
F_{kri}	Kritická síla	[N]
F_p	Přidržovací síla	[N]
F_{ui}	Upravená kritická síla	[N]
h	Výška výtažku	[mm]
h_1	Výška výtažku po první operaci	[mm]
h_{k1}	Výška výtažku po první operaci určená ze zachování kon. objemu	[mm]
h_{v1}	Výška zaoblené části	[mm]
h_{v2}	Výška pláště	[mm]
h_{v3}	Výška spodního zaoblení	[mm]
k	Materiálový koeficient	[-]
k_p	Součinitel nutnosti použití přidržovače	[-]
m_i	Součinitel tažení pro danou operaci	[-]
m_v	Hmotnost výtažku	[kg]
n_t	Počet tabulí	[ks]
n_{t1}	Počet kusů z jedné tabule	[ks]
p	Tlak přidržovače	[MPa]
R_e	Mez kluzu materiálu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti materiálu	[MPa]
r	Poloměr zaoblení dna výtažku	[mm]
r_k	Poloměr tažníku	[mm]
r_t	Poloměr tažnice	[mm]
r_v	Střední zaoblení	[mm]
S_1	Plocha příruby	[mm ²]
S_2	Plocha zaoblení	[mm ²]
S_3	Plocha pláště	[mm ²]

Označení	Legenda	Jednotka
S_4	Plocha spodního zaoblení	[mm ²]
S_5	Plocha dna	[mm ²]
$S_{\text{činn}}$	Činná plocha přidržovače	[mm ²]
S_v	Plocha výtažku	[mm ²]
s_o	Tloušťka stěny výtažku	[mm]
s_p	Poměrná tloušťka	[mm]
V	Konstantní objem	[mm ³]
V_p	Objem polotovaru	[mm ³]
V_t	Objem tabule	[mm ³]
v_m	Využití materiálu	[%]
Z	Materiálová konstanta při volbě přidržovače	[-]
z	Tažná mezera dle Oehlera	[mm]
z_1	Tažná mezera pro první tah dle ČSN	[mm]
z_k	Tažná mezera pro kalibraci	[mm]
z_n	Tažná mezera pro další tahy	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
α	Úhel dosedací plochy přidržovače	[°]
π	Ludolfovo číslo	[-]
ρ_h	Hustota materiálu	[kg.m ⁻³]

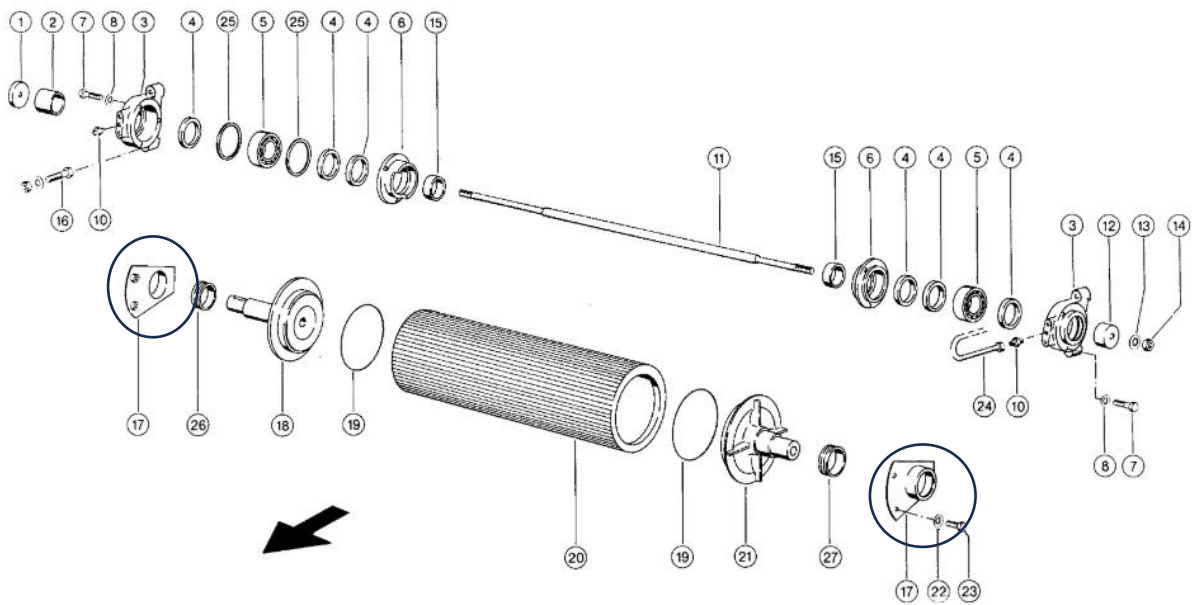
SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Umístění těsnící desky v sestavě.
Příloha 2 Hmotnost polotovaru zjištěná z Autodesk Inventor Professional 2025.
Příloha 3 Činná plocha přidržovače zjištěná z Autodesk Inventor Professional 2025.

SEZNAM VÝKRESŮ

Těsnící deska	2025-BP-248475-01
Upravená těsnící deska	2025-BP-248475-02
Přidržovač	2025-BP-248475-004
Tažník těleso	2025-BP-248475-006
Tažnice	2025-BP-248475-007
Tažník	2025-BP-248475-009
Tažný nástroj	2025-BP-248475-S00
Kusovník	2025-BP-248475-K00

Příloha 1
Umístění těsnící desky v sestavě.



112468

Jaguar 840 / 820

Příloha 2

Hmotnost polotovaru zjištěna z Autodesk Inventor Professional 2025

model dílu původní - pro výpočty ([Primární]) iVlastnosti

Obecné Souhrn Projekt Stav Uživatelské Uložit Fyzikální

Tělesa
Součást Aktualizovat

Materiál
Ocel, pozinkovaná Schránka

Hustota Požadovaná přesnost
7,850 g/cm³ Nízká

Obecné vlastnosti

		Těžiště	
Hmotnost	0,203 kg (Relativní ch)	X	-50,000 mm (Relativní)
Povrch	24102,326 mm ² (Re)	Y	35,000 mm (Relativní)
Objem	25846,383 mm ³ (Re)	Z	12,226 mm (Relativní)

Vlastnosti setrvačnosti

Hlavní Globální Těžiště

Hlavní momenty

I1	142,649 kg mm ²	I2	142,649 kg mm ²	I3	244,685 kg mm ²
----	----------------------------	----	----------------------------	----	----------------------------

Rotace na hlavní

Rx	0,00 deg (Relat)	Ry	0,00 deg (Relat)	Rz	0,00 deg (Relat)
----	------------------	----	------------------	----	------------------

Zavřít Zrušit Použít

Příloha 3

Činná plocha přídržovače z Autodesk Inventor Professional 2025.

model dílu původní - přídrž ([Primární]) iVlastnosti

Obecné | Souhrn | Projekt | Stav | Uživatelské | Uložit | Fyzikální

Tělesa
Součást

Materiál
Ocel

Hustota Požadovaná přesnost

Obecné vlastnosti

		Těžiště	
Hmotnost	0,340 kg (Relativní ch)	X	-95,218 mm (Relativn
Povrch	45009,775 mm^2 (Re	Y	35,000 mm (Relativní
Objem	43310,128 mm^3 (Re	Z	1,000 mm (Relativní c

Vlastnosti setrvačnosti

Hlavní momenty

I1	765,982 kg mm	I2	872,235 kg mm	I3	1637,991 kg m
----	---------------	----	---------------	----	---------------

Rotace na hlavní

Rx	0,00 deg (Relat	Ry	0,00 deg (Relat	Rz	-0,01 deg (Rela
----	-----------------	----	-----------------	----	-----------------