



# 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 KRYTU OSVĚTLENÍ

DESIGN OF LIGHTING COVER PRODUCTION

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Bahula

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2021

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Jan Bahula</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Kamil Podaný, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2020/21

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 krytu osvětlení

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby těla krytu osvětlení. Součástka je válcového tvaru a bude vyráběna technologií tažení bez ztenčení stěny. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

### Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit technologičnost krytu,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- 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, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. Speciální technologie tváření. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010-2011, 2 sv. (134, 155 s.). ISBN 978-80-214-4406-52.

TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

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.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

BAHULA Jan: Návrh výroby krytu osvětlení.

---

Práce předkládá návrh technologie výroby krytu osvětlení – rotační součásti z hlubokotažného ocelového plechu jakosti DC01 tloušťky 0,5 mm. Na základě rozborů možností výroby a výpočtů bylo navrženo tažení v konvenčním nástroji s přidržovačem na jednu operaci, výtažek je stírán tažnicí. Tažidlo využívá normalizované i konstrukční komponenty a je řešeno formou standardního stojánku upnutého pomocí upínek na hydraulickém lisu CUPS 40 DEU s nominální tažnou silou 400 kN. Tažník a tažnice jsou vyrobeny ze slitinové nástrojové oceli jakosti 19 436.9.

Klíčová slova: Ocel DC01, tváření, tažení, tažidlo, hydraulický lis

## **ABSTRACT**

BAHULA Jan: Design of lighting cover production.

---

The project elaborated design of technology production of the lighting cover – rotating extract from the deep drawing sheet iron DC01 0,5 mm thick. Pursuant to analyses of production and calculation was designed drawing in conventional instrument with holder in one operation and the cup is being wiped by the die. The drawing instrument make use of standardised and construction components and it is solving forms of customary stool clamped by clamps on the hydraulic press CUPS 40 DEU, with nominal tensile force 400 kN. Drawing punch and drawing die are produced from alloyed instrumental steel 19 436.9.

Keywords: DC01 steel, forming, deep drawing, the drawing instrument, hydraulic press

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BAHULA, Jan. *Návrh výroby krytu osvětlení* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132259>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 20.5.2021

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Rád bych poděkoval i své rodině za poskytnutou podporu.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

<b>ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>1 ROZBOR ZADÁNÍ .....</b>	<b>10</b>
1.1 Možnosti výroby.....	11
<b>2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ.....</b>	<b>13</b>
2.1 Přístřih a počet operací .....	14
2.2 Mezera.....	16
2.3 Síla a práce .....	17
2.4 Nástroje .....	18
2.4.1 Tažnice.....	19
2.4.2 Tažník .....	20
2.4.3 Přidržovač .....	21
2.5 Stroje .....	22
2.6 Maziva a technologičnost.....	23
<b>3 NÁVRH ŘEŠENÍ.....</b>	<b>25</b>
3.1 Velikost přístřihu a počet tažných operací .....	25
3.2 Přístřih .....	29
3.3 Funkční rozměry nástroje .....	32
3.4 Přidržovač .....	33
3.5 Síla, práce a volba lisu .....	34
3.6 Nástroj.....	36
<b>4 ZÁVĚRY .....</b>	<b>40</b>

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů



## ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5], [6]

Strojírenství je důležitou částí průmyslu, která se zabývá návrhem a výrobou strojů a zařízení, které se neustále zdokonalují, protože dochází k vývoji nových technologií a materiálů. Mezi základní rozdělení patří obrábění, tváření, svařování nebo odlévání.

Tváření se vyznačuje některými charakteristickými vlastnostmi, které umožňují výrobu specifických tvarů, jsou to například nízké procento odpadu, produktivní práce, zlepšení mechanických vlastností nebo vysoká jakost povrchu bez dokončovacích operací. Dělí se na dvě velké skupiny, a to objemové, kam patří kování, válcování, protlačování nebo pýchování a plošné, kam se řadí tažení, stříhání nebo ohýbání.

Tažení je technologie plošného tváření, u kterého se vychází z plechu, který se převážně tahovým napětím přetvoří na hotovou součást či polotovaz pro další operace. Velké využití nachází v sériové a hromadné výrobě tenkostěnných součástí jako například kuchyňské nádobí, kryty strojů nebo karoserie automobilu. Příklady výrobků jsou na obrázku 1.

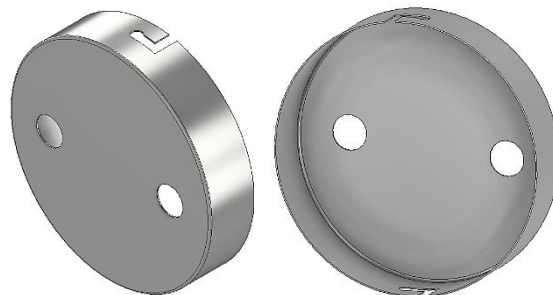


Obr. 1 Ukázka výrobků zhotovených tažením [3], [4], [5], [6]

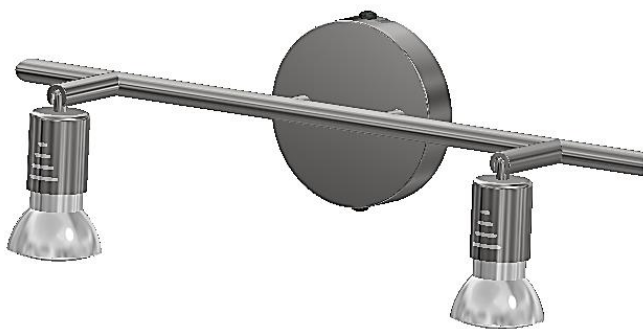
## 1 ROZBOR ZADÁNÍ [1], [7], [8], [9]

Řešenou součástí je kryt rotačního tvaru (obr.2), který je k nalezení v nástěnném osvětlení. Slouží k zabezpečení elektrických kabelů, které vedou proud až k žárovkám (obr.3).

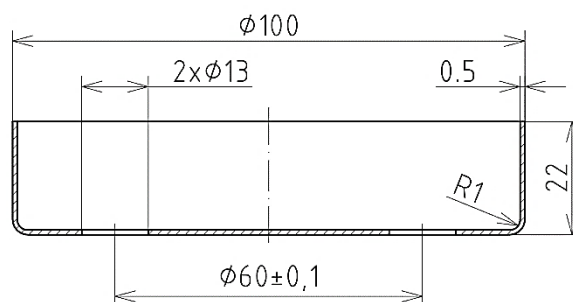
Kryt má jen jeden průměr 100 mm (obr.4), který není přesně tolerován, a proto se řídí dle normy ISO 2768 – mK, kdy pro daný rozměr vychází tolerance  $\pm 0,3$  mm. Výška je 22 mm, u které opět platí mezní úchytky netolerovaných rozměrů, v tomto případě  $\pm 0,2$  mm. Tloušťka stěny je 0,5 mm. Na dně součásti jsou dva otvory, kterými kabely prochází dál do osvětlení. Rozteč mezi nimi má předepsanou toleranci  $\pm 0,1$  mm. Na plášti se nachází další dva tvarové otvory, které jsou určeny pro aretační šrouby, sloužící pro zajištění správné polohy a natočení krytu. Další rozměry součásti jsou v příloženém výkresu BP-00/1-2021. Výrobní série je zadána na 30 000 kusů za rok.



Obr. 2 Kryt osvětlení



Obr. 3 Nástěnné osvětlení



Obr. 4 Rozměry krytu

Jelikož součást nebude mechanicky namáhána, nároky na materiál nejsou vysoké. Hlavní požadovaná vlastnost je pěkný design a dobrá hlubokotažnost. Z hlediska tvaritelnosti by materiál neměl být náchylný ke stárnutí. Je možné zvolit uklidněnou ocel, ale výrazně se zvýší ekonomická náročnost. Z těchto důvodů byla zvolena ocel DC01, tedy nelegovaná jakostní ocel vhodná k tváření za studena a ke středně hlubokému tažení, lakování a pokovování v tavenině. Je ovšem náchylná ke stárnutí, a proto bude potřeba zpracovat co nejdříve po dodání od výrobce, což při velikosti série bude splnitelné. Mechanické hodnoty a chemické složení jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení DC01 [7], [8]

Mechanické vlastnosti	$R_e$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	$A_{80}$ [%]	HV
	max. 280	270 až 410	28	115
Chemické složení	C [%]	P [%]	S [%]	Mn [%]
	0,120	0,045	0,045	0,600

Součást bude vystavena okolní vlhkosti a jelikož materiál DC01 není korozivzdorný, musí být řešena povrchová úprava. Je potřeba zaručit pěkný vzhled součásti, a proto je voleno galvanické pokovování až po tváření. Nejdříve je vytvořena podkladová niklová vrstva, která zajistí ochranu proti korozi a umožní nanesení povrchové vrstvy chromu, která je velmi tenká a plní hlavně dekorativní účely. Je to sice náročnější, než kdyby se použila již dopředu pozinkovaná tabule plechu, ale to by nevytvořilo tak pěkný vzhled.

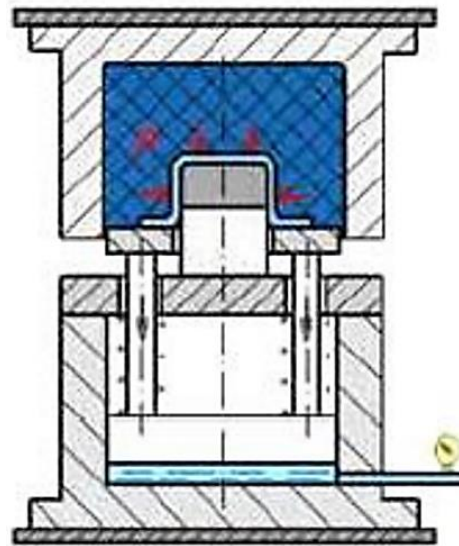
## 1.1 Možnosti výroby [1], [2], [7], [10], [11], [12], [13], [14], [15]

V první fázi návrhu výroby součásti je nejdříve potřeba zvolit tu neoptimálnější technologii. Vzhledem k rozměrům součásti, hlavně tloušťce 0,5 mm, která musí být dodržena, nepřipadají v úvahu technologie se ztenčením stěny, a proto lze volit:

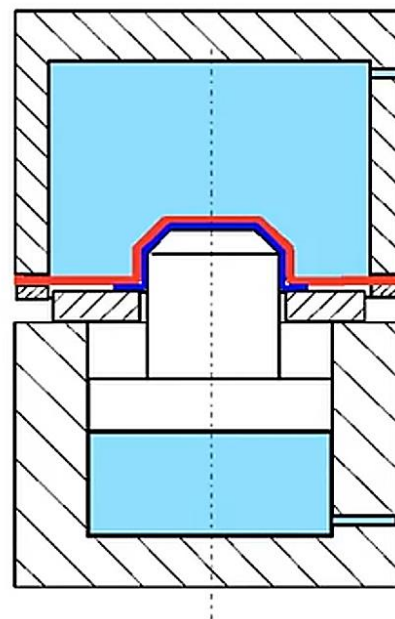
- Kovotlačení – rotační způsob výroby vydutých a vypuklých součástí. Je vhodné pro malosériovou výrobu. Probíhá na stroji, který je obdobou běžných soustruhů. Nástroj je veden ručně nebo strojně podél povrchu tvárnice, která odpovídá výslednému tvaru součásti (obr.5). Ocelový plech lze kovotlačit asi do tloušťky 1,5 mm, čemuž zadaných 0,5 mm vyhovuje. Zvolený materiál je vhodný k tváření za studena, tedy i ke kovotlačení. Součást má hlavní průměr tolerovaný na  $\pm 0,3$  mm, což je splnitelné. Výhodou je jednoduchost přípravy výroby a možnost použití automatizovaných kovotlačitelských strojů, kdy je možno vykonávat více operací najednou. Může se využít i jako dokončovací operace po lisování, kdy se například výlisek olemuje. Nevýhodou je nízká produktivita, která, vzhledem k zadané sérii 30 000 kusů za rok, snižuje pravděpodobnost výběru.
- Marform – využívá elastomer jako tvářecí médium (obr.6), které v kontejneru sjíždí k polotovaru, dokud se nedosáhne požadované přidržovací síly. Poté přidržovače povolí a dochází k natažení polotovaru na pevný tažník. Výhodami je rovnoměrné rozložení tlaku, kvalitní povrch bez zvlnění a vhodnost pro hluboké tahy, což zvolený materiál podporuje. Mezi nevýhody patří potřeba velké síly na přetvoření elastomeru a nutná malá tloušťka polotovaru, což je při zadané tloušťce součásti jen 0,5 mm splnitelné. Další nevýhodou je časté opotřebení elastomeru, kvůli němuž je využívána pouze v kusové nebo malosériové výrobě. Pro danou sérii 30 000 kusů ročně je neefektivní. Je výhodná hlavně u součástí s přírubou, která brání vtáhnutí hluboko do elastomeru. Zadaný kryt ji neobsahuje, a proto by bylo nutné počítat s přídavkem materiálu, který by při výrobě zůstal jako příruba a musel by být odstřižen či obroben.
- Hydroform – využívá jako tvářecí médium tlakovou kapalinu (obr.7), která je v nádobě (kontejneru) uzavřena pomocí pryžové membrány. Kontejner sjede až k polotovaru tak, aby se vytvořila požadovaná síla přidržovače. Poté pevný kovový tažník táhne polotovar do kontejneru a tím se vytvoří tvar hotové součásti. Výhodami jsou vhodnost pro velké série a hluboké tahy,



Obr. 5 Kovotlačení [10]



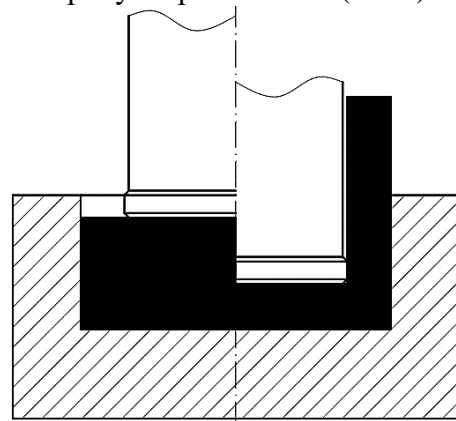
Obr. 6 Marform [15]



Obr. 7 Hydroform [14]

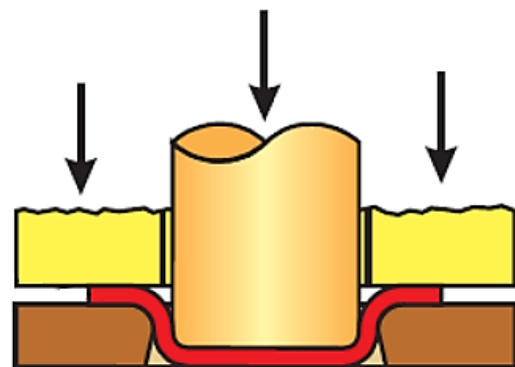
rovnoměrné rozložení síly i na boky výtažku a z toho vyplývá nezvlněný a nepotrhaný povrch součásti. Zadaný materiál svými vlastnostmi vyhovuje. Při dané sérii 30 000 kusů ročně je proto metoda hydroform vhodnější než marform. Nevýhodami jsou ale požadavky na těsnost tažnice a celého hydraulického systému, pořizovací cena a delší výrobní čas. Požadavkem je ale, stejně jako u marformu, přítomnost příruby, která zabrání zanoření výtažku do kapaliny, z toho důvodu by řešená metoda byla možná pouze přidáním pomocné příruby, která se následně odstraní.

- Zpětné protlačování – objemové tváření pod rekrystalizační teplotou. Charakteristickou vlastností je posuv materiálu směrující proti směru pohybu průtlačníku (obr.8). Mezi výhody patří minimální odpad, zvýšení mechanických vlastností, přesnost a produktivnost práce. Nevýhodou je nutnost dosažení velkého tlaku na přetvoření materiálu za studena, protože se vychází ze špalíku. Vzhledem ke zvolenému materiálu ocel DC01 s mezí pevnosti v tahu až 410 MPa a tloušťce stěny 0,5 mm není metoda optimální. Pro danou tloušťku by byly vhodnější spíše hliníkové slitiny. Dalším problémem je obtížné dosažení rovného dna, pokud je stejně nebo méně tlusté než stěna, což zadaný kryt má.



Obr. 8 Zpětné protlačování [1]

- Konvenční tažení – proces, při kterém se z plechového přístříhu zhotoví výrobek vtažením do pevné tažnice (obr.9). Oproti nekonvenčním technologiím nelze táhnout hluboké výtažky na jeden tah, ale celá výroba se musí rozdělit do více operací. Mezi výhody patří možnost použít klasické mechanické lisy, produktivita práce a velmi pomalé opotřebení nástroje, z toho vyplývá vhodnost k velkosériové výrobě. Pro zadanou sérii 30 000 kusů ročně se tak konvenční tažení jeví jako dobrá volba. Zvolený materiál je k tažení vhodný a tolerance  $\pm 0,3$  mm na průměru je splnitelná. Nevýhodou ale je náročnost na výrobu nástrojů, to je však jen prvotní investice, která se postupem času vyplácí.



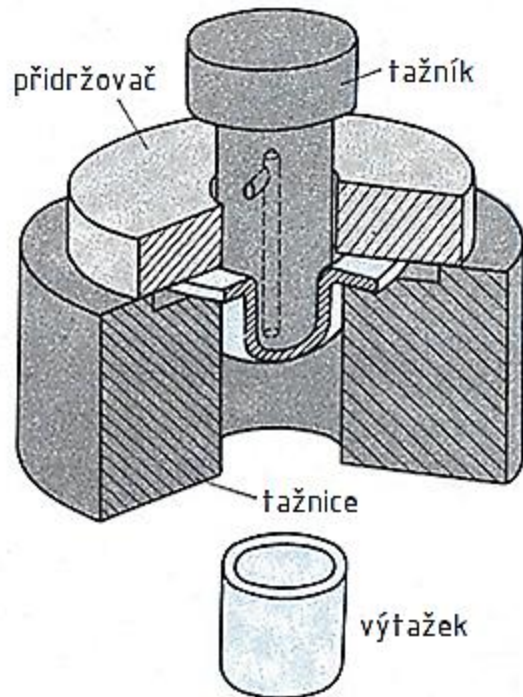
Obr. 9 Konvenční tažení [10]

Vzhledem k rozměrům a materiálu součásti i velikosti výrobní série se jako optimální jeví technologie tažení v konvenčním nástroji bez ztenčení stěny. Na ni bude podrobněji zaměřena teoretická a praktická část práce.

## 2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [1], [2], [15], [16], [17], [18], [19], [20]

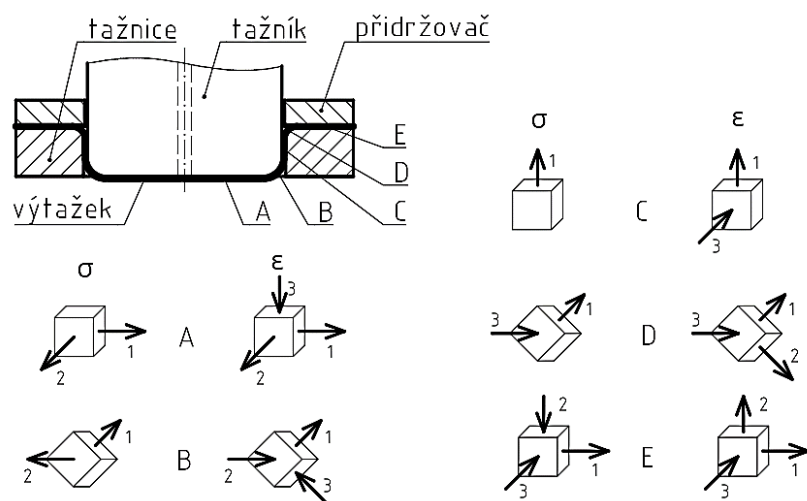
Tažením se rozumí trvalé přetváření plechu v duté výtažky pomocí lisovacích nástrojů, tzv. tažidel (obr.10). Výchozí polotovár, tzv. přístřih, se na lisu přetváří většinou do rotačního kalíškovitého tvaru. Přístřih se založí a vystředí na tažnici a poté se tažník i s přidržovačem k němu přiblíží a vyvodí přidržovací tlak. Změna tvaru je dosažena pohybem tažníku, který na sebe nabere plech a vtáhne ho do otvoru tažnice. Jeho průměr je postupně zmenšován a na okraji pěchován, což hlavně u tenkých plechů způsobuje vlnění. Z tohoto důvodu je využíván přidržovač, který tlačí polotovár na tažnici a tím zabraňuje zvlnění plechu.

Je vycházeno z předpokladu, že tloušťka taženého plechu se nemění. Ve skutečnosti je ale v rozích tažený materiál zeslabován a na okrajích výtažku zvětšován. Je to dáno rozdílnou napjatostí (obr.11). V oblasti dna výtažku (A) je rovinná tahová napjatost a prostorový stav deformace. V oblasti přechodu dna na válcovou část (B) je prostorová nestejnorodá napjatost, která způsobuje značné ztenčení tloušťky stěny výtažku, a proto je nejvíce náchylná k utržení dna. Ve válcové části výtažku (C) se nachází pouze jednoosá tahová napjatost a rovinný stav deformace. V oblasti poloměru tažnice (D) vzniká prostorová napjatost s velkým radiálním tahovým napětím  $\sigma_1$  a malým tangenciálním napětím  $\sigma_3$ . V oblasti příruby výtažku (E) vzniká vlivem přidržovače prostorová napjatost.



Obr. 10 Tažidlo [16]

Pokud by se na přístřih před tažením zakreslily dvě přímky, které by vycházely z jeho středu pod libovolným úhlem, bylo by možné sledovat rozdílnou napjatost při tažení. Ve válcové části výtažku by se vzájemná poloha přímek stala rovnoběžnou. Na přírubě výtažku by se během tažení k sobě čím dál více přibližovaly se zmenšujícím se průměrem.

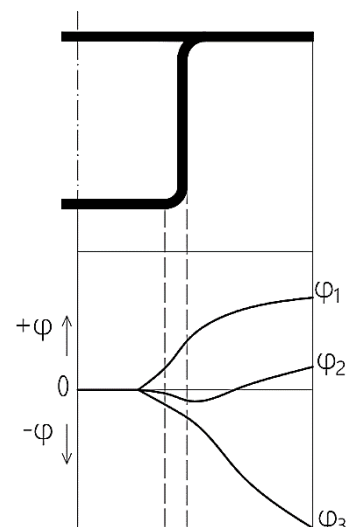


Obr. 11 Napjatost a deformace při tažení [15]

Hlavní přetvoření  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  a  $\varphi_3$  pro první tah mají určitou velikost a průběh (obr.12). Pro všechny místa výtažku platí zákon zachování objemu, kdy součet jednotlivých hlavních přetvoření se rovná nule:

$$\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0. \quad (2.1)$$

Přetvoření  $\varphi_1$  značí deformaci v radiálním směru a bývá vždy kladné. Způsobuje prodlužování plechu. Svého maxima dosahuje na největším průměru příruby. Přetvoření  $\varphi_3$  značí deformaci v tangenciálním směru a bývá vždy záporné. Způsobuje zvětšování příruby. Stejně jako radiální, tak i tangenciální deformace dosahuje maxima na největším průměru příruby. Přetvoření  $\varphi_2$  značí deformaci tloušťky stěny (normálová deformace) a může být kladné i záporné, tak aby platil zákon zachování objemu. To znamená, že tloušťka plechu se na různých místech výtažku nepatrně liší.

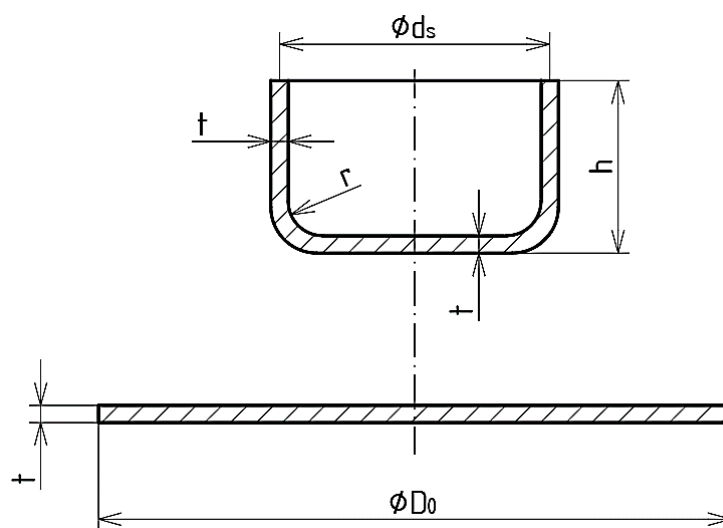


Obr. 12 Průběh přetvoření [17]

## 2.1 Přístřih a počet operací [1], [18], [20], [21], [22], [23], [24]

Velikost přístřihu pro výtažky válcového tvaru lze určit více způsoby. Nejběžněji je to ale výpočtem, kdy se vychází ze zákona zachování objemu tvářeného materiálu. Při předpokladu konstantní tloušťky materiálu při tažení je možno při výpočtu vycházet z rovnosti ploch, kdy platí, že plocha přístřihu je rovna výtažku (obr.13). Velikost je možno zjistit následujícími způsoby:

- Nomogramem – slouží pro urychlení výpočtu anebo jen pro jeho kontrolu. Je v příloze 1. Skládá se ze tří stupnic. Podle průměru výtažku  $d$  a výšky výtažku  $h$  jsou určeny body na krajních stupnicích a jejich spojením je protnuta prostřední stupnice, která udává průměr přístřihu.
- Zákonem zachování objemu – vychází se z objemů polotovaru a výtažku, které si musí být rovny. Z vytvořené rovnice je poté vypočítán průměr přístřihu  $D_0$  (obr.13). Například pro válcový výtažek:



Obr. 13 Přístřih a výtažek [18]

$$V_p = V_v \rightarrow \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot t = V_v \rightarrow D_0 = \sqrt{\frac{V_v \cdot 4}{\pi \cdot t}} \text{ [mm]}, \quad (2.2)$$

kde:  $V_v$  – objem výtažku [mm<sup>3</sup>],  
 $V_p$  – objem přístřihu [mm<sup>3</sup>],  
 $t$  – tloušťka plechu [mm].

- Zákonem zachování ploch – za předpokladu konstantní tloušťky plechu při tažení je možno vycházet přímo z rovnosti ploch přístřihu a výtažku. Pro kruhový polotovar platí následující rovnice:

$$S_v = S_{př} = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \rightarrow D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_p}{\pi}} \cong 1,13 \cdot \sqrt{S_v}, \quad (2.3)$$

kde:  $S_v$  – plocha výtažku [ $\text{mm}^2$ ],  
 $S_{př}$  – plocha přístřihu [ $\text{mm}^2$ ].

- Vzorcem – jsou stanoveny pro běžné tvary výtažků. U některých je možno zanedbat malý poloměr zaoblení. Pro nejjednodušší typ výtažku, tedy válcový tvar bez příruby, je vzorec:

$$D_0 = \sqrt{d_s^2 + 4 \cdot d_s \cdot h} \text{ [mm]}, \quad (2.4)$$

kde:  $d_s$  – střední průměr výtažku [mm] (obr.12).

Přesnější výpočet, tedy bez zanedbání zaoblení dna výtažku, vypadá:

$$D_0 = \sqrt{d_s^2 + 4 \cdot d_s \cdot h - 1,72 \cdot d_s \cdot r} \text{ [mm]}, \quad (2.5)$$

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

- Hmotností – pokud je známa hmotnost výtažku, pak je možno vypočítat průměr přístřihu následovně:

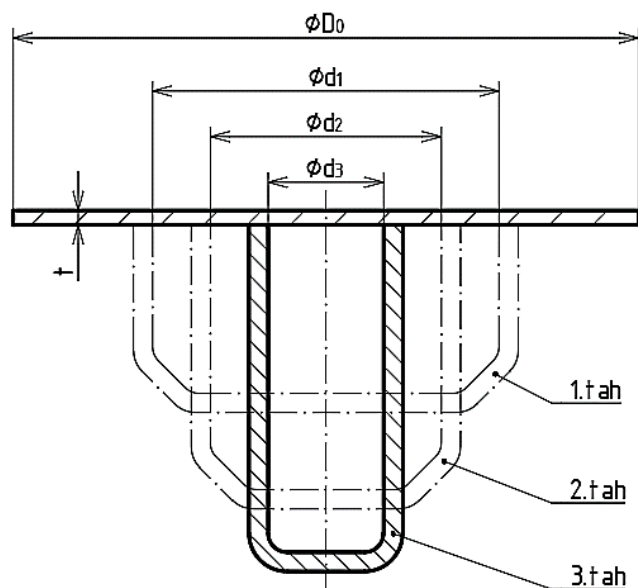
$$D_0 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{m_v}{\rho \cdot t}} \text{ [mm]}, \quad (2.6)$$

kde:  $m_v$  – hmotnost výtažku [g],  
 $\rho$  – hustota [ $\text{g} \cdot \text{mm}^{-3}$ ].

- Počítačovým programem – v praxi je to rozhodně nejefektivnější způsob zjištění velikosti přístřihu přímo z modelu. Jsou to různé CAD systémy nebo programy, které mohou zároveň i simulovat proces tažení.

Při tažení vzniká na výtažku vlivem plošné anizotropie (rozdílnost mechanických vlastností v závislosti na směru válcování plechu) cípatost, tedy nerovnoměrný okraj. Přístřih je nutno zvětšit o určitý přírůstek, který je poté odštípen. Jeho velikost je závislá na počtu tahů nutných ke zhotovení součásti. Pro první tah je zjištěná velikost přístřihu zvětšena o 3 %. Za každý další tah je další 1 %.

Z přístřihu plechu o průměru ' $D_0$ ' lze v jedné operaci zhotovit výtažek s omezenou velikostí. Při tažení menšího rozměru by došlo k poškození součásti. Proto je v takových případech provedeno víceoperační tažení (obr.14). Norma udává, že je možno provést až pět tahů, což ale není moc praktické, a proto se v některých případech pomůže mezioperačním rekrytalizačním žíháním, které umožní větší redukci, protože obnoví vhodné materiálové vlastnosti.



Obr. 14 Schéma tažení na 3 operace [1]

Při návrhu je nejdříve nutné vypočítat poměrnou tloušťku 's<sub>p</sub>' podle následující rovnice:

$$s_p = \frac{t}{D_0} \cdot 100 [-]. \quad (2.7)$$

Podle ní se z tabulky v příloze 2 určí hodnoty mezních součinitelů tažení 'm', které představují nejmenší možný poměr průměru výtažku 'd<sub>i</sub>' k průměru přístříhu 'D<sub>0</sub>' v první operaci nebo k průměru 'd<sub>i-1</sub>' z předchozí operace. Vyjadřují míru tvařitelnosti a jsou dány vztahem:

$$m_i = \frac{d_i}{D_{i-1}} = \frac{1}{K_i} [-], \quad (2.8)$$

kde: K<sub>i</sub> – stupeň tažení [-].

Na velikost mají největší vliv rozměry polotovaru a z toho vyplývající poměrná tloušťka, dále druh a jakost plechu, geometrie funkčních částí tažníku a tažnice, způsob mazání, druh technologie apod.

Celkový součinitel tažení 'm<sub>c</sub>' se získá součinem dílčích součinitelů z jednotlivých operací:

$$m_c = m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n = \frac{d_1}{D_0} \cdot \frac{d_2}{d_1} \cdot \dots \cdot \frac{d_n}{d_{n-1}} [-], \quad (2.9)$$

kde: m<sub>1</sub>, m<sub>2</sub>, m<sub>n</sub> – dílčí součinitele tažení [-],

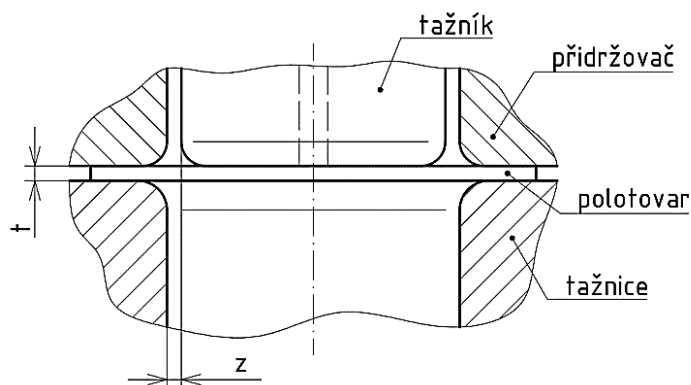
d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>, d<sub>n</sub> – průměry výtažku v jednotlivých operacích [mm].

Výpočty jsou prováděny tak, aby byl výtažek vyroben na co nejméně operací za současného dodržení mezních součinitelů tažení. Zbytečně velké množství operací zvyšuje náklady na výrobu a snižuje tak její efektivitu.

## 2.2 Mezera [1], [18], [22]

Další důležitou věcí, kterou je potřeba řešit je tažná vůle 'v' mezi tažnicí a tažníkem. Na jedné straně je poté poloviční velikost, a té se říká mezera 'm' (obr.15). Je větší než tloušťka materiálu a má velký vliv na tažnou sílu. Čím je menší, tím větší síla je potřeba a zároveň hrozí utržení dna. Když je ovšem příliš velká, snižuje rozměrovou přesnost výtažku a může způsobit vznik vln na jeho stěně.

Velikost je možno určit více způsoby. Prvním způsobem je využití tabulky v příloze 3, kde se udává doporučená tažná mezera podle dané tloušťky. Nejčastěji se ale se použijí metody výpočtové:



Obr. 15 Znázornění tažné mezery [22]

- Dle normy ČSN 22 7301 – doporučené vztahy pro jednotlivé operace:

➤ Pro první operaci:

$$z = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot t [\text{mm}]. \quad (2.10)$$

➤ Pro další operace:

$$z = (1,1 \text{ až } 1,2) \cdot t [\text{mm}]. \quad (2.11)$$

➤ Pro poslední operaci, tedy kalibraci:

$$z = (1 \text{ až } 1,05) \cdot t [\text{mm}]. \quad (2.12)$$

- Dle Oehlera – jeden vztah pro všechny operace, rovnice má tvar:

$$z = t + k \cdot \sqrt{t} [\text{mm}], \quad (2.13)$$

kde: k – materiálový koeficient [-], pro ocel k = 0,07.



### 2.3 Síla a práce [1], [2], [15], [18], [20], [22], [23], [24]

Síla vytváří v plášti výtažku napětí a je složena ze tří dílčích částí, jak je vidět na obrázku 16. Největší z nich je síla potřebná k plastické deformaci příruby ( $F_1$ ), další vznikne plastickým ohybem na tažné hraně ( $F_2$ ), a nakonec k překonání tření ve stykových plochách ( $F_3$ ). Matematické vztahy pro její výpočet jsou komplikované, a proto se z praktického hlediska provádí zjednodušený výpočet. Vychází se z toho, že napětí v nebezpečném průřezu musí být menší než na mezi pevnosti. Počítá se tedy kritická síla ' $F_{krit}$ ', kterou skutečná tažná síla nesmí přesáhnout:

$$F_{krit} = \pi \cdot d_s \cdot t \cdot R_m \cdot C \text{ [N]}, \quad (2.14)$$

kde:  $R_m$  – mez pevnosti v tahu [MPa],

$C$  – součinitel závislý na součiniteli tažení [-], je v příloze 4.

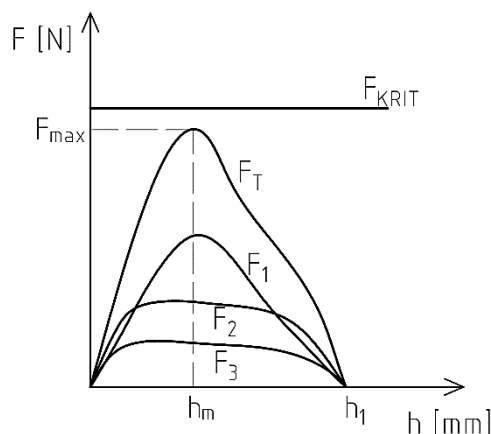
Průběh síly je znázorněn na obrázku 15 ( $F_T$ ). Jak je z diagramu vidět, síla ze začátku prudce roste až do určité maximální hodnoty, která nepřesáhne kritickou mez a odpovídá výšce:

$$h_m = t + R_{ice} + R_{ik} \text{ [mm]}, \quad (2.15)$$

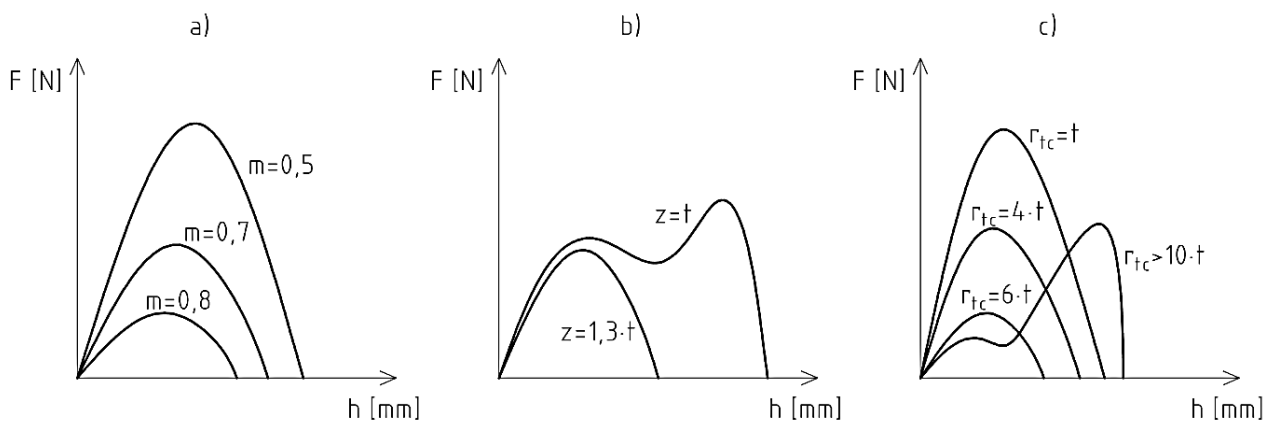
kde:  $R_{ice}$  – zaoblení tažnice [mm],

$R_{ik}$  – zaoblení tažníku [mm].

Poté začne klesat zpět na 0. Nemusí však vypadat pokaždé stejně. Existují různé parametry, které mají na průběh velký vliv. Jedním z nich je součinitel tažení (obr.17a), kdy s klesající hodnotou roste potřebná síla. Dále je tu vliv tažné mezery (obr.17b). Z diagramu je vidět, že nejvýhodnější je stav, kdy je mezera větší než tloušťka plechu. Za rovnosti obou rozměrů by bylo potřeba překonat ještě větší složku třecí síly ( $F_3$  na obr.16). Při mezeře menší, než tloušťce plechu by bylo nutné vynaložit mnohem větší sílu na plastické přetvoření materiálu. Dále má vliv i zaoblení tažnice (obr.17c), kdy se s větším zaoblením snižuje potřebná síla. Problém ale nastává u příliš velkého zaoblení. Materiál by mohl ztratit stabilitu kvůli velkému volnému prostoru.



Obr. 16 Průběh tažné síly [22]



Obr. 17. Vlivy na průběh tažné síly [22]

Celková síla 'F<sub>C</sub>' se poté vypočítá jako součet kritické tažné síly 'F<sub>krit</sub>' se silou přidržovače 'F<sub>p</sub>':

$$F_C = F_{krit} + F_p \text{ [N]}. \quad (2.16)$$

Poté je možno vypočítat práci při tažení 'A' podle vztahu:

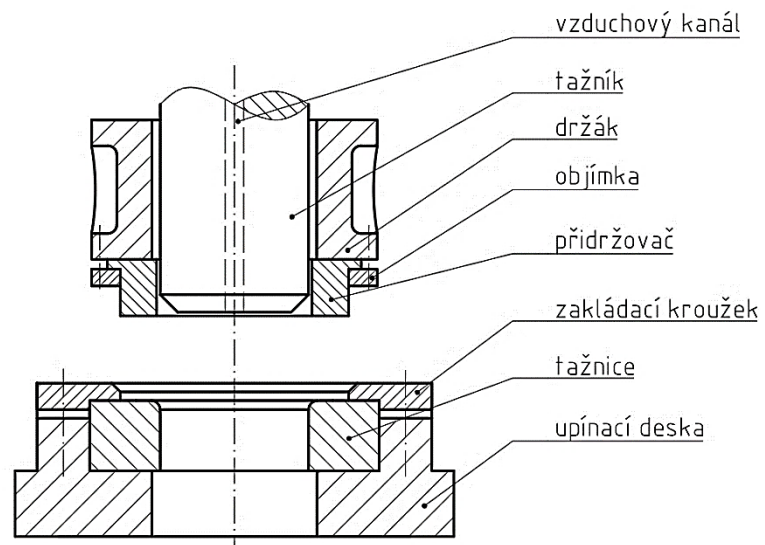
$$A = \frac{F_C \cdot h \cdot C_A}{1000} \text{ [J]}, \quad (2.17)$$

kde: C<sub>A</sub> – koeficient zaplnění plochy [-], při tažení bez kalibrování C<sub>A</sub> = 0,66,  
s kalibrováním C<sub>A</sub> = 0,8.

## 2.4 Nástroje [1], [18], [20], [22], [24]

Lisovací nástroje, tzv. tažidla, přetváří rovinný přístřih na otevřené duté těleso. Při jejich návrhu se musí dbát hlavně na tvar a materiál součásti a dále i na zadanou sérii. Existuje mnoho různých variant. Dost se liší řešení tažidla pro první tah a pro další tahy. Také je rozdíl v konstrukci bez přidržovače a s ním. Taktéž se řeší, jakým technologickým postupem bude součást vyráběna, kdy se může použít tažidlo:

- Jednoduché – součást je vyrobena v jedné operaci na jeden tah, a nesmí tak být příliš složitá, jinak je potřeba navrhnout obtížnější řešení.
- Postupové – je provedeno více operací postupně na více zdvihů lisu. Využití u součástí, u kterých nestačí jeden tah.
- Sloučené – je provedeno více operací na jeden zdvih lisu. V případě, že se nechce vyrábět součást na několik zdvihů, ale současně ji nelze vytvořit na jeden tah, je možné navrhnout složitější nástroj, ve kterém se provede na jeden zdvih jak první, tak i druhá tažná operace.
- Sdružené – složitější nástroj, kdy se postupně na více operací zhotoví součást s využitím i jiných technologií, většinou stříhání. Je vhodný pro velké série menších výtažků, protože je mnohem produktivnější.



Obr. 18 Náčrtek jednoduchého tažidla [22]

Na obrázku 18 je znázorněno jednoduché tažidlo, které se skládá ze tří důležitých částí – tažníku, tažnice a přidržovače. Mezi další části patří:

- Držák – konstrukční část nástroje, která slouží k propojení přidržovače s horní deskou, která se upne k beranem lisu. Většinou to bývá odlitek nebo svařenec.
- Objímka (upínací kroužek) – konstrukční část nástroje, která slouží k upevnění přidržovače. Šroubovým spojením se upne k držáku, většinou se použijí šrouby se zápusťnou hlavou a vnitřním šestihranem.

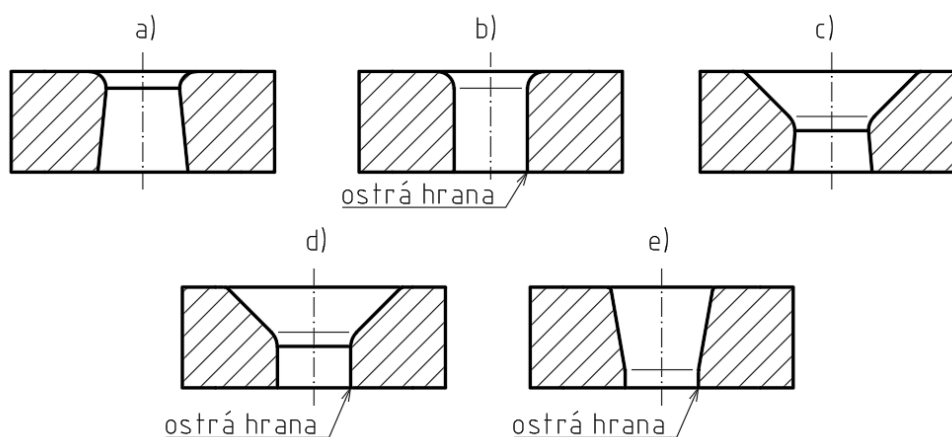
- Upínací deska – konstrukční část nástroje, do které je založena tažnice. Má otvor, kterým propadávají hotové kusy pod stůl lisu. Po bocích jsou vyfrézované vybrání určené k upnutí ke stolu pomocí upínek.
- Zakládací kroužek – konstrukční část nástroje, která slouží k zajištění správné pozice polotovaru v počátku tažení. Je šrouby připevněn k upínací desce, opět se nejčastěji využijí zápustné s vnitřním šestihranem.

Nejdůležitější části jsou tažník, tažnice a přidržovač a ty budou podrobněji popsány v následujících podkapitolách.

#### 2.4.1 Tažnice [1], [18], [20], [22], [24]

Je to jedna z funkčních částí tažného nástroje. Pro válcové výtažky bývají celistvé, prstencového tvaru s funkčním otvorem různého provedení (obr.19). Další možnou problematikou je vyjímání výtažku. V jednoduchém tažidle, které je na obrázku 18, propadávají přes upínací desku a stůl lisu do připravené nádoby či dopravníku. V takovém případě je nutno zajistit oddělení výtažku od tažníku. To se může zajistit například stěrači umístěnými pod tažnicí, jejich konstrukce se řeší podle tvaru součásti. V některých případech však stačí jen sjet s výtažkem pod tažnici a vlivem mírného odpružení se při zpětném pohybu tažníku oddělí, protože se už nevejde do otvoru tažnice. Je mnoho různých variant, které se navrhují podle několika kritérií jako tloušťka plechu, použití přidržovače nebo druhu stírání:

- vrací se nad tažnici a je setřen z tažníku (obr.19a);
- propadá pod tažnici a je setřen ostrou hranou tažnice nebo stěračem (obr.19b);
- pro druhý a další tah, kdy se vrací nad tažnici (obr.19c);
- pro druhý a další tah, kdy propadá (obr.19d);
- s otvorem mírně do kužele, kdy výtažek propadá (obr.19e); vhodný pro nástroj bez přidržovače.



Obr. 19 Různé druhy tažnic [24]

Varianta, kdy propadá pod tažnici je ovšem podmíněna tvarem součásti, protože výtažek s přírubou nelze tímto způsobem vyjmout. V takovém případě je možno využít u vícečinného lisu spodní vyhazovače. Výtažek po procesu tažení zůstane v uzavřené tažnici. Následně právě vyhazovačem bude vytlačen ven. Nejčastěji bývají mechanické, ale může se použít i přídavné pneumatické či hydraulické zařízení.

Pro bezproblémový proces je potřeba zjistit ideální tažný poloměr, tedy velikost zaoblení hrany tažnice 'R<sub>ice</sub>', přes kterou je tažen plech (obr.20). Příliš malý poloměr způsobí trhání materiálu, a naopak příliš velký poloměr způsobí zvlnění materiálu. Stanovuje se více způsoby:

- Výpočtem z empirického vzorce

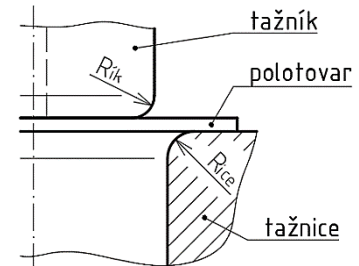
$$R_{ice} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d_{ik}) \cdot t} \text{ [mm]}, \quad (2.18)$$

kde: d<sub>ik</sub> – průměr tažníku [mm].

- Výpočtem z praktického vzorce

$$R_{ice} = (6 \text{ až } 10) \cdot t \text{ [mm]}. \quad (2.19)$$

- Odečtením z diagramu – je v příloze 5. Podle poměrné tloušťky přístřihu se odečte poloměr zaoblení. Je brán v potaz tvar výtažku i způsob tažení.



Obr. 20 Zaoblení [22]

Na ideální tažný poloměr má vliv nejen velikost redukce průměru výtažku, ale i druh taženého materiálu. To může způsobit, že se po ověřovací sérii musí dodatečně upravit.

Materiál tažnic musí mít dostatečnou tvrdost a pevnost v tlaku při dostatečné houževnatosti. Nejčastěji se používají nástrojové oceli třídy 19 jako například 19 191, 19 436 nebo 19 439. Provádí se taktéž tepelné zpracování pro dosažení požadované tvrdosti.

#### 2.4.2 Tažník [1], [18], [20], [22], [24], [25]

Druhou z funkčních částí nástroje je tažník. Jeho velikost odpovídá vnitřnímu průměru výtažku. Mezi důležité prvky patří čelo, válcová část a poloměr zaoblení 'R<sub>ik</sub>' (obr.20), jehož velikost má velký vliv na správný proces tažení podobně jako zaoblení tažnice. Minimální velikost je určena podle průměru výtažku:

- 10 ÷ 100 mm:

$$R_{ik} = (3 \text{ až } 4) \cdot t \text{ [mm]}. \quad (2.20)$$

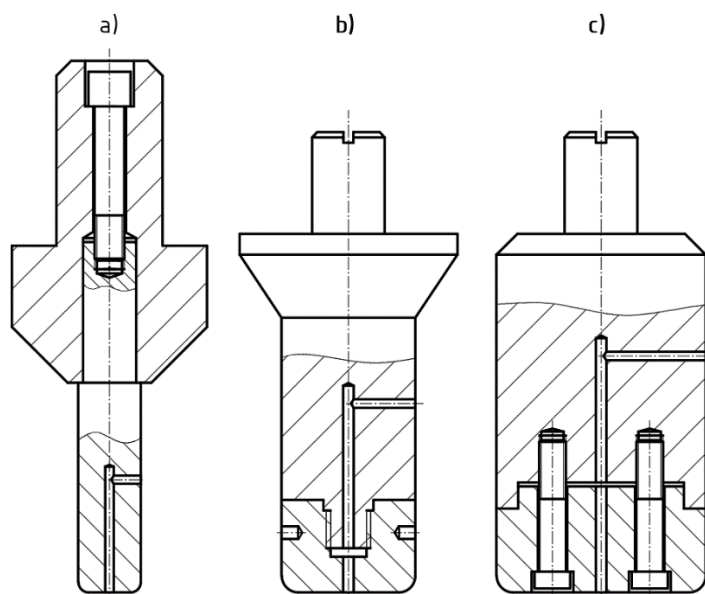
- 100 ÷ 200 mm:

$$R_{ik} = (4 \text{ až } 5) \cdot t \text{ [mm]}. \quad (2.21)$$

Při výrobě na více operací má tažník ještě navíc zkosení pro snadnější navedení přídržovače v dalším tahu a až v poslední operaci odpovídá tvaru zadané součásti. V případě, že je nutné vyrobít menší poloměr, je potřeba zavést kalibrační operaci, při které se už nebude měnit průměr součásti, ale jen zaoblení.

Konstrukčním řešením tažníků je rozděleno do dvou skupin, kdy mohou být:

- Celistvé – používají se převážně pro tažníky menších průměrů, asi do 30 mm. Může být upnut šroubem přímo ve stopce (obr.21a), nebo k základové desce.



Obr. 21 Druhy tažníků [24]

- Dělené – používají se u větších tažníků, kdy je lepší udělat menší funkční část, kterou se upne k držáku, na jehož výrobu nemusí být kladeny vysoké nároky. Jsou doporučeny dva způsoby podle průměru:
  - Do 80 mm – funkční část je s držákem spojena pomocí závitu (obr.21b). Kromě něj, je součástí stykové plochy i takzvaná centráž, která slouží k vystředění tažníku. Z boku jsou vyvrtané čtyři malé otvory pro speciální klíč, který se využije při montáži, případně i demontáži.
  - Nad 100 mm – funkční část je šrouby spojena s držákem (obr.21c). Vnější styková plocha je dosedací a vnitřní má vůli.

Držák může rovnou obsahovat stopku, která se upne do beranu lisu, anebo se připevní k upínací desce. Dalšími možnými způsoby spojení je například přišroubování přes upínací desku, pájení nebo lepení.

Podstatným prvkem tažníků je odvzdušňovací otvor, který je vidět na obrázku 21. Bez něj by se velmi špatně stíralo vytaženou součástí. Musí být dostatečně velký, aby nebrzdil celý proces a dlouhý, aby dosahoval nad plášť výtažku.

Tažník je namáhán převážně na vzpěr a na válcové části ještě radiálními silami. Materiály bývají stejné nebo podobné jako u tažnic, tedy hlavně nástrojové oceli třídy 19 jako například 19 191 nebo 19 436. Poté bývají zušlechťeny na HRC 60 až 62. Držák ale bývá z konstrukční oceli.

### 2.4.3 Přidržovač [1], [18], [20], [22], [24]

Třetí z funkčních částí nástroje je přidržovač. Slouží k dosažení kvalitního nezvlněného povrchu tažené součásti. Je potřeba hlavně u tenkých plechů. Existuje ale několik různých postupů ke zjištění jeho nutnosti použití:

- Pro první tah:
  - Dle Freilinga – vychází z poměrné tloušťky 's<sub>p</sub>', která se vypočítá podle již uvedené rovnice (2.7). Vyjde-li:
    - s<sub>p</sub> < 1,5 – přidržovač je nutný,
    - 1,5 ≤ s<sub>p</sub> ≤ 2 – je potřeba si to ověřit,
    - s<sub>p</sub> > 2 – lze táhnout bez přidržovače.

- Dle Šofmana – doporučuje zkontrolovat podmínku:

$$D_0 - d \leq 18 \cdot t. \quad (2.22)$$

Je-li splněna, lze táhnout bez přidržovače.

- Dle ČSN 22 7301 – určuje rovnici pro výpočet součinitele udávající nutnost použití přidržovače 'k<sub>p</sub>':

$$k_p = 50 \cdot \left( z_p - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) [-], \quad (2.23)$$

kde: z<sub>p</sub> – materiálová konstanta [-], ocelový hlubokotažný plech: z<sub>p</sub> = 1,9.

Poté se zkontroluje podmínka:

$$k_p \geq \frac{d}{D_0} \cdot 100. \quad (2.24)$$

Je-li splněna, je nutné použít přidržovač.

- Pro druhý a další tah – platí jednoduchá podmínka, že pokud je součinitel tažení v dané operaci menší než 0,9, tak se přidržovač použije.

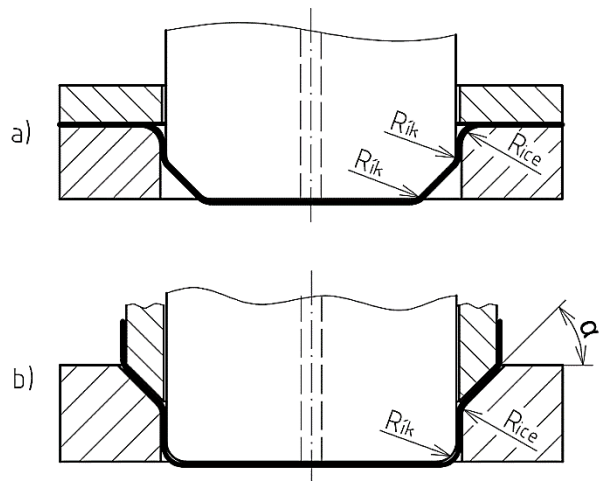
Konstrukce přidržovače se liší hlavně pořadím tažné operace, pro kterou jsou určeny. Pro první tah má tvar rovného prstence s úhlem  $\alpha = 0^\circ$  (obr.22a). Pro další tahy už má upravený tvar. Menší průměry bývají zaoblené podle tažníku z předchozí operace. Větší průměry už ale bývají zkosené pod úhlem  $\alpha = 30^\circ$  až  $45^\circ$  (obr.22b). Stejně zkosený je poté i tažník v předchozí operaci. Důvodem je lepší přichycení polotovaru.

Je potřeba správně určit přidržovací sílu  $F_p$ . Musí být dostatečně velká, ale nesmí dojít k utržení dna. Vypočítá podle vztahu:

$$F_p = S_\xi \cdot p \quad (2.25)$$

kde:  $S_\xi$  – činná plocha pod přidržovačem [ $\text{mm}^2$ ],

$p$  – měrný přidržovací tlak [MPa], doporučené hodnoty jsou v příloze 6.



Obr. 22 Druhy přidržovačů [24]

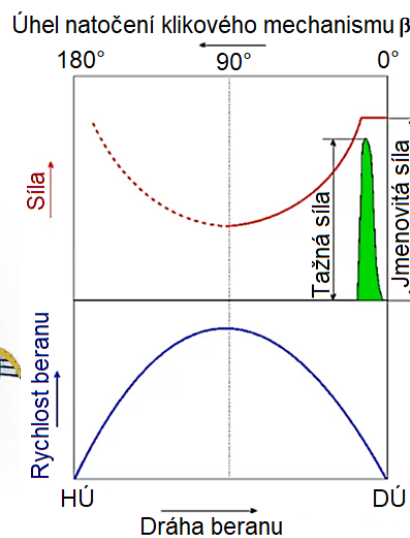
## 2.5 Stroje [18], [20], [26], [27], [28], [29], [30]

Používají se tzv. tažné lisy. Volí se podle nejdůležitějšího parametru, a to síly, kterou jsou schopny vyvodit. Dělí se na 2 skupiny:

- Mechanické – využívají potenciální i kinetickou energii. Mohou být například výstředníkové, kolenové nebo klikové, které jsou ze skupiny nejvýznamnější a příklad takového lisu je na obrázku 23. Jejich charakteristickým znakem je klikový mechanismus, který zajišťuje zdvih beranu. Mají vysokou výrobnost, ale nevýhodou je závislost velikosti síly na úhlu natočení kliky. Maximální síla je dosažena těsně před dolní úvratí (obr.24). Měnící se síla a rychlost může mít záporný vliv na kvalitu tažného procesu.
- Hydraulické – využívají potenciální energii. Velkou výhodou je konstantní síla v celém průběhu a nastavitelná rychlost beranu, která je ale poměrně malá a z toho důvodu jsou lisy méně produktivní. Příklad hydraulického lisu je na obrázku 25.



Obr. 23 Klikový lis [28]



Obr. 24 Průběh síly a rychlosti klikového mechanismu [26]



Obr. 25 Hydraulický lis [27]

Dále se dělí podle počtu činných beranů:

- Jednočinný – nejjednodušší na konstrukci. Z toho poté i vyplývá, že jsou ekonomicky přijatelnější než vícečinné stroje. Má pouze jeden horní beran, do kterého se upne držák tažníku. Je vhodný pro jednoduché tažení bez přidržovače. Je možné ale použít pružinový přidržovač, který je ovládán stejným beranem jako tažník. Má ale tu nevýhodu, že se postupem tažení zvyšuje jeho síla z důvodu neustálého stlačování pružiny.
- Dvojčinný – o něco složitější na konstrukci. Může být proveden dvěma způsoby:
  - První – má jeden beran nahoře a jeden dole. Má více možností využití. Může být buď klasický vrchní tažný beran a spodní přidržovací, anebo obrácený způsob, kdy je vrchním beranem ovládána tažnice a spodním přidržovač. Je ho možno využít pro součásti, kdy by se jinak třeba muselo pořizovat trojčinný lis.
  - Druhý – má případně dva berany nahoře. Vnitřní je pro tažník a vnější je pro přidržovač. Výhodou oproti jednočinnému lisu je možnost přesného nastavení přidržovací síly a její konstantní velikost v průběhu tažení. Tento způsob je vhodný pro válcovité součásti bez příruby, které propadávají pod stůl lisu a není tak potřeba vyhazovač.
- Trojčinný – nejsložitější na konstrukci. Má tři berany. Nahoře jsou dva, vnitřní pro tažník a vnější pro přidržovač a dole je jeden pro vyhazovač. Je vhodný pro složitější součásti s přírubou, které je potřeba vyhazovačem vyjmout z tažnice.

Kromě síly je důležitým parametrem i rychlost. Ta má velký vliv na tažný proces, jednak na kvalitu výrobku a taky na výrobnost. Je potřeba zvolit takovou velikost, která nezpůsobí porušení výtazku a zároveň není příliš malá, aby nebyl stroj zbytečně neefektivní. Vychází se již ze zažitých zkušeností, kdy se rychlost volí podle taženého materiálu. Záleží na jeho tvařitelnosti a přetvárném odporu. Pro nelegovanou ocel je doporučena rychlost  $17 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ .

## 2.6 Maziva a technologičnost [1], [4], [2], [15], [18], [20], [23]

Na vykonanou práci při tažení má velký vliv tření mezi nástrojem a výtazkem. Je potřeba ho co nejvíce eliminovat tam, kde je nežádoucí. Z teoretického pohledu se celý přístřih nemaže, protože tření mezi ním a tažníkem je vhodné mít co nejvyšší, neboť pomáhá celému procesu, což ale neplatí o stykových plochách s přidržovačem a tažnicí, kde je naopak vysoké tření špatné, protože zvyšuje tažnou sílu a tím pádem vynaloženou práci. Z reálného hlediska je ale nemožné zajistit, aby se tam mazivo nedostalo i během samotného procesu tažení, a proto se rovnou maže celý přístřih a může se udělat hrubší tažník. Dalšími výhodami jejich použití je zabránění zadírání a poškrábání taženého povrchu a taky snížení opotřebení nástroje. Musí splnit požadované vlastnosti, jako například:

- Přílnavost – je potřeba, aby byla dobrá a rovnoměrná.
- Odstranitelnost – pro zjednodušení celého výrobního procesu je vhodné, aby šlo mazivo snadně oddělit od hotového výtazku.
- Schopnost silné vrstvy – musí se vytvořit pevná a nevysychající. Dále je potřeba, aby vydržela i velké tlaky, které při tažení vznikají.
- Teplotní stálost – nesmí změnit důležité vlastnosti maziva, kvůli kterým jsou používány.
- Minimální škodlivost – je důležité, aby použité mazivo chemicky ani mechanicky nenarušilo či dokonce nezničilo povrch nástroje i přístřihu.
- Ekologičnost – nemělo by se zapomínat na to, aby maziva nebyla ekologicky závadná a nesmí být škodlivé pro pracovníky.

Maziv existuje mnoho druhů. Vybírají se hlavně podle tvářeného materiálu, hloubky tažení a vlivů, kterými jsou v pracovních podmínkách vystaveny. Používají se:

- cyklické oleje – mohou být buď čistě ropné středně viskózní, anebo méně viskózní s přísadami jako například chlorovaný tuhý parafin, grafit nebo křída;
- rostlinné oleje – například řepkový olej;
- živočišný oleje a tuky – například lůj nebo rybí olej;
- olejové emulze;
- vodní roztoky sodných či draselných mýdel;
- samotná tuhá maziva – vhodné pro obtížné tažení. Je to například grafit nebo sulfid molybdeničitý.

Ještě před samotným návrhem procesu tažení je potřeba zkontrolovat ať už materiál nebo samotný tvar a rozměry zadané součásti. Některé nemusí být úplně vhodné, a proto je výhodnější provést určité změny, které ale zároveň nebudou vadit funkci součásti. Změny mohou razantně zjednodušit výrobu a zlepšit tak její ekonomičnost. Základní úpravy mohou být například:

- Vhodnější materiál – jak již bylo v minulých kapitolách zmíněno, musí mít hlavně dobrou tvařitelnost a případně být odolné vůči stárnutí. Z tohoto důvodu jsou nejvhodnější hlubokotažné oceli.
- Výška – čím větší, tím hůře se vyrábí. Je vhodné ji zbytečně nezvětšovat.
- Tvar – raději se vyvarovat nerotačním výtažkům (obr.26). Upřednostnit válcový tvar (obr.27) před kuželovým či sférickým. Dno by mělo být rovné, kolmo na osu výtažku.
- Zaoblení – u nerotačních výtažků je vhodné co nejvíce zaoblit rohy. Nejideálnější je, aby součást bylo možné vyrobit poslední operací tažení bez kalibrace.
- Příruby – znemožňují propadávání výtažku pod stůl lisu a omezují tak způsob výroby a ta je poté obtížnější. U některých součástí je ale z funkčních důvodů nutná.
- Tolerance – upravit tak, aby byly technologií tažení dosažitelné. V některých místech výtažku může dojít ke ztenčení stěny a válcová plocha je vlivem tažné mezery mírně kuželovitá. U taženého průměru se dosahuje IT 9 a ostatní rozměry IT 12. Přesnější rozměry tolerance se dosáhnou případnou kalibrací, ale to jen v nutných případech.



Obr. 26 Nevhodný tvar [4]



Obr. 27 Vhodný tvar

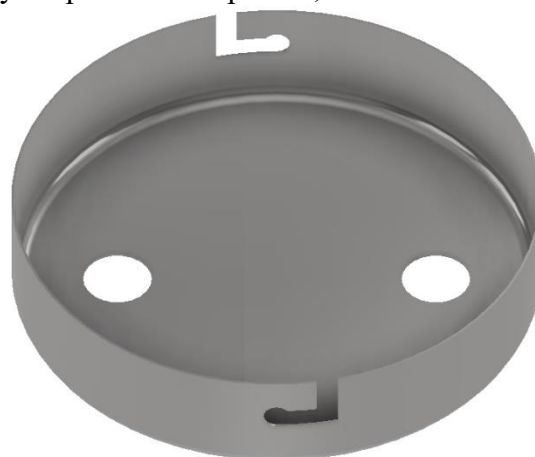


### 3 NÁVRH ŘEŠENÍ [8], [31]

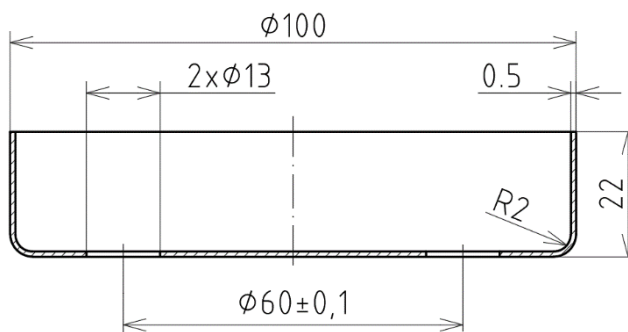
Řešenou součástí je kryt elektrických kabelů nástěnného osvětlení (obr.28). Zvolená ocel DC01 je vhodná k tváření za studena a středně hlubokému tažení. Nevýhodou ovšem je náchylnost ke stárnutí. Ta ale bude vyřešena rychlým zpracováním plechů, které dodá firma Feron, a.s. v rozměrech  $0,5 \times 1000 \times 2000$  mm. Výrobní série je stanovena na 30 000 kusů za rok.

Výtažek má tvar jednoduchého kalíšku o průměru 100 mm a výšce 22 mm s tloušťkou 0,5 mm. Jelikož jediná požadovaná vlastnost je pěkný design, na přesnost rozměrů a geometrie nejsou kladeny vysoké nároky. Tolerance již zmíněných rozměrů se řídí podle ISO 2768 – mK. U průměru vychází  $\pm 0,3$  mm a u výšky  $\pm 0,2$  mm. Tolerované jsou až kruhové otvory na dně, které budou, stejně jako i otvory pro aretační šrouby, vystřiženy až po procesu tažení a nebudou v této bakalářské práci řešeny.

Z hlediska technologičnosti je zadaný tvar ideální, výška je poměrně malá a součást neobsahuje přírubu. Problém ale nastává u poloměru zaoblení dna. Ten je zadaný R1, což by nutilo provést následně ještě jednu dodatečnou kalibrační operaci, která se ale provádí jen z nezbytných důvodů. Jelikož tento rozměr nemá na funkci součásti vliv, byl po konzultaci s konstruktérem změněn na R2 (obr.29) a byl vytvořen nový výkres BP-00/2-2021.



Obr. 28 Řešená součást

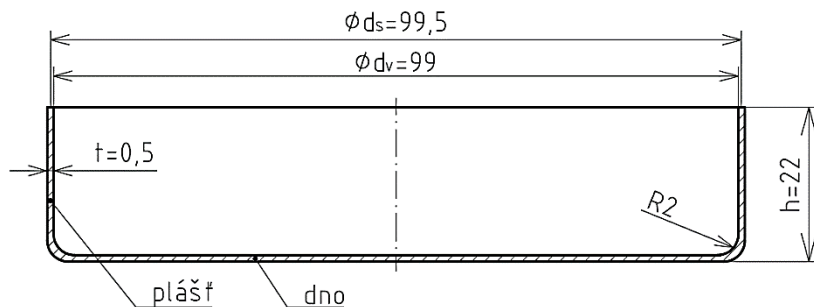


Obr. 29 Upravené rozměry

#### 3.1 Velikost přístřihu a počet tažných operací [21]

Poté, co se určily finální rozměry součásti, se může vypočítat velikost přístřihu, tedy průměr kružnice, která bude vystřižena z tabule plechu. Nebude počítáno s otvory, které budou vystřiženy až po celém procesu tažení. Pro větší přesnost se bude brát střední průměr ' $d_s$ ' (obr.30) a mírné ztenčení stěny bude zanedbáno. Výpočet bude proveden podle více způsobů:

- Z nomogramu – je v příloze 1. Na levou stupnici se dalo 47 mm a na pravou 99,5 mm. Červená čára poté protíná prostřední stupnici na hodnotě 140 mm. To je pouze přibližný výsledek, kolem kterého by se měl správný výsledek pohybovat.
- Ze zákona zachování objemu – výtažek se rozdělí na části (obr.30), u kterých se snadno vypočítá objem, zaoblení dna bude zanedbáno:



Obr. 30 Rozměry pro výpočet velikosti přístřihu

- Objem pláště 'V<sub>pl</sub>' se vypočítá:

$$V_{pl} = \pi \cdot d_s \cdot h \cdot t = \pi \cdot 99,5 \cdot 22 \cdot 0,5 = 3438,5 \text{ mm}^3, \quad (3.1)$$

kde:  $d_s = 99,5 \text{ mm}$  (obr.30),  
 $h = 22 \text{ mm}$  (obr.30).

- Objem dna 'V<sub>d</sub>' se vypočítá:

$$V_d = \frac{\pi \cdot d_v^2}{4} \cdot t = \frac{\pi \cdot 99^2}{4} \cdot 0,5 = 3848,8 \text{ mm}^3, \quad (3.2)$$

kde:  $d_v = 99 \text{ mm}$  – vnitřní průměr výtažku (obr.30).

- Celkový objem výtažku 'V<sub>v1</sub>' se vypočítá součtem jednotlivých objemů:

$$V_{v1} = V_{pl} + V_d = 3438,5 + 3848,8 = 7287,3 \text{ mm}^3. \quad (3.3)$$

- Velikost přístřihu se poté vypočítá podle (2.2):

$$D_0 = \sqrt{\frac{V_{v1} \cdot 4}{\pi \cdot t}} = \sqrt{\frac{7287,3 \cdot 4}{\pi \cdot 0,5}} = 136,22 \text{ mm}.$$

Výpočtem vyšel průměr přístřihu 136,22 mm, po zaokrouhlení nahoru vyjde 137 mm, což se podobá prvotnímu odhadu nomogramem. U výsledku se ale dá očekávat určitá nepřesnost daná zaokrouhlováním v jednotlivých krocích. Ještě větší nepřesnost ale vznikla už samotným zanedbáním zaoblení dna.

- Ze zákona zachování ploch – vychází z podobného postupu jako u výpočtu s objemem. Taktéž se součást rozdělí na jednoduché plochy (obr.30):

- Plocha pláště 'S<sub>pl</sub>' se vypočítá:

$$S_{pl} = \pi \cdot d_s \cdot h = \pi \cdot 99,5 \cdot 22 = 6876,9 \text{ mm}^2. \quad (3.4)$$

- Plocha dna 'S<sub>d</sub>' se vypočítá:

$$S_d = \frac{\pi \cdot d_v^2}{4} = \frac{\pi \cdot 99^2}{4} = 7696,7 \text{ mm}^2. \quad (3.5)$$

- Celková plocha výtažku 'S<sub>v</sub>' se vypočítá součtem jednotlivých ploch:

$$S_v = S_{pl} + S_d = 6876,9 + 7696,7 = 14573,6 \text{ mm}^2. \quad (3.6)$$

- Velikost přístřihu se poté vypočítá podle (2.3):

$$D_0 = 1,13 \cdot \sqrt{S_v} = 1,13 \cdot \sqrt{14573,6} = 136,41 \text{ mm}.$$

Výpočtem vyšel průměr přístřihu 136,41 mm, zaokrouhlením nahoru se dostane 137 mm. Výsledkově se tedy velmi podobá předchozímu. V obou případech se zanedbalo zaoblení dna a výsledky se průběžně zaokrouhlovaly, z čehož se může předpokládat jistá nepřesnost.

- Ze vzorce:

- a) se zanedbáním zaoblení dna podle (2.4):

$$D_0 = \sqrt{d_s^2 + 4 \cdot d_s \cdot h} = \sqrt{99,5^2 + 4 \cdot 99,5 \cdot 22} = 136,59 \text{ mm}.$$

b) bez zanedbání zaoblení dna podle (2.5):

$$D_0 = \sqrt{d_s^2 + 4 \cdot d_s \cdot h - 1,72 \cdot d_s \cdot r} = \\ = \sqrt{99,5^2 + 4 \cdot 99,5 \cdot 22 - 1,72 \cdot 99,5 \cdot 2} = 135,33 \text{ mm},$$

kde:  $r = 2 \text{ mm}$  (obr.30).

Výsledky ukázaly rozdíl mezi výpočtem se zanedbáním zaoblení dna a bez něj. V prvním případě vyšlo 136,59 mm, po zaokrouhlení 137 mm a ve druhém 135,33 mm, zaokrouhleně nahoru 136 mm, byly tedy podobné těm předchozím. Jsou ale o dost jednodušší, protože stačí dosadit do jedné rovnice a nemusí se postupně počítat objem či plochu. Při volbě nejvhodnějšího výsledku by dostala přednost hodnota 136 mm, u které se předpokládá vyšší přesnost, 137 mm by bylo bezpečnější, ale průměr bude ještě zvětšován o přídavek, který s anizotropií počítá.

- Z hmotnosti – byla zjištěna pomocí programu Autodesk Inventor 2020. Pro výpočet bude použit vzorec (2.6):

$$D_0 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{m_v}{\rho \cdot t}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{57}{0,00785 \cdot 0,5}} = 136,17 \text{ mm},$$

kde:  $m_v = 57 \text{ g}$ , je uvedena v příloze 7,

$\rho = 0,00785 \text{ g.mm}^3$ , je uvedena v příloze 7.

Výpočet vypadá velmi jednoduše a vyšel i dost podobně jako předchozí, tedy 136,17 mm, po zvoleném zvětšení 136,5 mm. Velkou nevýhodou ale je nutnost znát hmotnost výtazku, která nemusí být pokaždé stejná, a to platí i pro hustotu materiálu.

- S pomocí počítačového programu – byl zjištěn objem výtazku programem Autodesk Inventor 2020 a průměr se spočítá dle (2.2):

$$D_0 = \sqrt{\frac{V_{v2} \cdot 4}{\pi \cdot t}} = \sqrt{\frac{7281,249 \cdot 4}{\pi \cdot 0,5}} = 136,17 \text{ mm},$$

kde:  $V_{v2} = 7281,249 \text{ mm}^3$ , je v příloze 7.

Výsledek tímto jednoduchým způsobem vyšel 136,17 mm, po zvoleném zvětšení 136,5 mm.

Ze všech možností výpočtu se jako nejlepší, z důvodu kombinace jak přesnosti, tak i rychlosti, jeví výpočet pomocí počítačového programu, kde vyšel předběžný průměr přístříhu 136,5 mm.

Aby se mohl určit finální průměr přístříhu, je nutné zjistit na kolik operací bude součást tažena. Nejdříve se vypočítá poměrná tloušťka podle (2.7):

$$s_p = \frac{t}{D_0} \cdot 100 = \frac{0,5}{136,17} \cdot 100 = 0,37.$$

V příloze 2 je tabulka, kde jsou pro různé poměrné tloušťky doporučené součinitele tažení pro jednotlivé operace. Hodnota  $s_p$  vyšla 0,37, tudíž se řadí do sloupce s intervalem 0,6 až 0,3. Získané hodnoty součinitelů tažení z přílohy 2 jsou uvedeny v tabulce 2:

Tab. 2 Doporučené hodnoty součinitele tažení pro jednotlivé operace [21]

Tažná operace	1	2	3	4	5
Součinitel tažení	$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$m_5$
Velikost součinitele tažení	<b>0,58</b>	0,79	0,81	0,83	0,86

Pro zjištění počtu nutných operací a průměrů výtažku, které po nich vzniknou se využije rovnici (2.8), kde pro první tah platí:

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} \rightarrow d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,58 \cdot 136,17 = 78,98 \text{ mm},$$

Nyní se zkontroluje podmínka ukončení výpočtu, tedy zda je vypočítané 'd<sub>1</sub>' menší nebo rovno požadovanému vnitřnímu průměru výtažku 'd<sub>v</sub>':

$$\begin{aligned} d_1 &\leq d_v \\ 78,98 \text{ mm} &\leq 99 \text{ mm}. \end{aligned} \quad (3.7)$$

Podmínka je splněna, pro zhotovení výtažku je dostatečná jedna operace.

Vzhledem k výrobě pouze na jednu operaci bude stačit přídavek na odstřížení o velikosti 3 % již vypočítaného průměru 'D<sub>0</sub>':

$$D_0 = 136,5 \cdot 1,03 = 140,6 \text{ mm}. \quad (3.8)$$

Výsledek vyšel 140,6 mm a průměr přístřihu je zvolen 141 mm, protože přídavek na odstřížení byl poměrně malý, a tak je z důvodu bezpečnosti zaokrouhlen nahoru.

Přidáním přídavku na odstřížení se ale změnil dosažitelný průměr v první operaci, který je potřeba zkontrolovat pomocí (2.8):

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} \rightarrow d_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,58 \cdot 141 = 81,78 \text{ mm}.$$

Podmínka ukončení výpočtu je poté stejná jako v (3.7):

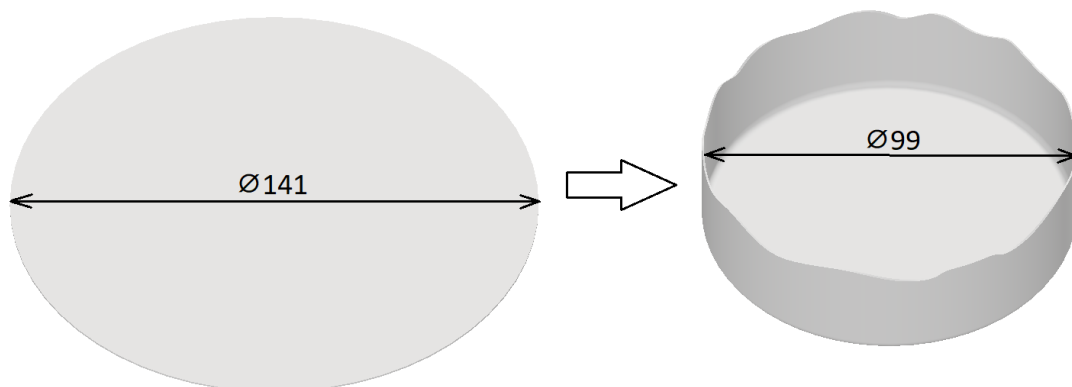
$$\begin{aligned} d_1 &\leq d_v \\ 81,78 \text{ mm} &\leq 99 \text{ mm}. \end{aligned}$$

I tady je podmínka splněna a je tak potvrzena výroba výtažku na jednu operaci. Vypočítat upravený součinitel tažení je možné podle rovnice (2.8):

$$m_1 = \frac{d_v}{D_0} = \frac{99}{141} = 0,702.$$

Ten se tedy zvětšil z doporučených 0,58 na 0,702. Je to z důvodu velkého zadaného průměru vůči nízké výšce, a proto se naplno nevyužije možný součinitel. Celkový součinitel tažení je roven součiniteli tažení v první operaci, protože se jich více neprovádí.

Na základě výpočtů byl navrhnout průměr polotovaru 141 mm, který se v jedné operaci vytáhne na konečný průměr (obr.31). Není proto potřeba se zabývat víceoperačním procesem včetně rekrytalizačního žíhání, což je pro složitost a ekonomičnost výroby příznivé. Vznikne ale cípatá plocha, která bude následně odstraněna.



Obr. 31 Přístřih a výtažek

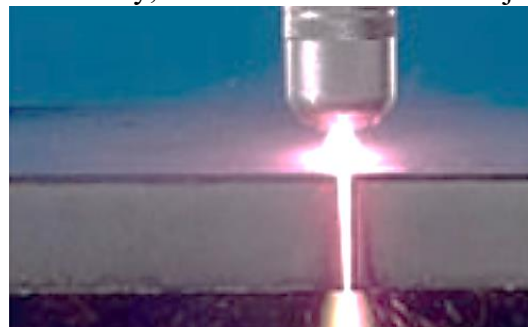
### 3.2 Přístřih [15], [24], [31], [32], [33], [34], [35], [36], [37], [38], [39]

Předtím, než se začne zjišťovat nejideálnější rozložení polotovarů na pás plechu, je nutné zvolit technologii, která se bude využívat pro získání přístřihu. Bude se vybírat mezi variantami, které jsou schopny vyrobit průměr 141 mm. Na toleranci momentálně nezáleží, protože rozměr se může ještě upravit. Rozhodovat bude náročnost, efektivita a ekonomičnost procesu a dále strojový park firmy. Dělení materiálu může být:

- Laserem – využívá tenký zaostřený paprsek na velmi malou část plechu, která se zahřeje natolik, že se roztaví nebo odpaří (obr.32). Mezi výhody patří rozmanitost materiálů, do které patří i zvolená ocel DC01. Vhodné tloušťky jsou od 0,5 mm do 30 mm, zadaných 0,5 mm vyhovuje. Dále nedochází ke kontaktu mezi nástrojem a plechem, tudíž je zde minimální opotřebení a deformace. Pro zadanou sérii 30 000 kusů za rok je důležitá snadná automatizace, která umožní rychlost výroby. Nevýhodou je ale vznik tepelně ovlivněné oblasti, která je sice malá, ale i přesto je problémová. Dále je potřeba celého laserového pracoviště, které je velmi nákladné na prvotní investici. Jelikož není ve strojovém parku firmy, je potřeba se podívat i na jiné technologie.
- Plazmou – využívá plyn ohřátý na vysokou teplotu až 30 000 °C, který z trysky vystupuje rychlostí až 2300 m.s<sup>-1</sup>, což způsobí natavení plechu a jeho vyfouknutí (obr.33). Je vhodnější pro elektricky vodivé materiály, což zvolená ocel DC01 je. Problémy s tloušťkou nastávají až od 15 mm, zadaných 0,5 mm se to netýká. Výhodou je automatizace, která by umožnila rychlou výrobu. Mezi nevýhody ale patří tepelně ovlivněná oblast, vysoká hladina zvuku, vznik škodlivých dýmů a stejně jako v předchozí technologii vysoké náklady na prvotní investici, která by byla nutná, protože zařízení pro plazmu není ve strojovém parku.
- Vodním paprskem – využívá natlakovanou vodu, která se vypustí tryskou obrovskou rychlostí ve formě tenkého paprsku (obr.34). Pro tvrdší materiály se přidá ještě abrazivo, nejpoužívanější je granát. Může se řezat široká škála materiálů, včetně zvolené oceli DC01. U oceli mohou být tloušťky až 200 mm, což naprosto dostačuje. Výhodou oproti předchozím metodám je tepelně neovlivněná oblast a ekologičnost. Nevýhodou ale je menší rychlost, obrovský hluk a nevyhnutelný kontakt materiálu s vodou, a proto je nutné zabránit korozi. Největším problémem je ale opět obsah strojového parku, kde nefiguruje pracoviště vodního paprsku a nemá smysl ho pořizovat.



Obr. 32 Řezání laserem [32]



Obr. 33 Řezání plazmou [34]



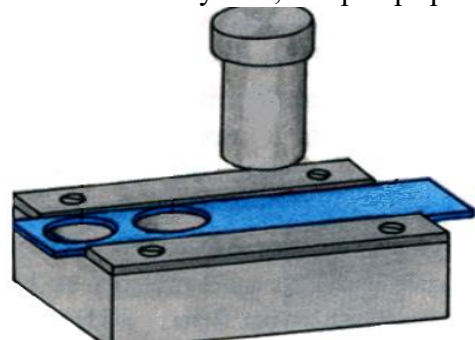
Obr. 34 Řezání vodním paprskem [36]

- Kotoučovými nůžkami – používají se spolu s přípravkem pro stříhání kruhů (obr.35). Jedná se o velmi jednoduchý a levný nástroj, který je využíván u tenkých ocelových plechů, tloušťka asi do 1,5 mm, čemuž zadaných 0,5 odpovídá. Nevýhodou ale je malá produktivita, protože se jedná o ruční metodu, což není příliš vhodné pro sérii 30 000 kusů ročně. Dále je navíc potřeba rozdělení tabule plechu na čtverce, ze kterých se poté vystřihne kruh. Oproti předchozím technologiím jsou součástí strojového parku a jejich použití tak není vyloučeno.



Obr. 35 Kroužkové nůžky [37]

- Konvenčním střížným nástrojem – pro výrobu složitějších tvarů se využijí postupové nástroje na více kroků, které mohou být náročné a drahé na výrobu, ale pro přípravu kruhového přístřihu dostačuje jednoduchý (obr.36), u kterého se zhotoví střížník i střížnice jen s jedním průměrem. Oproti předchozí metodě je proces automatizovaný na stroji, kde stačí podávat pásy plechu, pro zadanou sérii 30 000 kusů ročně je tedy vhodnější. Zadaná tloušťka i zvolený materiál vyhovuje. Firma vlastní několik lisů, včetně výstředníkových, kde je možné potřebný přístřih vyrobit.



Obr. 36 Jednoduchý střížný nástroj [39]

Vzhledem k rozměrům a materiálu přístřihu, velikosti výrobní série a strojovému parku firmy se jako optimální jeví technologie stříhání v konvenčním nástroji, pro kterou bude potřeba zvolit rozmístění přístřihů na pásu plechu. Byly zvoleny tabule, které bude dodávat firma Ferona, a.s., běžné rozměry pro ocel DC01 tloušťky 0,5 mm jsou 1000 × 2000 mm, pro které bude řešen nejen směr nastřihání pásu, ale i počet řad přístřihů. Vzorový výpočet je pro variantu jednořadou dělenou podélně, ostatní jsou shrnuty v tabulce 3:

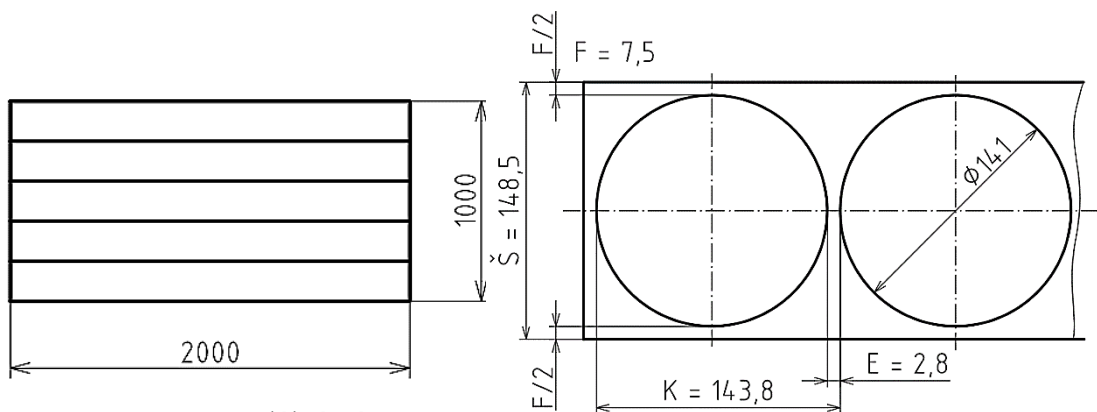
- Varianta č.1 – pásy podélně (obr.37), jedna řada přístřihů (obr.38). Vzniknou dlouhé pásy, které se do nástroje zavedou jednou. Nejdříve se spočítá počet pásů z tabule:

$$p_p = \frac{1000}{\check{S}} = \frac{1000}{D_0 + F} = \frac{1000}{141 + 7,5} = 6,7, \quad (3.9)$$

kde:  $\check{S}$  – šířka pásu plechu [mm],

$F = 7,5$  mm – velikost okraje, je v příloze 8.

Výsledných 6,7 je zaokrouhleno na 6, protože ze zbytku plechu se nic nevyrobí.



Obr. 37 Podélné pásy

Obr. 38 Jedna řada přístřihů

Poté se vypočítá počet kusů z jednoho pásu:

$$p_k = \frac{2000}{K} = \frac{2000}{D_0 + E} = \frac{2000}{141 + 2,8} = 13,9, \quad (3.10)$$

kde:  $K$  – velikost kroku [mm],

$E = 2,8$  mm – velikost můstku [mm], je v příloze 8.

Výsledných 13,9 je zaokrouheno na 13, protože stále platí, že zbytek plechu je příliš malý na to, aby se z něj dal vyrobit další přístřih.

Následně je možno vypočítat počet kusů z jedné tabule:

$$p_1 = p_p \cdot p_k = 6 \cdot 13 = 78 \text{ kusů}. \quad (3.11)$$

Vyšla hodnota 78, která udává kolik přístřihů je možno dostat z jedné tabule plechu při konkrétním směru dělení pásů a počtu řad.

Pro danou sérii 30 000 kusů ročně je potřeba tabulí:

$$p_t = \frac{30000}{p_1} = \frac{30000}{78} = 384,6. \quad (3.12)$$

Výsledných 384,6 se zaokrouhlí na 385, protože se tabule kupují na celé kusy.

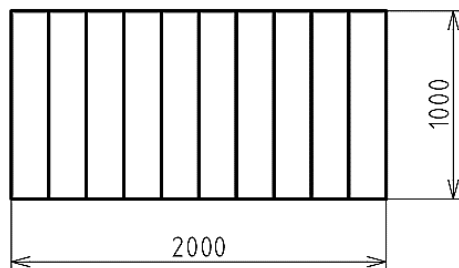
Obsah plochy přístřihu je:

$$S_p = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} = \frac{\pi \cdot 141^2}{4} = 15614,5 \text{ mm}^2. \quad (3.13)$$

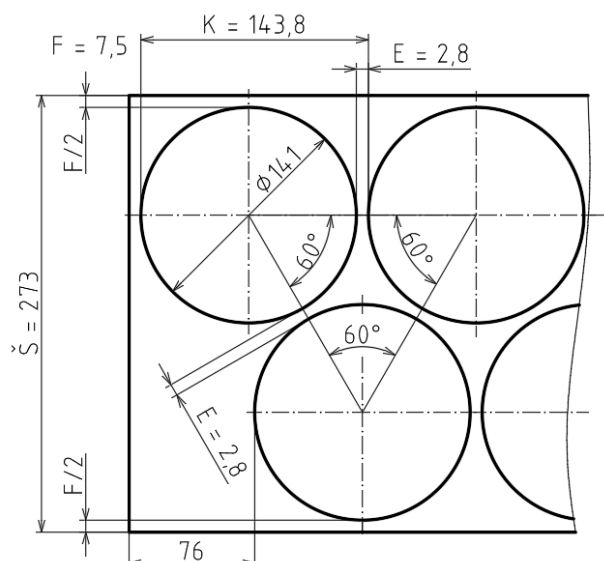
Procentuální využití materiálu je:

$$p_v = \frac{p_1 \cdot S_p \cdot 100}{2000 \cdot 1000} = \frac{78 \cdot 15614,5 \cdot 100}{2000 \cdot 1000} = 60,9 \%. \quad (3.14)$$

- Varianta č.2 – pásy příčně (obr.39), jedna řada přístřihů (obr.38). Vzniknou krátké pásy, které se do nástroje zavedou jednou.
- Varianta č.3 – pásy podélně (obr.37), dvě řady přístřihů (obr.40). Vzniknou dlouhé pásy, které se zavedou do nástroje a na konci se otočí, aby se mohla vystřihnout druhá řada.
- Varianta č.4 – pásy příčně (obr.39), dvě řady přístřihů (obr.40). Vzniknou krátké pásy, které se zavedou do nástroje a na konci se otočí, aby se mohla vystřihnout druhá řada.



Obr. 39 Příčné pásy



Obr. 40 Dvě řady přístřihů

Tab.3 Přehled výsledků jednotlivých variant

Varianta číslo	Počet pásů z tabule 'p <sub>p</sub> ' [-]	Počet kusů z pásu 'p <sub>k</sub> ' [-]	Počet kusů z tabule 'p <sub>1</sub> ' [-]	Počet tabulí 'p <sub>t</sub> ' [-]	Využití materiálu 'p <sub>v</sub> ' [%]
1	6	13	78	385	60,9
2	13	6	78	385	60,9
3	3	26	78	385	60,9
<b>4</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>84</b>	<b>358</b>	<b>65,6</b>

Z jednotlivých variant se jeví jako nejvýhodnější z hlediska využití materiálu číslo 4, protože oproti ostatním se na jednu tabuli plechu rozmístí o šest přístřihů více. Má ovšem nevýhodu v častém zavádění pásu z důvodu příčného dělení a dvojřadého rozdělení přístřihů, které se vystřihují jednotlivě, což znamená, že po jedné řadě je nutné pás otočit pro druhou řadu. Je potřeba zvážit, zda se vyplatí ušetřit na tabulích vůči větší pracnosti. Při nákupu o 27 tabulí méně se ušetří 10 073,7 Kč, a proto je zvolena varianta číslo 4.

### 3.3 Funkční rozměry nástroje [1]

Nejdříve je potřeba určit tažnou mezeru, která má poloviční velikost vůle mezi tažníkem a tažnicí. Pro její určení se bude vycházet ze tří způsobů:

- Odečtení z tabulky – v příloze 3, kde tloušťce 0,5 mm odpovídá mezera 0,55 mm.
- Výpočet podle ČSN 22 7301 – kde se uvádí vztahy pro jednotlivé operace, a jelikož pro výrobu výtažku stačí jedna, bude použita rovnice (2.10):

$$z = (1,2 \text{ až } 1,3) \cdot t = 1,2 \cdot 0,5 = 0,6 \text{ mm,}$$

kde: 1,2 – byla zvolena co nejnižší mezní hodnota, protože nebude následovat další operace.

- Výpočet podle Oehlera – je dán jeden vzorec pro všechny operace (2.13):

$$z = t + k \cdot \sqrt{t} = 0,5 + 0,07 \cdot \sqrt{0,5} = 0,55 \text{ mm,}$$

kde:  $k = 0,07$  pro ocel.

Ve výsledcích je velmi malý rozdíl, ale je potřeba zvolit jednu velikost, která bude co nejvhodnější. Jelikož ověření správnosti se provede až po sestavení nástroje při kontrolní výrobě, je lepší zvolit menší rozměr, protože při opravě se snadněji zvětší otvor tažnice, než kdyby se musel zmenšovat, a proto je zvoleno 0,55 mm.

Dalším rozměrem je poloměr tažnice, tedy velikost zaoblení funkční hrany. Je více způsobů, kterými ho lze určit:

- Odečtení z diagramu – je v příloze 5. Zadání odpovídá oblasti 'b', tedy výtažky bez příruby. Poměrná tloušťka již byla vypočítána při určování velikosti přístřihu, a to 0,37, čemuž přibližně odpovídá rozmezí 8,8 až 12, jak je v diagramu barevně vyznačeno. Po vynásobení tloušťkou 0,5 mm se dostane 4,4 až 6 mm.
- Výpočet z empirického vzorce – bere v potaz nejen tloušťku polotovaru, ale i rozdíl mezi průměrem přístřihu a tažníku, podle (2.18):

$$R_{ice} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d_{fk}) \cdot t} = 0,8 \cdot \sqrt{(141 - 99) \cdot 0,5} = 3,67 \text{ mm.}$$



- Výpočet z praktického vzorce – jednoduchý výpočet pouze z tloušťky polotovaru, podle rovnice (2.19):

$$R_{ice} = (6 \text{ až } 10) \cdot t = (6 \text{ až } 10) \cdot 0,5 = (3 \text{ až } 5) \text{ mm.}$$

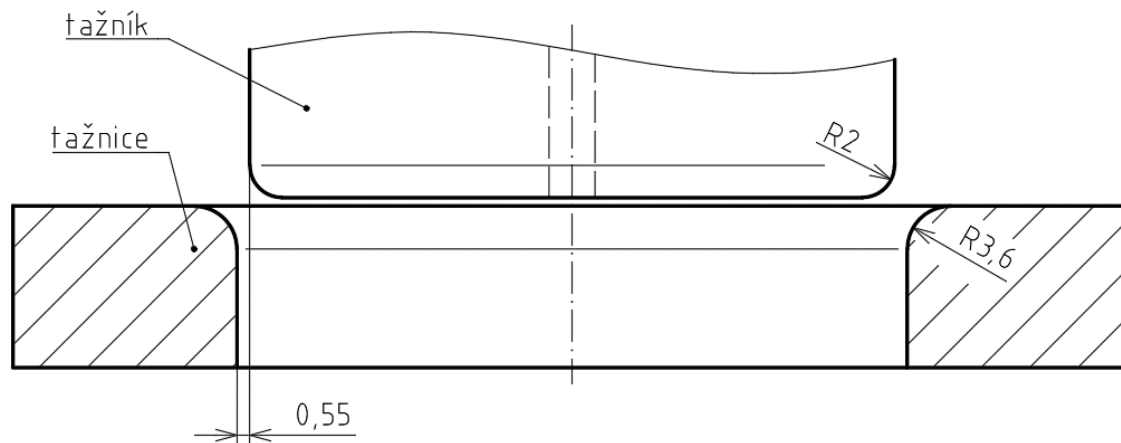
Ze tří různých výsledků je potřeba zvolit jeden rozměr. Příliš malý poloměr způsobí trhání materiálu, naopak příliš velký poloměr způsobí zvlnění. To, jestli se zvolí dobře se zjistí až při kontrolní sérii, po které je nutné opravit nedostatky. Pokud by se upravovalo zaoblení, tak je jednodušší ho zvětšit, a proto je zvoleno 3,6 mm.

Dalším důležitým rozměrem je poloměr tažníku, tedy opět velikost zaoblení funkční hrany. Minimální velikost se určuje podle vnitřního průměru výtažku, tedy 99 mm, čemuž odpovídá rovnice (2.20):

$$R_{fk} = (3 \text{ až } 4) \cdot t = (3 \text{ až } 4) \cdot 0,5 = (1,5 \text{ až } 2) \text{ mm.}$$

Ve vypočítaném rozmezí jsou jen minimální hodnoty a jelikož je první tažná operace zároveň i poslední, tak zaoblení odpovídá hotové součásti, jinak by se musela provádět dodatečná kalibrační operace, která by výrazně ztížila výrobu, a proto je určen poloměr 2 mm.

Všechny zvolené hodnoty jsou zobrazeny na obrázku 41.



Obr. 41 Zvolená tažná mezera a funkční poloměry

### 3.4 Přidržovač [1]

Pro dosažení správného a kvalitního procesu je potřeba se zabývat přidržovači, bez kterých by mohlo dojít ke zvlnění plechu. Nejdříve se však kontroluje, zda je potřeba:

- Dle Freilinga – vychází z poměrné tloušťky, která již byla dříve vypočítána a vyšla 0,37, podle čehož se zkontroluje podmínku:

$$s_p < 1,5$$

$$0,37 < 1,5.$$

Podmínka je splněna, což udává, že přidržovač je nutný.

- Dle Šofmana – udává podmínku, která pokud je splněna, může se táhnout bez přidržovače, dle (2.22):

$$D_0 - d_v \leq 18 \cdot t$$

$$141 - 99 \leq 18 \cdot 0,5$$

$$42 \leq 9.$$

Podmínka není splněna, a proto je přidržovač nutný.

- Dle ČSN 22 7301 – rozsáhlejší výpočet oproti předchozím, nejdříve je spočítána hodnota 'k<sub>p</sub>' podle (2.23):

$$k_p = 50 \cdot \left( z_p - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) = 50 \cdot \left( 1,9 - \frac{\sqrt{0,5}}{\sqrt[3]{141}} \right) = 88,2.$$

Vypočítaná hodnota se poté může dosadit do podmínky v (2.24):

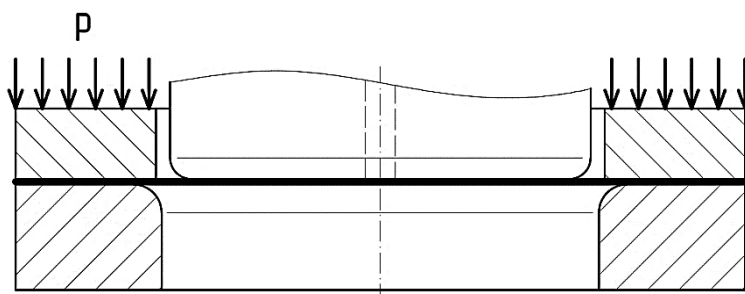
$$k_p \geq \frac{d_v}{D_0} \cdot 100$$

$$88,2 \geq \frac{99}{141} \cdot 100$$

$$88,2 \geq 70,2.$$

Uvádí se, že pokud je podmínka splněna, je nutné použít přídržovač.

Kontrola byla provedena třemi způsoby a ve všech vyšel stejný výsledek, že přídržovač je nutný. Jelikož se jedná o první a zároveň poslední operaci, bude mít tvar rovného prstence (obr.42).



Obr. 42 Tlak přídržovače

Následně je potřeba vypočítat přídržovací sílu podle (2.25):

$$F_p = S_{\xi} \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot (D_0^2 - d^2) \cdot p = \frac{\pi}{4} \cdot (141^2 - 100^2) \cdot 2,2 = 17073,1 \text{ N},$$

kde:  $p = 2,2 \text{ MPa}$  – byl zvolen podle doporučení, které lze nalézt v tabulce z přílohy 6, kde pro danou tloušťku 0,5 mm odpovídá rozmezí 2 až 2,4 MPa.

Přídržovací síla vyšla 17073,1 N, což se přibližně rovná 17 kN.

### 3.5 Síla, práce a volba lisu [18], [27], [41]

Dalším parametrem, který je vhodný znát, je tažná síla, která bude potřeba pro proměnu rovného plechu na součást tvaru kalíšku. Pro výpočet se použije (2.14):

$$F_{\text{krit}} = \pi \cdot d_s \cdot t \cdot R_m \cdot C = \pi \cdot 99,5 \cdot 0,5 \cdot 410 \cdot 0,6 = 38448,4 \text{ N},$$

kde:  $R_m = 410 \text{ MPa}$  – největší hodnota z rozmezí, které je v tabulce 1,

$C = 0,6$  – doporučené hodnoty koeficientů závislých na součiniteli tažení jsou v příloze 4, kdy pro  $m = 0,702$  odpovídá  $C = 0,6$ .

Kritická síla vyšla 38448,4 N a bude se s ní dále počítat, i přesto, že skutečná tažná je o něco menší. Celková se poté vypočítá jako součet kritické a přídržovací podle (2.16):

$$F_C = F_{\text{krit}} + F_p = 38448,4 + 17073,1 = 55521,5 \text{ N}.$$

Celková síla vyšla 55521,5 N, ale pro volbu lisu se z důvodu zvýšení bezpečnosti zvětší požadovaná jmenovitá síla o 30 %:

$$F_{\text{lis}} = F_C \cdot 1,3 = 55521,5 \cdot 1,3 = 72177,95 \text{ N.} \quad (3.15)$$

Ta vyšla 72177,95 N, což je přibližně 72,2 kN a podle ní je následně možno vypočítat potřebnou práci při tažení podle rovnice (2.17):

$$A = \frac{F_C \cdot h \cdot C_A}{1000} = \frac{55521,5 \cdot 22 \cdot 0,66}{1000} = 806,2 \text{ J.}$$

kde:  $C_A = 0,66$  – koeficient zaplnění plochy je pro tažení bez kalibrování.

Práce vyšla 806,2 J, jedná se o hodnotu, kterou by lis neměl v žádném případě přesáhnout a podle ní a síly 72,2 kN se zvolí co nejvhodnější lis.

Firma disponuje širokou škálou lisů od mechanických po hydraulické. Důležitým parametrem pro zvolení je potřebná jmenovitá síla a počet činných beranů včetně jejich umístění. Je požadován dvojčinný lis s jedním beranem tažným a druhým přidržovacím, přičemž oba jsou nahoře. Tento požadavek splňují ze strojového parku pouze tři lisy, a to:

- CTH 160 – hydraulický lis od firmy ŽDAS, a.s., který je určen jak pro objemové, tak i plošné tváření, je na obrázku 43. Výhodou je tuhá uzavřená konstrukce rámu a možnost plynulé změny rychlosti beranu i během procesu. Nevýhodou je zaneprázdněnost stroje, protože se na něm vyrábí jiný výrobek s velkou sérií.
- CTC 400 – hydraulický lis od firmy ŽDAS, a.s., který je určen pro všechny běžné tvářecí operace, je na obrázku 44. Výhodou je přístup do pracovního prostoru ze tří stran a plynulá změna rychlosti beranu. Velmi tuhá konstrukce umožňuje dosažení obrovské jmenovité síly, což je zároveň i nevýhodou, protože pro řešenou součást stačí až 55 × menší.
- CUPS 40 DEU – hydraulický lis od firmy HŠV stroje, a.s., který je vhodný pro plošné tváření za studena, je na obrázku 45. Výhodou oproti předchozím lisům je ideálnější jmenovitá síla a celkové rozměry, které nejsou zbytečně velké. Nevýhodou ale je možnost pouze tří rychlostí beranu. Upínání desky přidržovače je možno provést pomocí podélných T-drážek, nebo stopkou přes přidavnou desku, která ale zmenší maximální sevření, spodní deska se poté připevní upínkami přes příčné T-drážky, jak je vidět na obrázku 46.



Obr. 43 Lis CTH 160 [27]



Obr. 44 Lis CTC 400 [27]



Obr. 45 Lis CUPS 40 DEU [41]

Z vypsaných lisů se jako nejvhodnější jeví CUPS 40 DEU s jmenovitou silou 400 kN, důležité rozměry a parametry jsou v tabulce 4, ostatní jsou v příloze 9. Jak již bylo zmíněno, rychlost se nastavuje ze tří možností. Pro tažení nelegované oceli je doporučeno  $17 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ , čemuž se nejvíce blíží  $15 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ , což bude nastaveno a při kontrolní sérii a je možné ji následně upravit podobně jako návrat, který byl zvolen  $25 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$  a rychloposuv  $65 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Důležitým parametrem, který je potřeba zkontrolovat je otvor ve stole, protože jím musí projít výtažek. Má velikost 120 mm, a tak pro součást o průměru 100 mm vyhovuje.

Tab.4 Parametry a rozměry lisu CUPS 40 DEU [41]

Jmenovitá síla	400 kN
Rychloposuv	<b>65</b> / 45 / 20 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
Rychlost lisování	25 / <b>15</b> / 8 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
Rychlost návratu	40 / <b>25</b> / 10 $\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$
Rozevření	450 mm
Zdvih	250 mm
Propad ve stole	120 mm
Stůl	480 × 600
Beran	250 × 470

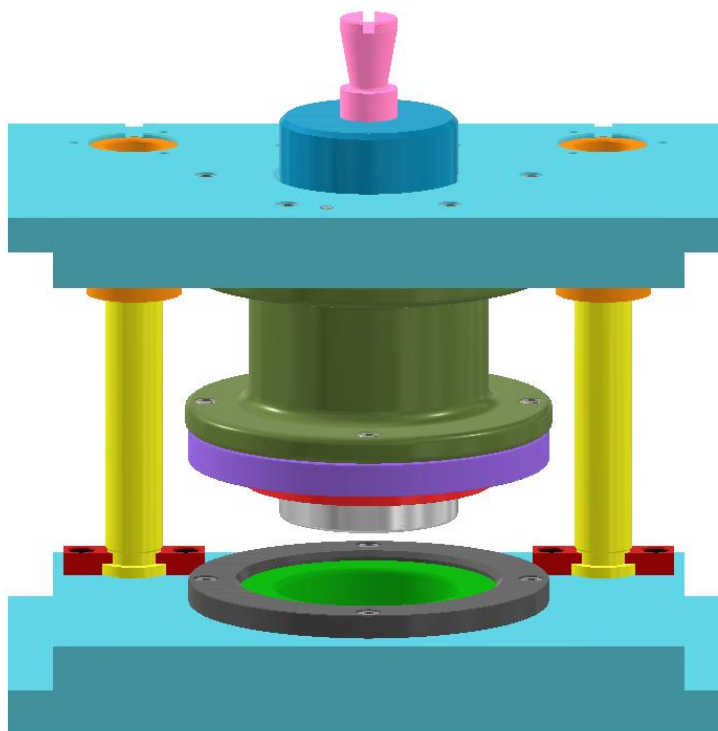


Obr. 46 Pracovní prostor lisu CUPS 40 DEU [41]

### 3.6 Nástroj

Vystřížený rovinný přístřih bude zpracován na jednu operaci, a proto stačí jeden tažný nástroj, který bude řešen klasickým konvenčním způsobem, kdy pohyblivý tažník vtahuje plech do pevné tažnice, která je upnuta ke spodní desce. Tažník je přes stopku upnut do beranu lisu, který ovládá jeho pohyb. Další je přidržovač, který je upnut k druhému beranu, jenž je nezávislý na prvním, což dovoluje udržení kontaktního tlaku během tažného procesu. Celý nástroj je zobrazen ve stavu zdvihu na obrázku 47.

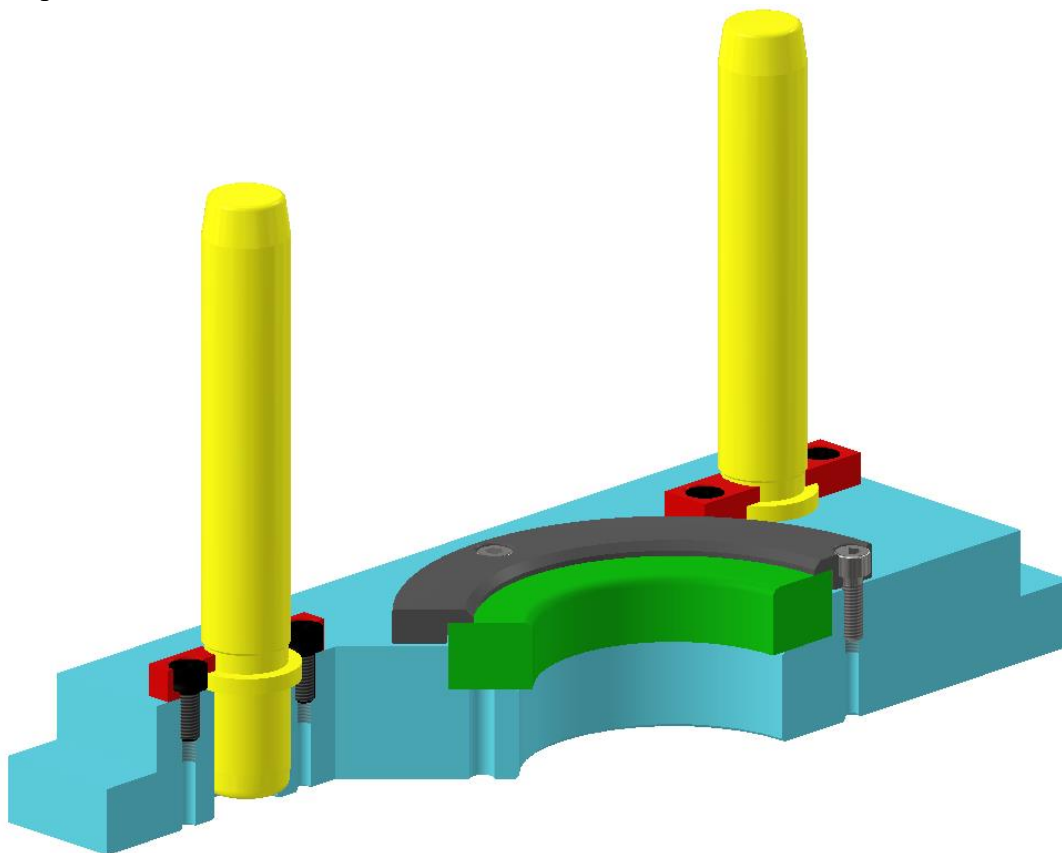
Při návrhu jednotlivých součástí bylo dbáno hlavně na správnou funkčnost a ekonomičnost. Tam, kde to bylo možné, byly zvoleny normalizované, jako například šrouby, kolíky nebo vodící prvky, mezi které patří sloupky a pouzdra. Ostatní součásti jsou vyrobitelné běžně dostupnými technologiemi ať už třískovým obráběním či odléváním.



Obr. 47 Nástroj ve zdvihu

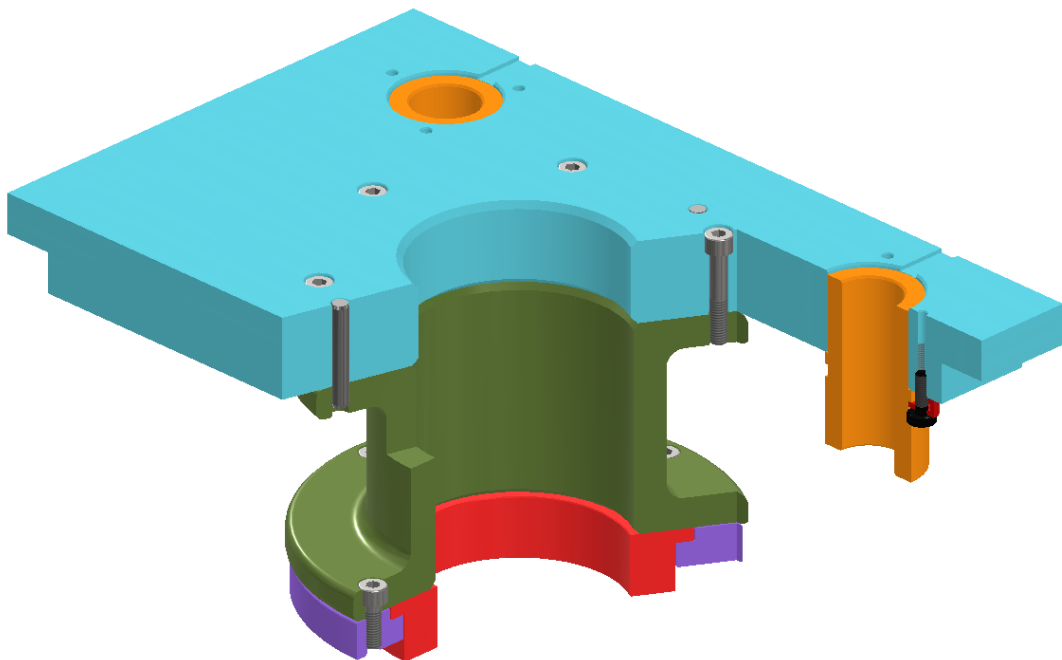
Nástroj se dělí na tři hlavní části, které budou následně podrobněji popsány:

- Spodní – část, která je pevně upnuta a během tažného procesu je v klidu. Patří sem:
  - Spodní deska – je položena na stolu lisu, ke kterému je upevněna pomocí upínek do T-drážek, a proto má po obou bocích vyfrézované vybrání. Obsahuje několik otvorů, které slouží pro upnutí ostatních částí, anebo mají jiný technologický účel. Hlavní rozměry jsou  $50 \times 400 \times 250$  mm a je z konstrukční nelegované oceli 11 373. Na obrázku 48 je znázorněna modře.
  - Tažnice – je nalisována do otvoru ve spodní desce do hloubky 16 mm. Při demontáži se využijí vyvrtané díry, které jsou k tomu určené. Nejdůležitějším rozměrem je průměr 100 mm se zaoblenou horní hranou s poloměrem 3,6 mm, další rozměry jsou ve výkresu BP-05-2021. Materiál je nástrojová legovaná ocel 19 436 kalená a popuštěná na  $60 \pm 1$  HRC. Na obrázku 48 je znázorněna zeleně.
  - Středící kroužek – je položen na tažnici a přišroubován ke spodní desce pomocí čtyř šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem  $M8 \times 25$  podle ČSN 02 1143. Hlavním úkolem je zajistit přesnou polohu přístřihu před tažným procesem. Pro snadnější založení plechu má horní hranu zkosenou. Je z konstrukční nelegované oceli 11 503 a na obrázku 48 je znázorněn tmavě šedě.
  - Vodící sloupky – jsou použity dva (obr.48 žlutá) a jsou zasunuty až po osazení do otvorů ve spodní desce na přechodné uložení. Pro zajištění slouží na jeden sloupek dva držáčky (červená) se šroubem  $M10 \times 20$  (černá). Všechny zmíněné vodící součásti jsou normalizované a dodá je firma Fibro, Inc. Další informace jsou v příloze 10.



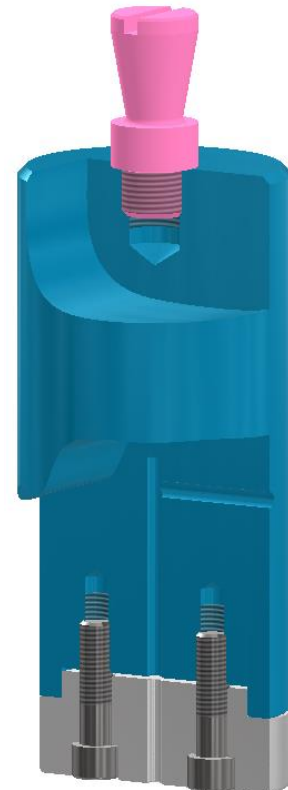
Obr. 48 Řez spodní částí nástroje

- Přidržovací – část, která je upnutá k vnějšímu beranu lisu a jejím hlavním úkolem je zajistit konstantní přidržovací tlak na okraj přístříhu. Patří sem:
  - Horní deska – je upnuta k vnějšímu beranu lisu pomocí upínek přes T-drážky, a proto má stejně jako spodní deska vyfrézované vybrání na bocích. Má několik otvorů, které slouží pro upevnění ostatních součástí a drážky pro odvod a přívod vzduchu při pohybu vodících prvků. Hlavní rozměry jsou  $40 \times 400 \times 250$  mm a je z konstrukční nelegované oceli 11 373. Na obrázku 49 je znázorněna modře.
  - Přidržovač – má tvar rovného prstence nahoře s nákrůžkem, přes který se ustaví. Jeho hlavním úkolem je tlačit na okraj přístříhu přidržovací silou, ale zároveň ho nechat klouzat směrem do středu, a proto je spodní funkční plocha velmi hladká. Je z oceli 14 220, která je cementována a zušlechtěna na  $58 \pm 2$  HRC. Na obrázku 49 je znázorněn světle červeně.
  - Držák – slouží k propojení přidržovače s horní deskou, ke které je nejdříve nastaven pomocí dvou kolíků  $8 \times 50$  podle ČSN 02 2150 a následně přišroubován šesti šrouby s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem  $M8 \times 45$  podle ČSN 02 1143. Je to odlitek ze šedé litiny s označením 42 2420, která je dobře obrobitelná. Na obrázku 49 je znázorněn zeleně.
  - Upínací kroužek – má tvar rovného prstence stejně jako přidržovač, ale s vybráním pro jeho nákrůžek, kterým se ustaví a následně se přišroubuje k držáku pomocí čtyř šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem  $M8 \times 22$  podle ČSN 02 1143. Je z konstrukční nelegované oceli 11 503 a na obrázku 49 je znázorněn fialově.
  - Vodící pouzdra – jsou použita dvě (obr. 49 oranžová) a jsou zasunuta až po osazení do otvorů v horní desce na přechodné uložení. Pro zajištění slouží na jeden sloupek tři držáčky (tmavě červená) se šroubem  $M10 \times 20$  (černá). Všechny zmíněné vodící součásti jsou normalizované a dodá je firma Fibro, Inc. Další informace jsou v příloze 11.



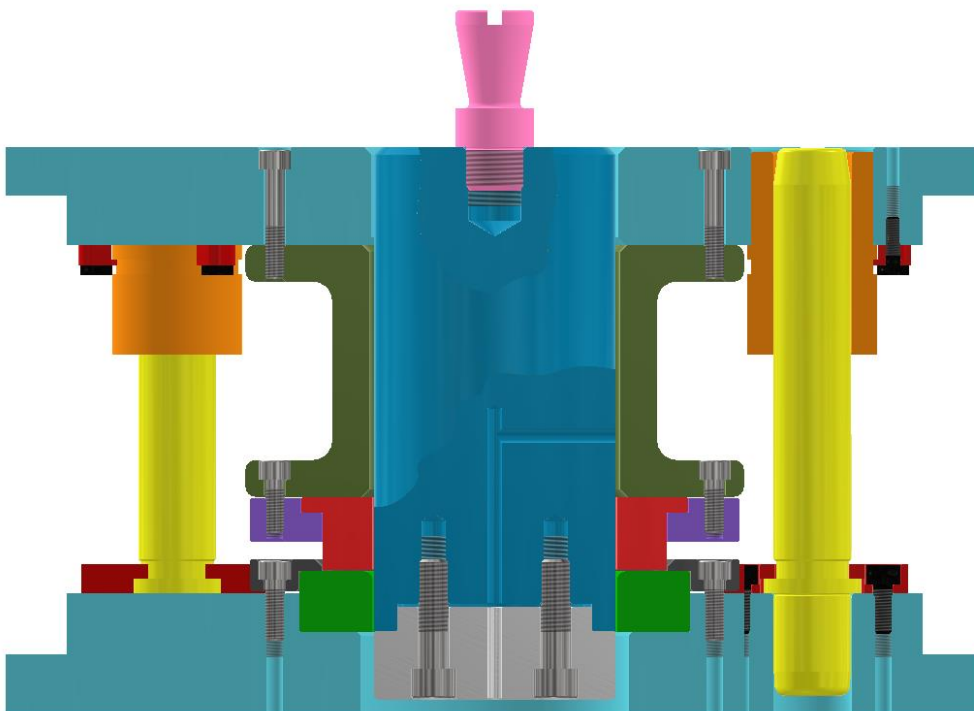
Obr. 49 Řez přidržovací částí nástroje

- Tažná – část, která je upnutá k vnitřnímu beranu lisu a jejím hlavním úkolem je vtáhnout přístřih do tažnice. Patří sem:
  - Tažník – je v přímém kontaktu s výrobkem. Vnější obrys odpovídá tvaru výtažku, a proto je důležitý průměr 99 mm s poloměrem zaoblení 2 mm. Středem vede vyvrtaná díra o průměru 4 mm, která slouží pro přístup vzduchu při stírání hotového výrobku, další rozměry jsou ve výkresu BP-08-2021. Má výstupek pro přesnější ustavení k další části. Je z nástrojové legované oceli 19 436 kalené a popuštěné na  $60 \pm 1$  HRC. Na obrázku 50 je znázorněn světle šedě.
  - Držák – konstrukční díl, který slouží k prodloužení tažníku, aby se nemusel vyrábět celý z nástrojové oceli, což je zvláště výhodné pro větší průměry a opět má vyvrtanou díru pro vzduch, která vede z boku ven. Pro snadnou a přesnou montáž je vytvořeno kruhové vybrání, jehož vnější plochy jsou stykové a vnitřní má vůli. Je z konstrukční nelegované oceli 11 503 a na obrázku 50 je znázorněn modře.
  - Stopka – slouží k upnutí do vnitřního beranu lisu, je zašroubována do držáku přes závit M24 × 2, rozměry se řídí normou 32 × 24 × 18 ČSN 22 6264.3. Na obrázku 50 je označena růžově.



Obr. 50 Částečný řez tažnou částí

Byly popsány části nástroje, který je připraven na výrobu. Na obrázku 51 je ještě možno vidět pozice jednotlivých dílů v konečné poloze, tedy v době, kdy se mění směr pohybu tažné části a hotový výrobek začíná být stírán ostrou hranou tažnice.



Obr. 51 Řez nástroje v konečné poloze

## 4 ZÁVĚRY

Řešenou součástí je kryt osvětlení, který je z technologického hlediska jednoduchou válcovou součástí bez příruby s tloušťkou 0,5 mm. Výrobní série byla zadána na 30 000 kusů za rok. Se zohledněním požadavků na materiál byla zvolena ocel DC01 s tím, že budou výrobky ještě nakonec galvanicky pokovovány.

Byly představeny možné metody výroby, ze kterých byla zvolena technologie tažení v konvenčním nástroji bez ztenčení stěny.

Při kontrole technologičnosti byly provedeny změny ve velikosti poloměru zaoblení, kdy byl navržen R2 místo původního R1, kvůli kterému by bylo potřeba provádět kalibraci.

Následně byl spočítán vhodný rozměr polotovaru, který se ještě zvětšil o přídavek na odstřížení a poté byl zvolen průměr 141 mm.

Dále byla řešena problematika výroby přístříhu, kde byly představeny možné výrobní technologie, z nichž se jeví jako nejoptimálnější stříhání v jednoduchém konvenčním nástroji. Polotovarem byly zvoleny tabule plechu, které dodá firma Feron, a.s. v rozměrech  $0,5 \times 1000 \times 2000$  mm s rozvržením nejvhodnější varianty dvojřadých příčných pruhů, u kterých vyšlo využití materiálu 65,6 % a na celou sérii bude potřeba 358 tabulí.

Bylo určeno, že je nutné použít přidržovač se silou 17 kN. Tažná síla vyšla 38,5 kN a celková, navýšená o bezpečnostních 30 %, 72,2 kN. Práce, kterou bude muset vykonat lis při nejvyšším možném zatížení, vyšla 806,2 J, podle čehož byl zvolen hydraulický lis CUPS 40 DEU, který má dva horní berany a jmenovitou sílu 400 kN.

Bylo navrženo tažidlo pro výrobu součástí v jedné operaci, které využívá vnější beran pro přidržovač a vnitřní pro tažník s poloměrem zaoblení 2 mm a tažnice 3,6 mm.

Navržená výroba by měla být efektivní a jednoduchá, je ovšem potřeba provést kontrolní simulaci a následně i ověřovací sérii.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [43]

1. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
2. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8.
3. Plechová mísa. *Fabini* [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: [https://www.fabini.cz/products/misa-z-nerezove-oceli-o-18-cm?cmp\\_id=12767819732&adg\\_id=124911404310&kwd=&device=c&gclid=CjwKCAjwhYOFBhBkEiwASF3KGVPIwojvimUcrvQFnhV9dtA35IcrkzGcX0YLa7fpjtaajVc1ZcoHhoCRoYQAvD\\_BwE](https://www.fabini.cz/products/misa-z-nerezove-oceli-o-18-cm?cmp_id=12767819732&adg_id=124911404310&kwd=&device=c&gclid=CjwKCAjwhYOFBhBkEiwASF3KGVPIwojvimUcrvQFnhV9dtA35IcrkzGcX0YLa7fpjtaajVc1ZcoHhoCRoYQAvD_BwE)
4. Plechová nádoba. *GET s.r.o.* [online]. [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: [https://www.getsro.cz/prodej?Page=2&set\\_view=1000items](https://www.getsro.cz/prodej?Page=2&set_view=1000items)
5. Shaker. *Vybaveni-hotelu* [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: [https://vybaveni-hotelu.cz/sejkry-odmerky-michatka-lopatky/12113-boston-shaker-nerez-0751-8590000000008.html?gclid=CjwKCAjwhYOFBhBkEiwASF3KGX6JmDPYWJLba0G5z2igW-qAqkwi-s-ORgNP8Xk5lm6JiABbQec0VxoCRCAQAvD\\_BwE](https://vybaveni-hotelu.cz/sejkry-odmerky-michatka-lopatky/12113-boston-shaker-nerez-0751-8590000000008.html?gclid=CjwKCAjwhYOFBhBkEiwASF3KGX6JmDPYWJLba0G5z2igW-qAqkwi-s-ORgNP8Xk5lm6JiABbQec0VxoCRCAQAvD_BwE)
6. Karoserie. *ŠKODA AUTO: nářad'ovna* [online]. [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://skoda-naradovna.cz/cs/lisovaci-naradi/>
7. DC01: chemické složení a mechanické vlastnosti. *Pásová ocel* [online]. [cit. 2021-2-18]. Dostupné z: <https://www.pasovaocel.cz/produkty/vyrobní-program/ocel-valcovana-zastudena-dle-en/>
8. DC01: vlastnosti. *Feromat* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: [http://www.feromat.cz/jakosti\\_oceli](http://www.feromat.cz/jakosti_oceli)
9. Galvanické pokovování: chrom. *Galvanovna Benešov* [online]. [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: [https://galvanovna-benesov.cz/?page\\_id=4845](https://galvanovna-benesov.cz/?page_id=4845)
10. SCHULER GmbH. *Metal forming handbook*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1998, 573 s. ISBN 3-540-61185-1.
11. ŽÁK, Jan, Radko SAMEK a Bohumil BUMBÁLEK. *Speciální letecké technologie I*. vyd. 1. Ediční středisko VUT Brno. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1990. 220 s. ISBN 80-214-0128-1.
12. SAMEK, Radko, Eva ŠMEHLÍKOVÁ a Zdeněk LIDMILA. *Speciální technologie tváření*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010-2011, 2 sv. (134, 155 s.). ISBN 978-80-214-4406-52.
13. PODANÝ, Kamil. *Technologie tváření* [přednáška]. Brno: VUT v Brně, 21.11.2019
14. LIDMILA, Zdeněk. *Technologické procesy* [přednáška]. Brno: VUT v Brně, 15.12.2020
15. LENFELD, Petr. *Technologie II*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-466-5.
16. Tažidlo. In: *Katedra tváření kovů a plastů–Skripta: Technologie plošného tváření–Tažení* [online]. [cit. 2021-01-17]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/09-tazeni/02-tazidlo.jpg](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/09-tazeni/02-tazidlo.jpg)
17. PODANÝ, Kamil. *Technologie tváření* [přednáška]. Brno: VUT v Brně, 26.9.2019
18. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.
19. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
20. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
21. LIDMILA, Zdeněk. *Technologické procesy* [cvičení]. Brno: VUT v Brně, 30.11.2020

22. PODANÝ, Kamil. *Technologie tváření* [přednáška]. Brno: VUT v Brně, 24.10.2019
23. HRUBÝ, Jiří, Stanislav RUSZ a Radek ČADA. *Strojírenské tváření*. 2. vyd. Ostrava: VŠB – Technická univerzita, 2006. ISBN 80-248-1218-5.
24. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
25. LIDMILA, Zdeněk. *Přípravky a nástroje* [přednáška]. Brno: VUT v Brně, 13.4.2021
26. LIDMILA, Zdeněk. *Ročníkový projekt I – tváření, svařování* [cvičení]. Brno: VUT v Brně, 7.10.2020
27. Hydraulické lisy: ŽĎAS, a.s. [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://www.industry-eu.cz/files/companies/890388.pdf>
28. Klikový lis: LDC 250. Šmeral Brno, a.s. [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/50/ldc-250>
29. ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK. *Konstrukce tvářecích strojů*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2015, 112 s. ISBN 978-80-261-0513-8. Dostupné také z: <https://old.zcu.cz/export/sites/zcu/pracoviste/vyd/online/Konstrukce-tvarecich-stroju.pdf>
30. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: část Tvářecí stroje* [online]. Brno: Vysoké učení technické, 2002 [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs\\_vyrobní\\_stroje\\_a\\_zarizeni\\_novotny.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs_vyrobní_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf)
31. Plech válcovaný za studena k tváření za studena. *Ferona* [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/detail/29458/plech-valcovany-za-studena-k-tvareni-za-studena-en-10131-rozmer-0-5x1000x2000>
32. Řezání laserem. *TRUMPF* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: [https://www.trumpf.com/cs\\_CZ/reseni/pouziti/laserove-rezani/](https://www.trumpf.com/cs_CZ/reseni/pouziti/laserove-rezani/)
33. Laserové řezání. *Lao* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>
34. Řezání plazmou. *Schinkmann* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/plazma>
35. Řezání vodním paprskem. *Gumex* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/sluzby/profilu-a-vyroba-tesneni-75/rezani-vodnim-paprskem-46>
36. Řezání vodním paprskem. *ABJET* [online]. [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <https://www.abjet.cz/vodni-paprsek/>
37. Kotoučové nůžky. *AAMarket* [online]. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.aamarket.cz/pripravek-pro-strihani-kruhu-kv-098-rs-p1697>
38. Kotoučové nůžky. *Expondo* [online]. [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.expondo.cz/msw-kotoucove-nuzky-na-plech-10060486>
39. MIKEL, Lukáš. *Střížný nástroj. Strojírenství – Engineering* [online]. 2005–2021 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <http://www.strojirenstvi.wz.cz/image.php?subject=1&class=6&topic=51&image=0>
40. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření: Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník CTT-K* [online]. Brno, 2006 [cit. 2021-4-25]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie\\_tvareni/priklady\\_strihani.htm](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/priklady_strihani.htm)
41. Univerzální hydraulické lisy. *HSVpolicka* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.hsvpolicka.cz/cs/lisy/univerzalni-hydraulicke-lisy>
42. Fibro: Normálie-katalog. *Fibro* [online]. [cit. 2021-5-15]. Dostupné z: [https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog\\_Czech/HTML5/](https://www.fibro.de/fileadmin/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog_Czech/HTML5/)
43. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2020 [cit. 2020-12-27]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažná práce	[J]
A <sub>80</sub>	Tažnost	[%]
C	Součinitel závislý na součiniteli tažení	[-]
C <sub>A</sub>	Koeficient zaplnění plochy	[-]
d	Vnější průměr výtažku	[mm]
D <sub>0</sub>	Průměr přístříhu	[mm]
d <sub>ik</sub>	Průměr tažníku	[mm]
d <sub>s</sub>	Střední průměr výtažku	[mm]
d <sub>v</sub>	Vnitřní průměr výtažku	[mm]
E	Velikost můstku	[mm]
F	Velikost okraje	[mm]
F <sub>C</sub>	Celková síla	[N]
F <sub>krit</sub>	Kritická síla	[N]
F <sub>P</sub>	Síla přidržovače	[N]
h	Výška výtažku	[mm]
h <sub>m</sub>	Mezní výška	[mm]
HV	Tvrдость dle Vickerse	[mm <sup>3</sup> ]
k	Materiálový koeficient	[-]
K	Velikost kroku	[mm]
K <sub>i</sub>	Stupeň tažení	[-]
k <sub>p</sub>	Součinitel udávající nutnost použití přidržovače	[-]
m	Tažná mezera	[mm]
m <sub>c</sub>	Celkový součinitel tažení	[-]
m <sub>i</sub>	Mezní součinitel tažení	[-]
m <sub>v</sub>	Hmotnost výtažku	[g]
p	Měrný přidržovací tlak	[MPa]
P <sub>1</sub>	Počet kusů z jedné tabule	[-]
p <sub>k</sub>	Počet kusů z jednoho pásu	[-]
p <sub>p</sub>	Počet pásů z tabule	[-]
p <sub>t</sub>	Potřebný počet tabulí	[-]
p <sub>v</sub>	Procentuální využití materiálu	[%]
r	Poloměr zaoblení dna výtažku	[mm]
R <sub>e</sub>	Mez pevnosti v kluzu	[MPa]
R <sub>ice</sub>	Poloměr zaoblení tažnice	[mm]
R <sub>ik</sub>	Poloměr zaoblení tažníku	[mm]
R <sub>m</sub>	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
S <sub>č</sub>	Činná plocha pod přidržovačem	[mm <sup>2</sup> ]
S <sub>d</sub>	Plocha dna	[mm <sup>2</sup> ]
s <sub>p</sub>	Poměrná tloušťka	[-]
S <sub>pl</sub>	Plocha pláště	[mm <sup>2</sup> ]
S <sub>př</sub>	Plocha přístříhu	[mm <sup>2</sup> ]
S <sub>v</sub>	Plocha výtažku	[mm <sup>2</sup> ]
Š	Šířka pásu plechu	[mm]
t	Tloušťka plechu	[mm]
v	Tažná vůle	[mm]
V <sub>d</sub>	Objem dna	[mm <sup>3</sup> ]
V <sub>p</sub>	Objem přístříhu	[mm <sup>3</sup> ]

Označení	Legenda	Jednotka
$V_{pl}$	Objem pláště	[mm <sup>3</sup> ]
$V_v$	Objem výtažku	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{v1}$	Celkový objem výtažku	[mm <sup>3</sup> ]
$z$	Tažná mezera	[mm]
$z_p$	Materiálová konstanta	[-]
$\alpha$	Úhel zkosení přidržovače	[°]
$\beta$	Úhel natočení klikového mechanismu	[°]
$\varepsilon$	Deformace	[-]
$\rho$	Hustota	[g.mm <sup>-3</sup> ]
$\sigma$	Napjatost	[-]
$\sigma_1$	Radiální tahové napětí	[MPa]
$\sigma_3$	Tangenciální napětí	[MPa]
$\varphi$	Logaritmické přetvoření	[-]
$\varphi_1$	Radiální přetvoření	[-]
$\varphi_2$	Normálové přetvoření	[-]
$\varphi_3$	Tangenciální přetvoření	[-]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Ukázka výrobků zhotovených tažením [3], [4], [5], [6] .....	9
Obr. 2 Kryt osvětlení .....	10
Obr. 3 Nástěnné osvětlení .....	10
Obr. 4 Rozměry krytu.....	10
Obr. 5 Kovotlačení [10] .....	11
Obr. 6 Marform [15].....	11
Obr. 7 Hydroform [14] .....	11
Obr. 8 Zpětné protlačování [1] .....	12
Obr. 9 Konvenční tažení [10] .....	12
Obr. 10 Tažidlo [16].....	13
Obr. 11 Napjatost a deformace při tažení [15] .....	13
Obr. 12 Průběh přetvoření [17] .....	14
Obr. 13 Přístřih a výtažek [18] .....	14
Obr. 14 Schéma tažení na 3 operace [1].....	15
Obr. 15 Znázornění tažné mezery [22].....	16
Obr. 16 Průběh tažné síly [22] .....	17
Obr. 17 Vlivy na průběh tažné síly [22].....	17
Obr. 18 Nákres jednoduchého tažidla [22].....	18
Obr. 19 Různé druhy tažnic [24].....	19
Obr. 20 Zaohlení [22].....	20
Obr. 21 Druhy tažníků [24] .....	20
Obr. 22 Druhy přidržovačů [24].....	22
Obr. 23 Klikový lis [28] .....	22
Obr. 24 Průběh síly a rychlosti klikového mechanismu [26].....	22
Obr. 25 Hydraulický lis [27] .....	22
Obr. 26 Nevhodný tvar [4] .....	24
Obr. 27 Vhodný tvar.....	24
Obr. 28 Řešená součást .....	25
Obr. 29 Upravené rozměry .....	25
Obr. 30 Rozměry pro výpočet velikosti přístřihu.....	25
Obr. 31 Přístřih a výtažek.....	28
Obr. 32 Řezání laserem [32].....	29
Obr. 33 Řezání plazmou [34] .....	29
Obr. 34 Řezání vodním paprskem [36] .....	29
Obr. 35 Kotoučové nůžky [37].....	30
Obr. 36 Jednoduchý střižný nástroj [39] .....	30
Obr. 37 Podélné pásy .....	31
Obr. 38 Jedna řada přístřihů .....	31
Obr. 39 Příčné pásy .....	31
Obr. 40 Dvě řady přístřihů .....	31
Obr. 41 Zvolená tažná mezera a funkční poloměry .....	33
Obr. 42 Tlak přidržovače .....	34
Obr. 43 Lis CTH 160 [27].....	35
Obr. 44 Lis CTC 400 [27] .....	35
Obr. 45 Lis CUPS 40 DEU [41].....	35
Obr. 46 Pracovní prostor lisu CUPS 40 DEU [41] .....	36
Obr. 47 Nástroj ve zdvihu .....	36
Obr. 48 Řez spodní částí nástroje.....	37

Obr. 49 Řez přídržovací částí nástroje .....	38
Obr. 50 Částečný řez tažnou částí .....	39
Obr. 51 Řez nástroje v konečné poloze .....	39

## SEZNAM TABULEK

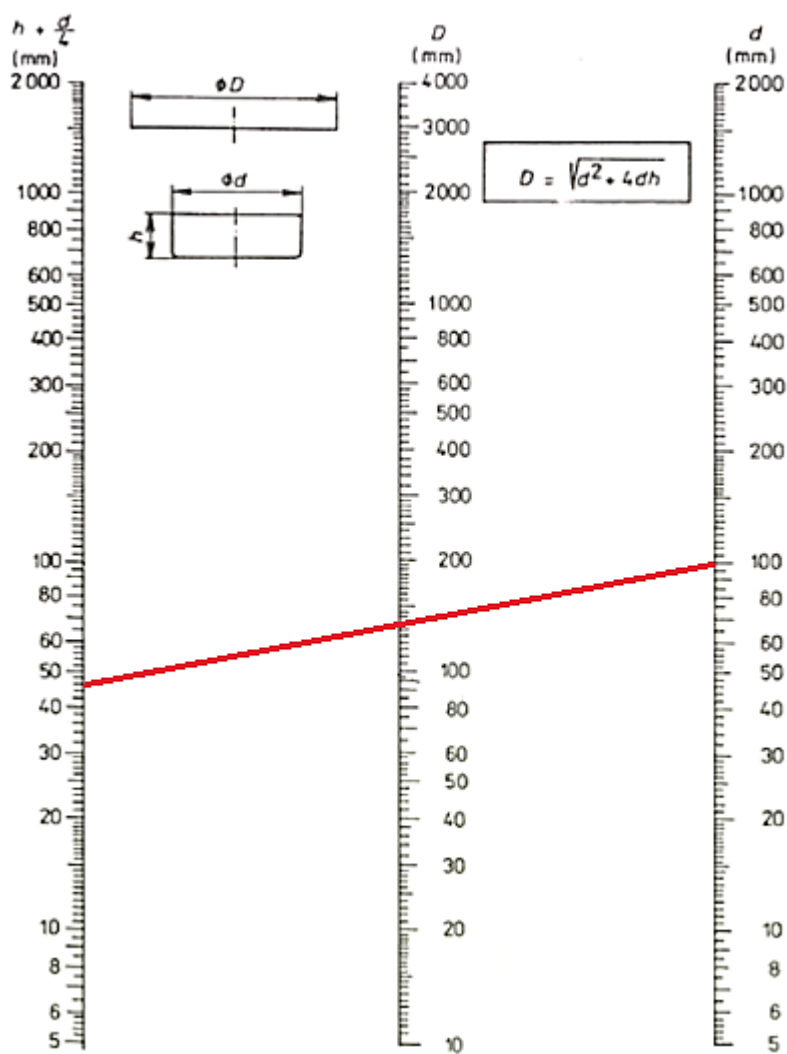
Tab. 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení DC01 [7], [8].....	10
Tab. 2 Doporučené hodnoty součinitele tažení pro jednotlivé operace [21].....	27
Tab. 3 Přehled výsledků jednotlivých variant .....	32
Tab. 4 Parametry a rozměry lisu CUPS 40 DEU [41].....	36

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Nomogram pro výpočet velikosti přístříhu
Příloha 2	Hodnoty mezních součinitelů tažení
Příloha 3	Hodnoty tažné mezery podle tloušťky plechu
Příloha 4	Hodnoty koeficientů závislých na součiniteli tažení
Příloha 5	Diagram pro zjištění poloměru zaoblení tažnice
Příloha 6	Doporučené hodnoty tlaku přídržovače
Příloha 7	Vlastnosti výtažku podle Autodesk Inventor 2020
Příloha 8	Nomogram pro stanovení šířky odpadu
Příloha 9	Parametry a rozměry lisu CUPS 40 DEU
Příloha 10	Katalog Fibro – vodící sloupek s osazením
Příloha 11	Katalog Fibro – vodící pouzdro s osazením

## SEZNAM VÝKRESŮ

KRYT-ZADÁNÍ	BP-00/1-2021
KRYT-UPRAVENÉ	BP-00/2-2021
TAŽIDLO	BP-01-2021
TAŽNICE	BP-05-2021
TAŽNÍK	BP-08-2021



**Příloha 2** – Hodnoty mezních součinitelů tažení [21]

1/1

Tažná operace	Součinitel tažení	Poměrná tloušťka polotovaru $s/D.100$					
		2,0 až 1,5	1,5 až 1,0	1,0 až 0,6	0,6 až 0,3	0,3 až 0,15	0,15 až 0,08
1	$m_1=d_1/D$	0,5	0,53	0,55	0,58	0,60	0,63
2	$m_2=d_2/d_1$	0,75	0,76	0,78	0,79	0,80	0,82
3	$m_3=d_3/d_2$	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,84
4	$m_4=d_4/d_3$	0,80	0,81	0,82	0,83	0,85	0,86
5	$m_5=d_5/d_4$	0,82	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88

**Příloha 3** – Hodnoty tažné mezery podle tloušťky plechu [18]

1/1

Tloušťka plechu [mm]	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>	0,8	1	1,2	1,5	2	3
Tažná mezera [mm]	<b>0,45</b>	<b>0,65</b>	0,9	1,2	1,4	1,75	2,4	3,5

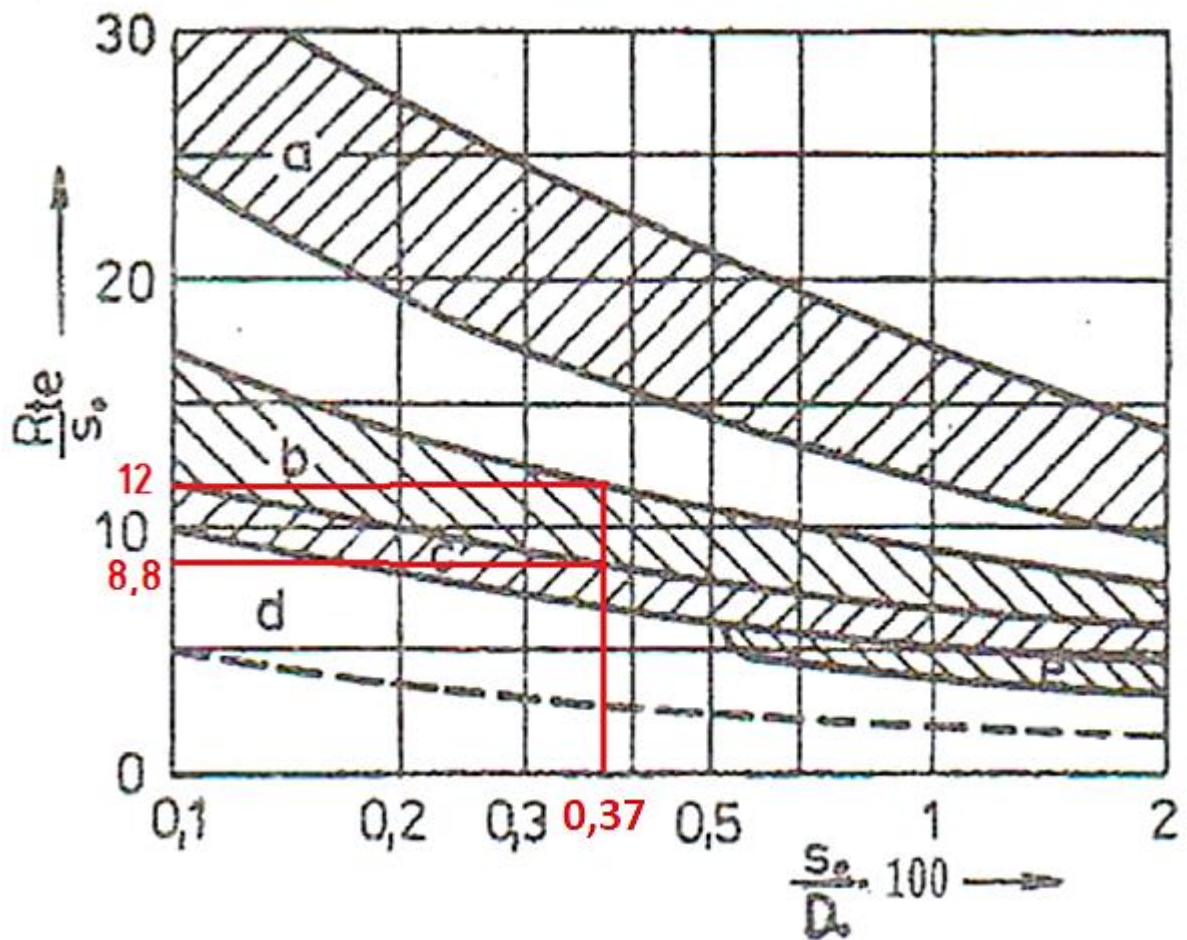
**Příloha 4** – Hodnoty koeficientů závislých na součiniteli tažení [1]

1/1

$m = d/D_0$	0,55	0,60	0,65	<b>0,70</b>	0,80
C	1,00	0,86	0,72	<b>0,60</b>	0,40



- a – pro výtažky s přírubou
- b – výtažky bez příruby
- c – při použití tažnice s brzdícím žebrem
- d – pokračování oblasti b, když není využit dovolený stupeň tažení
- e – pro postupové nástroje



Tloušťka taženého plechu (mm)	Tlak přidržovače (MPa)			
	Tažený materiál			
	ocelový plech		mosaz tombak	hliník
	tvrdý	hlubokotažný		
0,2	3,0	2,1 až 2,5	2,0	1,5
0,4	2,9	2,0 až 2,4	1,9	1,5
0,6	2,8	2,0 až 2,4	1,9	1,45
0,8	2,8	1,9 až 2,3	1,8	1,45
1	2,7	1,8 až 2,3	1,8	1,4
1,5	2,7	1,8 až 2,2	1,7	1,35
2	2,6	1,8 až 2,1	1,7	1,3
2,5	2,5	1,8 až 2,1	1,6	1,25
3	2,5	1,9 až 2,1	1,6	1,2
3,5	2,4	1,9 až 2,0	1,5	1,2
4	2,3	1,9	1,5	1,15
4,5	2,3	1,8	1,4	1,15
5	2,2	1,8	1,4	1,1
6	2,1	1,7	1,3	1,1
7	2,1	1,7	1,3	1,05
8	2,0	1,6	1,2	1,0

**I** vytazek\_3 iVlastnosti ×

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

**Tělesa**  
 Součást  Aktualizovat

**Materiál**  
 Ocel, nelegovaná  Schránka

**Hustota**  **Požadovaná přesnost**

**Obecné vlastnosti**

		<b>Těžiště</b>	
Hmotnost	<input type="text" value="0,057 kg (Relativní ch)"/>	X	<input type="text" value="-0,000 mm (Relativní)"/>
Povrch	<input type="text" value="28493,355 mm^2 (Re)"/>	Y	<input type="text" value="5,367 mm (Relativní c)"/>
Objem	<input type="text" value="7281,249 mm^3 (Reli)"/>	Z	<input type="text" value="-0,000 mm (Relativní)"/>

**Vlastnosti setrvačnosti**

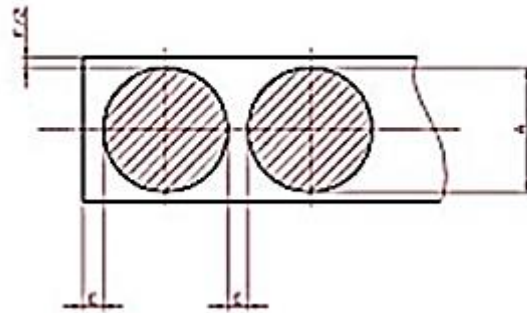
Hlavní  Globální  Těžiště

**Hlavní momenty**

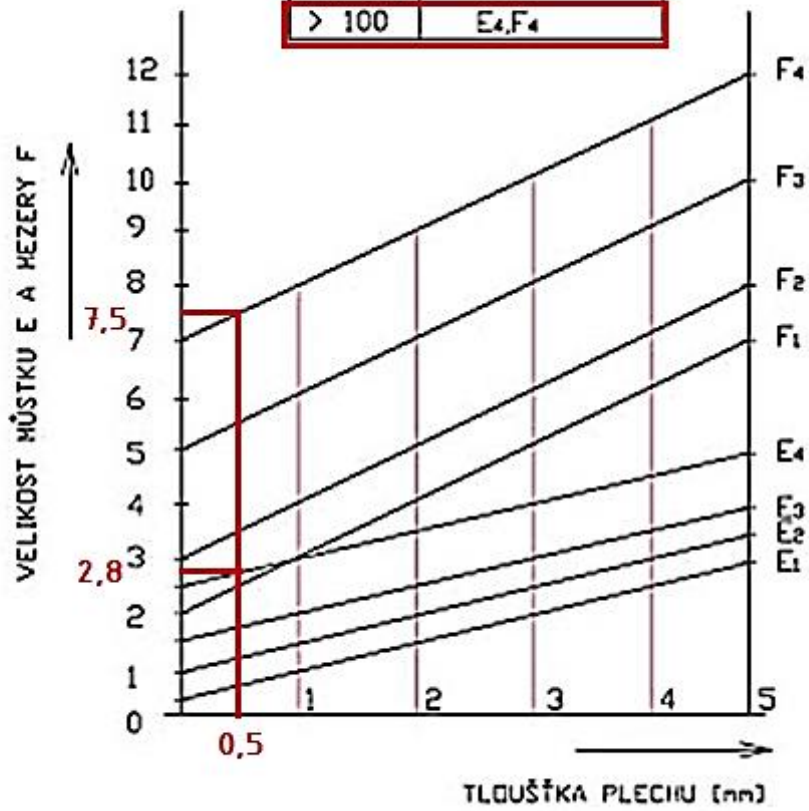
I1	<input type="text" value="54,455 kg mm^2"/>	I2	<input type="text" value="103,480 kg mrr"/>	I3	<input type="text" value="54,455 kg mm^2"/>
----	---	----	---	----	---

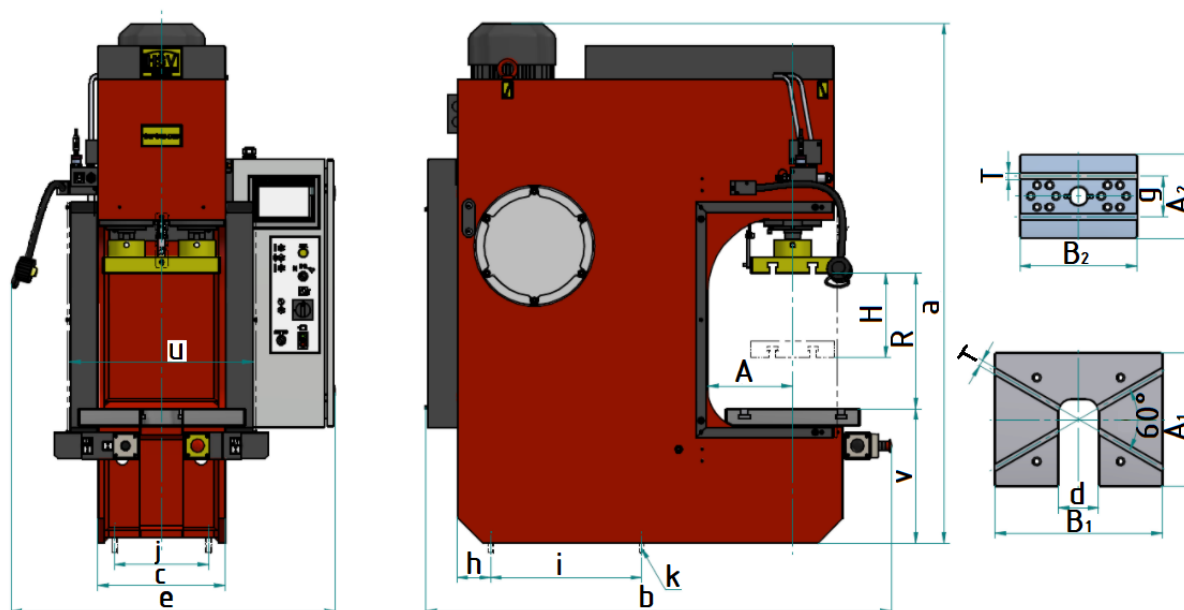
**Rotace na hlavní**

Rx	<input type="text" value="0,00 deg (Relat)"/>	Ry	<input type="text" value="-5,32 deg (Rela)"/>	Rz	<input type="text" value="0,00 deg (Relat)"/>
----	---	----	---	----	---



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



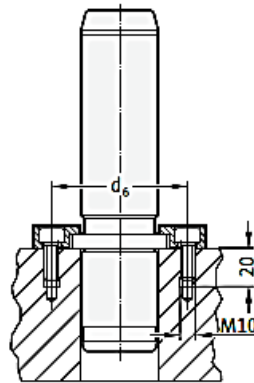


Jmenovitá síla	400 kN	Výška max. 'a'	1715 mm
Rychloposuv	<b>65</b> / 45 / 20 mm.s <sup>-1</sup>	Hloubka 'b'	1480 mm
Rychlost lisování	25 / <b>15</b> / 8 mm.s <sup>-1</sup>	Šířka stojanu 'c'	500 mm
Rychlost návratu	40 / <b>25</b> / 10 mm.s <sup>-1</sup>	Propad ve stolu 'd'	120 mm
Rozevření 'R'	450 mm	Šířka lisu 'e'	1090 mm
Zdvih beranu 'H'	250 mm	Výška stolu 'v'	455 mm
Vyložení 'A'	315 mm	Hmotnost	1800 kg
Stůl 'A <sub>1</sub> ' × 'B <sub>1</sub> '	480 × 600	T-drážka 'T'	22 mm
Beran 'A <sub>2</sub> ' × 'B <sub>2</sub> '	250 × 470	Rozteč drážek 'g'	150 mm

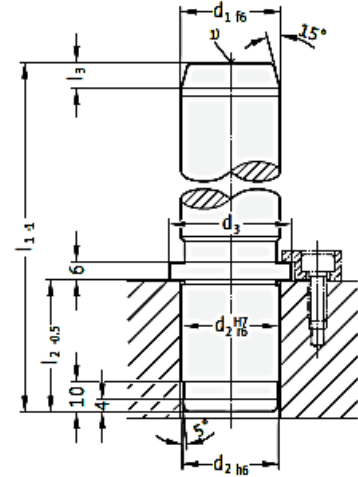
**VODÍCÍ SLOUPEK S OSAZENÍM, DLE NORMY WDX**



Příklad montáže



2022.29.



**Materiál:**

ocel, povrchově kaleno

Tvrdość povrchu: 60 + 4 HRC, Hĺoubka zakalení: 1,5 + 1 mm

**Provedení:**

Jemně broušené

Středící dĺůlky nejsou souosé s vnějším průměrem.

1) od  $\varnothing d_1 = 80$  – se závitem M12x18 na hĺoubku

**Upozornění:**

Vodící sloupky jsou určeny pouze pro použití se samomaznými pouzdry.

☞ Výběr vhodného vedení vřz. výběrová tabulka na začátku kapitoly D.

☞ Směrnice pro vestavbu / Tabulky rozměrů na konci kapitoly D.

Objednací číslo pro vodící sloupek s nákrůžkem podle normy WDX s držáčky: 2022.29.□□□.□□□.A

**Upevnění:**

(objednat samostatně)

Držáčky s šroubů 2072.46 (M10 x 20 DIN EN ISO 4762)

do  $\varnothing d_1 = 50$  - 2 Držáčky

od  $\varnothing d_1 = 63$  - 3 Držáčky

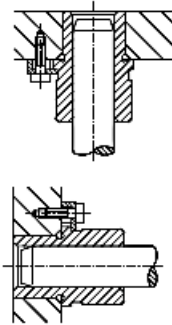
**2022.29. Vodící sloupek s osazením, dle normy WDX**

$d_1$	25	32	40	50	63	80	100
$d_2$	25	32	40	50	63	80	100
$d_3$	32	40	50	60	80	90	110
$d_4$	68	75	83	93	106	123	143
$l_2$	40	42	56	70	80	100	125
$l_3$	6	8	8	10	10	10	10
$l_1$							
125	•						
140	•	•					
160	•	•		•			
180	•	•	•	•			
200	•	•	•	•	•		
224	•	•	•	•	•	•	
260		•	•	•	•	•	
280		•	•	•	•	•	•
315			•	•	•	•	•
355					•	•	•
400						•	•
500							•

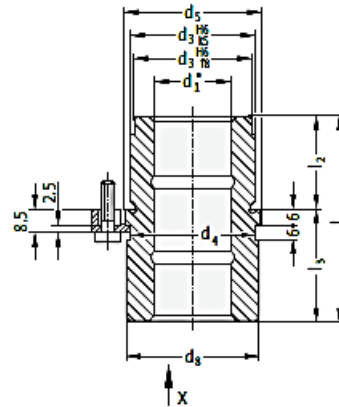
**VODÍCÍ POUZDRA S OSAZENÍM, SINTEROVANÁ OCEL,  
KARBONNITRIDOVANÁ S DLOUHODOBÝM MAZÁNÍM, AFNOR**



Příklad montáže



210.31.



**Materiál:**

Sinterovaná ocel vysoké čistoty, carbonovaná s dlouhodobým mazáním

**Provedení:**

Vnitřní a vnější průměr jemně broušené.

**Upozornění:**

Na zajištění se používají 3 držáčky, od  $d_1 = 38$  mm 4 držáčky, které jsou obsaženy v dodávce (Objednací číslo: 207.45 - držáčky včetně šroubků s válcovou hlavou dle DIN 6912, hlavy ø 13).

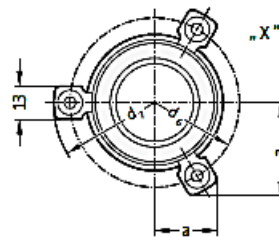
- ☞ Popis kluzného vedení na začátku kapitoly D.
- \*☞ Příklady vedení viz. Klasifikace párování na začátku kapitoly D.
- ☞ Výběr vhodného vedení viz. výběrová tabulka na začátku kapitoly D.
- ☞ Směrnice pro vestavbu / Tabulky rozměrů na konci kapitoly D.

Toleranční pole:

žluté = .10

zelené = .20

červené = .30



**210.31. Vodící pouzdra s osazením, sinterovaná ocel, karbonitridovaná s dlouhodobým mazáním, AFNOR**

$d_1$	19,20	25	32	40	50
$d_2$	32	40	50	63	80
$d_4$	32	40	50	63	80
$d_5$	36	45	56	70	90
$d_6$	49	57	67	81	101
$d_7$	61,7	69,7	79,7	93,7	113,7
$d_8$	35	43,5	53	67	87
$a$	19,9	21,9	24,4	36	43
$a_1$	28,6	32,1	36,4	36	43
$l_1$	66	70	83	98	120
$l_2$	30	30	38	48	61
$l_3$	36	40	45	50	59