



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA POUZDRA ZAPALOVÁNÍ

MANUFACTURING OF THE IGNITION CASE

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Dan Jelínek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Řiháček, Ph.D.

BRNO 2020

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Dan Jelínek</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Jan Řiháček, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2019/20

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

## Výroba pouzdra zapalování

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o výrobu dílce pomocí technologie plošného tváření. Na tuto oblast bude rovněž vypracována literární rešerše. Dále bude práce obsahovat návrh technologického postupu výroby součásti, technicko – ekonomické hodnocení a závěry se zhodnocením navrhované technologie. V tomto směru se rovněž počítá s ověřením návrhu užitím numerické simulace.

### Cíle diplomové práce:

- vypracování aktuální literární rešerše se zaměřením na technologii hlubokého tažení,
- zhodnocení možností výroby,
- návrh výroby součásti užitím technologie hlubokého tažení a provedení technologických a kontrolních výpočtů,
- užití numerické simulace pro ověření vyrobitelnosti.

### Seznam doporučené literatury:

ALTAN, Taylan a A. Erman TEKKAYA. Sheet metal forming: processes and applications. Materials Park, Oh: ASM International, 2012. ISBN 1615038442.

ASM INTERNATIONAL. Metal Handbook Volume 22B: Metals process simulation. Materials Park, Ohio: American Society for Metals, 2010. ISBN 978-161-5030-057.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. Cambridge: Cambridge University Press, 2011, 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8.

LOGAN, Daryl L. A first course in the finite element method. United States: Cengage Learning, 2007, 808 s. ISBN 978-0-534-55298-6.

TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. Praha: Nakladatelství technické literatury. 1990. 198 s. ISBN 80-03-00221-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

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

## **ABSTRAKT**

JELÍNEK Dan: Výroba pouzdra zapalování.

---

Práce řeší návrh technologie výroby pouzdra zapalování. Jde o dutý obdélníkový kryt pro jednokanálové zapalování, vyráběné společností PBS Velká Bíteš. Součást má konstantní tloušťku stěny 0,5 a velikost roční výrobní série činí 15 000 ks. Z několika možných variant je pro výrobu zvolena technologie hlubokého tažení pevným nástrojem. Použitým materiálem je hlubokotažná ocel DC05. Na základě technologických výpočtů je v práci určen potřebný počet tažných operací a celková silová bilance. Dle těchto parametrů je dále pro výrobu zvolen hydraulický lis ZH 10 od společnosti Presshydraulika s.r.o., v němž bude upnut jednoduchý tažný nástroj.

Klíčová slova: ocel DC05, hluboké tažení, nerotační součást, limitní tvářecí diagram

## **ABSTRACT**

JELÍNEK Dan: Manufacturing of the Ignition Case.

---

The thesis deals with the design of the production of Ignition case. Component is a hollow cover of one channel ignition device, produced by the PBS Velká Bíteš company. It has a constant wall thickness of 0,5 mm and production rate is 15 000 pieces per year. Technology of deep drawing with solid forming tool was picked out of several considered production variants. DC05 deep drawing steel is the material of choice. Based on technological calculations, number of drawing operations needed and forming force was established. Based on those parameters, hydraulic press ZH 10 produced by the Presshydraulika s.r.o. company was chosen for the task.

Keywords: DC05 steel, deep drawing, non-rotational part, forming limit diagram

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

JELÍNEK, Dan. *Výroba pouzdra zapalování* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/121536>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Řiháček.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně dne 26.6.2020

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Janu Řiháčkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále bych chtěl také poděkovat svým přátelům a rodině za podporu při studiu.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
<b>ÚVOD</b> .....	10
<b>1 ROZBOR ZADÁNÍ</b> .....	11
1.1 Variantní řešení.....	12
<b>2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ</b> .....	15
2.1 Tažení plechu bez zeslabení stěny.....	16
2.2 Tažení výtažků nerotačních tvarů.....	17
2.2.1 Tvar a velikost polotovaru.....	17
2.3 Počet tažných operací.....	22
2.4 Tažná mezera.....	24
2.5 Tažná síla a práce.....	25
2.6 Tažné nástroje.....	27
2.6.1 Tažník.....	28
2.6.2 Tažnice.....	29
2.6.3 Přidržovač.....	32
2.6.4 Žebra.....	34
2.7 Stroje.....	35
2.8 Maziva pro tažení.....	37
2.9 Technologičnost.....	39
2.10 Využití simulací v tvářecích procesech.....	40
<b>3 NÁVRH VÝROBY</b> .....	42
3.1 Stanovení tvaru a velikosti přístřihu.....	42
3.2 Určení počtu tažných operací a tažné mezery.....	44
3.3 Volba přidržovače.....	45
3.4 Výpočet tažné síly a práce.....	46
3.5 Volba stroje.....	47
3.6 Návrh nástroje.....	48
3.7 Numerická simulace a optimalizace.....	51
<b>4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ</b> .....	59
<b>5 ZÁVĚRY</b> .....	63



Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

## ÚVOD [2], [3], [4], [5], [6]

Při výrobě kovových součástí se v dnešní době ve strojírenském průmyslu užívá celé řady různých technologií. Nejvýznamnějšími z nich jsou obrábění a tváření, přičemž pro dosažení požadované kvality výrobku za co možná nejnižší cenu se často kombinují obě. Tváření však vyniká vysokou produktivitou, a také jím lze dosáhnout lepších mechanických vlastností výrobku. Jelikož se jedná o beztržkovou metodu výroby, vzniká při něm většinou také menší procento odpadu než při obrábění.

Na základě druhu přetvoření lze technologie tváření dělit na dvě skupiny – plošné a objemové. Při plošném tváření působením vnějších sil dochází k deformaci polotovaru pouze ve dvou směrech (rovinná deformace), zatímco při objemovém nastává trvalé přetvoření v celém objemu součásti. Mezi základní metody objemového tváření se řadí pýchování a protlačování. Zástupci plošného jsou pak stříhání, ohýbání a tažení.

Tažení je nejpoužívanější technologií plošného tváření. Lze pomocí něj tvořit široká škála produktů, které dosahují výborné pevnosti a tuhosti. Největší nevýhodou tažení je vysoká cena tažných nástrojů, avšak ta se kompenzuje vyšší sériovostí. Příklady součástí zhotovených technologií tažení lze vidět na obrázku 1.

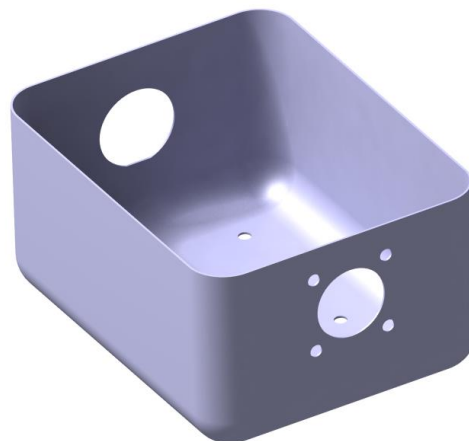


Obr. 1 Příklady součástí vyrobených technologií tažení [3], [4], [5], [6]

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ [7], [8], [9], [10], [11]

Práce se zabývá postupem výroby pouzdra pro jednonábové zapalování (obr. 3a), které slouží k tvorbě napěťových impulsů pro zapalovací svíčku. Toho se využívá u pomocných energetických jednotek (obr. 3b) nebo proudových motorů k zapálení směsi paliva a vzduchu ve spalovací komoře.

Zapalování se vyrábí ve společnosti PBS Velká Bíteš, která je součástí holdingu PBS Group, a.s. Firma od roku 1950 sídlí ve Velké Bíteši a je celosvětově významným výrobcem pohonných jednotek a jiných zařízení v oblasti letecké techniky. V roce 1969 zde byla také zprovozněna slévárna přesného lití. V neposlední řadě firma zajišťuje prvotřídní galvanické povrchové úpravy a velmi přesné obrábění, a to včetně těžkoobrobitelných materiálů či titanových slitin.



Obr. 2 Model řešené součásti

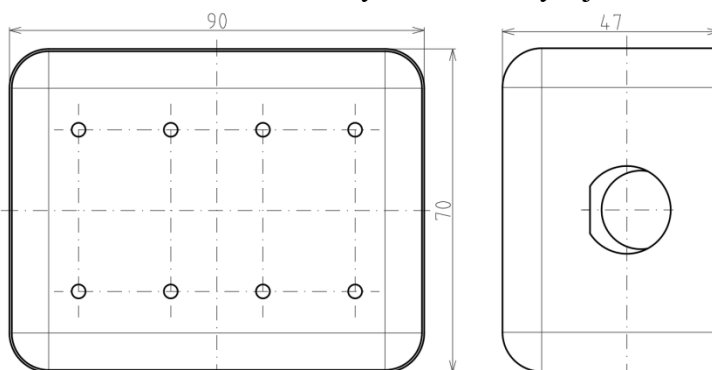


a) Aktuální produkt – jednonábové zapalování

b) Pomocná energetická jednotka Safir 5K-G

Obr. 3 Využití řešené součásti [7]

Řešená součást (znázorněná na obr. 2) je duté pouzdro o konstantní tloušťce stěny 0,5 mm. Na bočních stěnách se nachází dva otvory pro konektor napájení a spojovací kabely, přičemž kolem otvoru pro vstupní kabely jsou rozmístěny čtyři díry pro šrouby. Na dně pouzdra je rovnoměrně ve dvou řadách rozloženo dalších osm otvorů o průměru 3 mm. Celková výška pouzdra  $h$  činí 47 mm, délka  $A$  pak 90 mm a šířka  $B$  70 mm, viz obr. 4. Velikost všech vnitřních zaoblení byla předepsána na 8 mm. Tolerované rozměry se vesměs týkají rozměrů a polohy všech otvorů, a podrobněji je lze nalézt přímo na výkresu DP2020-161461-03. Netolerované rozměry podléhají všeobecné normě ČSN ISO 2768-mK. Vzhledem k převážně ochranné funkci součásti nejsou na vnější rozměry kladeny žádné speciální požadavky. Velikost výrobní série byla stanovena na 15 000 ks · rok<sup>-1</sup>.



Obr. 4 Náčrt součásti se základními rozměry

Materiál pro výrobu zadané součásti byl určen zadavatelem. Součást má být zhotovena z nelegované jakostní oceli DC01. Ekvivalentní značení oceli dle ostatních mezinárodních norem je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1 Ekvivalentní označení oceli DC01 [9]

Norma	ČSN	W.Nr.	DIN	AISI
Označení	11 321	1.0330	St12	1008

Plechý z této oceli jsou válcovány za studena a dodávány v tloušťkách (0,4 až 3,0) mm. Ocel je vhodná pro tváření za studena, avšak je možné ji i svařovat. Charakteristika povrchu je značena písmeny „A“ a „m“, což značí běžnou kvalitu a matný povrch. V závislosti na dalších úpravách může povrch dosahovat drsnosti (0,6 až 1,9)  $\mu\text{m}$ . V případě potřeby je ocel také vhodná k pozinkování či lakování. Její velkou předností je také dobrá dostupnost. Podrobnější chemické složení a mechanické vlastnosti oceli jsou popsány v tabulkách 2 a 3.

Tab. 2 Chemické složení oceli DC01 [10]

Prvek	C	Mn	P	S
Obsah [hm. %]	max. 0,12	max. 0,60	0,045	0,045

Tab. 3 Mechanické vlastnosti oceli DC01 [10]

Mez kluzu $R_e$ [MPa]	Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Tažnost $A_{80}$ [%]
min. 280	270 ÷ 410	28

## 1.1 Variantní řešení [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18]

Řešená součást může být vyrobena mnoha technologickými způsoby, a tak je třeba posoudit řadu faktorů a vybrat, pokud možno, ten nejvhodnější. Vzhledem k tomu, že přesně nejsou známy možnosti a strojové vybavení firmy, není možno brát v úvahu použití již zakoupených strojů či jiných vybavení. Nejdůležitějšími parametry, jež budou zohledněny při výběru vhodné metody, budou finanční náklady na výrobu a velikost výrobní série. Dále by měla být brána v potaz možnost dodržení stanovené kvality povrchu a samozřejmě vyrobiteľnost danou metodou. Přijatelnými variantami, které splňují kritéria uvedená výše, jsou:

- odlévání (obr. 5) – je způsob zhotovení výrobku tím, že se určený materiál roztaví a vlije do předem připravené formy. Dutina této formy má přesný tvar a rozměry vyráběné součásti. Problémem je, že základním litím nelze zhotovit nádobu o předepsané tloušťce stěny (0,5 mm), tudíž by bylo zapotřebí užít tlakového lití. Tím lze vyrábět vysoce kvalitní odlitky takto tenkostěnného charakteru. Tato metoda se ovšem užívá pro tvarově složité díly, a pro zadanou součást by znamenala příliš vysoké náklady na zhotovení formy.



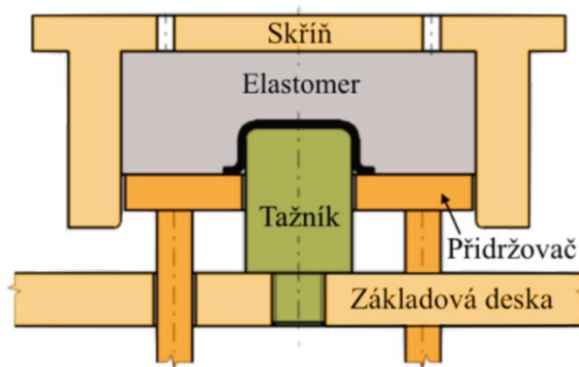
Obr. 5 Odlévání [12]

- Ohýbání a svařování (obr. 6) – ohyb je často používaná technologická operace, která spočívá v trvalém přetvoření plechu ohnutím do požadovaného úhlu v důsledku napětí způsobeného ohybádky. Svařování je také běžně používanou technologií tvořící trvalé spoje mezi dvěma plochami za použití tepla, tlaku a přídavného materiálu. V případě výroby pouzdra by se nejprve ohnuly rovné stěny součásti do krabicového tvaru a poté by byly jejich kraje spojeny svařením. Kombinace těchto technologií je levná, přesná a rychlá. Výroba řešené součásti tímto způsobem by ovšem byla komplikovaná, jelikož zhotovení rohových zaoblení by bylo příliš obtížné.



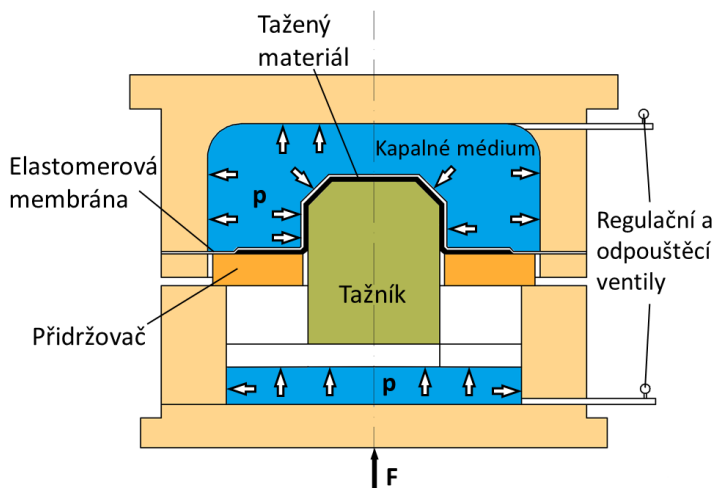
Obr. 6 Výrobek zhotoven kombinací ohybu a svaru [14]

- Marform (obr. 7) – nekonvenční metoda, při níž je k přetvoření součásti využit nepevný nástroj. Jedná se o způsob hlubokého tažení, kde je polotovaz zatlačován kovovým tažníkem do elastomeru (pryže). Tato pružná vložka slouží jako tažnice a spolu s pevným přidržovačem efektivně zabraňuje zvlnění výtažku. Výhodou této metody je vysoce kvalitní povrch součásti a poměrně levný nástroj, avšak elastická část je náchylná k opotřebení, což by mohlo komplikovat výrobu. Opět jde o metodu určenou spíše pro tvarově složité díly, a tudíž by pro zadanou součást nebyla z ekonomického hlediska ideální.



Obr. 7 Schéma metody Marform [16]

- Hydroform (obr. 8) – princip této metody funguje obdobně jako u metody Marform, avšak zde je tažnice nahrazena kapalným médiem. Systém je vybaven přidržovačem, který polotovaz přitlačuje na elastomerovou membránu, což brání zvlnění výtažku. Jelikož tlak se v kapalinách šíří rovnoměrně, vzniklé výtažky disponují konstantní tloušťkou stěny, což předchází vzniku defektů

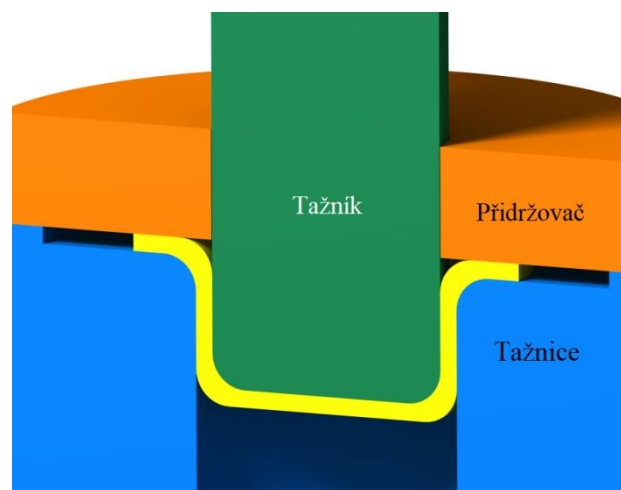


Obr. 8 Schéma metody Hydroform [15]



a často umožňuje snížit počet potřebných tahů. Bohužel ani tato metoda pro zadanou součást z ekonomického hlediska úplně nevyhovuje kvůli vysoké pořizovací ceně a nákladům na zajištění těsnění a regulaci tlaku kapaliny.

- Konvenční hluboké tažení (obr. 9) – technologie hojně rozšířená ve strojírenské praxi. Jedná se o způsob tváření, při kterém se z rovinného přístřihu vtačováním tažníku do tažnice stává duté těleso. Tímto způsobem je možné táhnout širokou škálu produktů, a to jak rotačních, tak i nerotačních tvarů. Nevýhodou je riziko vzniku vln na výtažku, avšak tomu lze předejít použitím přidržovače a dalšími úpravami. Nástroje jsou vyrobeny z nástrojové oceli, a tak jsou poměrně nákladné, avšak mají díky tomu výbornou životnost, což napomáhá vysoké sériovosti. Další výhodou jsou krátké výrobní časy, díky nimž metoda dosahuje výborné produktivity.



Obr. 9 Schéma konvenčního tažení

Z výše uvedených možností byl pro zadanou součást (pouzdro zapalování) zvolen způsob výroby konvenčním hlubokým tažením. Konkrétně by se jednalo o tažení pevným nástrojem s konstantní tloušťkou stěny. Tato výrobní metoda splňuje všechny důležité parametry a z ekonomického hlediska vychází nejpříznivěji. Měla by být dostačující i z hlediska kvality povrchu a při volbě správných technologických parametrů by měla být schopna pouzdro zhotovit v jediné tažné operaci.

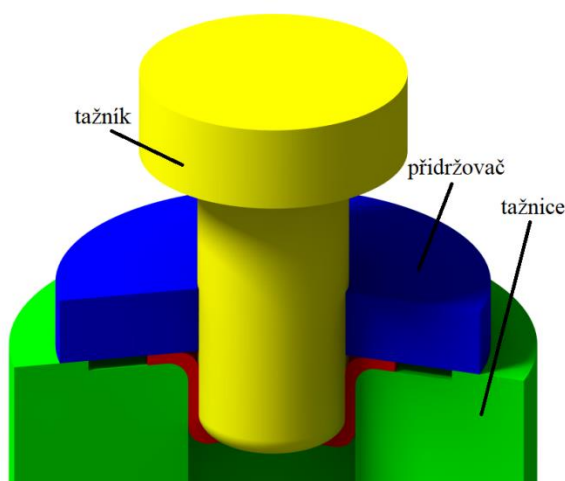
## 2 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [2], [19], [20], [21], [22], [23], [24]

Tažení se řadí mezi technologie plošného tváření. Jedná se o technologický proces, při němž je rovinný přístřih přetvořen v duté těleso, tzv. výtažek, viz obr. 10. V praxi se vyrábí široká škála výtažků, od jednoduchých součástí menších rozměrů až po velké tvarově složité díly. V závislosti na rozměrech a složitosti konečného produktu lze k přetvoření využít jednu či více tažných operací. Při celém procesu deformace platí zákon zachování objemu.



Obr. 10 Tvorba válcového výtažku

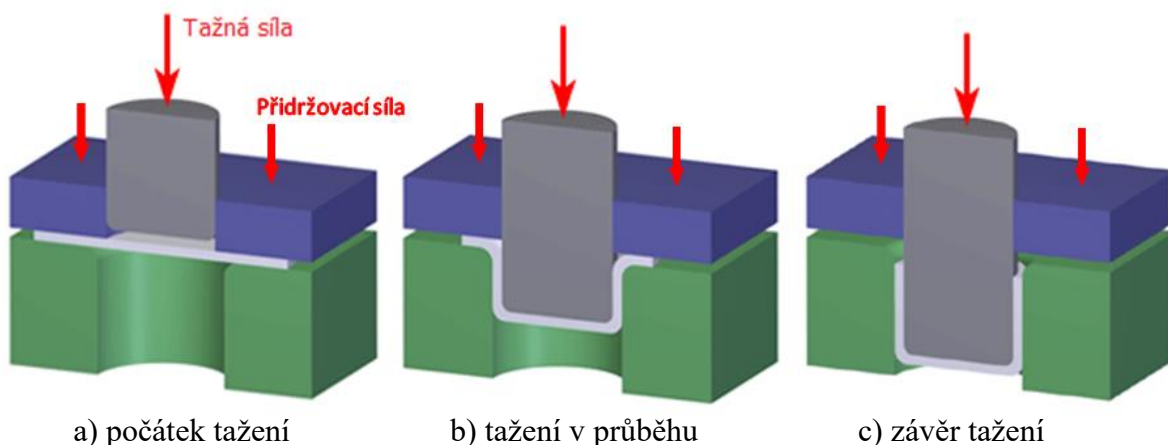
Princip lze nejlépe znázornit na tažení válcové nádoby. Tvářecí nástroj se skládá ze dvou základních částí – tažníku a tažnice, viz obr. 11. Aby se předešlo vzniku vln na přírubě, užívá se v některých případech přidržovače, který je přitlačován směrem k tažnici.



Obr. 11 Princip technologie tažení

Polotovaru je umístěn na vyhrazené místo mezi tažnicí a přidržovačem a pak je tažníkem vtlačován směrem do tažnice (znázorněno na obr. 12). Silové působení tažníku v materiálu polotovaru způsobuje vznik tahových a tlakových napětí a následně deformaci podél tažné hrany, která je tak velmi namáhána, a tudíž je náchylná k opotřebení. Materiál je vytlačován směrem k obvodu a tím se zvětšuje výška výtažku  $h$ , přičemž v místě přechodu válcové části výtažku v dno vzniká nestejnorodá prostorová napjatost, což způsobuje riziko utržení dna. Aby k defektu nedošlo, je potřeba dodržet

optimální technologické i konstrukční parametry a zvolit správné mazivo. U tvarově složitějších výtažků lze v případě potřeby využít vtahovacích či brzdících žeber. Jakmile výtažek dosáhne požadované výšky, tažník se vrací na původní místo a výtažek lze vyjmout z nástroje.



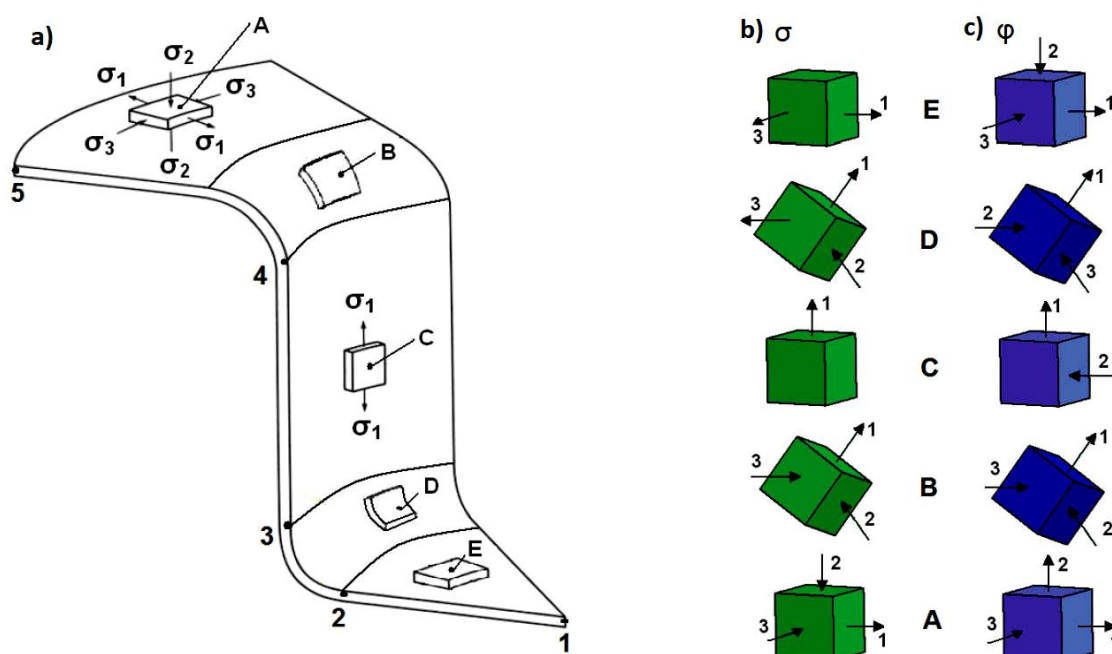
Obr. 12 Znázornění tažného procesu [24]

Rozdělení a bližší specifikace jednotlivých metod tažení (např. jednoduché tažení, zpětné tažení, tažení se zeslabením stěny, zužování) jsou uvedeny v normě ČSN 22 6001. V zásadě lze ale technologie tažení rozdělit na „tažení bez zeslabení stěny“ a „tažení se zeslabením stěny“, přičemž první jmenovaná se v praxi využívá nejčastěji.

## 2.1 Tažení plechu bez zeslabení stěny [2], [19], [20], [21], [22]

Při reálném procesu vždy v některém místě výtažku dochází k zeslabení stěny, avšak při „tažení bez zeslabení stěny“ je vzhledem k velikosti výtažku tato redukce tloušťky velmi malá, a tudíž se zanedbává. Aby toho bylo dosaženo, je třeba volit dostatečnou vůli mezi tažnicí a tažníkem. Jelikož je uvažována konstantní tloušťka stěny, je zde zákon zachování objemu zjednodušen na zákon stálosti ploch.

Na obrázku 13 je zobrazeno schéma napjatosti a deformací v jednotlivých místech válcového výtažku. Z něj je zřejmé, že v rámci zjednodušení lze výtažek z hlediska napjatosti rozdělit do pěti oblastí.



a) označení jednotlivých míst na výtažku; b) směry hlavních napětí; c) směry deformací

Obr. 13 Znárodnění směru hlavních napětí a deformací v jednotlivých místech výtažku [19]

V první oblasti (v obrázku značeno „A“) lze vidět, že vlivem přidržovače v tomto místě vzniká prostorová napjatost i deformace. V radiálním směru dochází k prodloužení materiálu působením tahového napětí  $\sigma_1$ . Působení síly od přidržovače způsobuje tlakové napětí v axiálním směru. V tangenciálním směru je materiál namáhán taktéž tlakově.

Druhá oblast (oblast „B“) znázorňuje ohyb na tažné hraně. Také zde vzniká prostorová napjatost i deformace. Dochází k prostorovému ohybu, přičemž radiální napětí  $\sigma_1$  je zde maximální a tangenciální napětí  $\sigma_3$  velmi malé. Směry vzniklé deformace se shodují s vektory složek napjatosti.

Oblast číslo tři (oblast „C“) označuje válcovou část výtažku. Zde dochází pouze k jednoosé napjatosti, a to ve směru výšky výtažku. Také deformace se z prostorové mění na rovinnou, přičemž redukce tloušťky stěny je minimální, a tak v této oblasti nedochází k velkým tvarovým změnám.

Čtvrtou oblast (oblast „D“) tvoří přechod mezi pláštěm a dnem výtažku. Tady dochází k poměrně velkým tvarovým změnám. Jak již bylo zmíněno, vzniká zde riziko utržení dna,

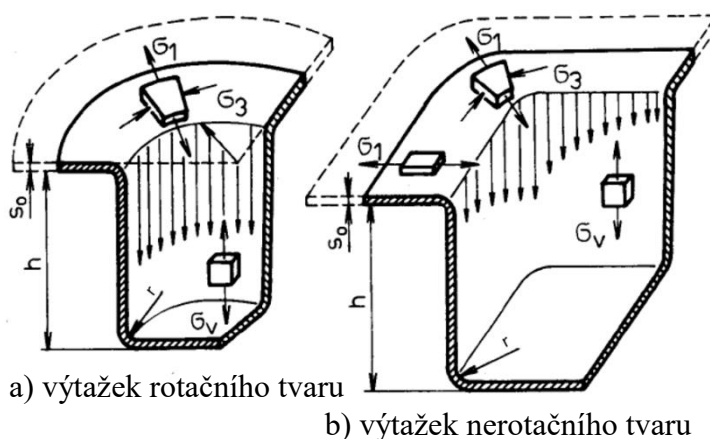


jelikož dochází k výraznému prodloužení, a tím pádem i ztenčení tloušťky stěny. Při aplikaci víceoperačního tažení se toto riziko ještě výrazně zvyšuje. Jak napjatost, tak i deformace zde nabývají trojosého stavu (charakteru).

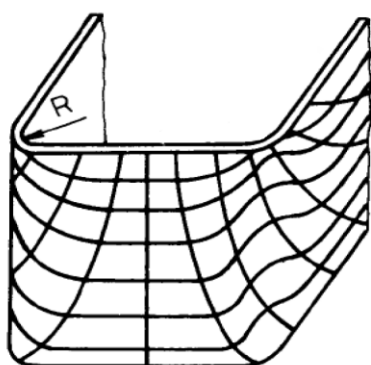
Poslední oblast (oblast „E“) znázorňuje dno výtažku. Napjatost zde má rovinný charakter, přičemž obě složky hlavních napětí  $\sigma_1$  i  $\sigma_3$  jsou tahové a směrem k oblasti „B“ mírně narůstá jejich velikost. Deformace zůstává v trojosém stavu. Přetvoření  $\varphi_2$  nabývá záporných hodnot, a tak se tloušťka stěny lehce ztenčuje. Tento jev se opět výrazně projevuje při víceoperačním tažení.

## 2.2 Tažení výtažků nerotačních tvarů [2], [15], [19], [20], [25]

Při tažení výtažků nerotačních tvarů (např. čtvercových nebo obdélníkových) jsou v porovnání s válcovými výtažky technologické podmínky v mnoha ohledech odlišné. Především zde existuje rozdílný stav napjatosti v rohovém zaoblení oproti tomu ve svislých stěnách. Porovnání napjatosti rotační válcové a nerotační obdélníkové nádoby lze vidět na obrázku 14. Dále na obrázku 15 je pomocí nanesené pravoúhlé sítě na výchozí polotovaru vyobrazen průběh deformace na přetvořeném obdélníkovém výtažku. Z něj je patrné, že k tažení skutečně dochází převážně v rozích výtažku, kde nastává plastická deformace totožná s tou, vznikající u rotačních válcových výtažků. Svislé stěny jsou pak tvořeny pouhým ohybem. Tento jev doprovází i nerovnoměrné deformační zpevnění ve stěnách a rozích výtažku. U pravoúhlých tvarů to má v porovnání s tažením válcových výtažků stejných rozměrů pozitivní vliv. Maximální deformace (v rozích výtažku) je mnohem nižší a v první tažné operaci se snižuje i součinitel tažení. Zlepšuje se také stabilita příruby díky snížení tangenciálních napětí, která v ní působí. Bohužel se však při tažení nerotačních výtažků zesložitují určité výpočty či parametry, jako například tvar a rozměry polotovaru, což bude dále rozebráno v následující podkapitole.



Obr. 14 Porovnání stavů napjatosti rotačních a nerotačních výtažků [2]



Obr. 15 Deformace pravoúhlé sítě na nerotačním výtažku [2]

### 2.2.1 Tvar a velikost polotovaru [15], [20], [25], [26]

Správná volba tvaru a velikosti polotovaru je velmi důležitá, jelikož pokud je zvolena příliš malou velikost, nemusí být vůbec dosaženo požadovaného tvaru. A naopak při zvolení většího přístřihu dochází ke vzniku nežádoucího odpadu, a tím ke zhoršení efektivity využití materiálu. U víceoperačního tažení nebo tažení složitých tvarů často ani ideální tvar přístřihu není stanoven a počítá se s nutností ostřížení výtažku. Velikosti přídavek na ostřížení v závislosti na rozměrech výtažku lze vidět v tabulce 4.

Tab. 4 Hodnoty vhodného přídatku na ostřížení [20]

Tloušťka materiálu [mm]	Maximální rozměr výtažku [mm]			
	do 100	100 až 200	200 až 300	nad 300
do 2	2,0 ÷ 2,5	2,5 ÷ 3,0	3,0 ÷ 3,5	3,5 ÷ 4,0
2 až 3	3,0 ÷ 3,5	3,5 ÷ 4,0	3,5 ÷ 4,0	4,0 ÷ 4,5
3 až 5	4,0 ÷ 5,0	4,0 ÷ 5,0	4,5 ÷ 5,5	5,0 ÷ 6,0
5 až 8	4,5 ÷ 6,5	5,0 ÷ 7,0	5,5 ÷ 7,0	6,0 ÷ 7,5
8 až 12	7,0 ÷ 10,0	7,5 ÷ 10,5	8,0 ÷ 11,0	9,0 ÷ 12,0

V případě tažení válcových nádob je stanovení tvaru přístřihu velmi jednoduché. Vzhledem k nerotačnímu charakteru řešené součásti zde však bude popsáno určování rozměrů přístřihů pro nerotační výtažky.

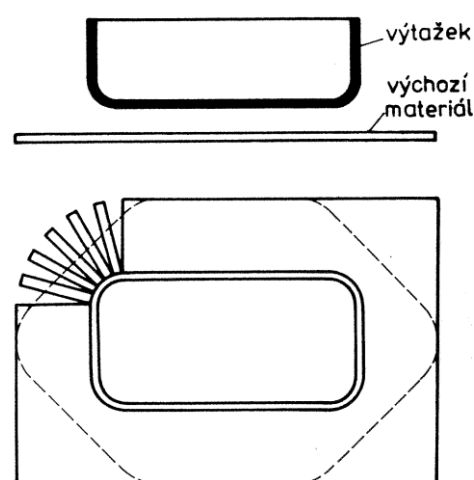
Na obrázku 16 jsou vyobrazeny dvě možnosti hledání vhodného výchozího tvaru polotovaru. První způsob slouží pouze k hrubému odhadu. Jde o přidání povrchu stěn výtažku k povrchu dna a zanedbání přebytečného materiálu v rozích. Výsledného tvaru by se pak dalo dosáhnout pouhým ohybem, avšak rohové části by zůstaly nespojeny, a proto je tento způsob užíván jen pro představu. Druhý způsob (v obrázku naznačen čárkovaně) již zahrnuje přesun materiálu tažením a navrhuje vystřížení rohových částí výchozího polotovaru. Vystřížená část odpovídá (dle zákona stálosti ploch) množství materiálu, které je třeba přesunout tažením.

Často se vhodný tvar přístřihu hledá experimentální cestou. Oblasti, kde opravdu dochází k tažení, a tím nárůstu výšky stěny ve výsledném tvaru, se odstříhnou a zaoblí. Tento způsob je ale nepřesný a zdlouhavý, jelikož se nejdříve musí sestavit tažidlo k vyzkoušení tvaru přístřihu a pak až stříhadlo. Zároveň na okrajích výtažku často vznikají nepravidelnosti, zvětšuje se tloušťka stěn v rozích a zvyšuje se zde riziko vzniku trhlin.

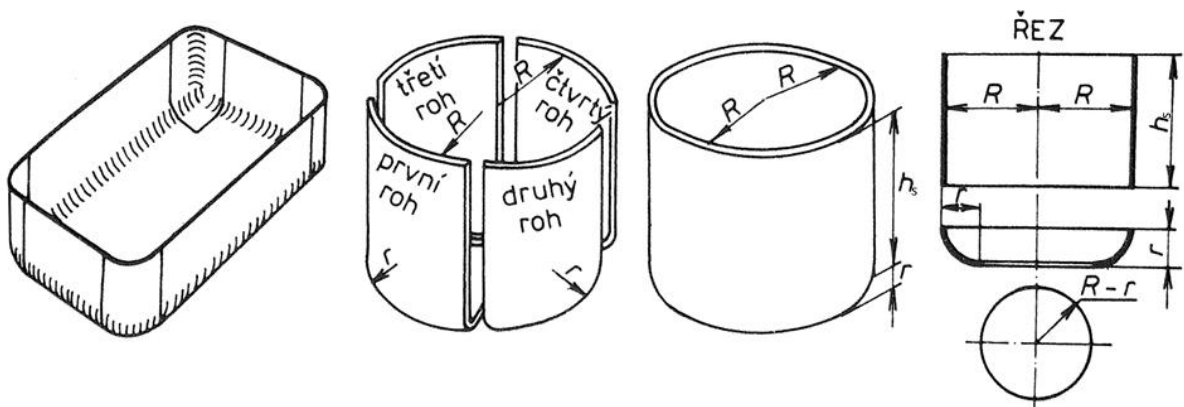
Pro přesnější určení rozměrů je potřeba vzít v úvahu stranový tok materiálu, který rapidně klesá se vzdáleností od rohových částí kvůli vnitřnímu tření molekul. Proto je výhodnější určení správného tvaru graficky nebo početně, aby přemísťovaný materiál dostatoval k vyplnění rohových částí. Někdy se zvětšování tloušťky stěn v rozích kompenzuje přidáním materiálu či užitím brzdících žeber, avšak je třeba tak činit s ohledem na funkci přidržovače, u kterého může dojít k nadzvedávání, a tak potenciálně ke zvlnění výtažku. Vhodný způsob volby správného přístřihu je tedy v zásadě určen těmito faktory:

- tvar výsledné součásti,
- potřeba pevného přidržování materiálu,
- nutnost následného ostřížení výtažku.

U obdélníkových výtažků by, pokud možno, měly být hrany dna co nejvíce zaobleny, jelikož hrany s příliš malým zaoblením jsou velmi náročné na výrobu. Množství materiálu potřebné k vytažení všech čtyř rohů je pak shodné s pomyslným válcovým výtažkem, jehož průměr je roven dvojnásobku rohového poloměru, viz obr. 17.

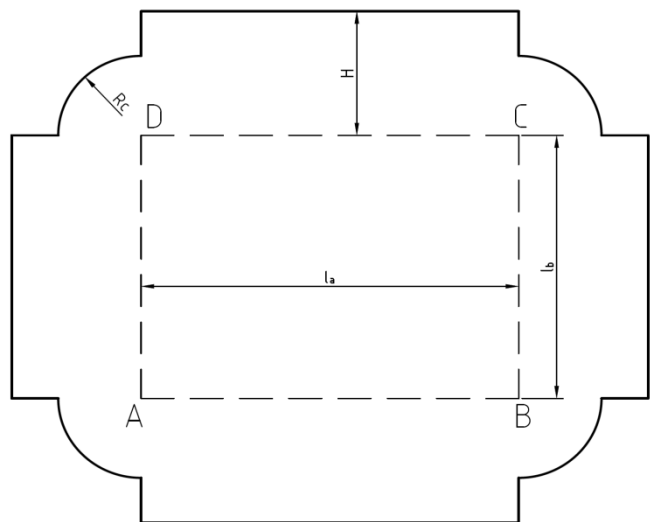


Obr. 16 Výtažek a možnosti stanovení jeho polotovaru [15]



Obr. 17 Pomyslný válcový výtažek vzniklý spojením materiálu v rozích [15]

Na základě zákona stálosti ploch pak lze dle literatury [15] spočítat a vyobrazit teoretický tvar přístříhu, viz obr. 18. Nejprve se nakreslí obdélník (v obrázku ABCD), představující plochou část dna výtažku. Jeho strany se prodlouží o rozměr odpovídající součtu výšky stěny výtažku a obvodu čtvrtkružnice tvořené zaoblením spodní hrany, čímž je získán přístřih části výtažku, tvářené pouhým ohybem. Tento rozměr lze vypočítat dle vzorce:

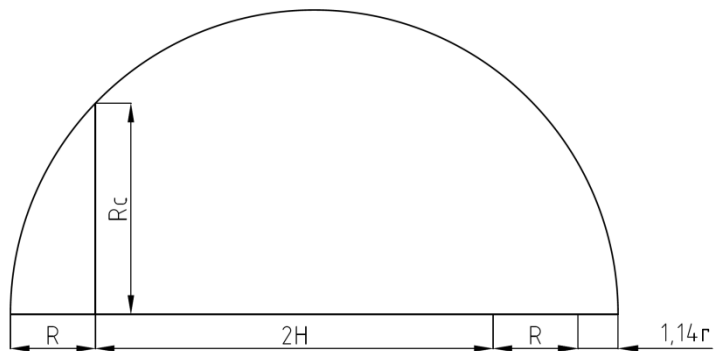


Obr. 18 Teoretický tvar přístříhu pro obdélníkový výtažek dle Tišnovského [15]

$$H = h_s + \frac{\pi \cdot r}{2} + R - r \cong h_s + R + 0,57 \cdot r \text{ [mm]}, \quad (2.1)$$

kde:  $h_s$  – výška boční stěny výtažku [mm],  
 $r$  – poloměr zaoblení dna výtažku [mm],  
 $R$  – poloměr zaoblení rohů výtažku [mm].

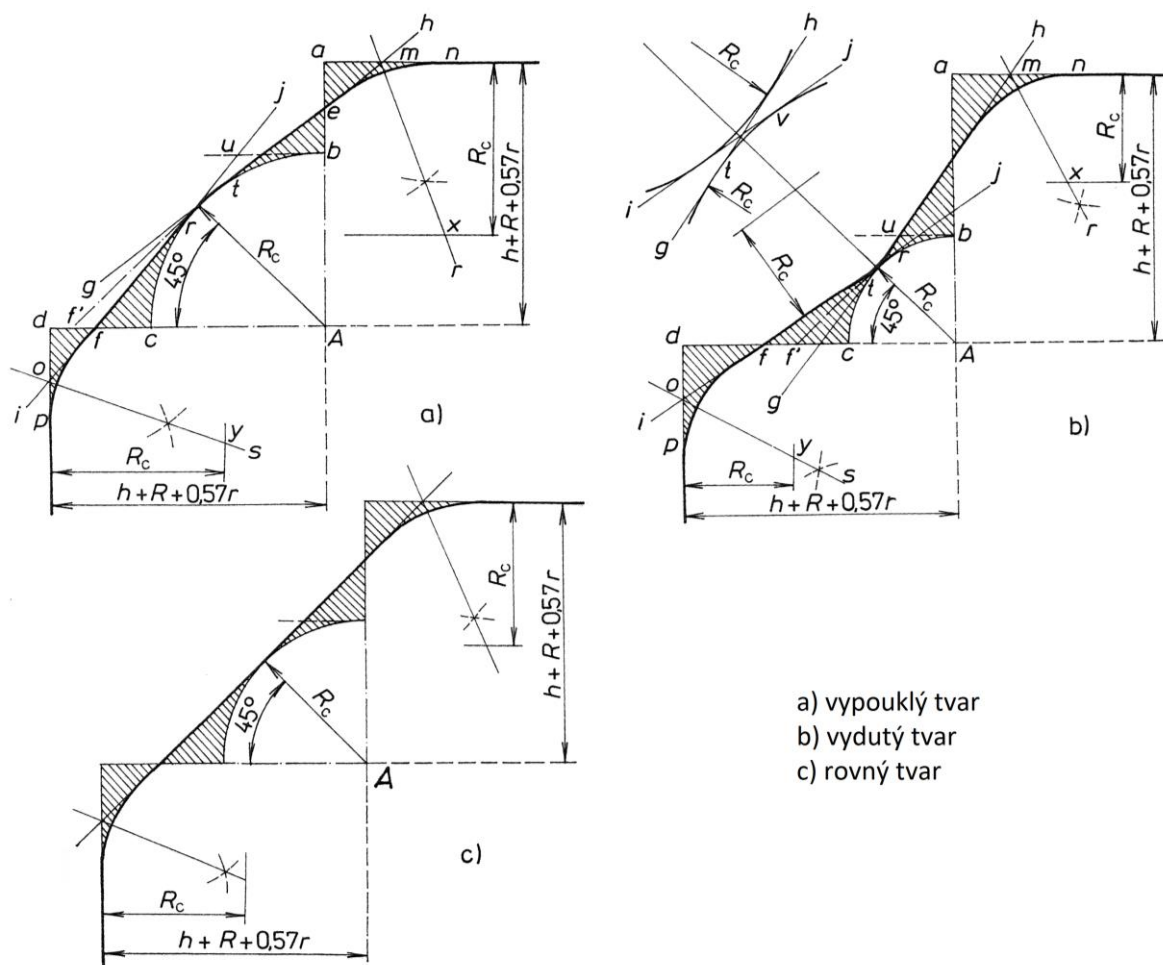
Dále se z bodů A, B, C, D vynesou čtvrtkružnice o poloměru  $R_c$  (poloměr kruhového přístříhu pro pomyslný válcový výtažek), které doplňují tvar o množství materiálu v rozích. Velikost tohoto poloměru lze určit graficky z první věty Euklidovy (viz obr. 19) nebo výpočtem:



Obr. 19 Grafické určení rozměru  $R_c$  [15]

$$R_c = \sqrt{2 \cdot R \cdot h_s + R^2 + 1,14 \cdot R \cdot r} \text{ [mm]}. \quad (2.2)$$

Vzniklý teoretický tvar přístříhu však v praxi slouží spíše pro odhad, jelikož při procesu tažení materiál z rohů uniká do oblastí bočních stěn, které by měly být tvořeny pouhým ohybem. Tím pádem by materiál v rozích chyběl a ve stěnách přebýval. Pro přesnější určení tvaru přístříhů se užívá grafické metody znázorněné na obrázku 20. Ta bere v potaz poměry poloměrů zaoblení ( $R$ ,  $r$ ) a výšky stěny ( $h_s$ ), čímž přesněji určuje přechody zaoblení v rozích pro tři základní tvary – rovný, vypouklý a vydutý. Ovšem tato metoda je využitelná pouze pro tenké plechy, jelikož u tlustších materiálů dochází k nestejnomyernému posunu vnitřních a povrchových vrstev.



Obr. 20 Grafická metoda určení přesunu materiálu v rozích ke stanovení polotovaru [15]

Norma ČSN 22 7303 pro tažení čtyřhranných výtažků v postupu stanovení velikosti polotovaru uvažuje nestejnomyerné tváření plechu a ukládá nutnost zvětšit výšku nádoby o přídavek na ostřížení. Tento přídavek se volí od 2 do 20 mm podle velikosti výtažku.

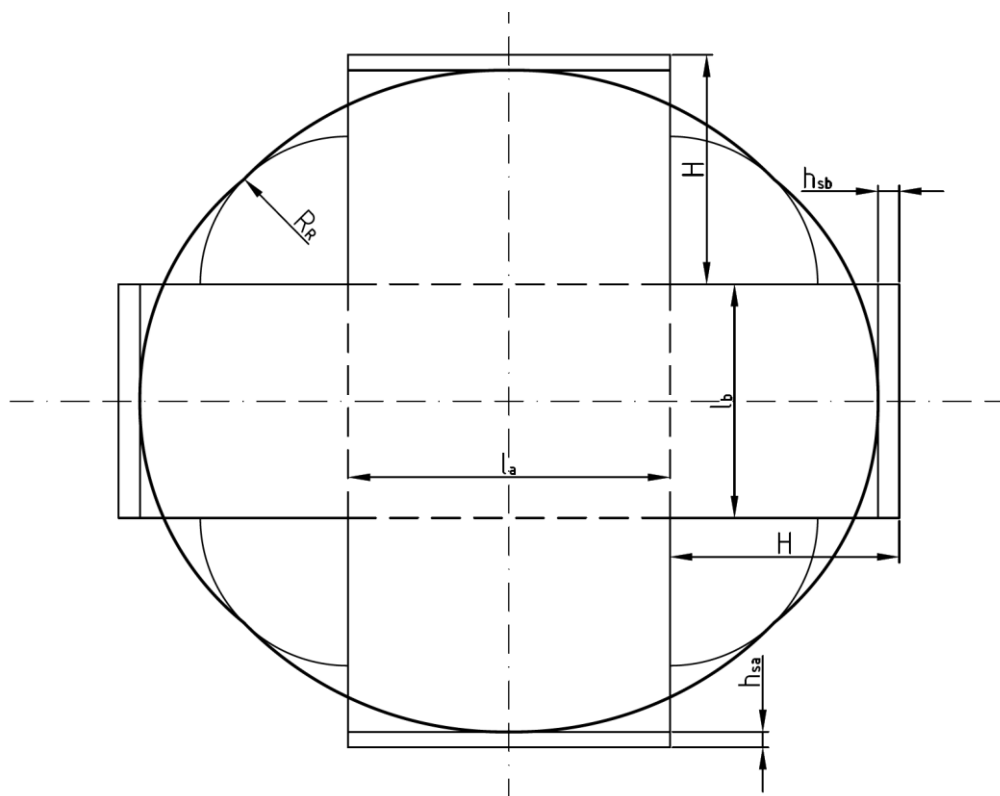
Nejprve je za potřebí určit, zda je splněna podmínka  $\frac{D}{2} > r$ . V případě že ano, lze přejít ke stanovení poloměru přístříhu v rohu výtažku  $r_0$ , k jehož zjištění lze využít diagram vyobrazený v příloze 1. Výpočtem lze  $r_0$  také stanovit dle vzorce:

$$r_0 = \sqrt{0,25 \cdot D^2 + D \cdot (h_s + 0,57 \cdot r) - 0,14 \cdot r^2} \text{ [mm]}, \quad (2.3)$$

kde:  $D$  – průměr zaoblení rohů výtažku ( $D = 2 \cdot R$ ) [mm].

U výtažků, jejichž poloměr zaoblení dna  $r$  je zanedbatelný (tj. pokud je  $r < \frac{R}{10}$ ), lze tento poloměr považovat za nulový a výpočet zjednodušit na:

$$r_0 = \sqrt{0,25 \cdot D^2 + D \cdot h} \text{ [mm]}. \quad (2.4)$$



Obr. 21 Určení polotovaru nerotačního výtažku dle ČSN 22 7303 [25]

Dále je nutno stanovit rozvinutou výšku bočních stěn výtažku  $H$ . Toho lze docílit pomocí diagramu, který lze vidět v příloze 2, nebo výpočtem dle vzorce (2.1), identicky jako v postupu dle literatury [15]. Vypočtené hodnoty je třeba redukovat k zohlednění přesunu materiálu v bočních stěnách výtažku. Redukovaný poloměr se stanoví dle vzorce:

$$R_R = x \cdot r_0 \text{ [mm]}, \quad (2.5)$$

kde:  $x$  – koeficient pro redukcí poloměru přístřihu v rohu výtažku [–].

Koeficient  $x$  lze stanovit z diagramu, který je umístěn v příloze 3, nebo výpočtem ze vzorce:

$$x = 0,074 \cdot \left(\frac{r_0}{D}\right)^2 + 0,982 \text{ [–]}. \quad (2.6)$$

Redukci rozvinuté výšky  $H$  je třeba provést ve dvou osách v závislosti na délce odpovídající stěny výtažku. Zmenšení odpovídající delší stěně výtažku se vypočte dle vzorce:

$$h_{sa} = y \cdot \frac{r_0^2}{l_a} \text{ [mm]}, \quad (2.7)$$

kde:  $y$  – koeficient pro redukcí rozvinuté výšky výtažku [–],  
 $l_a$  – delší rozměr dna výtažku [mm].

Zmenšení odpovídající kratší stěně pak obdobně:

$$h_{sb} = y \cdot \frac{r_0^2}{l_b} \text{ [mm]}, \quad (2.8)$$

kde:  $l_b$  – kratší rozměr dna výtažku [mm].

Koeficient  $y$  lze také určit dvěma způsoby. Buď z diagramu v příloze 3, nebo výpočtem dle vzorce:

$$y = \frac{\pi}{4} \cdot (x^2 - 1) [-]. \quad (2.9)$$

Tyto hodnoty se pak graficky vynesou do náčrtu polotovaru tak, jak je znázorněno na obrázku 21. Výsledný tvar se získá plynulým napojením krajních bodů s vnesenými čtvrtkruhy.

### 2.3 Počet tažných operací [2], [15], [22], [25], [26], [27], [28]

Stejně tak jako volba tvaru polotovaru, i určování počtu tažných operací je pro výtažky nerotačních tvarů poněkud obtížnější. A to především kvůli vlivu celé řady veličin na proces tažení. K těm patří například:

- velikost zaoblení v rozích,
- tloušťka a materiál použitého plechu,
- velikost konečného výtažku a poloměru zaoblení u dna,
- poměr výšky boční stěny a poloměru zaoblení v rozích,
- tvar přístříhu,
- konstrukce a provedení tažného nástroje,
- tažná rychlost,
- typ maziva a upnutí nástroje.

Tyto faktory ovlivňují jak počet tažných operací, tak jejich správný průběh. Zdaleka největší vliv z nich má velikost zaoblení v rozích, na níž je přímo závislá maximální výška výtažku, které může být dosaženo v prvním tahu. Příklad hodnot dosažitelných výšek pro zvláště hlubokotažné materiály lze vidět v tabulce 5.

V případě, že se jedná o pravoúhlý výtažek, lze k přibližnému určení počtu tažných operací využít Romanovského diagram, viz obr. 22. Do pravoúhlého systému ( $R/l_B$ ;  $h/l_B$ ) jsou dle rozměrů přístříhu sestrojeny křivky „M“ a „N“, které lze popsat těmito vztahy:

$$M = \frac{s_0}{D_C} \cdot 100 = 2, \quad (2.10)$$

$$N = \frac{s_0}{D_C} \cdot 100 = 0,6; \quad (2.11)$$

kde:  $s_0$  – tloušťka polotovaru [mm],

$D_C$  – průměr zaoblení rohu teoretického polotovaru ( $D_C = 2 \cdot R_C$ ) [mm].

Tab. 5 Závislost výšky výtažku dosažitelné v prvním tahu na poloměru zaoblení v rozích [15].

Poloměr zaoblení R [mm]	Max. výška výtažku [mm]
5	$8 \cdot R$
$5 \div 10$	$7 \cdot R$
$10 \div 13$	$6 \cdot R$
$13 \div 19$	$5 \cdot R$
19	$4 \cdot R$

Tyto křivky vymezují přechod mezi oblastí 1, která popisuje parametry víceoperačního tažení, a oblastí 2, která slouží k určení maximální výšky výtažku dosažitelné jedním tahem.

Jak již bylo zmíněno, rohy výtažku jsou jedinými částmi, které jsou skutečně taženy, a tak lze brát v úvahu přibližně stejné hodnoty redukce tvaru jako u pomyslného válcového výtažku utvořeného pouze z rohových částí (viz obr. 18). Příklad dosažitelných hodnot redukce tvaru pro válcové výtažky z ocelových plechů je uveden v tabulce 6. Maximální dosažitelné hodnoty redukce tvaru zde určují hranici, při jejímž překročení dochází k utržení dna výtažku. V praxi však u čtvercových výtažků dochází k přesunu materiálu do stěn, které jsou teoreticky pouze ohýbány. Díky tomu se skutečná dosažitelná redukce zvyšuje a v případě víceoperačního tažení dosahuje až 60 %. Redukce poloměru zaoblení v jednotlivých tažných operacích pak lze vyjádřit dle vztahů:

$$R_n = 0,4 \cdot R_{n-1}, \quad (2.12)$$

$$R_{n-1} = 2,5 \cdot R_n; \quad (2.13)$$

kde:  $R_n$  – poloměr zaoblení rohu výtažku po n-tém tahu [mm],  
 $R_{n-1}$  – poloměr zaoblení rohu výtažku před n-tým tahem [mm].

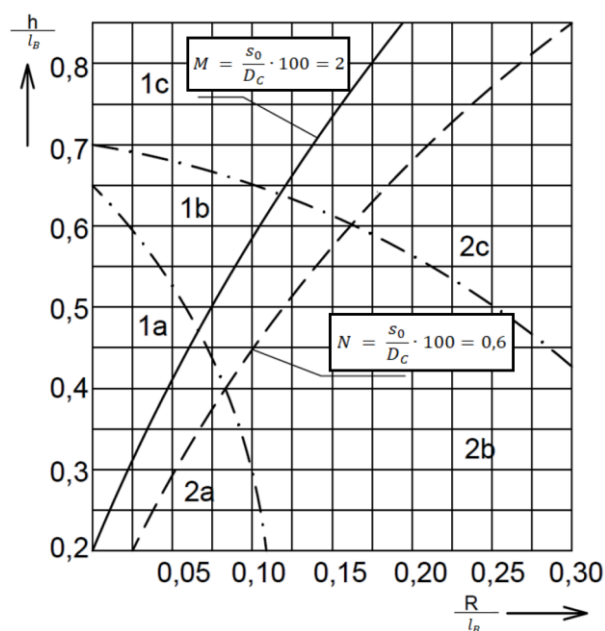
Tab. 6 Doporučené hodnoty redukce tvaru válcových výtažků z ocelových plechů [15].

Tloušťka taženého materiálu [mm]	Redukce tvaru (průměru) [%]							
	1. operace		2. operace		3. operace		4. operace	
	opt.	max.	opt.	max.	opt.	max.	opt.	max.
do 1,6	40	47	20	25	18	20	16	18
1,6 ÷ 3,2	40	47	15	18	14	15	13	14
3,2 ÷ 4,8	40	47	12	15	11	12	10	11
4,8 ÷ 6,4	40	47	10	12,5	9	10	8	9
nad 6,4	40	47	8	10	7	8	6	7

Míra redukce tvaru se vyjadřuje pomocí tzv. součinitele tažení. Ten se určuje pro každý jednotlivý tah, v případě nerotačních výtažků pomocí poměru poloměrů zaoblení v rohu před a po provedení dané tažné operace. Pro první tažnou operaci lze tedy matematicky vyjádřit součinitel tažení následovně:

$$m_1 = \frac{R_1}{R_0} [-], \quad (2.14)$$

kde:  $R_1$  – poloměr zaoblení v rohu po prvním tahu [mm],  
 $R_0$  – původní poloměr zaoblení rohu přístřihu [mm].



Obr. 22 Romanovského diagram [26]

V případě víceoperačního tažení se pak tento součinitel obecně pro každou další operaci dá vypočítat pomocí vztahu:

$$m_n = \frac{R_n}{R_{n-1}} [-]. \quad (2.15)$$

Celkový součinitel tažení pak lze vypočítat dle:

$$m_C = m_1 \cdot m_2 \dots m_n [-]. \quad (2.16)$$

Pro souměrné pravoúhlé výtažky z hlubokotažných plechů se volí součinitel tažení pro první tah (0,25 až 0,40). Pokud u těchto plechů přesáhne hodnota součinitele tažení pro první tah 0,75, platí, že není zapotřebí užití přidržovače.

V některých literaturách se lze setkat ještě s tzv. stupněm tažení. Ten udává maximální deformaci pro jeden tah a počítá se jako převrácená hodnota součinitele tažení:

$$K = \frac{1}{m} [-]. \quad (2.17)$$

## 2.4 Tažná mezera [2], [15], [16], [19], [22], [25]

Velikost tažné mezery  $z$  (obr. 23) je jedním z důležitých parametrů při operacích hlubokého tažení. Jde o mezera mezi tažníkem a tažnicí, která je při procesu tažení vyplňována tvářeným plechem. Tloušťka polotovaru je tedy hlavním faktorem pro volbu tažné mezery.

Využívá se ke snížení tření mezi tažnicí a tvářeným materiálem, a tím ke snížení tažné síly. Její správné stanovení je velmi důležité, jelikož při zvolení příliš malé tažné mezery dochází k růstu tažné síly a zvyšuje se riziko utržení dna výtažku. Naopak volba příliš velké tažné mezery může způsobit zvlnění ve stěnách, a tedy i zhoršení jakosti výtažku.

Často je také používán termín „tažná vůle“. Tažná vůle je rovna dvojnásobku tažné mezery.

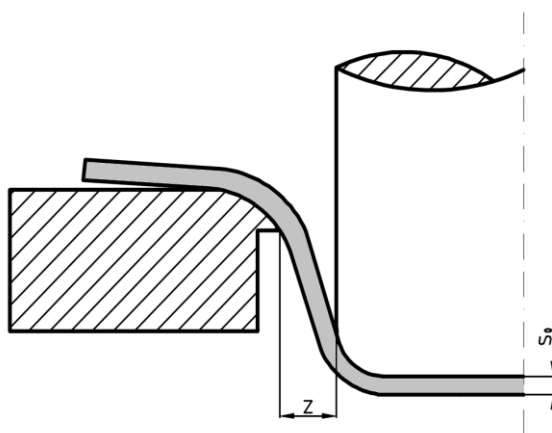
Existuje mnoho způsobů určení velikosti tažné mezery, např. dle normy ČSN 22 7303 se výpočet liší pro podélné stěny a pro rohová zaoblení:

- tažná mezera v podélných stěnách:

$$z_S = (1,15 \div 1,3) \cdot s_0 [\text{mm}]. \quad (2.18)$$

- tažná mezera v rohových zaobleních:

$$z_R = (1,3 \div 1,4) \cdot s_0 [\text{mm}]. \quad (2.19)$$



Obr. 23 Tažná mezera [19]



Dalším způsobem je např. Oehlerův vztah, který do výpočtu zahrnuje i typ tvářeného materiálu:

$$z = s_{\max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot s_0} \text{ [mm]}, \quad (2.20)$$

kde:  $s_{\max}$  – maximální tloušťka tvářeného materiálu [mm],

$k$  – materiálový koeficient (pro ocel  $k = 0,07$ ) [-].

Literatura [15] rovněž uvádí pro základní tloušťky plechů doporučené hodnoty tažných mezer, viz tab. 7.

Tab. 7 Doporučené hodnoty tažné mezery vzhledem k velikosti tloušťky plechu [15]

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

## 2.5 Tažná síla a práce [15], [16], [19], [26], [28]

Tažná síla musí překonat odpory související s tvárnou deformací a také odpory třecí. Její správné určení je velmi důležité, jelikož je hlavním faktorem při výběru tvářecího stroje. K jejímu stanovení se používá řada přístupů, a to jak teoretických, tak i praktických. Jelikož se výsledná síla skládá z mnoha složek, jako jsou síla pro deformaci příruby, síla pro ohyb na tažné hraně, tření, zpevnování materiálu a další, její průběh není konstantní. Přibližný průběh tvářecí síly lze vidět na obrázku 24.

Pro nerotační výtažky lze orientačně stanovit maximální velikost tažné síly (síla, při níž dochází k utržení dna) dle empirického vztahu:

$$F_{t\max} = O \cdot s_0 \cdot R_m \text{ [N]}, \quad (2.21)$$

kde:  $O$  – obvod dna výtažku [mm],

$R_m$  – mez pevnosti materiálu [MPa].

Pak se ovšem musí síla zvýšit kvůli překonání odporů při tažení rohů výtažku. Složka síly  $F_1$  související s tažením rohů se vypočte:

$$F_1 = 2\pi \cdot R \cdot s_0 \cdot R_m \cdot C_1 \text{ [N]}, \quad (2.22)$$

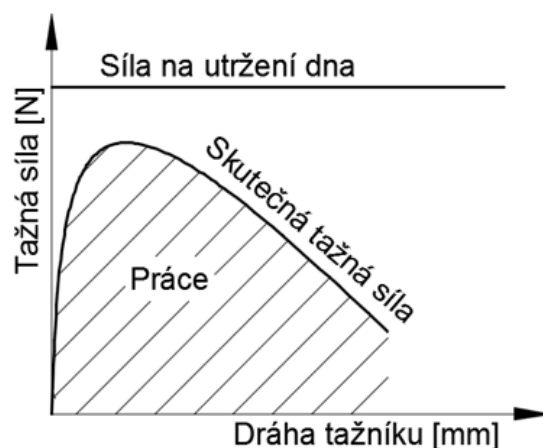
kde:  $C_1$  – koeficient určující vliv hloubky výtažku [-],

Koeficient  $C_1$  nabývá hodnot v intervalu  $(0,5 \div 2)$ . Čím větší je výška výtažku  $h$  proti poloměru zaoblení rohu  $R$ , tím vyšší je hodnota koeficientu. Druhá složka síly v sobě obsahuje působení svislých stěn namáhaných pouhým ohybem:

$$F_2 = L_s \cdot s_0 \cdot R_m \cdot C_2 \text{ [N]}, \quad (2.23)$$

kde:  $L_s$  – součet délek přímých částí stěny výtažku [mm],

$C_2$  – koeficient určující vliv ohybu přes tažnou hranu [-].



Obr. 24 Graf tažné síly a práce [16]

Koeficient  $C_2$  nabývá hodnot v intervalu  $(0,2 \div 1)$ , přičemž hodnota 0,2 odpovídá nulovému přídržovacímu tlaku. Při tažení s vyššími přídržovacími tlaky se pak hodnota koeficientu zvyšuje.

Velikost tažné síly pak dostaneme součtem těchto dvou složek:

$$F_t = F_1 + F_2 = R_m \cdot s_0 \cdot (2 \cdot \pi \cdot C_1 \cdot R + C_2 \cdot L_s) \text{ [N]}. \quad (2.24)$$

V případě použití mechanického lisu k operacím tváření je třeba zohlednit fakt, že tento typ stroje nepracuje v průběhu zdvihu konstantní silou. Proto je do výpočtu pro skutečnou tažnou sílu třeba zahrnout tzv. korekční součinitel  $A_k$ :

$$F_{tm} = F_t \cdot A_k \text{ [N]}, \quad (2.25)$$

kde:  $A_k$  – korekční součinitel [–].

Tab. 8 Hodnoty součinitele  $A_k$  v závislosti na délce výtažku [15]

Délka výtažku [mm]	od 100 do 150	od 150 do 200	od 200 do 250	od 250 do 300	od 300 do 350	od 350 do 400	od 400 do 450	od 450 do 500	od 500 do 600
$A_k$	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50

Když je ve výpočtu zohledněno i použití přídržovače a vyhazovače, výsledná síla je stanovena dle vztahu:

$$F_C = F_t + F_p + F_v \text{ [N]}, \quad (2.26)$$

kde:  $F_C$  – celková tažná síla [N],

$F_p$  – přídržovací síla [N],

$F_v$  – vyhazovací síla [N].

Tažná práce je přímo úměrná celkové tažné síle a je vyjádřena jako obsah plochy pod silovou křivkou, viz obr. 24. Lze ji vypočítat dle vztahu:

$$A_t = \frac{C_k \cdot F_C \cdot h}{1000} \text{ [J]}, \quad (2.27)$$

kde:  $h$  – výška výtažku [mm],

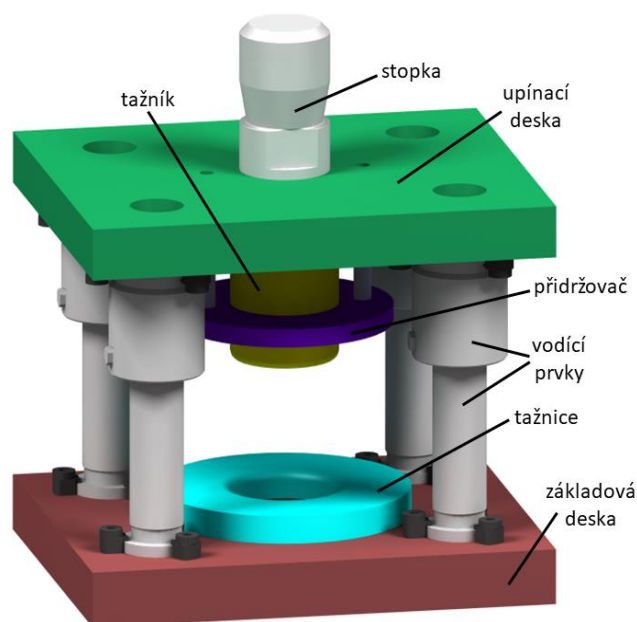
$C_k$  – kalibrační součinitel [–].

Hodnota kalibračního součinitele se užívá  $C_k = 0,66$  pro tažení bez kalibrace a  $C_k = 0,8$  pro tažení s kalibrací.

## 2.6 Tažné nástroje [15], [16], [19], [21], [26], [29]

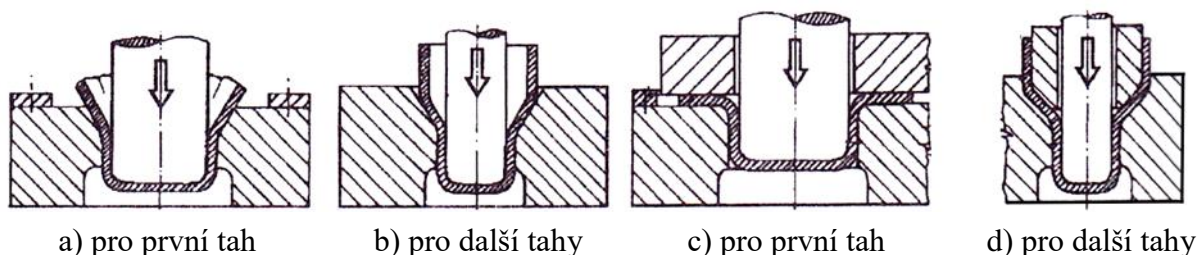
Návrh a konstrukce tažného nástroje se odvíjí hlavně od parametrů vyráběné součásti, především jejích rozměrů, tvaru, ale také požadavků na přesnost součásti a pořadí operace, pro kterou má být nástroj používán. Dále se ještě může zohledňovat typ lisu, pro který je nástroj konstruován, velikost výrobní série či splnění bezpečnostních a ekologických zásad.

Jak již bylo výše zmíněno, hlavními funkčními částmi nástroje jsou tažník, tažnice a v případě jeho použití i přídržovač. Tyto části mají vysoké požadavky na mechanické vlastnosti, a tak jsou nejčastěji vyráběny z nástrojových ocelí. Jejich tvrdost by se měla pohybovat mezi 58 a 63 HRC, ale zároveň by měly vykazovat dobrou houževnatost, pevnost a otěruvzdornost, a proto často prochází chemicko-tepelným zpracováním. Tažník bývá nejčastěji pomocí stopky upnut přímo do beranu lisu. Zbytek horní části nástroje tvoří upínací deska, na kterou je případně umístěn i přídržovač. Spodní část tvoří základová deska, která slouží k připevnění nástroje ke stolu stroje a je zpravidla vyráběna z oceli nebo litiny. V ní je z vrchní strany upnuta tažnice tak, aby pevně seděla souose vůči tažníku. Její pozice je vymezena pomocí šroubů, kolíků nebo zakládacích/aretačních kroužků. Přesnost vzájemného pohybu spodní a horní části nástroje pak zajišťují pouzdra a vodící sloupky, které jsou většinou vyrobeny z konstrukční oceli a užívají se v sudém počtu. V případě, že se jedná o výtažek s přírubou, je potřeba do nástroje zahrnout i vyhazovač. Pokud výtažek přírubu nemá, lze jeho odvod provádět propadáváním skrz základovou desku. Schéma tažného nástroje s jednotlivými částmi lze vidět na obrázku 25.



Obr. 25 Schéma tažného nástroje

Konstrukce tažidel se výrazně liší v závislosti na pořadí prováděného tahu (porovnání nástrojů pro první tah a pro další tahy lze vidět na obrázku 26). Tažnice nástroje užívaného pro druhé a následující tahy má tažnou hranu kuželového tvaru a používá šikmý přídržovač, který do ní zapadá. Tyto nástroje už téměř vždy vyžadují použití přídržovače, jelikož bez něj lze dosáhnout příliš malé redukce tvaru. V porovnání s tažidly pro první tahy se také zvyšuje základová deska. To je zapotřebí vzhledem ke zvětšující se výšce výtažku.



Obr. 26 Znárodnění tažidel s přídržovačem (vpravo) a bez něj (vlevo) [19]

Nástroje se také dělí dle druhu a počtu potřebných tahů na:

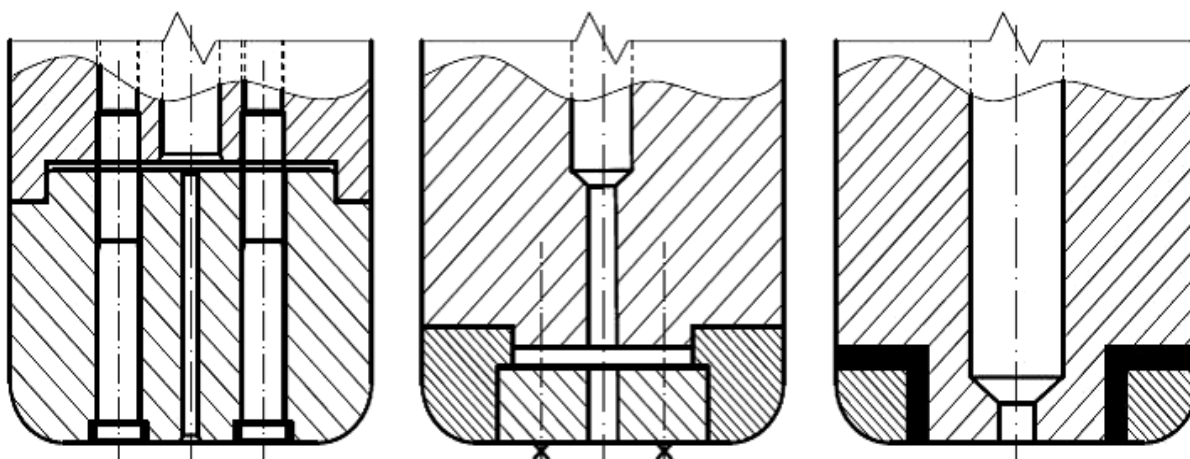
- jednoduché – slouží pro vykonání celého tažného procesu jediným tahem,
- postupové – požadovaný tvar je zhotoven postupně ve více tazích,
- sloučené – požadovaný tvar je zhotoven jediným zdvihem beranu, při kterém je provedeno více operací jedné určité technologie (tažení),
- sdružené – stejný princip jako pro „sloučené“, s tím rozdílem, že se využívá alespoň dvou různých technologií (např. stříhání + tažení).

Dále lze nástroje dělit na nástroje s přidržovačem a nástroje bez přidržovače, pak také na nástroje s ručním vkládáním, mechanizované, automatizované nebo dle typu použitého stroje a další.

### 2.6.1 Tažník [2], [15], [16], [19], [21], [29]

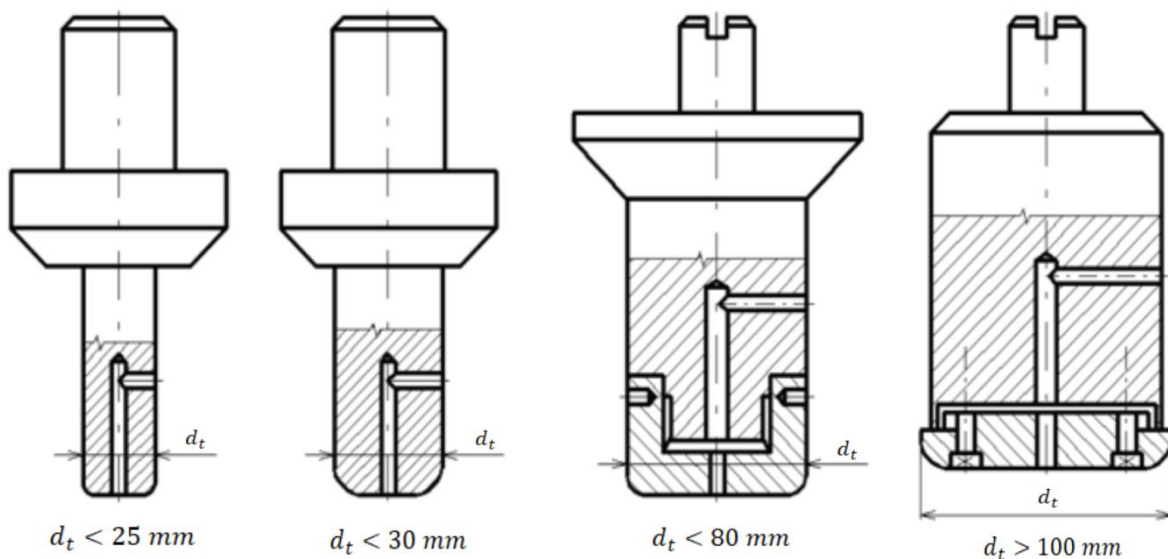
Jak již bylo zmíněno, tažník způsobuje přetvoření přístříhu na dutý výtažek zasouváním do tažnice. Jeho vnější tvar a rozměry přímo určují vnitřní rozměry výtažku. Při procesu tažení je tažník namáhán na vzpěr a na obvodu jeho válcové části tlakově (radiální síly). Hlavními funkčními částmi jsou tedy čelo, poloměr zaoblení hrany a válcová část.

Pro malé výtažky lze zhotovit tažník z jediného kusu, ale častěji se vyrábějí tzv. „dělené“ tažníky, které jsou ke stroji připojeny pomocí držáku či držáku se stopkou. Tento způsob se využívá z finančních důvodů, jelikož tažníky se vyrábí z nástrojových ocelí (např. 19 191, 19 436), které se dále ještě kalí a popouští pro dosažení dobrých mechanických vlastností, a tak jsou velmi drahé. Avšak použitím držáků, které se vyrábí z levnějších materiálů (většinou z oceli 11 500), se dá výrazně ušetřit při dosažení stejných parametrů výtažku. Spojení vlastního tažníku s držákem pak může být provedeno např. přišroubováním, lepením nebo pájením, viz obr. 27. Jednodílné tažníky pro menší série či menší výtažky mohou být upnuty přímo do beranu stroje.



Obr. 27 Způsoby upnutí tažníku s držákem [19]

Každý tažník musí být opatřen odvodušňovacím otvorem, který slouží k zabránění vzniku podtlaku na čele tažníku, a tak ke snazšímu stírání hotových výtažků. Tyto otvory bývají poměrně úzké a jsou umístěny do osy tažníku, viz obr. 28.



Obr. 28 Různá konstrukční provedení tažníků [16]

Velikost již zmíněného poloměru zaoblení hrany tažníku  $r_{tu}$  se pak určuje dle typu a pořadí tažné operace, přičemž by měla vždy být menší nebo rovna velikosti poloměru tažné hrany tažnice, pokud je to možné. V případě použití pro mezitah (nejde o poslední tažnou operaci) se užívá pouze zkosení hrany tažníku pod úhlem (30 až 45) °. Poloměr zaoblení hrany tažníku pro poslední tah (tvorba konečného tvaru výtažku) je pak roven vnitřnímu poloměru zaoblení dna výtažku  $r$ . Vzhledem k velikosti průměru výtažku a tloušťky stěny se volí:

$$r_{tu} = (3 \div 7) \cdot s_0 \text{ [mm]}, \quad (2.28)$$

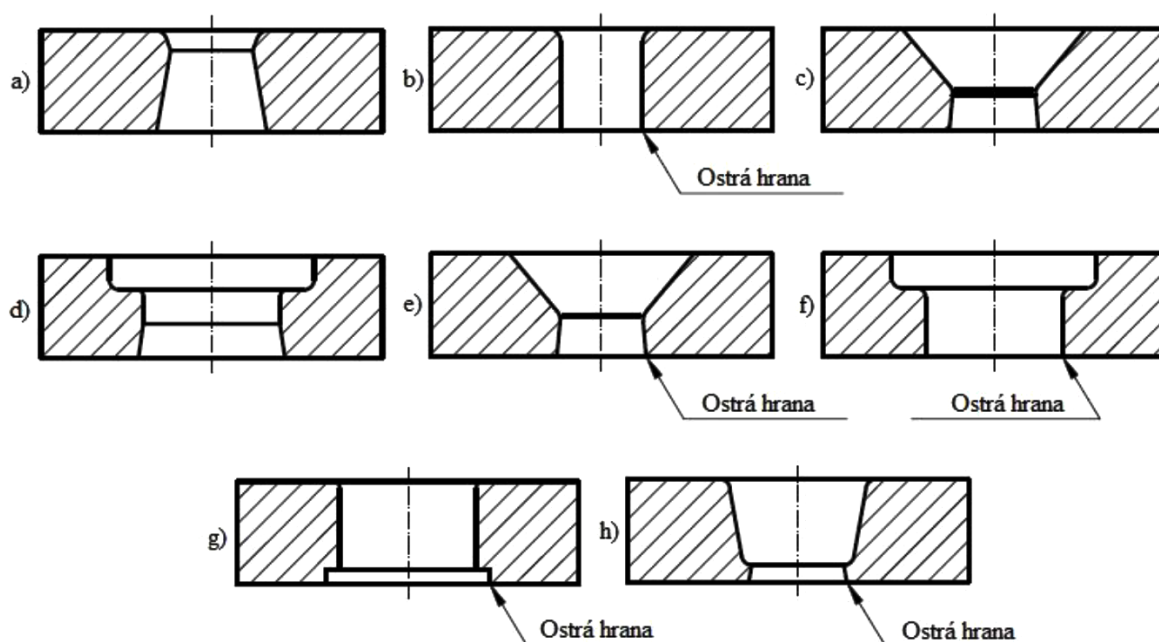
přičemž musí být dodržena minimální hodnota dle tabulky 9. V případě menší hodnoty poloměru zaoblení tažníku je třeba zahrnout kalibrační operaci.

Tab. 9 Minimální hodnoty zaoblení hrany tažníku [2]

Průměr tažníku [mm]	Poloměr zaoblení hrany tažníku [mm]
10 ÷ 100	$(3 \div 4) \cdot s_0$
100 ÷ 200	$(4 \div 5) \cdot s_0$
200 a více	$(5 \div 7) \cdot s_0$

## 2.6.2 Tažnice [2], [16], [19], [21], [25], [26], [29]

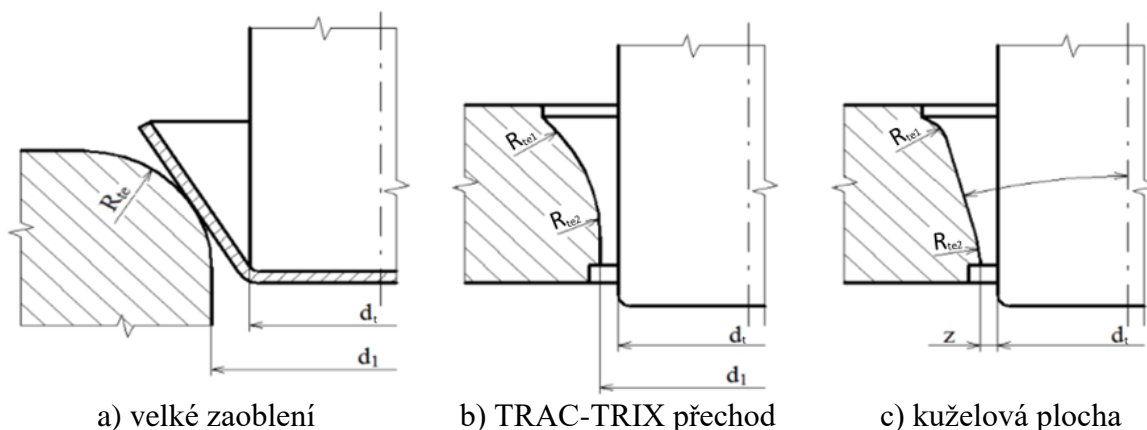
Další nezbytnou částí tažného nástroje je tažnice, jejíž tvar má rozhodující vliv na výrobní proces. Na rozdíl od tažníku se však nejedná o pohyblivou součást. Je totiž pevně upnuta k základní desce, a tím i ke stolu stroje. Její tvar je taktéž závislý především na tvaru hotového výtažku, avšak záleží i na tvaru a rozměrech polotovaru a způsobu vyjmutí hotového produktu. Několik možností provedení tvaru tažnic lze vidět na obrázku 29.



- a) výtažek se vrací nad tažnici, kde je setřen,
- b) výtažek propadá pod tažnici a je setřen buď ostrou hranou, nebo stíračem,
- c) tažnice určená pro druhé a další tahy, kde se výtažek vrací nad tažnici,
- d) tažnice určená pro druhé a další tahy pro výtažky menších rozměrů (do 60 mm), které se vrací nad tažnici,
- e) tažnice určená pro druhé a další tahy, kde se výtažek propadá pod tažnici,
- f) tažnice určená pro druhé a další tahy pro výtažky menších rozměrů (do 60 mm), které propadají tažnicí,
- g) tažnice, která má zespodu odlehčený tažný otvor,
- h) tažnice vhodná pro tažení bez přidržovače, tažný otvor má kuželovitý tvar, výtažek propadá pod tažnici.

Obr. 29 Různá konstrukční řešení tažnic [29]

Zcela nejdůležitější částí tažnice je tažná hrana, přes kterou je materiál polotovaru vtahován do dutiny tažnice a prostorově ohýbán. To však vede k rychlému opotřebování materiálu tažné hrany, a proto je tato část tažidla nejnáročnější z hlediska mechanických vlastností. Z tohoto důvodu vznikla celá řada úprav tažné hrany za účelem dosažení co nejmenších odporů při vnikání polotovaru do otvoru tažnice, např. užití velkého zaoblení nebo tzv. „TRAC-TRIX“ přechodu, viz obr. 30.



a) velké zaoblení

b) TRAC-TRIX přechod

c) kuželová plocha

Obr. 30 Možnosti úprav tažné hrany [19]



Pro jednodušší výtažky menších rozměrů se dají použít celistvé tažnice, které jsou zcela vyráběny z nástrojových ocelí (např. 19 191, 19 436). Opět je ale běžnou praxí konstruovat tzv. „vlozkované“ tažnice, což pomáhá snížit náklady na materiál, jelikož pouze nejdůležitější části jsou vyrobeny z drahé nástrojové oceli. Materiály pro výrobu vložek jsou často keramické kompozity či slinuté karbidy.

Na obrázku 30 je také vyznačen tzv. „tažný poloměr“  $R_{te}$ , který představuje velmi důležitý parametr v procesu tažení. S jeho růstem se zvětšuje hloubka, kterou lze vytáhnout, a zároveň se snižuje potřebná tažná síla. Avšak má to svá omezení. Jelikož se s jeho rostoucí hodnotou zmenšuje plocha přístříhu pod přídržovačem, zvyšuje se riziko zvlnění materiálu. Na druhou stranu, pokud je hodnota tažného poloměru příliš nízká, tažený materiál je nadměrně namáhán a může docházet k trhlinám. Správná volba tažného poloměru tedy značně ovlivní jakost konečného výtažku. Podle pořadí konkrétního tahu se užívá různých metod určení této hodnoty.

Obecně dle normy ČSN 22 7301 pro rotační výtažky i dle normy ČSN 22 7303 pro čtyřhranné výtažky lze tažný poloměr určit ze vztahu:

$$R_{te} = (6 \div 10) \cdot s_0 \text{ [mm]}, \quad (2.29)$$

přičemž pro první tah se užívá vyšších hodnot:

$$R_{te} = (8 \div 10) \cdot s_0 \text{ [mm]}, \quad (2.30)$$

a pro další tahy pak hodnot nižších:

$$R_{te} = (6 \div 8) \cdot s_0 \text{ [mm]}. \quad (2.31)$$

Některé zdroje uvádí pro rotační výtažky následující výpočet pro tažný poloměr při prvním tahu:

$$R_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{D_0 - d_1} \cdot s_0 \text{ [mm]}, \quad (2.32)$$

kde:  $D_0$  – průměr přístříhu [mm],

$d_1$  – průměr výtažku po první tažné operaci [mm],

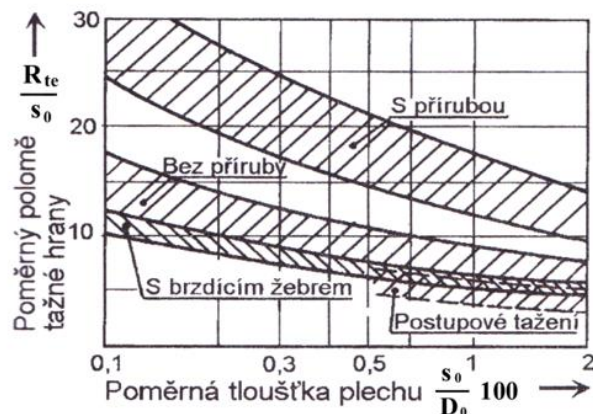
a při dalších tazích:

$$R_{te} = \frac{d_{n-1} - d_n}{2} \cdot s_0 \text{ [mm]}, \quad (2.33)$$

kde:  $d_n$  – průměr výtažku po provedení n-té tažné operace [mm],

$d_{n-1}$  – průměr výtažku před provedením n-té tažné operace [mm].

Orientačně lze také tažný poloměr pro různé typy tažení určit z grafu vyobrazeného na obrázku 31.



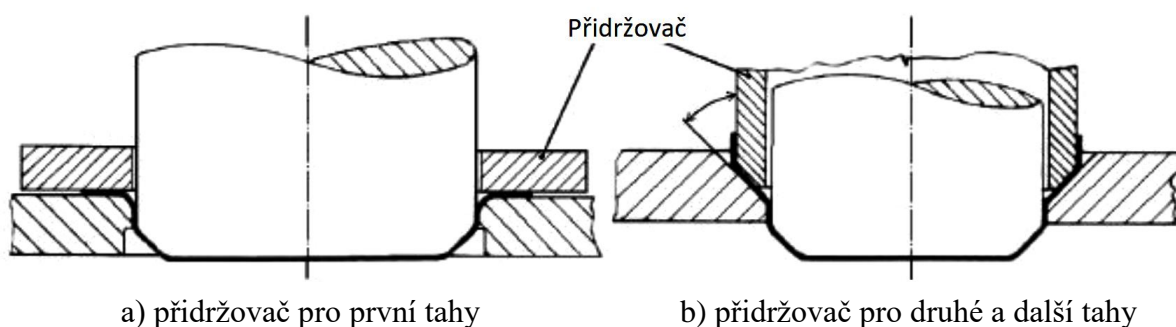
Obr. 31 Doporučené hodnoty  $R_{te}$  [21]

### 2.6.3 Přidržovač [2], [15], [16], [19], [21], [26], [30]

Funkcí přidržovače je zabránění vzniku vln a záhybů na výtažku, viz obr. 32. Zvlnění bývá nejčastěji způsobeno ztrátou stability na přírubě v důsledku působících napětí a deformací, avšak příčinou může být například i anizotropie tvářeného plechu či nesprávná volba maziva. Přidržovač svou plochou přitlačuje tvářený materiál na tažnici, a zpomaluje tím tok materiálu přes tažnou hranu. Dále také pomáhá vystředit tažník a má pozitivní vliv v případě jeho namáhání na vzpěr. Tvar se výrazně liší při použití pro první tahovou operaci, kdy se využívá rovinného přidržovače, a pro další tahy, u kterých se využívá zkosení přidržovače pod úhlem (30° až 45)°, viz obr. 33. V praxi se užívá několik typů přidržovačů – pružinové, pneumatické a hydraulické. Konstrukce a montáž pružinových přidržovačů je velmi jednoduchá, a tak jsou využívány nejčastěji, avšak vzniká u nich problém s regulací jmenovité síly. V případě nutnosti se tedy využívá jiných typů. U vícečinných lisů bývá přidržovač poháněn pomocí vačkových, vačko-pákových či kliko-pákových mechanismů. V tomto případě může být přidržovač ovládán zcela nezávisle například pomocí druhého beranu.



Obr. 32 Ukázka zvlnění výtažku [30]



a) přidržovač pro první tahy

b) přidržovač pro druhé a další tahy

Obr. 33 Konstrukce přidržovačů [19]

Nutnost použití přidržovače vyplývá převážně z empirických vztahů. Je ovšem potřeba zohlednit celou řadu faktorů, jako např. tloušťku a mechanické vlastnosti tvářeného materiálu, součinitel tažení, tažnou mezeru či mazání. Například mělké nebo tlustostěnné výtažky zpravidla nevyžadují použití přidržovače, naopak pro součásti vyráběné na více tahů je přidržovač nepostradatelnou částí tvářecího procesu. Platí, že plechy do tloušťky 0,5 mm se vždy táhnou s přidržovačem. U výtažků nerotačního tvaru se nutnost použití přidržovače odvíjí od rozdílu poloměrů v rozích výtažku. Čím větší rozdíl, tím spíše je nutno přidržovač použít, aby nevznikl defekt.

Dle normy ČSN 22 7301 pro tažení válcových výtažků se volí použití přidržovače podle koeficientu „ $\alpha$ “:

$$\alpha = 50 \cdot \left( Z - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) [-], \quad (2.34)$$

kde: Z – materiálová konstanta (příklady hodnot lze najít v tabulce 10) [-].



Koeficient je poté porovnán následujícím způsobem. Pro první tah platí:

$$\alpha \geq 100 \cdot \frac{d_1}{D_0} \dots \text{platí, že je nutné použít přidržovač,}$$

$$\alpha < 100 \cdot \frac{d_1}{D_0} \dots \text{platí, že není potřeba použít přidržovač.}$$

V dalších tažných operacích platí, že přidržovač je nutno použít, je-li:

$$\frac{d_n}{d_{n-1}} < 0,9. \quad (2.35)$$

Tab. 10 Vybrané hodnoty materiálové konstanty dle ČSN 22 7301 [2]

Materiál	konstanta Z
Ocelový hlubokotažný plech	1,90
Mosazný plech	1,95
Hliníkový plech	2,00

Dle Šofmana (viz literatura [21]) lze táhnout bez přidržovače při splnění podmínky:

$$D_0 - d \leq 18 \cdot s_0. \quad (2.36)$$

Freidling k určení potřeby použití přidržovače vychází z poměrné tloušťky:

$$\Delta s = \frac{s_0}{D_0} \cdot 100 [-], \quad (2.37)$$

přičemž, je-li  $\Delta s < 1,5$  – je nutné použít přidržovač,  
 $\Delta s > 2$  – není nutné použít přidržovač,  
 $\Delta s \in (1,5 \div 2)$  – je zapotřebí ověřit způsob tažení.

Při zjištění nutnosti použití přidržovače je důležité správně určit jeho měrný tlak. Jeho velikost lze stanovit z grafů nebo tabulek v závislosti na druhu a tloušťce taženého materiálu, viz tabulky 11 a 12. Avšak v praxi se často určuje experimentálně tak, aby nevznikl defekt na základě nežádoucích vlivů v materiálu. Tlak přidržovače nesmí být příliš velký, což by bránilo plynulému vtahování do tažnice a hrozil by vznik trhlin. Naopak pokud by byl tlak příliš malý, mohlo by dojít ke zvlnění výtazku.

Tab. 11 Měrné tlaky přidržovače v závislosti na druhu taženého materiálu [2]

Materiál	$p_p$ [MPa]
Ocelový hlubokotažný plech	(2 ÷ 3)
Nerezový plech	(2 ÷ 5)
Měděný plech	(1,2 ÷ 1,8)
Mosazný plech	(1,5 ÷ 2)
Hliníkový plech	(0,8 ÷ 1,2)

Tab. 12 Doporučené tlaky přídržovače v závislosti na tloušťce taženého plechu [15]

Tloušťka taž. plechu [mm]	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5
Tlak přídržovače $p_p$ [MPa]	2,1÷2,5	2,0÷2,4	2,0÷2,4	1,9÷2,3	1,8÷2,3	1,8÷2,2	1,8÷2,1	1,8÷2,1

Obecně (i pro nerotační výtahky) lze přídržovací sílu určit pomocí přídržovacího tlaku ze vzorce:

$$F_p = S_p \cdot p_p \quad [\text{N}], \quad (2.38)$$

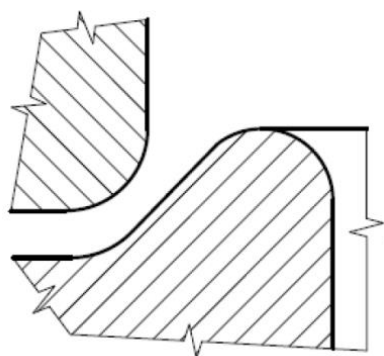
kde:  $S_p$  – činná plocha přídržovače [ $\text{mm}^2$ ],

$p_p$  – měrný tlak přídržovače, viz tabulky 11 a 12 [MPa].

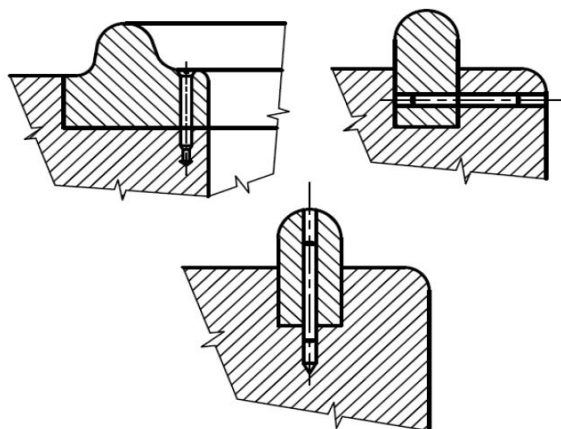
### 2.6.4 Žebra [2], [16], [26]

Jak bylo zmíněno výše, při tažení velkých či tvarově složitých dílců je vhodné užití žeber. Jejich funkcí je zabránit negativním vlivům nerovnoměrných deformací, jako např. volnému napínání a sbíhání materiálu vedoucímu k tvorbě vln. V principu se jedná o řízené zrychlování či zpomalování toku materiálu umístěním žeber na vrchní plochu tažnice nebo spodní plochu přídržovače. Při procesu tažení se tím v materiálu navyšuje tangenciální napětí, což má kladný vliv na parametry tažení. V praxi se užívají dva základní typy žeber:

- Vtahovací – jde o zaoblený výstupek umístěný na tažnici, přes který je materiál vtahován do dutiny tažnice, viz obr. 34. Doporučená hodnota poloměru zaoblení vťahovacích žeber je  $(3 \div 10) \cdot s_0$ . Tento typ žebra se užívá převážně u válcových výtahků,
- Brzdicí – nejčastěji užívaný typ. Tato žebra zbrzdí vtahovaný materiál a nebývají rozmístěna po celém obvodu tažné hrany. Dle potřeby jich může na tažnici či na přídržovači být umístěno i více za sebou. Tento typ žeber se často užívá u složitých výtahků a nejčastěji jsou umísťována pouze v rovinných částech. Z konstrukčního hlediska se často využívá vložkované varianty brzdících žeber, viz obr. 35. Přesná poloha a odstup jednotlivých brzdících žeber se určují experimentálně, avšak některé zdroje uvádí, že musí být umístěna nejméně 30 mm od tažné hrany. Dalšími podstatnými parametry jsou například výška a poloměr zaoblení žebra.



Obr. 34 Vťahovací žebra [26]

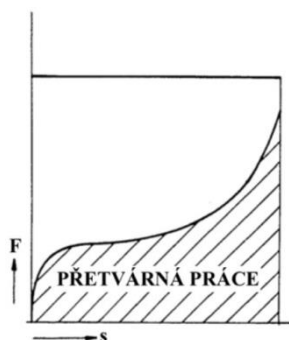


Obr. 35 Brzdicí žebra [26]

## 2.7 Stroje [16], [19], [29], [31], [32], [33], [34]

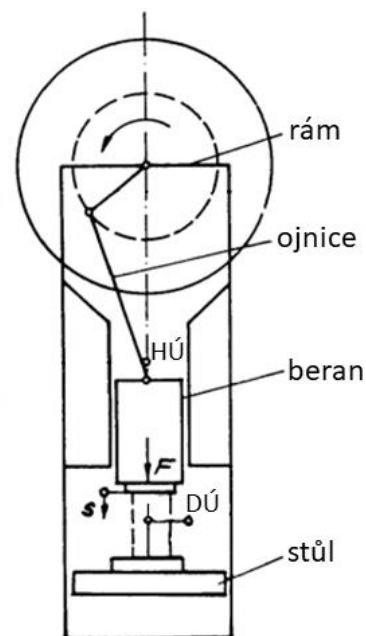
Nedílnou součástí výrobního cyklu výtažku je také výběr tvářecího stroje. Pro hluboké tažení se užívá tzv. tažných lisů. Energie vyvinutá strojem se převádí na nástroj, který, jak bylo uvedeno v kapitole 2.6, je upnut na beranu a na stole stroje. Nejdůležitějším parametrem pro výběr správného lisu je jmenovitá síla, kterou vybraný stroj dokáže působit. Dalšími parametry volby stroje mohou být například velikost zdvihu, pracovní prostor stolu či počet zdvihů za minutu. Z pohledu mechanismu přenosu energie se tažné lisy dělí na 2 základní typy:

- Mechanické – jinak také „zdvihové“, využívají obou složek mechanické energie (potenciální, kinetická) k překonání deformačního odporu polotovaru. Základními parametry jsou jmenovitá síla a dráha, na které může tato síla působit. Dva nejpoužívanější typy mechanických lisů jsou klikový a výstředníkový, přičemž klikové lisy jsou pro plošné tváření využívány úplně nejčastěji. Schéma klikového lisu lze vidět na obrázku 36. Beran stroje koná přímočarý pohyb mezi horní úvratí (HÚ) a dolní úvratí (DÚ), čímž je také udán zdvih stroje. Tyto stroje mají jednoduchou konstrukci a poměrně velkou výrobnost. Na obrázku 37 je znázorněn průběh síly, kde lze



Obr. 37 Průběh síly mechanického lisu [29]

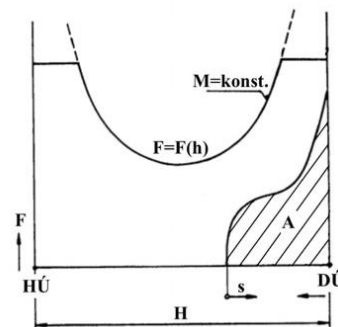
zpozorovat, že k největšímu nárůstu síly dochází až těsně před dosažením dolní úvratí. To je velkou nevýhodou, jelikož prakticky je užitečná pouze jedna čtvrtina otáčky. V momentě jejího dosažení také však vzniká nebezpečí



Obr. 36 Schéma mechanického lisu [31]

přetížení stroje a potenciálně zaseknutí. Aby se zabránilo poškození stroje, užívá se pojistek různých druhů (např. sřížné, trhací či třecí).

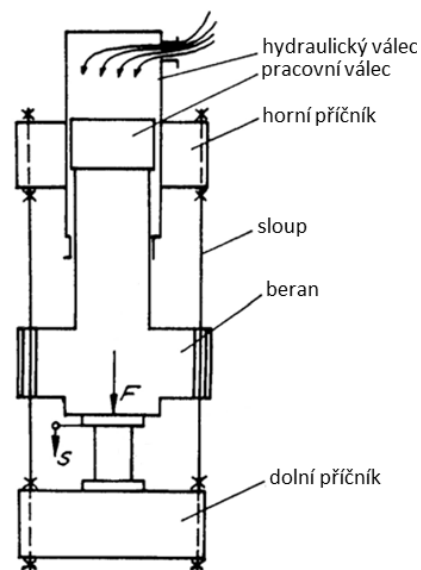
- Hydraulické – jinak také „silové“, fungují na principu Pascalova zákona, tj. na rovnoměrném šíření tlaku v kapalinách ve všech směrech. Hydraulická kapalina (olej), pomocí tlaku vyvolaného čerpadlem, působí na píst, který tlačí beran a vyvíjí potřebnou tvářecí sílu. Jmenovitá síla je zde jediným základním parametrem stroje. Výhodou tohoto pohonu je možnost regulace síly i rychlosti klesání beranu. Průběh síly generované hydraulickými lisy je vyobrazen na obrázku 38. Dalšími přednostmi jsou větší pracovní zdvih, menší hlučnost nebo možnost mechanizace a automatizace. Také není zapotřebí pojistek, jelikož nevzniká přetížení. Nevýhodou je pak pořizovací cena, nižší produktivita a vyšší nároky na údržbu. Schéma hydraulického lisu lze vidět na obrázku 39.



Obr. 38 Průběh síly hydraulického lisu [29]

Z konstrukčního hlediska lze tažné lisy rozdělit na:

- Jednočinné – mají pouze jeden beran, a tudíž se většinou používají pouze na výrobu menších výtažků. V případě, že je zapotřebí užití přidržovače, je nutné ho zabudovat do konstrukce nástroje.
- Dvojčinné – na rozdíl od jednočinných již obsahují dva berany. Hlavní pohyb je zajištěn vnitřním beranem, který tak vykonává samotný proces tažení. Vnější beran pohybuje pouze přidržovačem, díky čemuž lze přidržovačem pohybovat nezávisle, což může být výhodné.
- Trojčinné – z konstrukčního hlediska jsou velmi podobné dvojčinným, ale mají navíc ještě třetí beran. Ten se pohybuje proti směru pohybu prvních dvou, což může být výhodné při tažení složitějších dílů. Využívá se jich například v automobilovém průmyslu.



Obr. 39 Schéma hydraulického lisu [31]

Dále lze tažné stroje dělit podle typu rámu na otevřené a uzavřené, viz obr. 40 a 41.



Obr. 40 Otevřený lis (typ C) [33]



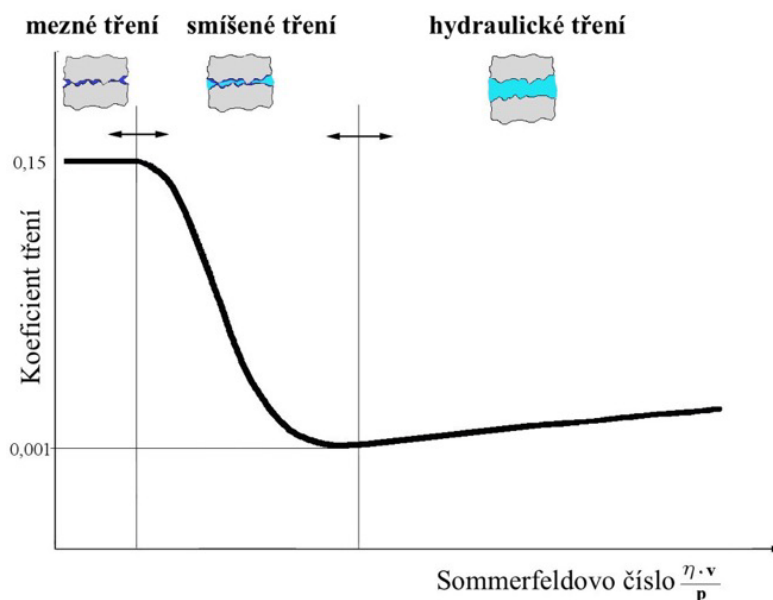
Obr. 41 Uzavřený lis [34]

## 2.8 Maziva pro tažení [16], [19], [20], [26], [35], [36], [37]

Při procesu tváření působí mezi nástroji a polotovarem vysoké tlaky, což vede k tvorbě tření. Ke snížení účinků tření se užívá mazání. Použitím vhodných maziv je možné také prodloužit trvanlivost nástrojů, snížit tvářecí síly i zlepšit jakost povrchu výtazku.

Jsou rozlišovány čtyři druhy tření:

- suché – tření, které vzniká při doteku dvou kontaktních ploch bez užití jakýchkoli maziv. V technické praxi se však téměř nevyskytuje, jelikož dokonale suchý povrch nelze zaručit,
- mezní – tření za přítomnosti velmi tenké vrstvy maziva (do 0,1  $\mu\text{m}$ ), čímž nepodléhá zákonům hydrauliky,
- hydraulické – nejžádanější druh tření. Jelikož je vrstva použitého maziva dostatečně široká, probíhá na úrovni vnitřního tření kapaliny a umožňuje zanedbat drsnost povrchu mazaných ploch, takže nedochází k opotřebení nástrojů,
- smíšené – přechod mezi třením mezním a hydraulickým.



Obr. 42 Striebeckův diagram [16]

Rozdělení jednotlivých druhů lze znázornit pomocí Striebeckova diagramu, viz obr. 42. Ten znázorňuje jednotlivé druhy tření v závislosti na součiniteli tření a Sommerfeldově čísle, což je bezrozměrná konstanta, kterou lze pro určité mazivo získat ze vztahu:

$$So = \frac{\eta \cdot v}{p} [-], \quad (2.39)$$

kde:  $\eta$  – absolutní viskozita maziva [ $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ],  
 $v$  – relativní rychlost pohybu ploch [ $\text{s}^{-1}$ ],  
 $p$  – působící tlak [ $\text{Pa}$ ].

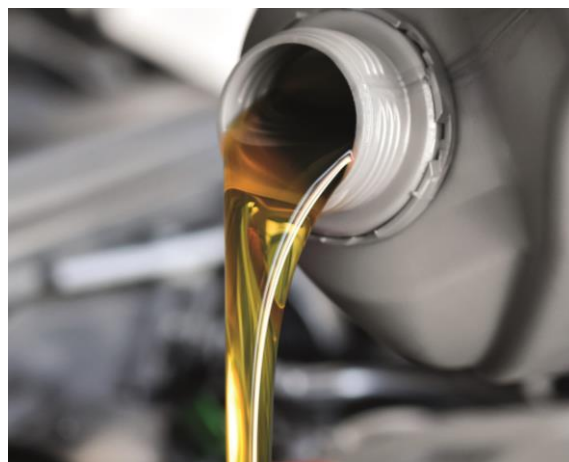
Zdaleka nejvíce tření vzniká na tažné hraně tažnice (až 75 % hodnoty všech třecích sil při tažení). Zbytek vzniklého tření tvoří síla od přidržovače a síla v tažné mezeře. Maziva je zapotřebí nanášet tak, aby nedošlo k poškrábání povrchu nástrojů a aby tvořila tenké soudržné vrstvy, které vydrží i při vysokých tlacích. Důležité také je vědět, kam se mají maziva aplikovat. Například třecí síly mezi tažníkem a polotovarem umožňují deformaci



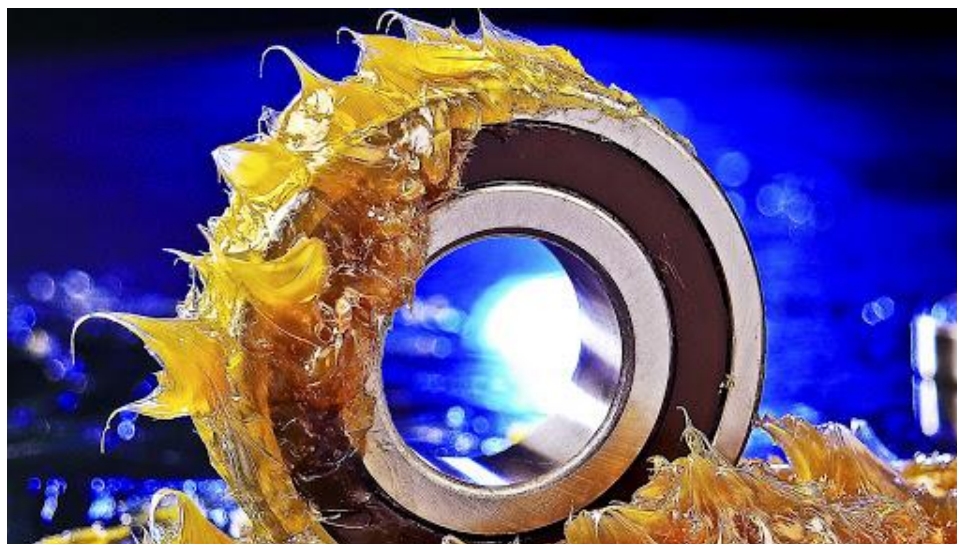
v požadovaném směru, a tudíž by se tyto plochy mazat neměly. Naopak mezi tažnicí a polotovarem nebo mezi přidržovačem a polotovarem je ke snížení třecích sil užití maziv nezbytné.

V závislosti na typu maziva se součinitel tření může pohybovat v intervalu  $(0,04 \div 0,2)$ , a tak se většinou jedná o smíšené nebo mezní tření. Maziva lze dělit do třech základních skupin:

- kapalná (obr. 43) – nejužívanější skupina, využívají se při méně náročných tazích (tlaky do 600 MPa). Patří mezi ně oleje a mýdlové či tukové roztoky. Výbornou mazací schopnost vykazují organické oleje, ale jsou poměrně finančně náročné. Minerální oleje jsou pro aplikace v tažení méně vhodné, avšak je možné je ředit s vodou a vytvářet tzv. emulze. Ty se často také tvoří z olejů syntetických a jejich výhodou je vysoká odolnost a dobrý chladicí účinek. Dále se užívá roztoků sodných a draselných mýdel s vodou. Ty jsou výhodné díky kvalitnímu odvodu tepla a snadnému odstraňování. Dříve se také užívalo olejů s příměsí chloru, kvůli dopadu na zdraví a ekologii byly však zakázány. Obecně jsou kapalná maziva hojně užívána pro jejich dostupnost a snadnou manipulaci,
- plastická (obr. 44) – také nazývána mazací tuky, jsou složena ze základových olejů, zpevňovačů a aditiv. V operacích tažení jsou užívána především pro svou perfektní přilnavost, díky čemuž zabraňují vniknutí nečistot do mazaných míst. Jejich výhodou je také výborná viskozita za zvýšených teplot. Ovšem jejich využití při hlubokém tažení je omezeno právě odvodem tepla, jelikož u nich vzniká větší množství vnitřního tření. Nejvýznamnějšími zástupci jsou lanolín a lůj,



Obr. 43 Kapalně mazivo [35]



Obr. 44 Plastické mazivo [36]

- pevná – nejméně využívaná skupina maziv, vhodná pro hluboké tažení složitých dílců. Mají nízkou tvrdost a vysokou afinitu ke kovům. Nejčastěji se užívá grafit a sirič molybdeničitý ( $\text{MoS}_2$ ). Své vlastnosti si zachovávají i za vysokých tlaků a teplot (grafit až  $800\text{ }^\circ\text{C}$ ), ale jejich odstranění je náročnější.

Lze využít také velké množství příměsí, a tak se s postupem času stále objevují nové roztoky s lepšími mazacími schopnostmi. Slibných výsledků se také dosahuje při nanesení velmi tenké vrstvy plastické hmoty (např. igelit), viz obr. 45. Tento tenký film musí mít dostatečné elastické vlastnosti, aby vydržel proces tváření bez roztržení či sloupnutí. Je to snadný způsob ochrany povrchu výrobku, který účinně zefektivňuje celý proces tažení. Po přetvoření lze jednoduše sloupnout z hotového výtažku, což také urychluje výrobní proces.



Obr. 45 Sejmutí filmu plastické hmoty z hotového výtažku [37]

Při takto široké škále je potřeba zohlednit velké množství faktorů pro výběr vhodného maziva. Hlavními jsou:

- velikost tlaků vzniklých během tažení,
- tvářecí teplota,
- náklady, včetně nanášení a odstraňování,
- odvod tepla.

Správná funkce maziva se však často testuje experimentálně.

## 2.9 Technologičnost [15], [19], [20]

Technologičností se označuje soubor zásad, jehož cílem je zajistit vyrobiteľnosť součásti danou technologií při co nejmenších výrobních nákladech a za co nejkratší výrobní čas. Míru technologičnosti lze určit pouze porovnáním jednotlivých konstrukčních alternativ. Bývá závislá na velikosti výrobní série.

Pro technologii hlubokého tažení je velmi důležitá správná volba materiálu. Z hlediska technologičnosti se volí co nejlevnější materiál, který splňuje požadavky součásti a zároveň umožňuje optimální výrobní proces. Vybraný materiál musí mít dostatečnou hlubokotažnost, což je ovlivněno širokou škálou faktorů. Nejdůležitějším je samotné složení materiálu, přičemž ideální jsou materiály s jednofázovou strukturou. Dále by zvolený materiál měl mít co nejjemnější zrno, nízký obsah nečistot, dobrou odolnost proti stárnutí a neměl by obsahovat vnitřní pnutí.

Technologie tažení je omezena určitými nedokonalostmi, například:

- tloušťka stěny nezůstává konstantní. Jak již bylo uvedeno, při procesu tažení vždy dochází ke změně tloušťky stěny. Rozdíly oproti výchozí tloušťce materiálu mohou dosahovat až  $(20 \div 30) \%$ , a to při vysoké hodnotě redukce tvaru výtažku,
- plášť výtažku bývá mírně kuželovitý ( $1^\circ$  až  $3^\circ$ ). Toto nastává v důsledku tažné mezery a elastické deformace (odpružení) materiálu,
- okraje výtažku zůstávají po přetvoření nerovné, a tak je zapotřebí počítat s ostřížením. Příčinou tohoto jevu bývá nestejněměrná tloušťka plechu či anizotropie mechanických vlastností materiálu,
- je potřeba zohlednit velikost poloměrů zaoblení výtažku. Zaoblení jsou často rizikovými místy, a proto je nutné navrhnout dostatečně velké hodnoty nebo zařadit více tažných operací,
- zhoršení drsnosti povrchu, zpevnění materiálu v některých místech výtažku.

Tyto nedokonalosti mohou být do jisté míry omezeny např. použitím jemnějšího odstupňování tahů či kalibrací. Avšak tato řešení bývají značně nákladná, a tak se v návrhu tažného procesu pokud možno dodržují tyto zásady:

- nepředepisovat toleranci tloušťky stěn výtažku,
- pokud to není nezbytné nezvětšovat výšku výtažku. Často tak lze předejít zvýšení počtu tažných operací,
- v případě, že se jedná o výtažek s přírubou, přírubu zbytečně nerozšiřovat. Zároveň ovšem musí být dbáno na pravidlo nejmenší šířky příruby,
- zaoblení přechodů příliš nezmenšovat, jelikož by vznikalo riziko tvorby zmetků,
- rozměrová přesnost výtažku závisí na jakosti nástrojů, materiálu a dodržení technologických podmínek. Platí, že čím tvárnější a tlustší tvářený plech je, tím přesnější budou rozměry výsledného výtažku. Při použití hlubokotažného plechu lze tažením bez kalibrace dosáhnout až stupně přesnosti IT11,
- složitost tvaru výtažku značně ovlivňuje výrobní náklady. Nejvýhodnější jsou válcové výtažky bez příruby s dnem kolmým k jejich ose. Odchylky od tohoto tvaru pak znamenají zdražení nástrojů a často i zvýšení počtu potřebných tahů.

## 2.10 Využití simulací v tvářecích procesech [1], [23], [38], [39], [40]

V dnešní době lze využít celé řady specializovaných softwarů určených k provádění numerických simulací tvářecích procesů. Tyto softwary s pomocí matematického modelování umožňují provádět širokou škálu analýz, například:

- výpočet ideálního polotovaru,
- rozbor tvářecí síly a práce,
- vykreslení průběhu napětí a deformací po průřezu tvářeného dílce,
- predikce odpružení,
- stanovení kritických míst vykreslením limitních tvářecích diagramů,
- průběh zatížení tvářecích nástrojů,
- optimalizace tvářených těles či nástrojů.

V rámci postprocessingu lze ze simulací získat mnoho různých výstupů. Pro posouzení funkčnosti tažného procesu je nejdůležitější limitní tvářecí diagram (FLD), viz obr. 46.

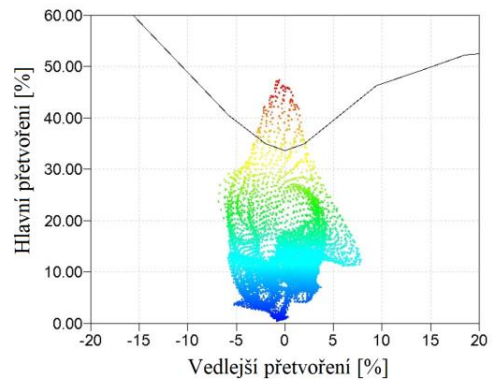
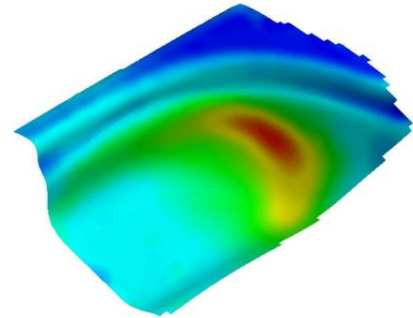


Využití numerických simulací je opravdu široké a často vede k velké úspoře času a výrobních nákladů. V technické praxi se využívá mnoho numerických metod, například:

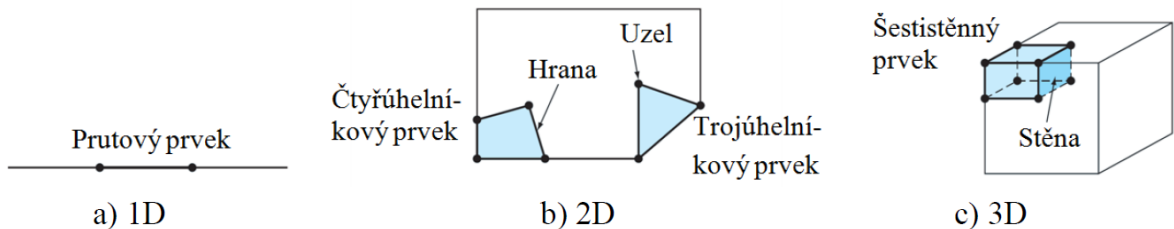
- metoda konečných diferencí,
- metoda oddělených prvků,
- metoda konečných objemů,
- metoda hraničních prvků,
- metoda konečných prvků,

přičemž poslední jmenovaná metoda konečných prvků (dále jen MKP) je zdaleka nejpoužívanější.

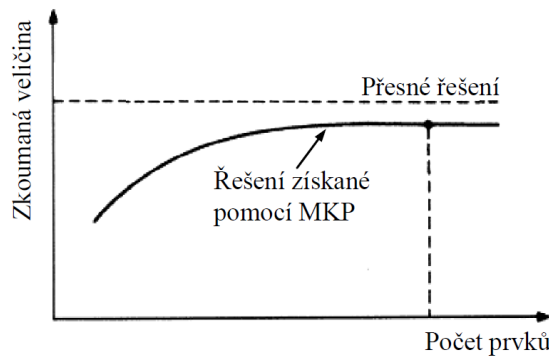
Princip MKP je založen na rozdělení řešeného objektu na síť prvků o konečných rozměrech – tzv. „diskretizace“. Základní rozdělení prvků dle dimenze lze vidět na obrázku 47. Zpravidla platí, že čím větší je hustota konečnoprvkové sítě (menší prvky), tím více se řešení vypočtené MKP blíží reálnému stavu. Avšak s rostoucím počtem prvků roste také náročnost na hardware a při dosažení určitého počtu prvků navíc přesnost zůstává konstantní, viz obr. 48. Poté se zavedou okrajové podmínky a software může dopočítat požadované hodnoty v jednotlivých uzlových bodech sítě.



Obr. 46 Příklad vyhodnocení tvářeného plechu pomocí FLD [39]



Obr. 47 Rozdělení prvků konečnoprvkové sítě dle dimenze [38]



Obr. 48 Přesnost výpočtu MKP v závislosti na hustotě sítě [38]

### 3 NÁVRH VÝROBY

Řešená součást je dutá obdélníková nádoba s několika otvory, viz kap. 1. Bude vyráběna firmou PBS Velká Bíteš jako pouzdro k jednonábovému zapalování. Půdorysné rozměry součásti jsou 90 x 70 mm. Výška nádoby činí 47 mm a tloušťka stěny 0,5 mm. Ostatní rozměry jsou k dispozici na výkrese DP2020-161461-03. Použitým materiálem je ocel DC01 bez jakýchkoli předepsaných povrchových úprav. Výrobní série byla zvolena 15 000 ks · rok<sup>-1</sup>.

Vzhledem k velikosti a nerotačnímu charakteru součásti se po tažné operaci musí počítat s nutností zařazení operace ostřížení. Výše zmíněné otvory a jejich poloha jsou jedinými tolerovanými rozměry, avšak technologický postup tvorby hotové součásti by byl příliš rozsáhlý, a tudíž je práce zaměřena pouze na část tvorby produktu zabývající se tažením. Model pouzdra po tažné a ostříhvací operaci lze vidět na obrázku 49.



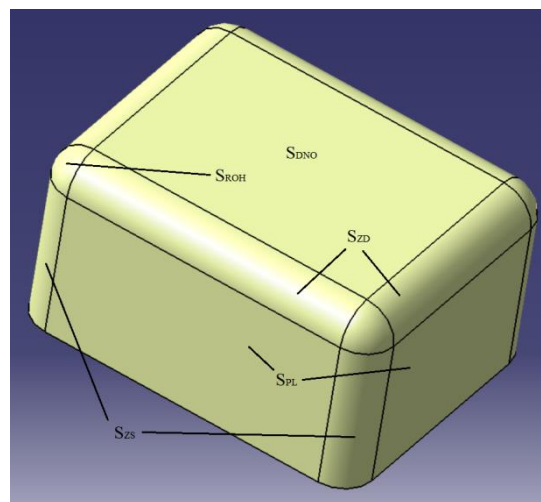
Obr. 49 Model řešené součásti po tažné a ostříhvací operaci

Z hlediska technologičnosti je zřejmé, že na součásti nejsou žádné ostré přechody, a tudíž by vybraná technologie (hluboké tažení pevným nástrojem) mohla vyhovovat. Také kolmost dna a pláště s nepříliš přísnými požadavky na povrch součásti jsou z technologického hlediska vhodné. Vzhledem k poměrně nízké tažnosti použitého materiálu by však problémy mohl tvořit stranový tok a s ním spojené nedostatečné zatékání kovu do některých míst výtažku. Vnitřní poloměr zaoblení u dna nádoby činí pouze 8 mm, a tak se dá předpokládat, že v rozích výtažku budou vznikat kritická místa. Zda bude součást vyrobitelná danou technologií s určenými parametry, bude ověřeno počítačovými simulacemi. V případě rizika tvorby defektu lze upravit zvolený materiál nebo další parametry jako např. poloměr zaoblení dna součásti nebo užití brzdících žeber. Za účelem ušetření finančních prostředků je zde snaha o dosažení požadovaného tvaru jediným tahem, což se vzhledem k tvarové jednoduchosti součásti zdá být reálné.

#### 3.1 Stanovení tvaru a velikosti přístřihu [15], [25]

Jak již bylo zmíněno, určení vhodného polotovaru zadaného výtažku je důležité a může přispět k výrazné úspoře materiálu. Existuje několik způsobů sestrojení požadovaného tvaru. Zde bude vycházeno ze zákona stálosti ploch a povrch bude porovnán s jednotlivými postupy popsány v podkapitole 2.2.1, přičemž bude zohledněn přídavek na ostřížení.

K výpočtu na základě zákona stálosti ploch se výtažek rozdělí na jednoduché plochy, jejichž plocha bude vypočítána a sečtena. Na obr. 50 je znázorněno, jak byla součást rozdělena.



Obr. 50 Rozdělení povrchu výtažku

- Výpočet obsahu plochy dna:

$$S_{DNO} = l_A \cdot l_B = 73 \cdot 53 = 3\,869 \text{ mm}^2,$$

$$\text{příčemž: } l_A = A - 2 \cdot R = 90 - 2 \cdot 8,5 = 73 \text{ mm},$$

$$l_B = B - 2 \cdot R = 90 - 2 \cdot 8,5 = 53 \text{ mm},$$

- Výpočet obsahu plochy pláště bez zaoblení:

$$S_{PL} = 2 \cdot l_A \cdot h_s + 2 \cdot l_B \cdot h_s = 2 \cdot 73 \cdot 38,5 + 2 \cdot 53 \cdot 38,5 = 9\,702 \text{ mm}^2,$$

$$\text{příčemž: } h_s = H - r = 47 - 8,5 = 38,5 \text{ mm},$$

- Výpočet obsahu ploch zaoblení rohů dna:

$$S_{ROH} = 2 \cdot \pi \cdot r^2 = 2 \cdot \pi \cdot 8,5^2 = 453,96 \text{ mm}^2,$$

- Výpočet obsahu ploch zaoblení stěn:

$$S_{ZS} = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot h_s = 2 \cdot \pi \cdot 8,5 \cdot 38,5 = 2\,056,17 \text{ mm}^2,$$

- Výpočet obsahu ploch zaoblení dna:

$$S_{ZD} = \pi \cdot r \cdot (l_A + l_B) = \pi \cdot 8,5 \cdot (73 + 53) = 3\,364,65 \text{ mm}^2,$$

- Celková vnější plocha výtažku:

$$S = S_{DNO} + S_{PL} + S_{ROH} + S_{ZS} + S_{ZD}$$

$$S = 3\,869 + 9\,702 + 453,96 + 2\,056,17 + 3\,364,65 = 19\,445,78 \text{ mm}^2.$$

Dále bude provedeno určení rozměrů polotovaru graficko-početní metodou podle Tišnovského. Dle postupu, který byl popsán v kapitole 2.2.1, je nejdříve potřeba spočítat několik pomocných rozměrů. Rozvinutou výšku H lze zjistit dle vzorce (2.1):

$$H = h_s + \frac{\pi \cdot r}{2} + R - r = 38,5 + \frac{\pi \cdot 8,5}{2} + 8,5 - 8,5 = 51,85 \text{ mm}.$$

Tato výška bude zaokrouhlena nahoru a ještě zvětšena o 2 mm (dle tabulky 4) na výsledných 54 mm v rámci přídatku na ostřížení. Dále je třeba zjistit velikost poloměru kruhového přístřihu potřebného k tažení pomyslného válcového výtažku vytvořeného spojením rohových částí. K tomu se využije vzorec (2.2):

$$R_C = \sqrt{2 \cdot R \cdot h_s + R^2 + 1,14 \cdot R \cdot r} = \\ = \sqrt{2 \cdot 8,5 \cdot 38,5 + 8,5^2 + 1,14 \cdot 8,5 \cdot 8,5} = 28,44 \text{ mm}.$$

Poloměr bude opět zaokrouhlen nahoru na výrobitelných 29 mm.

Dokončení postupu bylo uskutečněno v softwaru CATIA, kam byly rozměry převedeny, a byl vytvořen náčrt. Výsledný teoretický polotovár lze vidět na obrázku 51 (zvýrazněn červeně). Následně byl pomocí tohoto softwaru určen obsah polotovaru  $S_{POL}$ , jenž vyšel 20 021,52 mm<sup>2</sup>. Tato hodnota je přibližně o 2,96 % vyšší než spočtená hodnota povrchu výtažku. Tento nárůst se vzhledem k tvarové jednoduchosti součásti zdá být jako přídavek na ostřížení dostatečný.

Dalším způsobem stanovení velikosti polotovaru byl postup dle normy ČSN 22 7303. V první řadě je třeba stanovit, zda je splněna následující podmínka:

$$\frac{D}{2} > r \rightarrow \frac{16}{2} \ngtr 8 \rightarrow 8 \ngtr 8.$$

Řešená součást očividně podmínku nesplňuje, a proto tvar polotovaru nebude dle této normy počítán.

K určení ideálního tvaru polotovaru lze také využít výpočetní techniky. Tento způsob však bude v případě potřeby uveden níže.

### 3.2 Určení počtu tažných operací a tažné mezery [15], [25]

Existuje několik způsobů určení počtu operací potřebných k vytažení konkrétního výtažku. Jelikož byl zvolen hlubokotažný materiál a jedná se o pravidelný čtyřhranný výtažek, lze předpokládat, že by mohl být zhotoven v jediné tažné operaci. K potvrzení této domněnky bude nejdříve spočítána orientační maximální výška výtažku zhotovitelná prvním tahem dle tabulky 5:

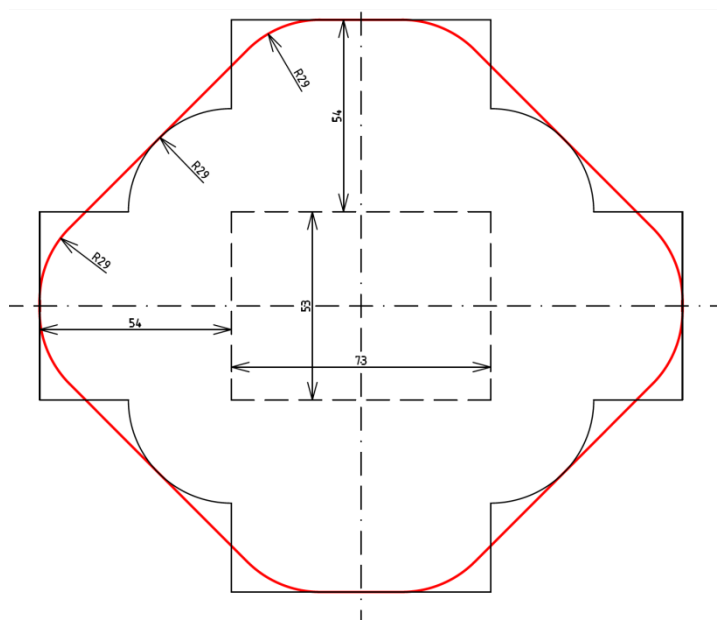
$$R = 8,5 \Rightarrow \text{spadá do intervalu } (5 \div 10) \text{ mm} \Rightarrow h_{\max} = 7 \cdot R = 7 \cdot 8,5 = 59,5 \text{ mm},$$

kde:  $h_{\max}$  – přibližná maximální výška vytažitelná jedním tahem [mm].

Maximální výška dle rohového poloměru zaoblení součásti vyšla 59,5 mm. Celková výška pouzdra činí 47 mm, z čehož vyplývá, že by mělo jít vytáhnout v jedné operaci. Je však zapotřebí tento fakt ověřit, což bude provedeno pomocí vypočtení součinitele tažení. Dle literatury [25] se pro hlubokotažné plechy součinitel tažení v prvním tahu volí v intervalu (0,25 ÷ 0,4). Konkrétní výpočet pro zadanou součást se provede dle vzorce (2.14):

$$m_1 = m_c = \frac{R_1}{R_0} = \frac{R}{R_c} = \frac{8,5}{29} = 0,293.$$

Tato hodnota vychází v požadovaném intervalu, což dále potvrzuje schopnost vytáhnout součást v jediné tažné operaci. Do tažného procesu ovšem vstupuje spousta dalších faktorů,



Obr. 51 Sestrojení výsledného tvaru polotovaru dle Tišnovského [15]

tudíž bude pro další ověření celý proces simulován v softwaru PAM-STAMP. Nejdříve je ale zapotřebí určit ostatní technologické parametry, jako např. tažnou mezeru.

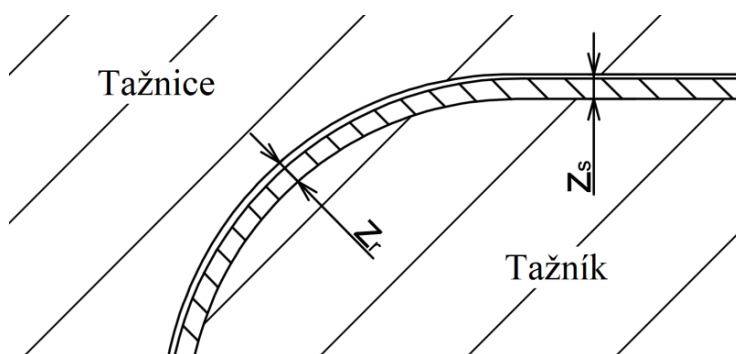
Tažnou mezeru lze opět stanovit několika způsoby. Zde se bude vycházet z normy pro čtyřhranné výtažky ČSN 22 7303, a tak bude tažná mezera pro rovinné části výtažku vypočítána dle vzorce (2.18):

$$z_S = (1,15 \div 1,3) \cdot s_0 = 1,2 \cdot 0,5 = 0,6 \text{ mm.}$$

V rohových zaobleních pak tažná mezera dle vzorce (2.19) vyjde:

$$z_R = (1,3 \div 1,4) \cdot s_0 = 1,35 \cdot 0,5 = 0,675 \text{ mm.}$$

Hodnota tažné mezery v rozích bude zaokrouhlena na 0,68 mm. Rozdílné hodnoty tažné mezery jsou znázorněny v řezu tažným nástrojem na obrázku 52.



Obr. 52 Znázornění tažné mezery v řezu tažným nástrojem [25]

### 3.3 Volba přídržovače [15]

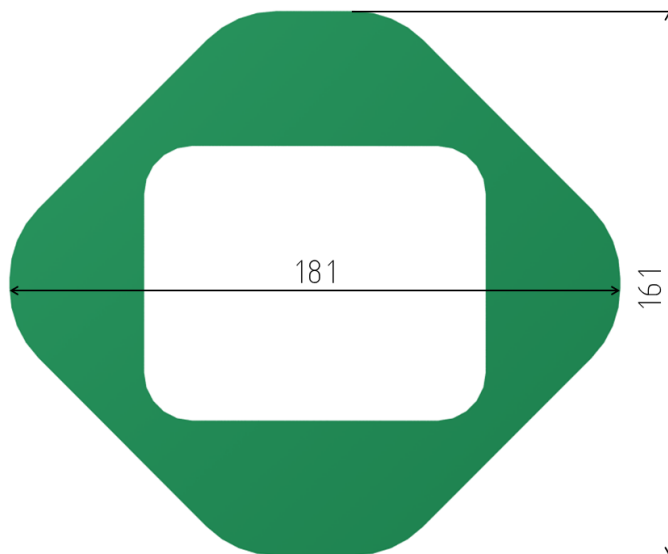
Dále je velmi důležité správně určit, je-li nutné použít přídržovač, aby se na výtažku netvořily vlny. Nerotační charakter a poměrně vysoká hodnota výšky řešené součásti naznačují, že přídržovač bude třeba do tažného procesu zařadit. Tuto domněnku lze snadno ověřit pomocí součinitele tažení. Jak bylo uvedeno v kap. 2.3, přídržovač pro souměrné pravoúhlé výtažky není potřeba použít v případě, že součinitel tažení přesáhne hodnotu 0,75. Pro zadanou součást byl vypočten součinitel tažení  $m_1 = 0,293$ . Tato hodnota zdaleka nedosahuje 0,75, a tudíž je potvrzeno, že vytáhnutí pouzdra bude vyžadovat použití přídržovače.

Pro výpočet přídržovací síly je nejdříve potřeba určit měrný tlak a činnou plochu přídržovače. Hodnota měrného tlaku přídržovače byla stanovena dle tabulky 12 na 2,2 MPa. Činnou plochu přídržovače lze získat odečtením vnějších rozměrů součásti s tažnou mezerou a tažným poloměrem od plochy polotovaru (viz obr. 53):

$$S_p = S_{POL} - [(A + 2 \cdot (z_s + R_{te})) \cdot (B + 2 \cdot (z_s + R_{te}) - 4 \cdot (R + z_R + R_{te})^2 + \pi \cdot (R + z_R + R_{te})^2] = 20021,52 - [(90 + 2 \cdot (0,6 + 5)) \cdot (70 + 2 \cdot (0,6 + 5) - 4 \cdot (8,5 + 0,675 + 5)^2 + \pi \cdot (8,5 + 0,675 + 5)^2] = 11\,976,56 \text{ mm}^2,$$

přičemž hodnota poloměru zaoblení tažné hrany byla zvolena dle vzorce (2.30):

$$R_{te} = (8 \div 10) \cdot s_0 = (8 \div 10) \cdot 0,5 \text{ mm} = (4 \div 5) \text{ mm} \Rightarrow R_{te} = 5 \text{ mm.}$$



Obr. 53 Činná plocha přídržovače

Hodnota činné plochy přídržovače byla také ověřena v softwaru CATIA. Nyní lze přejít k výpočtu přídržovací síly dle vzorce (2.38):

$$F_p = S_p \cdot p_p = 11\,976,56 \cdot 2,2 = 26\,348,43 \text{ N.}$$

Výsledná přídržovací síla bude zaokrouhlena nahoru na 26,4 kN. Po provedení simulace tažného procesu ji lze v případě potřeby zvýšit nebo zvažít užití brzdících žeber.

### 3.4 Výpočet tažné síly a práce [15]

Od velikosti tažné síly se přímo odvíjí výběr vhodného tažného lisu. V první řadě zde bude vypočtena maximální hodnota tažné síly aneb síla, při níž dochází k utržení dna výtažku. Tuto hodnotu lze stanovit ze vzorce (2.21):

$$F_{tMAX} = O \cdot s_0 \cdot R_m = 305,41 \cdot 0,5 \cdot 410 = 62\,608,45 \text{ N,}$$

přičemž obvod dna výtažku  $O$  se stanoví:

$$O = 2 \cdot (l_A + l_B) + 2 \cdot \pi \cdot R = 2 \cdot (73 + 53) + 2 \cdot \pi \cdot 8,5 = 305,41 \text{ mm.}$$

Maximální tažná síla činí přibližně 62,6 kN. Tato hodnota počítá s nejvyšší mezí pevnosti materiálu a bude níže porovnána se skutečnou vypočtenou tažnou silou, aby byla potvrzena vyrobiteľnosť součásti s danými parametry.

Před samotným výpočtem tažné síly pro zadanou součást je zapotřebí zvolit koeficienty  $C_1$  a  $C_2$  (viz kap. 2.5). Na základě poměru výšky výtažku a velikosti rohového zaoblení byl zvolen koeficient  $C_1 = 2$ . Poměrně nízká hodnota přídržovacího tlaku vede k volbě koeficientu  $C_2 = 0,5$ . Dále je potřeba spočítat celkovou délku rovných stěn výtažku  $L_s$  dle vztahu:

$$L_s = 2 \cdot l_A + 2 \cdot l_B = 2 \cdot 73 + 2 \cdot 53 = 252 \text{ mm.}$$

Tažná síla se nyní určí pomocí vztahu (2.24):

$$F_t = R_m \cdot s_0 \cdot (2 \cdot \pi \cdot C_1 \cdot R + C_2 \cdot L_s) = 410 \cdot 0,5 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot 8,5 + 0,5 \cdot 252)$$

$$F_t = 47\,726,90 \text{ N.}$$



Velikost tažné síly byla zaokrouhlena na 47,7 kN. Tato hodnota je znatelně nižší než hodnota síly na utržení dna ( $F_t < F_{tMAX}$ ), což značí možnost vytažení zadané součásti s danými parametry.

Celková síla při procesu tažení poté bude vypočtena dle vzorce (2.26). Jelikož zadaná součást neobsahuje přírubu, lze stírání výtažku provést propadáváním skrz tažnici, a tudíž není zapotřebí užití vyhazovačů:

$$F_c = F_t + F_p + F_v = 47,7 + 26,4 + 0 = 74,1 \text{ kN.}$$

Celková tažná síla vychází 74,1 kN. Tento údaj bude velmi důležitý při výběru tvářecího stroje níže.

Výpočet tažné práce bude proveden dle vzorce (2.27), přičemž bude uvažováno tažení bez kalibrace, a tak hodnota kalibračního součinitele  $C_k$  činí 0,66:

$$A_t = \frac{C_t \cdot F_c \cdot h}{1000} = \frac{0,66 \cdot 74 \cdot 100 \cdot 47}{1000} = 2298,58 \text{ J.}$$

Práce potřebná pro vytažení zadané součásti s danými parametry je přibližně 2,30 kJ.

### 3.5 Volba stroje [41], [42]

Jak již bylo zmíněno výše, po provedení výpočtu silových parametrů je dalším logickým krokem výrobního postupu volba vhodného tvářecího stroje. Seznam vybavení, kterým společnost PBS Velká Bíteš disponuje, není přesně znám, a tudíž zde byl zvolen nový tvářecí lis, vyhovující parametrům výroby zadané součásti.

Nejdůležitějšími parametry při hledání tažného stroje jsou tažná síla a práce. Dále je zapotřebí, aby stroj měl dostatečné rozměrové parametry pro provedení tažné operace, např. zdvih, délku a šířku stolu a jiné. V neposlední řadě je třeba zohlednit velikost výrobní série, která udává počet potřebných zdvihů za minutu, na základě čehož je přímo stanoven typ použitého stroje.

Pro výrobu zadané součásti se vychází z celkové síly tažného procesu, která vyšla 74,1 kN a práce 2,3 kJ. Stanovená výrobní série  $15\,000 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1}$  umožňuje použití poměrně nízké hodnoty zdvihů za minutu, a tudíž byl vybrán lis hydraulický. Konkrétně se jedná o výkonný vícečinný produkční lis ZH 10 od firmy Presshydraulika, s.r.o. Jak již název napovídá, jeho lisovací síla dosahuje hodnoty až 100 kN. Příklad lisu řady ZH lze vidět na obr. 54 a technické parametry zvolené varianty tohoto stroje jsou vyčísleny v tab. 13.



Obr. 54 Hydraulický lis řady ZH [42]



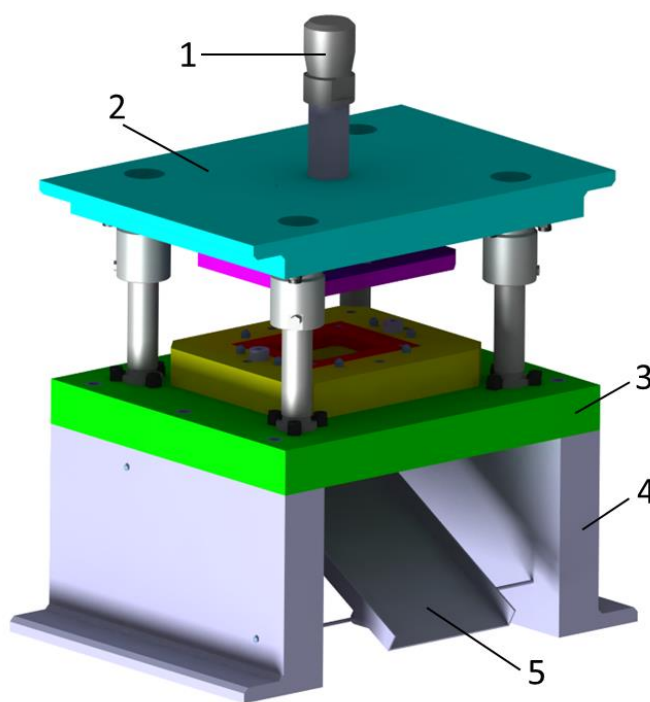
Tab. 13 Parametry hydraulického lisu ZH 10 [41]

Lisovací síla [kN]	100
Zdvih beranu [mm]	400
Pracovní rychlost [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	30
Přibližovací rychlost [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	250
Zpětná rychlost [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	160
Rozměry stolu [mm]	605 x 405
Rozměry beranu [mm]	455 x 355
Vyložení [mm]	250
Rozevření [mm]	600
Rozměry stroje [m]	1,24 x 1,03 x 2,78

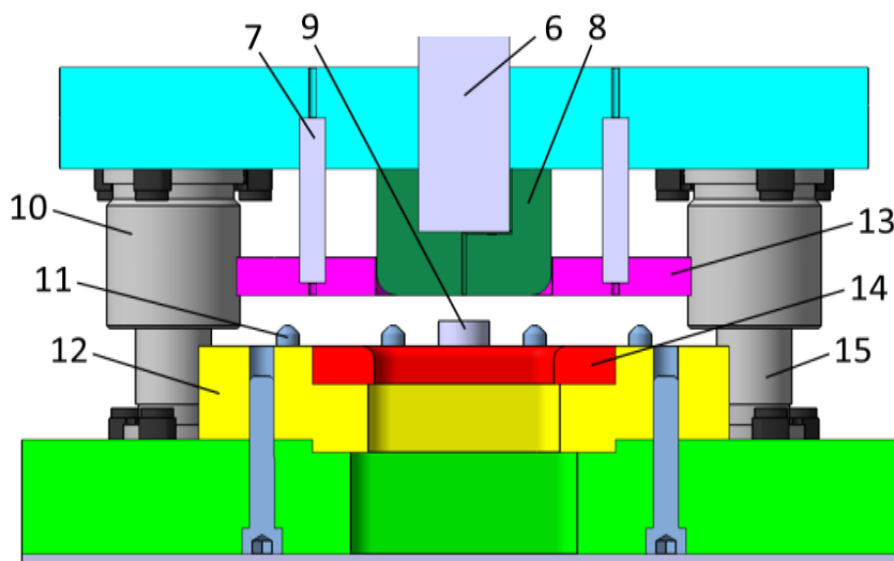
### 3.6 Návrh nástroje [7], [21], [43], [44], [45], [46]

Jelikož bylo určeno, že výtažek bude zhotoven jedním tahem, lze počítat s užitím jednoduchého tažného nástroje. S ohledem na stanovené parametry byl navržen nástroj skládající se ze tří hlavních částí, dvou pohyblivých (tažník, přidržovač) a jedné nepohyblivé (tažnice). Pohyblivé části nástroje musí mít možnost na sobě nezávislého pohybu, což je zajištěno užitím vícečinného tvářecího stroje. Celá kostra nástroje je tvořena základovou a upínací deskou spolu s polohovacími prostředky, blíže popsány níže. Model navrženého nástroje v otevřené poloze je vyobrazen na obrázku 55.

Spodní část nástroje je vsazena do základové desky (3), která je ke stolu lisu připevněna pomocí šroubů přes dvě přidavné boční stěny (4). Ty mají výšku 200 mm, čímž zaručují pohodlný prostor pro odvod výtažků. V základové desce jsou předvrtány čtyři otvory pro vodící sloupky a uprostřed desky je vyfrézován otvor pro propadávání hotových výtažků i zahloubení, jehož účelem je přesné ustavení tažnice, viz obr. 56. Za účelem finanční úspory byla zvolena vložková varianta tažnice. Držák tažnice (12) bude k základové desce připevněn šesti šrouby zesponu a vystředěn pomocí dvou diagonálně umístěných kolíků. Samotná tažnice (14) bude s držákem spojena pomocí čtyř šroubů a jako materiál k její výrobě byla zvolena nástrojová ocel 19 436. Přesnější rozměry tažnice lze nalézt na výkrese DP2020-161461-02.



Obr. 55 Tažný nástroj



Obr. 56 Řez tažným nástrojem

Na obrázcích lze také vidět osm pružinových zakládacích kolíků (11). Tyto součástky slouží k správnému založení přístřihu výtažku na tažnici před samotnou operací tažení. Jsou našroubovány do předchystaných otvorů na držáku tažnice a při dosednutí přidržovače (13) jsou zatlačeny dovnitř. Po provedení tažné operace se pak kolíky vrací do výchozí pozice k založení dalšího přístřihu. Detail uložení zakládacích kolíků lze vidět na obrázku 57.

Vrchní část nástroje zahrnuje dvě hlavní činné složky – tažník (pozice 8 na obr. 56) a přidržovač. Tažná síla je ze stroje do tažníku vedena pomocí stopky (1) a vodící tyče (6) umístěné v ose tažníku. V této ose v upínací desce (2) tedy bude předchystán otvor pro průchod vodící tyče. Ta bude na bocích opatřena drážkami zabráňujícími krouticímu pohybu tažníku. Vodící tyč bude ovšem tažnou silou namáhána na vzpěr, a tudíž je nutno provést kontrolu mezního stavu.

- Kritická síla na vzpěr vodící tyče – vychází z obecného vzorce pro určení kritické síly na vzpěr prvku:

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_s}{L_{vz}^2} \text{ [N]}, \quad (3.1)$$

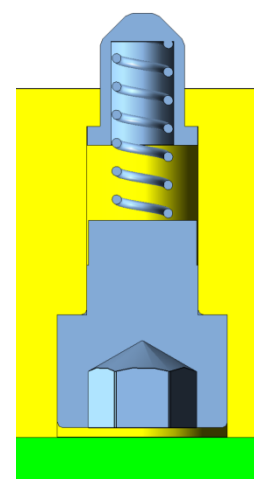
kde: E – Youngův modul pružnosti (pro ocel  $E = 2,1 \cdot 10^5$ ) [MPa],

$J_s$  – osový moment setrvačnosti [ $\text{mm}^4$ ],

$L_{vz}$  – vzpěrná délka (pro oboustranné vetknutí polovina délky prvku) [mm].

Vzhledem k velikosti drážek bude výpočet osového momentu setrvačnosti zjednodušen na kruhový průřez, a tudíž bude konkrétní výpočet kritické síly pro vodící tyč vypadat následovně:

$$F_{krV} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J_s}{L_{vz}^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 30^4}{64}}{37,5^2} = 26\,045,3 \text{ kN.}$$



Obr. 57 Zakládací kolík

Aby nedošlo ke ztrátě vzpěrné stability tyče, musí být splněna následující podmínka:  
 $F_t < F_{krV} \rightarrow 47,7 < 26\,045,3 \rightarrow 47,7 < 26\,045,3.$

Vypočtená kritická síla značně přesahuje sílu tažnou, z čehož lze konstatovat, že i přes zanedbání bočních drážek je vzpěrná stabilita v pořádku.

Tažník bude vyroben z nástrojové oceli 19 436 a jeho středem povede od vzdušňovací otvor o průměru 2 mm. Jelikož se výsledného tvaru dosahuje jediným tahem, poloměr zaoblení hrany tažníku musí odpovídat vnitřnímu zaoblení hran výtažku, a tudíž  $r_{tu} = 8$  mm. Přesnější rozměry tažníku obsahuje výkres DP2020-161461-01.

Upínací deska dále obsahuje čtyři v rozích umístěné otvory, které slouží k uložení vodicích pouzder (10). Čtyři menší otvory pak přísluší kolíkům (7) určeným k zajištění přídržovací síly. Tyto čtyři kolíky budou převádět sílu ze sekundárního beranu na přídržovač a budou do nástroje zalisovány. Použitý přídržovač bude rovinného tvaru se zkosením rohů a bude vyroben ze stejného materiálu jako tažník s tažnicí. Kolíky přenášející přídržovací sílu budou také namáhány na vzpěr, a proto je nutno provést kontrolu:

- Kritickou sílu na vzpěr kolíku – lze spočítat dosazením do vzorce (3.1):

$$F_{krK} = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 10^4}{64}}{20^2} = 2\,543,48 \text{ kN.}$$

Vzhledem k užití čtyř přídržovacích kolíků musí být splněna podmínka:

$$\frac{F_p}{4} < F_{krK} \rightarrow \frac{26,4}{4} < 2\,543,48 \rightarrow 6,6 < 2\,543,48.$$

Díky poměrně nízké přídržovací síle je tato podmínka snadno potvrzena a bezpečnost namáhání přídržovacích kolíků na vzpěr je v pořádku.

Přesné vedení mezi vrchní a spodní částí nástroje je zajištěno pomocí vodicích sloupek (15) a pouzder, které lze také vidět na obr. 55. Tyto prvky byly zvoleny pro nákup z katalogů společnosti FIBRO. Jejich připevnění do desek nástroje je snadno zprostředkováno pomocí malých šroubů ustavených na stranách těchto prvků. Názvy vybraných vodicích prvků jsou 2021.46.030.125 a 2081.91.030, a jejich přesnější specifikace lze nalézt v přílohách 4 a 5.

Hotové výtažky jsou skluzem (5) odváděny do zásobníku. Za účelem skladování nástroje budou na držák tažnice ještě umístěny dva dorazy (9), jejichž úkolem je zabránit stlačení pružinových zakládacích kolíků během odstavení nástroje. Materiály jednotlivých součástí a náčrt celé sestavy nástroje jsou vyobrazeny na výkrese DP2020-161461-00.

- Volba maziva – ke zlepšení trvanlivosti nástroje a zajištění hladkého průběhu tvářecí operace bude použito mazivo Moralub KFP 61 V od společnosti MOLYDUVAL GmbH. Jedná se o kapalné mazivo s nízkou viskozitou využívané pro stříhání, lisování a hluboké tažení ocelových plechů s nízkým obsahem uhlíku. Některé z jeho parametrů lze vidět v tabulce 14. Výhodou tohoto produktu je také snadné odstraňování, jelikož se z povrchu po dokončení tvářecího procesu bezzbytku odpaří. Pro účely tažení pouzdra zapalování by mělo být plně dostačující.

Tab. 14 Vlastnosti maziva MOLYDUVAL Moralub KFP 61 V [45]

<b>Třída viskozity (dle ISO-VG)</b>	2
<b>Viskozita při 40 °C [mm<sup>2</sup> · s<sup>-1</sup>]</b>	2 ÷ 3
<b>Hustota při 20 °C [kg · m<sup>-3</sup>]</b>	760
<b>Teplota vzplanutí COC [°C]</b>	63

- Technologický postup výroby – jak již bylo zmíněno, k zhotovení konečného tvaru součásti jsou kromě tažení zapotřebí i další výrobní operace. Jejich pořadí lze vidět v tabulce 15.

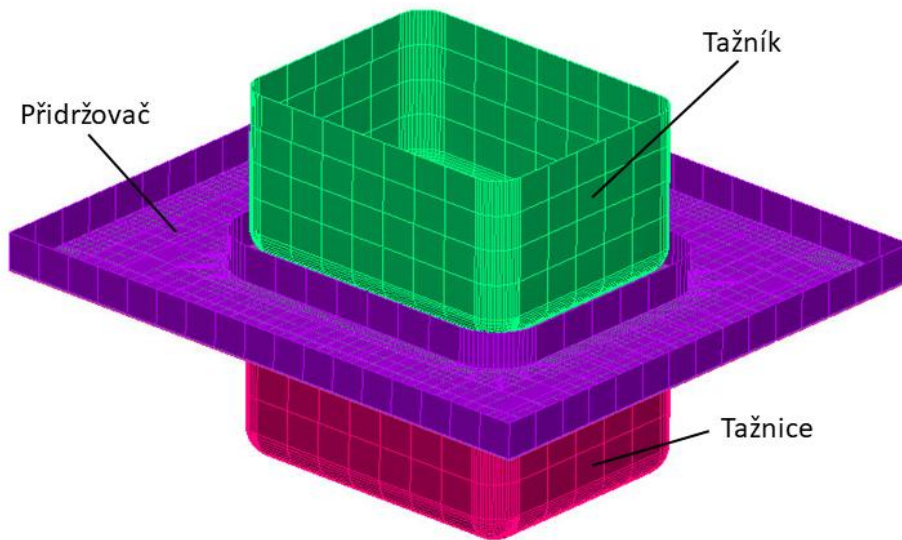
Tab. 15 Technologický postup výroby [7]

<b>Číslo operace</b>	<b>Operace</b>	<b>Stroj</b>
010	Řezání polotovaru z tabule plechu	Laser C.B.Ferrari
020	Nanášení maziva	-
030	Samotné tažení	Hydraulický lis ZH 10
040	Ostřížení výtažku	Kotoučové nůžky
050	Řezání otvorů	Laser C.B.Ferrari
060	Odmaštění součásti	-
070	Kontrola	-

### 3.7 Numerická simulace a optimalizace [46], [47]

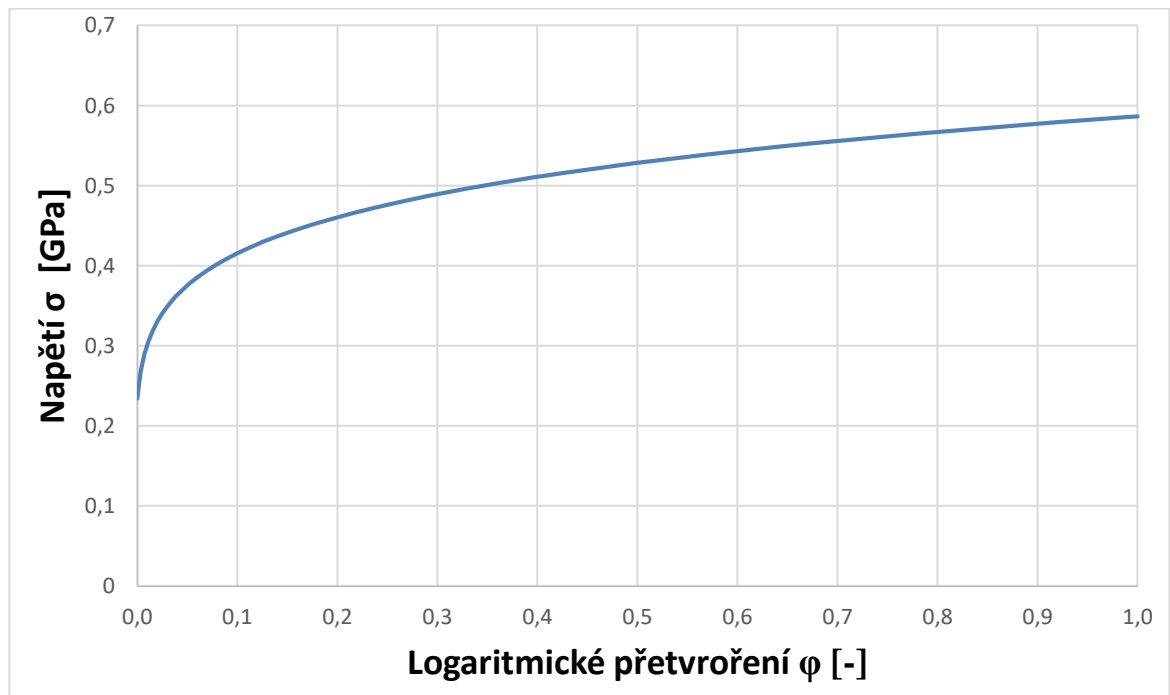
K ověření výroby bude před zhotovením nástroje provedena numerická simulace, jejímž účelem je ověřit vyrobitelnost součásti jediným tahem, určit kritická místa, a případně zvolit vhodnější tvar původního polotovaru. Tato simulace bude uskutečněna v programu PAM-STAMP. V případě nutnosti úpravy technologických či konstrukčních parametrů bude provedena optimalizace a poté opětovné ověření pomocí simulací. Tento postup může ušetřit jak čas, tak i peníze.

Nejdříve je zapotřebí stanovit geometrický model činných součástí tažného procesu, čehož bylo docíleno převodem tažnice, tažníku a přídržovače, navržených v kapitole 3.6, na plošné (tzv. „shell“) prvky. Ty byly vloženy do prostředí aplikace PAM-STAMP a byla provedena diskretizace, znázorněná na obr. 58. Dále tam byl převeden a taktéž zdiskretizován tvar polotovaru, vypočtený v kapitole 3.1. Počáteční délka hrany jednotlivých prvků modelu činila 7,5 mm, avšak za účelem zlepšení přesnosti simulace bylo v průběhu simulace provedeno zjemnění této konečnoprvkové sítě. Po aplikaci čtyř kroků zjemnění dosahuje délka hrany nejkratších prvků (v problematických místech) hodnoty až 0,9 mm.



Obr. 58 Diskretizace činných součástí tažného procesu

Dalším důležitým faktorem simulace je model materiálový. Zvolená ocel DC01 byla popsána na základě vstupních dat, jako např. Youngův modul pružnosti  $E = 2,06 \cdot 10^5$  MPa, Poissonův poměr  $\mu = 0,3$  a hustota materiálu  $\rho = 7860 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Podrobněji je materiál popsán křivkou zpevnění (obr. 59) a podmínkou anizotropie (tzv. model Vegter). Jednotlivé vstupní hodnoty pro směry válcování  $0^\circ$ ,  $45^\circ$  a  $90^\circ$  jsou uvedeny v příloze 6. Všechna tato data, včetně křivky mezní tvářítnosti, byla převzata z databáze softwaru [47]. Hodnota koeficientu tření byla stanovena  $f = 0,12$ .

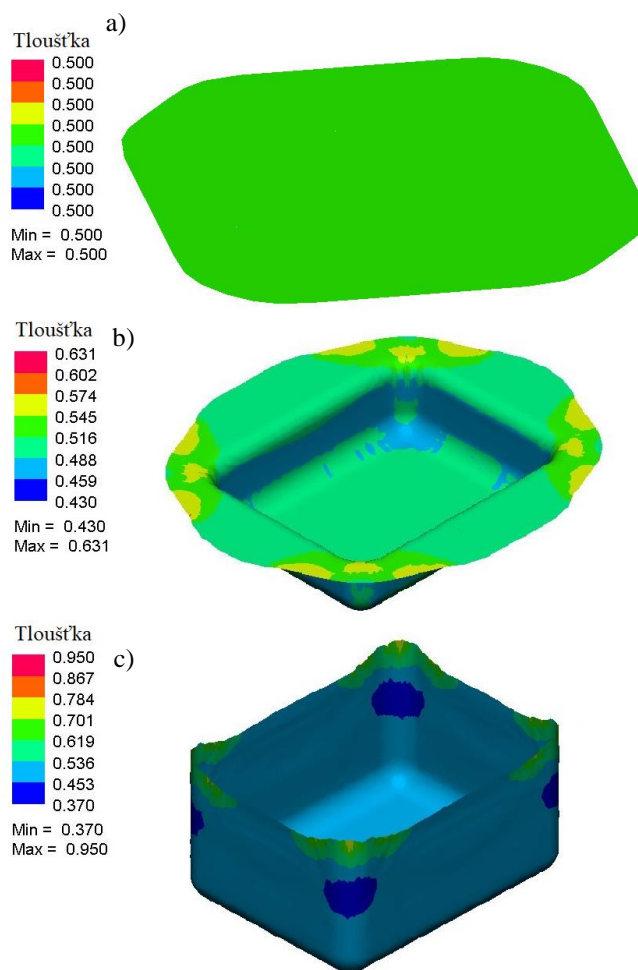


Obr. 59 Křivka zpevnění pro ocel DC01 [47]

Průběh simulace (0, 50 a 100 %) lze vidět na obrázku 60. Barevně je v něm znázorněna změna tloušťky materiálu výtažku.

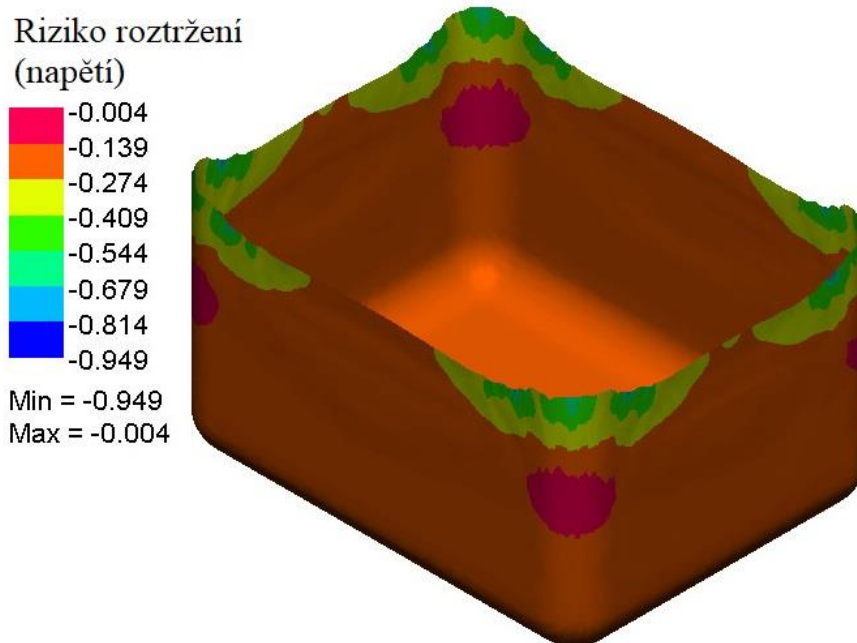
Výstupem simulace je předpokládaný model přetvořeného tělesa s příslušným diagramem mezní tváritelnosti (tzv. Keeler-Goodwinův diagram), které lze vidět na obrázcích 61 a 62.

Hodnoty rizika roztržení vychází v záporných hodnotách, a tudíž z výsledků vyplývá, že by při zvolených parametrech tažení nemělo dojít k roztržení plechu. Jak lze ale v FLD diagramu (obr. 62) vidět, příliš mnoho bodů příslušných povrchu součásti leží v okolí křivky mezní tváritelnosti, což znamená příliš vysoké riziko vzniku defektu. Pokud se navíc uvažuje např. 10% bezpečnostní odsazení od limitní tvářecí křivky, tyto výsledky simulace již nevyhovují. Z tohoto důvodu je nutné provést optimalizaci tažného procesu.



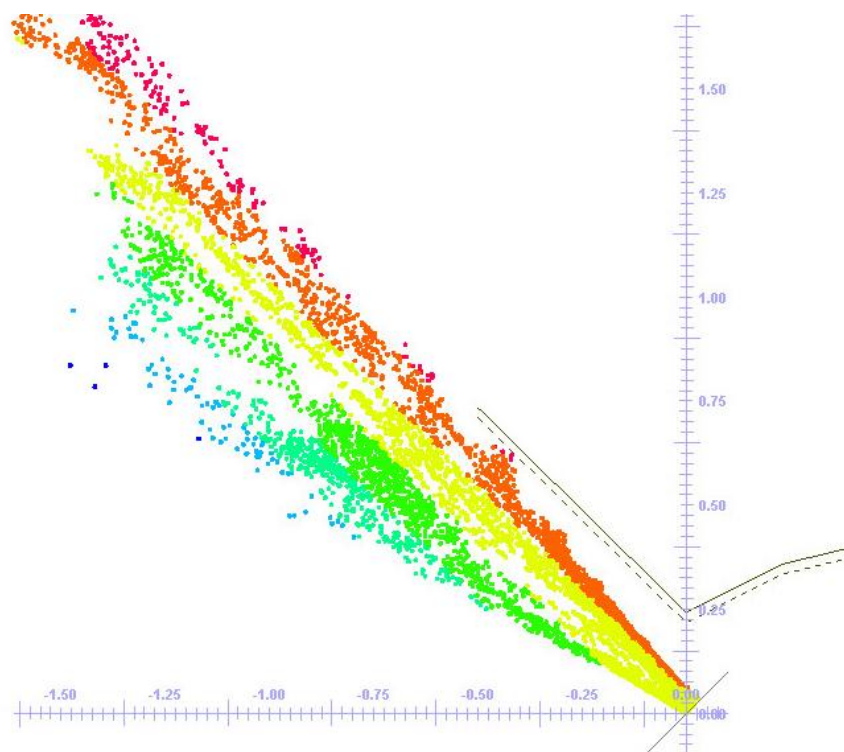
a) 0 % zdvihu, b) 50 % zdvihu, c) 100 % zdvihu

Obr. 60 Průběh simulace s vyhodnocením tloušťky plechu



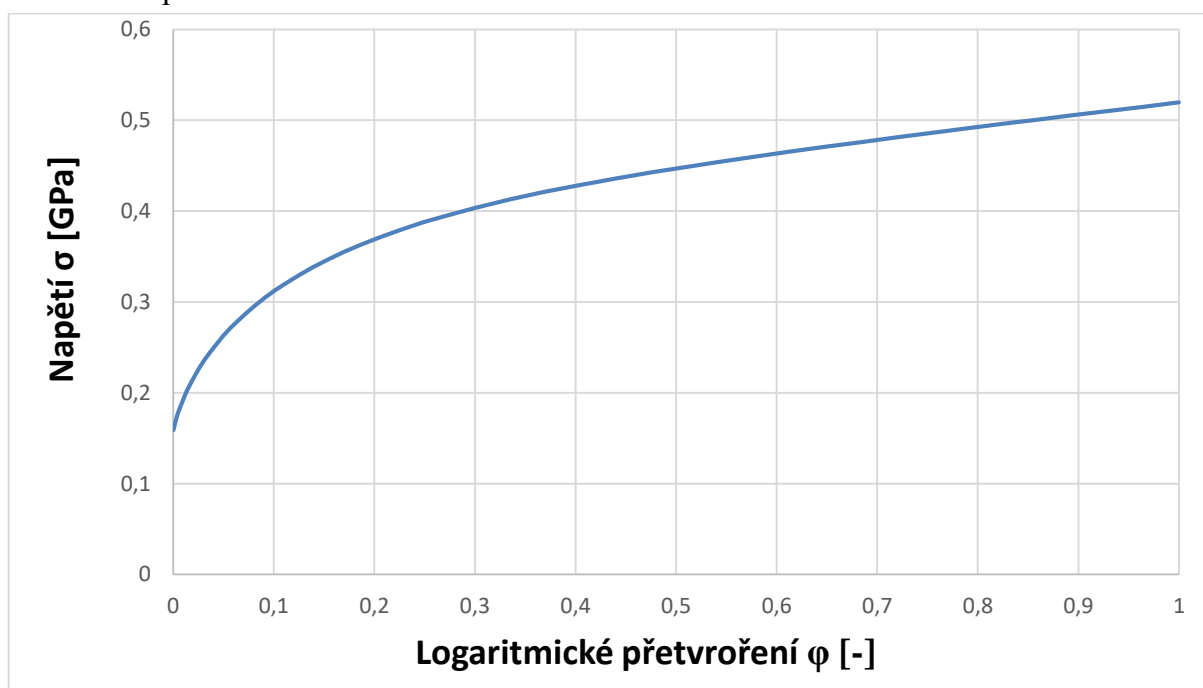
Obr. 61 Riziko roztržení přetvořené součásti





Obr. 62 Keeler-Goodwinův diagram pro tažení s danými parametry

V první řadě byla navržena změna taženého materiálu z původní DC01 na ocel s vyšší tažností DC05. K provedení další simulace procesu bude tedy jen pozměněn materiálový model. Youngův modul pružnosti bude navýšen na  $E = 2,1 \cdot 10^5$  MPa, a křivka zpevnění se změní dle obr. 63. Model anizotropického chování bude také upraven, jeho konkrétní hodnoty lze nalézt v příloze 7.

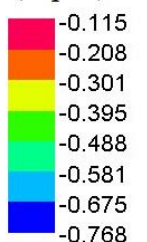


Obr. 63 Křivka zpevnění pro ocel DC05 [47]

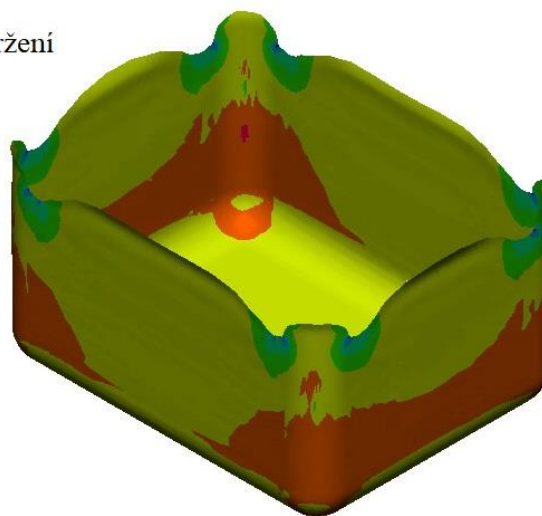


Výsledky druhé simulace lze vidět na obrázcích 64 a 65. Diagram mezní tvářitelnosti, který byl vyhodnocen simulací po optimalizaci materiálu, vychází znatelně lépe než v první variantě. Síť bodů odpovídajících povrchu výtažku je v bezpečné oblasti pod křivkou mezní tvářitelnosti, což značí úspěšné vytažení součásti, avšak problém lze vidět při pohledu na tvar přetvořeného tělesa. Jak bylo uvedeno dříve, materiál má problém přemístit se do rohů výtažku, a tak zde vznikají „cípy“.

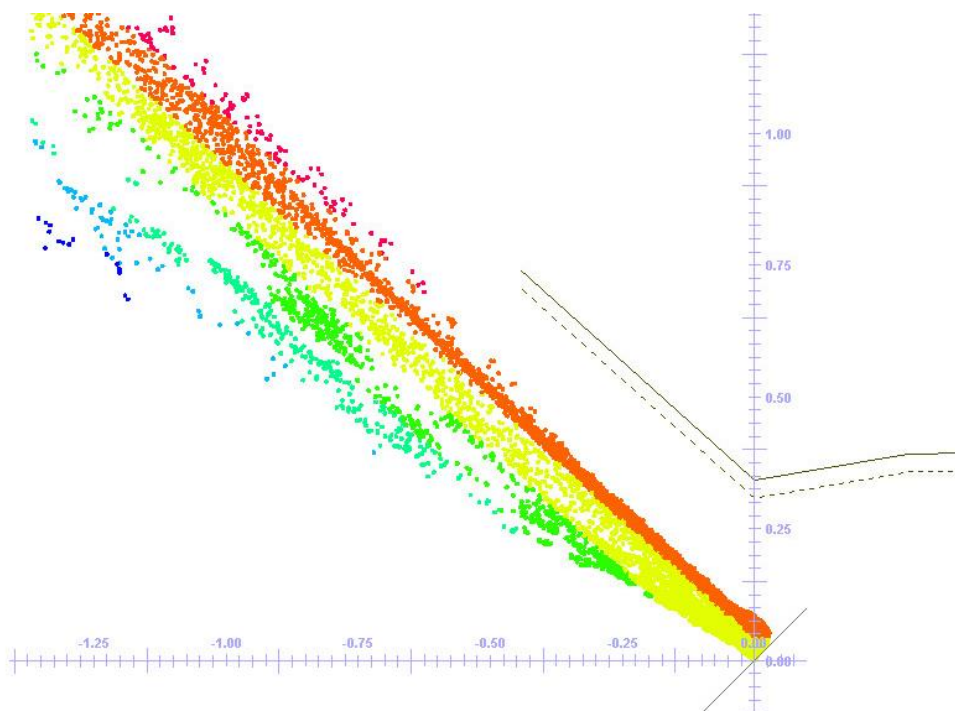
Riziko roztržení  
(napětí)



Min = -0.768  
Max = -0.115

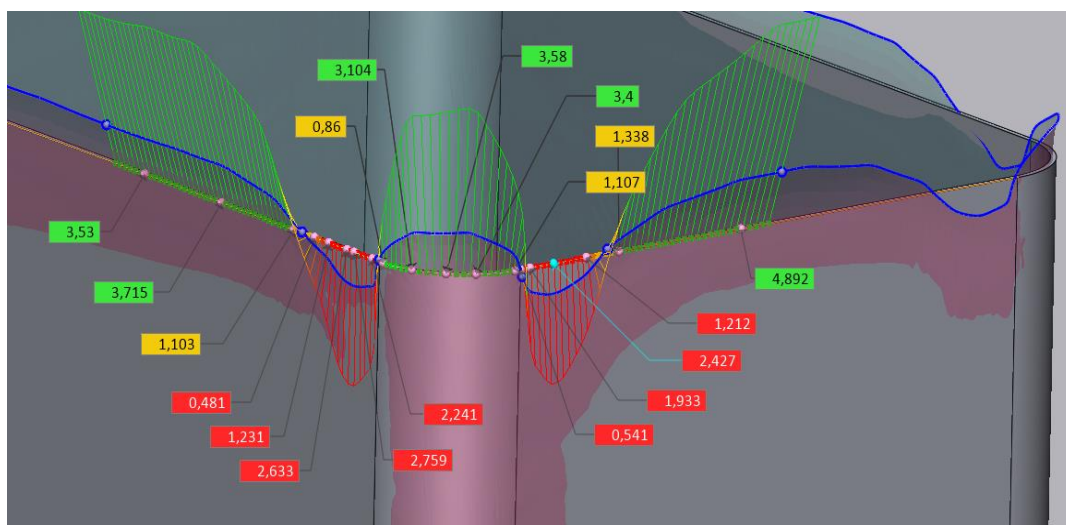


Obr. 64 Riziko roztržení přetvořené součásti s použitím parametrů druhé varianty simulace



Obr. 65 Keeler-Goodwinův diagram pro tažení s parametry druhé varianty simulace

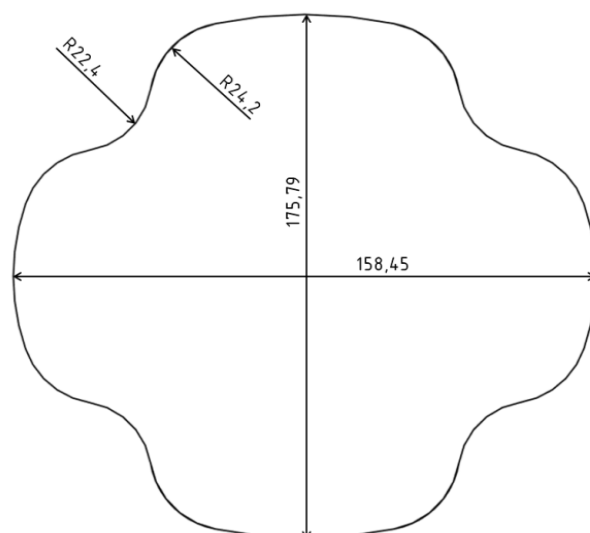
Odchylku vytažené výšky v porovnání s ideálním modelem pouzdra lze lépe vidět na obr. 66 (vynesené hodnoty jsou v milimetrech). Červené hodnoty odchylky značí místa, ve kterých není dosaženo požadované výšky. Jak lze vidět, v rozích výtažku nedochází k správnému vytažení zadaného tvaru, a tudíž bude provedena ještě optimalizace tvaru výchozího polotovaru.



Obr. 66 Odchylka okrajů přetvořené součásti od ideálního modelu (v mm)

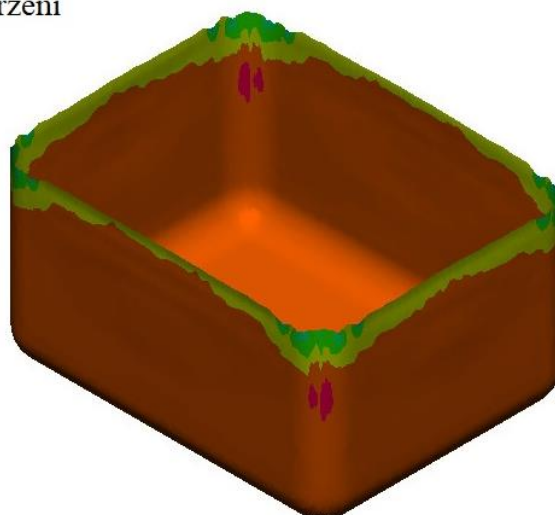
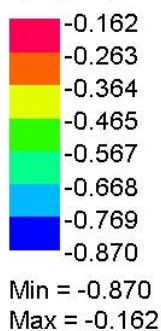
Jak již bylo zmíněno, zpřesnění tvaru polotovaru lze dosáhnout pomocí výpočetní techniky. Také software PAM-STAMP obsahuje možnost návrhu ideálního tvaru polotovaru na základě geometrie finálního produktu. Obrys tvaru polotovaru navrženého programem PAM-STAMP lze vidět na obrázku 67, přesnější popis jeho geometrie pak lze nalézt v příloze 8.

Třetí varianta numerické simulace (viz obr. 68 a 69) ukazuje, že polotovar vypočtený softwarem PAM-STAMP je pro zadaný tažný proces vhodnější. Body v diagramu mezní tvářítnosti jsou o trochu lépe situovány v bezpečné oblasti, ale především „cípatost“ na vizuálním zobrazení modelu výtažku je mnohem přijatelnější, čímž je zaručena tvarová správnost součásti po ostřížení. Graficky je rozdíl mezi okraji sítě bodů (přetvořeného tělesa) a ideálním modelem pouzdra znázorněn na obrázku 70 (vynesené hodnoty jsou v milimetrech). Žádná z vynesných hodnot odchylek výšky nevychází záporně, a proto lze konstatovat, že s těmito parametry tažení lze požadovaného tvaru dosáhnout.

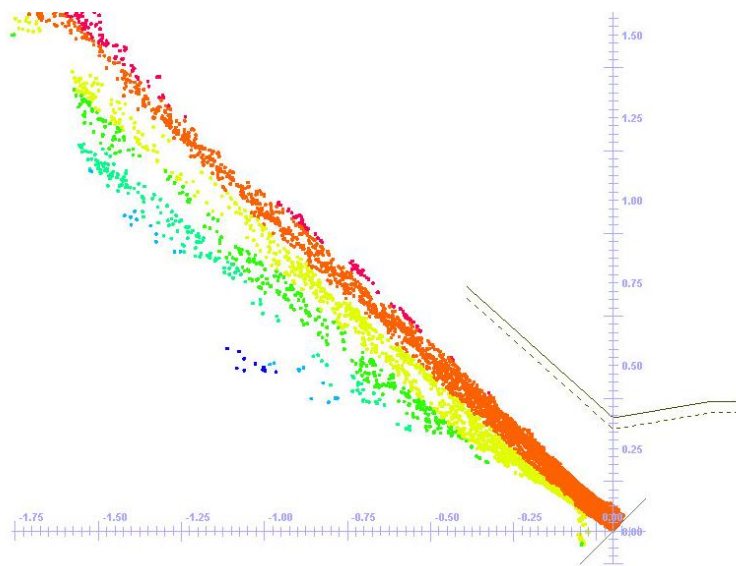


Obr. 67 Geometrie polotovaru dle softwaru PAM-STAMP [47]

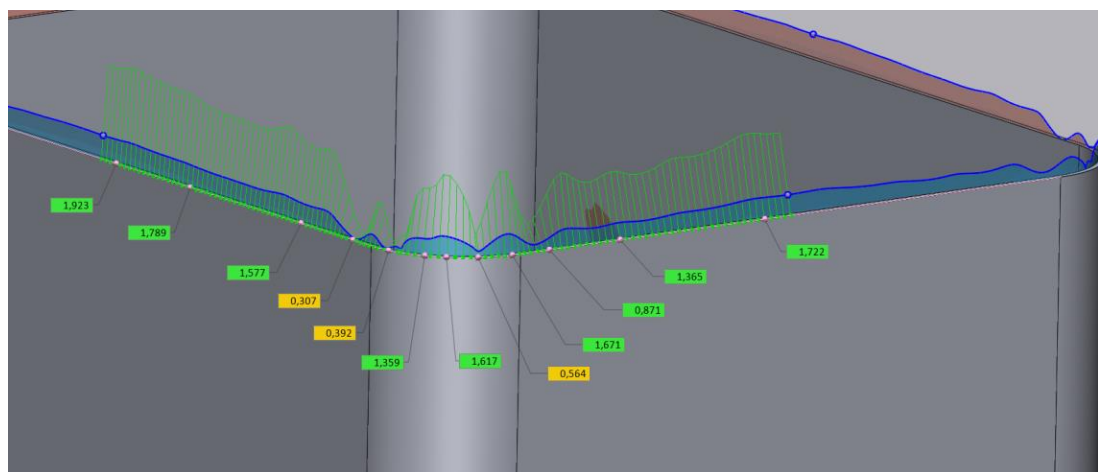
Riziko roztržení (napětí)



Obr. 68 Riziko roztržení přetvořené součásti s použitím parametrů třetí varianty simulace



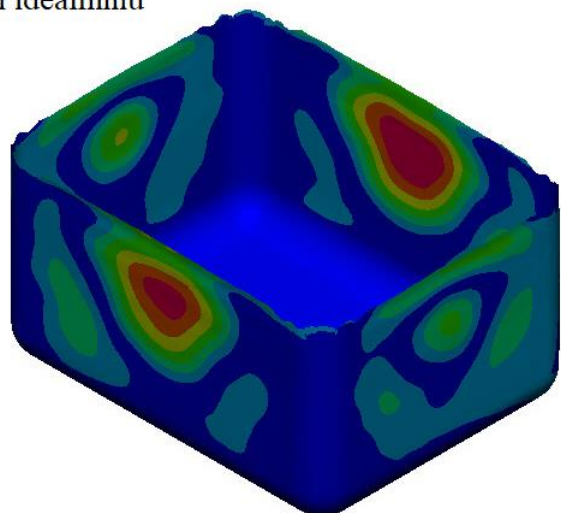
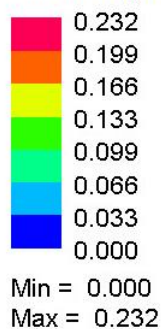
Obr. 69 Keeler-Goodwinův diagram pro tažení s parametry třetí varianty simulace



Obr. 70 Odchylka okrajů přetvořené součásti od ideálního modelu pro tažení s parametry třetí varianty simulace (v mm)

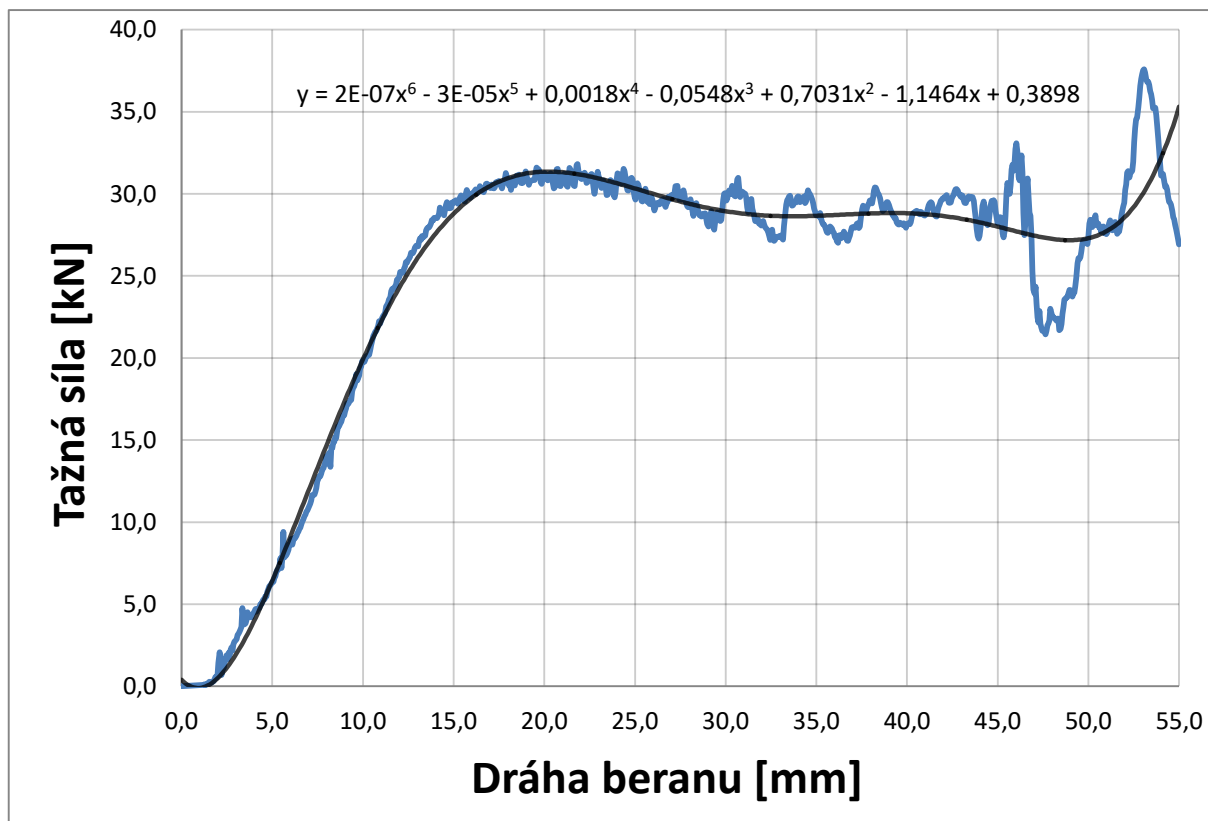
Touto simulací byla tedy úspěšně ověřena třetí varianta tažného procesu s danými parametry. Průběh změny tloušťky stěny lze nalézt v příloze 9. Dále byla v rámci simulace vyhodnocena ještě odchylka taženého tělesa po odpružení od ideálního modelu, viz obr. 71. Jak lze v obrázku vidět, maximální odchylka dosahuje 0,232 mm, což je v souladu s výkresem součásti.

Odchylka proti ideálnímu modelu [mm]



Obr. 71 Odchylka přetvořeného tvaru od ideálního modelu součástí

V neposlední řadě lze vyobrazit průběh tvářecí síly v závislosti na dráze beranu, viz graf na obrázku 72, který je proložen polynomicou spojnicí trendu (6. řádu). V grafu lze pozorovat značné rozkmitání hodnot síly při vyšších hodnotách zdvihu nástroje. Rozkmitání může být způsobeno faktem, že v pozdějších fázích tažení dochází v podstatě už jen ke tření mezi výtažkem a stěnami tažnice. Pokud se rozkmitání tažné síly nebere v úvahu, nejvyšší síly 31,5 kN je dosaženo v poloze beranu 20 mm, což je v souladu s výpočty. Dle těchto poznatků vypočtené hodnoty tažné síly 47,7 kN ke kompletnímu vytažení součásti ani nebude zapotřebí.



Obr. 72 Průběh tažné síly v závislosti na dráze beranu

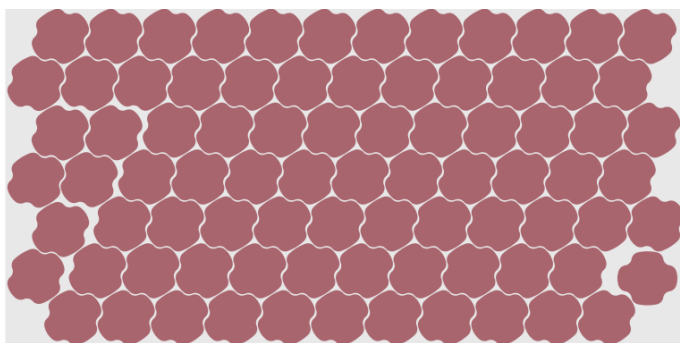
#### 4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [48], [49], [50], [51]

Cílem ekonomického zhodnocení je určení nákladů na výrobu zadané součásti a stanovení návratnosti, tj. počtu kusů, který je potřeba prodat, aby byly splaceny vstupní náklady výroby. Na základě těchto údajů je možné stanovit cenu výrobku či upravit procento zisku v závislosti na požadovaném časovém plánu.

Zadaná součást (pouzdro zapalování) je však jen jednou z mnoha částí hotového produktu, a tak bude určena návratnost výroby při zisku 50 % z ceny výrobku, přičemž nebudou zohledněny náklady na kompletaci a údržbu. Tímto způsobem se přibližně odhadne hodnota samotného pouzdra. Dále je třeba stanovit, že výpočet bude zahrnovat pouze náklady spojené s hlubokým tažením, což znamená, že stříh polotovaru, tvorba děr a další dokončovací operace budou zanedbány. Výrobní série byla určena na 15 000 ks · rok<sup>-1</sup>.

Prvním krokem bude výpočet variabilních nákladů. Ty zahrnují:

- Náklady na materiál – vzhledem k velikosti součásti bylo zvoleno, že polotovar bude vypálen laserem z tabule plechu 2000 x 1000 x 0,5 mm (malý formát). S pomocí online softwaru Nest&cut [51] bylo stanoveno nejvhodnější rozložení polotovarů na tabuli s patřičnými mezerami mezi jednotlivými kusy. Dle softwaru vyšlo maximální zaplnění plochy 82,68 %, což umožňuje umístit až 83 přístřihů na jednu tabuli, viz obr. 73. Podrobnější rozložení na tabuli plechu lze nalézt v příloze 10. Při výrobě se však musí počítat s občasným výskytem zmetkových součástí, a tak bude roční výrobní série zvýšena o 2 %.



Obr. 73 Rozložení maximálního počtu polotovarů na tabuli [51]

- počet kusů vyrobených za rok při uvažování jisté zmetkovitosti:

$$n_z = n_{vs} \cdot 1,02 = 15\,000 \cdot 1,02 = 15\,300 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1},$$

kde:  $n_{vs}$  – stanovená velikost výrobní série [ks · rok<sup>-1</sup>],

- počet tabulí potřebných na roční sérii:

$$n_t = \frac{n_z}{n_k} = \frac{15\,300}{83} = 184,34 \text{ ks} \cdot \text{rok}^{-1},$$

kde:  $n_k$  – počet kusů na jednu tabuli [ks],

Počet tabulí potřebných k zhotovení celé výrobní série bude zaokrouhlen nahoru na 185 kusů.

- Roční náklady za tabule plechu:

$$C_t = n_t \cdot C_{1t} = 185 \cdot 215 = 39\,775 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1},$$

kde:  $C_{1t}$  – cena jedné tabule bez DPH (dle NYPRO hutní prodej, a.s.) [Kč · ks<sup>-1</sup>].

Potřebných 185 tabulí ročně vyjde přibližně na 39 775 Kč, avšak pro úsporu finančních prostředků lze nepoužitý odpad z tabulí prodat do sběrného dvora:

- hmotnost odpadu z jedné tabule:

$$m_o = V_o \cdot \rho = 0,1732 \cdot (2 \cdot 1 \cdot 0,0005) \cdot 7860 = 1,36 \text{ kg},$$

kde:  $V_o$  – objem odpadu z jedné tabule [ $\text{m}^3$ ],

$\rho$  – hustota použitého materiálu [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ],

- příjmy z prodeje odpadu:

$$C_o = n_t \cdot m_o \cdot c_{\text{kg}} = 185 \cdot 1,36 \cdot 2,5 = 630 \text{ Kč},$$

kde:  $c_{\text{kg}}$  – výkupní cena za 1 kg oceli (dle KOVOKOM ŠROT s.r.o.) [ $\text{Kč} \cdot \text{kg}^{-1}$ ].

Celkové roční náklady za materiál se tedy vypočtou:

$$C_m = C_t - C_o = 39\,775 - 630 = 39\,145 \text{ Kč} \cdot \text{rok}^{-1}.$$

- Náklady na mzdy – pro určení výše platů pracovníků bude uvažována hrubá mzda  $150 \text{ Kč} \cdot \text{hod}^{-1}$ . Dále bude počítáno, že za délku směny 8,5 hodin bude pracovník 1 hodinu chystat tvářecí proces a kontrolovat nástroje. Po odečtení povinné půlhodiny, vyhrazené na obědovou pauzu, lze počítat se sedmi hodinami čistého výrobního času. Aplikace maziva, tažný proces a vyjmutí výtažku z nástroje by průměrně mohly zabrat 1 minutu, a tak bude počítáno s hodinovou výrobou  $t_v = 60 \text{ ks} \cdot \text{hod}^{-1}$ .

- Počet součástek vyrobených za jednu směnu se tedy stanoví:

$$n_{1\text{sm}} = t_v \cdot 7 = 60 \cdot 7 = 420 \text{ ks},$$

- Počet směn potřebný k zhotovení výrobní série:

$$n_{\text{sm}} = \frac{n_z}{n_{1\text{sm}}} = \frac{15300}{420} = 36,43 \rightarrow 37 \text{ směn},$$

- Počet proplacených hodin potřebný k zhotovení výrobní série:

$$n_h = 8 \cdot n_{\text{sm}} = 8 \cdot 37 = 296 \text{ hod},$$

- Mzdy výrobních pracovníků:

$$C_{\text{vp}} = 150 \cdot n_h = 150 \cdot 296 = 44\,400 \text{ Kč}.$$

K této částce je však nutno přičíst mzdy administrativních pracovníků, kontrolorů, managementu, zásobování a dalších. Pro zjednodušení se pro tyto mzdy bude uvažovat stejná částka jako na mzdy výrobních pracovníků, a tudíž celkové roční mzdové náklady vzrostou na  $C_v = 88\,800 \text{ Kč}$ ,

- Náklady na elektrickou energii – při příkonu stroje  $P = 4 \text{ kW}$  lze náklady na elektrickou energii potřebnou pro výrobu jedné série stanovit dle vzorce:

$$C_e = c_e \cdot 7 \cdot n_{\text{sm}} \cdot P = 5 \cdot 7 \cdot 37 \cdot 4 = 5\,180 \text{ Kč},$$

kde:  $c_e$  – přibližná jednotková sazba za 1 kWh (dle dodavatele ČEZ) [ $\text{Kč}$ ].

- Náklady na vyřezávání laserovým zařízením – pro řezání jednoho metru materiálu bude přibližně stanovena sazba  $c_L = 20 \text{ Kč} \cdot \text{m}^{-1}$ , v čemž je započítána jak cena elektrické



energie, tak mzdy příslušných pracovníků. Délka hrany polotovaru byla stanovena softwarem CATIA na  $O_p = 533,94$  mm. Cena za vyřezávání se tedy stanoví dle vzorce:

$$C_L = c_L \cdot n_z \cdot O_p = 20 \cdot 15\,300 \cdot 0,53394 = 163\,386 \text{ Kč.}$$

Celkové variabilní náklady se pak získají součtem jednotlivých složek:

$$C_{\text{var}} = C_m + C_v + C_e + C_L = 39\,145 + 88\,800 + 5\,180 + 163\,386 = 296\,511 \text{ Kč.}$$

Jelikož se při správě výroby objevují různé menší výdaje, variabilní náklady budou navýšeny na 300 000 Kč za celou výrobní sérii. Na jeden kus tedy vyjdou:

$$C_{\text{var1}} = \frac{C_{\text{var}}}{n} = \frac{300\,000}{15\,000} = 20 \text{ Kč} \cdot \text{ks}^{-1}.$$

Dále je třeba určit fixní náklady, které v tomto případě zahrnují cenu tvářecího nástroje a cenu lisu. Je zřejmé, že firma již disponuje laserovým zařízením, a proto zde jeho cena nebude zahrnuta. Při stanovení ceny lisu bylo uvažováno, že v budoucnu bude používán i pro jinou výrobu, a tak byla cena určena na  $C_s = 500\,000$  Kč. Tvářecí nástroj je jednoduchý, a tak byla jeho cena odhadnuta na  $C_n = 250\,000$  Kč. Výsledné fixní náklady se tedy stanoví:

$$C_{\text{fix}} = C_n + C_s = 250\,000 + 500\,000 = 750\,000 \text{ Kč.}$$

Hodnotu jedné součásti lze nyní stanovit dle vzorce:

$$C_{\text{pz}} = \frac{C_{\text{var}} + C_{\text{fix}}}{n} = \frac{300\,000 + 750\,000}{15\,000} = 70 \text{ Kč.}$$

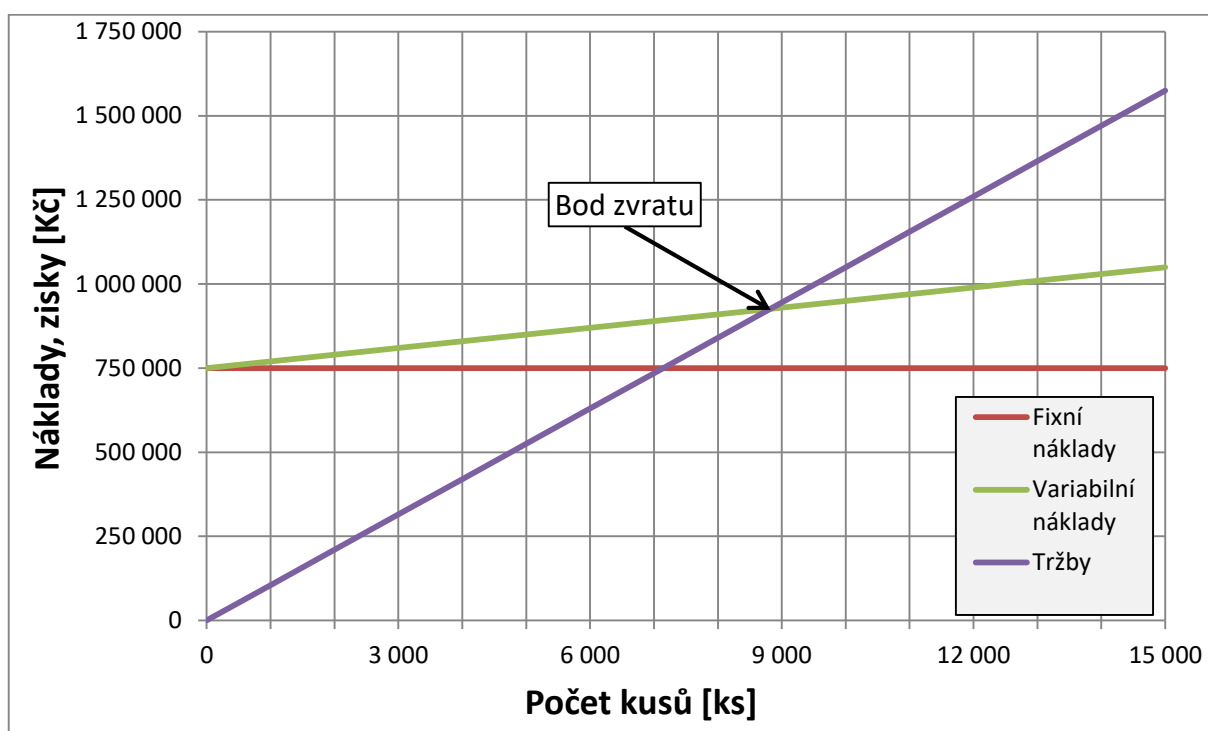
Cena za jeden výtazek vyšla přibližně 70 Kč, avšak aby byla produkce zisková, je třeba prodejní cenu nadsadit. Jak již bylo zmíněno, v tomto případě bude přidán zisk 50 %. Prodejní cena tedy bude určena následovně:

$$C_z = C_{\text{pz}} \cdot 1,5 = 70 \cdot 1,5 = 105 \text{ Kč.}$$

Nejdůležitějším údajem ekonomického zhodnocení je čas (počet vyrobených kusů), kdy výroba začíná být zisková, aneb kdy jsou splaceny počáteční náklady. Tento okamžik se nazývá bod zvratu a lze jej získat z grafu (viz obr. 74) či výpočtem:

$$BZ = \frac{C_{\text{fix}}}{C_z - C_{\text{var1}}} = \frac{750\,000}{105 - 20} = 8\,823,5 \text{ ks} \rightarrow 8\,824 \text{ ks.}$$





Obr. 74 Diagram bodu zvratu

Dle stanovených parametrů začne být výroba zisková po překročení hranice 8 824 kusů. Toto číslo se při výrobní sérii 15 000 ks zdá být poměrně vysoké, avšak je potřeba brát v úvahu fakt, že na výsledný produkt (jednokanálové zapalování) bude opět stanovena určitá marže. Z tohoto hlediska se dá říci, že zvolený 50% zisk je pro zadanou součást dostatečný.

## 5 ZÁVĚRY

Řešenou součástí je dutá nádoba obdélníkového tvaru sloužící jako pouzdro pro jednokanálové zapalování vyráběné firmou PBS Velká Bíteš. Tento produkt nachází využití především v leteckém průmyslu.

Pouzdro má konstantní tloušťku 0,5 mm a mělo by být zhotoveno z jakostní hlubokotažné oceli DC01. Velikost výrobní série byla stanovena na 15 000 ks · rok<sup>-1</sup>. Z několika možných variant výroby byla zvolena technologie hlubokého tažení pevným nástrojem bez ztenčení stěny.

Následně byl stanoven tvar výchozího polotovaru, který byl zvětšen o 2 mm v rámci přídatku na ostřížení. Bylo zvoleno, že polotovar bude vypalován laserem z tabule plechu 2000 x 1000 mm, čímž lze dosáhnout až 82,68 % využití materiálu. Dále bylo na základě technologických výpočtů stanoveno, že součást bude vytažena jediným tahem za použití přídržovače. Velikost celkové tažné síly byla určena 74,1 kN, práce pak vyšla 2,3 kJ.

Na základě těchto parametrů byl pro výrobu součásti zvolen hydraulický lis ZH 10 od společnosti Presshydraulika, s.r.o. Jedná se o vícečinný lis se jmenovitou silou 100 kN. Poté byl navržen jednoduchý tažný nástroj, jehož pohyblivými částmi jsou tažník a přídržovač. Poloměr tažné hrany byl určen 5 mm a stírání hotových výtažků bylo vyřešeno propadáváním skrz tažnici a následným skluzem do zásobníku. Jako mazivo byl zvolen produkt Moralub KFP 61 V od společnosti MOLYDUVAL GmbH.

Pro ověření výroby byla provedena numerická simulace v softwaru PAM-STAMP. Ta pomocí Keeler-Goodwinova diagramu potvrdila, že při zvolených parametrech by při tažení součásti nemělo dojít k defektu. Výsledky se však bohužel příliš blížily křivce mezní tváritelnosti, a tudíž byla raději provedena optimalizace tažného procesu. Materiál součásti byl změněn na ocel DC05, která disponuje lepší tažností, a tvar polotovaru byl pozměněn na základě odhadu ideálního tvaru dle softwaru PAM-STAMP. Poté již simulace procesu vyšla bez problému.

Pro zhotovení konečného produktu je potřeba provést několik dalších výrobních operací, na které už práce nebyla zaměřena. Po tažné operaci následuje ostřížení výtažku a poté je třeba vytvořit 10 otvorů dle výkresu. Do technicko-ekonomického zhodnocení byla tedy zahrnuta pouze řezná a tažná operace, přičemž náklady se skládají z ceny materiálu, mezd pracovníků, výdajů za elektrickou energii a vypalování laserem. Po připočtení ceny nástroje, která byla odhadnuta na 250 000 Kč, a zisku 50 % byla cena jednoho výtažku stanovena na 105 Kč. Dosazením vypočtených hodnot výdajů a příjmů byl vykreslen graf, jenž určil bod zvratu 8 824 ks. Vzhledem k výši roční výrobní série lze konstatovat, že navržená výroba je za daných podmínek výhodná.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [52]

1. JELÍNEK, Dan. *3D optické měřicí systémy vhodné pro technologie tváření* [online]. Brno, 2017 [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/100828?zp\\_id=100828](https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/100828?zp_id=100828). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
3. M.S.G, Inc. Deep Drawing. *M.S.G. The Manufacturing Service Group Inc.* [online]. Čína, 2016 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: [http://www.makserg.com/list/?112\\_2.html](http://www.makserg.com/list/?112_2.html)
4. Lonardi Claudio s.r.l. Products. *Sheet metal forming, deep drawing, sheet metal stamping* [online]. Itálie, 2018 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.lonardiclaudio.com/en/products>
5. Delcon Industries. Product List. *Delcon Industries: Sheet metals press components, deep drawn* [online]. Indie, 2019 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://delconindustries.in/product-list.php2>.
6. Zhongshan Hunter Kitchen Appliance Industry Co.,Ltd. Wholesale Cheap stainless steel drawing kitchen sink. *Zhongshan Hunter: Kitchen sink manufacturer China* [online]. Čína, 2019 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.kitchensinkfactory.com/products/Wholesale-Cheap-stainless-steel-drawing-kitchen-sink.html>
7. První brněnská strojírna (PBS). Letectví. PBS: *Mnoho podob přesného strojírenství* [online]. Česká republika, 2018 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.pbs.cz/cz/letectvi>
8. PBS Velká Bíteš, a.s. *One-channel ignition device* [online]. Velká Bíteš, 2018, s. 8 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.pbs.cz/getmedia/d6042426-2f80-413d-8fb0-df423b03012c/One-channel-Ignition-Device.pdf.aspx?ext=.pdf>
9. SOŠ a SOU Uničov. *Převodní tabulka materiálů* [online]. Uničov, 2007, s. 29 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <http://eduka.spaco.cz/wp-content/prevodni-tabulka-materialu.pdf>
10. B&B commercial activity s.r.o. *Ocelářův průvodce po galaxii* [online]. Praha, 2018, s. 4 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: [http://babca.cz/content/useruploads/ocelaruv\\_pruvodce\\_2b.pdf](http://babca.cz/content/useruploads/ocelaruv_pruvodce_2b.pdf)
11. Feron, a.s. Materiálové normy. *Feron online* [online]. Praha, 2007 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/materialove-normy/>
12. Pashupati Tradex Pvt. Ltd. Ductile Cast Iron Manufacturer & Exporter. *Ductile Iron Casting Manufacturer & Exporter in India* [online]. Indie, 2017 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <http://pashupatiexports.com/https://www.kitchensinkfactory.com/products/Wholesale-Cheap-stainless-steel-drawing-kitchen-sink.html>
13. Silesia-Tech s.r.o. Tlakové lití. *Silesia Tech* [online]. Opava, 2013 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <http://www.silesia-tech.cz/tlakove-liti>

14. B a K Písek. Svařování. *B a K Písek* [online]. Písek, 2012 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <http://bak-systemy.cz/zakazkove-zpracovani-plechu/svarovani/>
15. TÍŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990. Knižnice technických aktualit. ISBN 80-03-00221-4.
16. MÍKA, Tomáš. *Výroba víka kotlového grilu* [online]. Brno, 2017 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/96828>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
17. LENFELD, Petr. Technologie plošného tváření - tažení. *Katedra tváření kovů a plastů* [online]. Liberec, 2010 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: [www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/index.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm)
18. ALTAN, Taylan a Erman TEKKAYA. *Sheet Metal Forming: Processes and Applications*. Materials Park, Oh: ASM International, 2012. ISBN 1615038442.
19. BRAŠKO, Zdenko. *Výroba víčka* [online]. Brno, 2018 [cit. 2020-06-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/109280>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
20. BAREŠ, Karel. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971, 554 s. ISBN 04-234-71.
21. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
22. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
23. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-00452-8.
24. CustomPartNet. Sheet Metal Forming. *Manufacturing Cost Estimation* [online]. Spojené státy americké, 2009 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-forming>
25. ČSN 22 7303: *Lisovací nástroje. Tažení dutých čtyřhranných výtažků*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1967.
26. MINÁŘ, Martin. *Výroba horního dílu benzinové nádrže* [online]. Brno, 2017 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/96828>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
27. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání: Teoretický základ* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2020-06-22]. ISBN 978-80-248-3015-5. Dostupné z: [http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY\\_01\\_004/Technologie%20tv%C3%A1%20r%C3%A9n%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/6.%20TA%C5%BDEN%C3%8D%20PLECHU.pdf](http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_004/Technologie%20tv%C3%A1%20r%C3%A9n%C3%AD%20a%20sl%C3%A9v%C3%A1n%C3%AD%20-%20Teoretick%C3%BD%20z%C3%A1klad/02%20Text%20pro%20e-learning/publikovat/kapitoly/6.%20TA%C5%BDEN%C3%8D%20PLECHU.pdf)

28. VÍTEK, Roman. *Výroba součástí "KRYT" plošným tvářením* [online]. Brno, 2010 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/29458>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Michaela Císařová, Ph.D.
29. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
30. ZHENG, Kailun, Junyi LEE, Jianguo LIN a Trevor Antony DEAN. *A buckling model for flange wrinkling in hot deep drawing aluminium alloys with macro-textured tool surfaces*. [online]. International Journal of Machine Tools & Manufacture 114, 2017 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.semanticscholar.org/paper/A-buckling-model-for-flange-wrinkling-in-hot-deep-Zheng-Lee/fbd7d35331aeecfa536294fd6fd0f47d9be35ce5>
31. MAŇAS, Miroslav, Michal STANĚK a David MAŇAS. *Výrobní stroje a zařízení*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2007. ISBN 978-80-7318-596-1.
32. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje* [online]. Brno, 2002 [cit. 2020-06-22]. 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). Studijní opory. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů.
33. RK Machinery. *RK Machinery Hydraulic C Frame Presses 50 ton. C Frame Press* [online]. Kanada [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <http://cframepress.com/model/hydraulic-c-frame-press-50-ton.aspx>
34. NexGen HydroPower Systems. *Hydraulic Press. NexGen HydroPower Systems (Shree Durga Hs)* [online]. Belgie, 2019 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.nexgenhps.com/hydraulic-press.htm>
35. GT Oil. *Conheça os principais aditivos que compõem os lubrificantes. GT-Oil: Lubrificantes Automotivos e Industriais* [online]. Španělsko, 2019 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <http://gtoil.com.br/blog/conheca-os-principais-aditivos-que-compoem-os-lubrificantes/>
36. Europeoil. *Greases. Europeoil* [online]. Turecko, 2018 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <http://www.europeoil.com.tr/marine/gresler/>
37. Polifilm group. *Deep Drawing Protection Films: Protection for Stainless Steel. Polifilm* [online]. Německo, 2020 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.polifilm.com/product-portfolio/protection-films/protection-for-stainless-steel/deep-drawing-protection-films/>
38. ŘIHÁČEK, Jan. *Počítačová podpora technologie: Část tváření*. Brno, 2015. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů.
39. VOLEK, Aleš. *Účinné nástroje pro materiálové testování*. Kuřim, 2017.
40. LOGAN, Daryl. *A first course in the finite element method*. 6. Australia: Cengage Learning, 2017. ISBN 978-1-305-63734-4.
41. Presshydraulika, s.r.o. *Hydraulické lisy* [online]. Opava, 2010, s. 8 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: [https://presshydraulika.cz/\\_files/200000110-cf045cffdd/press-hydraulika-katalog2010.pdf](https://presshydraulika.cz/_files/200000110-cf045cffdd/press-hydraulika-katalog2010.pdf)

42. Presshydraulika, s.r.o. Hlubokotažný lis řady ZH. *Presshydraulika, s.r.o.* [online]. Opava, 2013 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.presshydraulika.cz/produkty/hydraulicke-lisy/hlubokotazne/rada-zh/>
43. Fibro GmbH. Guide elements. *Fibro* [online]. Německo, 2012 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://www.fibro.de/en/standardparts/product-groups/guideelements/>
44. DECKENBACH CZ, s.r.o. *Molyduval speciální maziva pro tváření kovů bez pnutí* [online]. České Budějovice, 2010, s. 17 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: [https://www.fina-oleje.cz/files/produkty/molyduval/spec\\_maziva\\_pro\\_tvareni\\_kovu.pdf](https://www.fina-oleje.cz/files/produkty/molyduval/spec_maziva_pro_tvareni_kovu.pdf)
45. MOLYDUVAL GmbH. Molyduval Moralub KFP 61 V. *Products* [online]. Německo, 2020, s. 1 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: [http://www.molyduval.com/index.php?module=products&index\[products\]\[action\]=details&index\[products\]\[data\]\[products\\_id\]=21](http://www.molyduval.com/index.php?module=products&index[products][action]=details&index[products][data][products_id]=21)
46. Dassault Systemes. *CATIA®* [software]. Version 5.20. Vélizy-Villacoublay (Francie). 2010 [cit. 2020-06-24]. Dostupný z: <https://academy.3ds.com/en/software/catia-v5-student-edition>
47. ESI Group. *PAM-STAMP* [software]. Version 19. Paris (Francie). 2019 [cit. 2020-06-24]. Dostupný z: <https://myesi.esi-group.com/downloads/software-downloads/pam-stamp-2019.0>
48. KOVOKOM ŠROT s.r.o. Ceník: výkup šrotu, druhotných surovin, Brno a okolí. *KovokomŠrot* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.kovokomsrot.cz/cenik-vykupu-kovu/>
49. Nypro hutní prodej, a. s. Ocelové plechy válcované za studena. *Nypro: Váš dodavatel hutního materiálu* [online]. Malé Svatoňovice, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://nyprohutni.cz/valcovane-za-studena>
50. Topinfo s.r.o. Ceny elektrické energie 2020. *TZB-info: Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov.* [online]. Praha, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energi/14-prehled-cen-elektricke-energie>
51. Alma Group. Nest&Cut. *Nest&Cut: Best web-based nesting software* [online]. Francie, 2020 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <https://nestandcut.com/>
52. *CITACE PRO* [online]. 2012 [cit. 2020-06-24]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Délka řešené součásti	[mm]
A <sub>k</sub>	Korekční součinitel	[-]
A <sub>t</sub>	Tažná práce	[J]
h	Výška řešené součásti	[mm]
B	Šířka řešené součásti	[mm]
BZ	Bod zvratu	[ks]
C <sub>1</sub>	Koeficient určující vliv hloubky výtažku	[-]
C <sub>1t</sub>	Cena jedné tabule bez DPH	[Kč · ks <sup>-1</sup> ]
C <sub>2</sub>	Koeficient určující vliv ohybu přes tažnou hranu	[-]
C <sub>e</sub>	Náklady na elektrickou energii potřebnou pro výrobu jedné série	[Kč]
C <sub>fix</sub>	Fixní náklady	[Kč]
C <sub>k</sub>	Kalibrační součinitel	[-]
C <sub>L</sub>	Náklady na vyřezávání laserem	[Kč]
C <sub>m</sub>	Roční náklady za materiál	[Kč · rok <sup>-1</sup> ]
C <sub>n</sub>	Náklady za tvářecí nástroj	[Kč]
C <sub>o</sub>	Příjmy z prodeje odpadu	[Kč]
C <sub>pz</sub>	Hodnota jedné součásti (pouzdra zapalování)	[Kč]
C <sub>s</sub>	Náklady za tvářecí stroj	[Kč]
C <sub>t</sub>	Roční náklady za tabule plechu	[Kč · rok <sup>-1</sup> ]
C <sub>v</sub>	Celkové roční mzdové náklady	[Kč]
C <sub>var</sub>	Variabilní náklady	[Kč]
C <sub>var1</sub>	Variabilní náklady na jeden výrobek	[Kč · ks <sup>-1</sup> ]
C <sub>vp</sub>	Mzdy výrobních pracovníků	[Kč]
C <sub>z</sub>	Cena jedné součásti včetně zisku	[Kč]
c <sub>e</sub>	Přibližná jednotková sazba za 1 kWh	[Kč]
c <sub>kg</sub>	Výkupní cena za 1 kg oceli	[Kč · kg <sup>-1</sup> ]
c <sub>L</sub>	Přibližná sazba za 1 m řezu laserem	[Kč · m <sup>-1</sup> ]
D	Průměr zaoblení rohů výtažku	[mm]
D <sub>0</sub>	Průměr přístříhu	[mm]
D <sub>C</sub>	Průměr zaoblení rohu teoretického polotovaru	[mm]
d <sub>1</sub>	Průměr výtažku po první tažné operaci	[mm]
d <sub>n</sub>	Průměr výtažku po n-té tažné operaci	[mm]
d <sub>n-1</sub>	Průměr výtažku před n-tou tažnou operací	[mm]
d <sub>t</sub>	Průměr tažníku	[mm]
E	Youngův modul pružnosti	[MPa]
F	Síla generovaná lisem	[N]
F <sub>1</sub>	Složka tažné síly, která obsahuje tažení rohů	[N]
F <sub>2</sub>	Složka tažné síly, která obsahuje tažení svislých stěn	[N]
F <sub>t</sub>	Tažná síla	[N]
F <sub>C</sub>	Celková tažná síla	[N]
F <sub>kr</sub>	Kritická síla na vzpěr prvku	[N]
F <sub>krK</sub>	Kritická síla na vzpěr kolíku	[N]
F <sub>krV</sub>	Kritická síla na vzpěr vodící tyče	[N]
F <sub>p</sub>	Přidržovací síla	[N]
F <sub>tm</sub>	Tažná síla, která bere v potaz korekční součinitel	[N]
F <sub>tMAX</sub>	Maximální velikost tažné síly (síla na utržení dna)	[N]
F <sub>v</sub>	Vyhazovací síla	[N]
f	Koeficient tření	[-]



H	Rozvinutá výška výtažku	[mm]
h	Výška výtažku	[mm]
$h_{max}$	Přibližná maximální výška vytažitelná jedním tahem	[mm]
$h_s$	Výška boční stěny výtažku	[mm]
$h_{sa}$	Redukce rozvinuté výšky odpovídající delší stěně výtažku	[mm]
$h_{sb}$	Redukce rozvinuté výšky odpovídající kratší stěně výtažku	[mm]
$J_s$	Osový moment setrvačnosti	[mm <sup>4</sup> ]
K	Stupeň tažení	[-]
k	Materiálový koeficient	[-]
$L_{vz}$	Vzpěrná délka	[mm]
$L_s$	Součet délek přímých částí stěny výtažku	[mm]
$l_A$	Delší rozměr dna výtažku	[mm]
$l_B$	Kratší rozměr dna výtažku	[mm]
M, N	Mezní křivky Romanovského diagramu	[-]
m	Součinitel tažení dané operace	[-]
$m_1$	Součinitel tažení pro první tažnou operaci	[-]
$m_C$	Celkový součinitel tažení	[-]
$m_n$	Součinitel tažení n-té tažné operace	[-]
$m_o$	Hmotnost odpadu z jedné tabule	[kg]
$n_{1sm}$	Počet součástek vyrobených za jednu směnu	[ks]
$n_h$	Počet proplacených hodin potřebný k zhotovení výrobní série	[hod]
$n_k$	Počet kusů na jednu tabuli	[ks]
$n_{sm}$	Počet směn potřebný k zhotovení jedné série	[-]
$n_t$	Počet tabulí, potřebných na roční sérii	[ks · rok <sup>-1</sup> ]
$n_{vs}$	Velikost výrobní série	[ks · rok <sup>-1</sup> ]
$n_z$	Velikost výrobní série, při uvažování zmetkovitosti	[ks · rok <sup>-1</sup> ]
O	Obvod dna výtažku	[mm]
$O_p$	Délka hrany polotovaru	[mm]
p	Působící tlak	[Pa]
$p_p$	Měrný tlak přidržovače	[MPa]
R	Poloměr zaoblení rohů výtažku	[mm]
$R_0$	Původní poloměr zaoblení rohu přístřihu	[mm]
$R_1$	Poloměr zaoblení v rohu po prvním tahu	[mm]
$R_C$	Poloměr kruhového přístřihu pro pomyslný válcový výtažek	[mm]
$R_n$	Poloměr zaoblení rohu výtažku po n-tém tahu	[mm]
$R_{n-1}$	Poloměr zaoblení rohu výtažku před n-tým tahem	[mm]
$R_m$	Mez pevnosti materiálu	[MPa]
$R_R$	Redukovaný poloměr dle ČSN 22 7303	[mm]
$R_{te}$	Tažný poloměr	[mm]
r	Poloměr zaoblení dna výtažku	[mm]
$r_0$	Poloměr přístřihu v rohu výtažku dle ČSN 22 7303	[mm]
$r_{tu}$	Poloměr zaoblení hrany tažníku	[mm]
S	Obsah vnější plochy výtažku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{DNO}$	Obsah plochy dna výtažku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{PL}$	Obsah plochy pláště výtažku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{POL}$	Obsah plochy polotovaru	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{ROH}$	Obsah ploch zaoblení rohů dna výtažku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{ZD}$	Obsah ploch zaoblení dna výtažku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{ZS}$	Obsah ploch zaoblení stěn výtažku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_p$	Činná plocha přidržovače	[mm <sup>2</sup> ]

$S_o$	Sommerfeldovo číslo	[-]
$s$	Dráha beranu	[m]
$s_0$	Tloušťka polotovaru	[mm]
$s_{max}$	Maximální tloušťka tvářeného materiálu	[mm]
$t_v$	Hodinová výroba	[ks · hod <sup>-1</sup> ]
$V_o$	Objem odpadu z jedné tabule	[m <sup>3</sup> ]
$v$	Relativní rychlost pohybu ploch	[s <sup>-1</sup> ]
$x$	Koeficient pro redukci poloměru přístřihu v rohu výtažku	[-]
$y$	Koeficient pro redukci rozvinuté výšky výtažku	[-]
$Z$	Materiálová konstanta	[-]
$z_R$	Tažná mezera v rohových zaobleních	[mm]
$z_S$	Tažná mezera v rovných stěnách	[mm]
$z$	Tažná mezera	[mm]
$\alpha$	Koeficient nutnosti použití přidržovače	[-]
$\Delta s$	Poměrná tloušťka stěny	[-]
$\eta$	Absolutní viskozita maziva	[Pa · s]
$\mu$	Poissonův poměr	[-]
$\rho$	Hustota materiálu	[kg · m <sup>-3</sup> ]
$\sigma$	Napětí	[MPa]
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	Hlavní napětí	[MPa]
$\varphi$	Logaritmické přetvoření	[-]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady součástí vyrobených technologií tažení [3], [4], [5], [6].....	10
Obr. 2 Model řešené součásti.....	11
Obr. 3 Využití řešené součásti [7] .....	11
Obr. 4 Náčrt součásti se základními rozměry .....	11
Obr. 5 Odlévání [12] .....	12
Obr. 6 Výrobek zhotoven kombinací ohybu a svaru [14].....	13
Obr. 7 Schéma metody Marform [16] .....	13
Obr. 8 Schéma metody Hydroform [15].....	13
Obr. 9 Schéma konvenčního tažení .....	14
Obr. 10 Tvorba válcového výtažku.....	15
Obr. 11 Princip technologie tažení .....	15
Obr. 12 Znázornění tažného procesu [24] .....	15
Obr. 13 Znázornění směru hlavních napětí a deformací v jednotlivých místech výtažku [19] ....	16
Obr. 14 Porovnání stavů napjatosti rotačních a nerotačních výtažků [2] .....	17
Obr. 15 Deformace pravoúhlé sítě na nerotačním výtažku [2].....	17
Obr. 16 Výtažek a možnosti stanovení jeho polotovaru [15] .....	18
Obr. 17 Pomyslný válcový výtažek vzniklý spojením materiálu v rozích [15].....	19
Obr. 18 Teoretický tvar přístříhu pro obdélníkový výtažek dle Tišnovského [15] .....	19
Obr. 19 Grafické určení rozměru $R_C$ [15].....	19
Obr. 20 Grafická metoda určení přesunu materiálu v rozích ke stanovení polotovaru [15]....	20
Obr. 21 Určení polotovaru nerotačního výtažku dle ČSN 22 7303 [25] .....	21
Obr. 22 Romanovského diagram [26].....	23
Obr. 23 Tažná mezera [19] .....	24
Obr. 24 Graf tažné síly a práce [16].....	25
Obr. 25 Schéma tažného nástroje .....	27
Obr. 26 Znázornění tažidel s přídržovačem (vpravo) a bez něj (vlevo) [19].....	27
Obr. 27 Způsoby upnutí tažníku s držákem [19] .....	28
Obr. 28 Různá konstrukční provedení tažníků [16].....	29
Obr. 29 Různá konstrukční řešení tažnic [29] .....	30
Obr. 30 Možnosti úprav tažné hrany [19].....	30
Obr. 31 Doporučené hodnoty $R_{te}$ [21] .....	31
Obr. 32 Ukázka zvlnění výtažku [30].....	32
Obr. 33 Konstrukce přídržovačů [19] .....	32
Obr. 34 Vtahovací žebra [26] .....	34
Obr. 35 Brzdící žebra [26] .....	34
Obr. 36 Schéma mechanického lisu [31] .....	35
Obr. 37 Průběh síly mechanického lisu [29].....	35
Obr. 38 Průběh síly hydraulického lisu [29].....	35
Obr. 39 Schéma hydraulického lisu [31] .....	36
Obr. 40 Otevřený lis (typ C) [33] .....	36
Obr. 41 Uzavřený lis [34] .....	36
Obr. 42 Striebeckův diagram [16] .....	37
Obr. 43 Kapalné mazivo [35] .....	38
Obr. 44 Plastické mazivo [36] .....	38
Obr. 45 Sejmutí filmu plastické hmoty z hotového výtažku [37].....	39
Obr. 46 Příklad vyhodnocení tvářeného plechu pomocí FLD [39] .....	41
Obr. 47 Rozdělení prvků konečnoprvkové sítě dle dimenze [38] .....	41
Obr. 48 Přesnost výpočtu MKP v závislosti na hustotě sítě [38] .....	41

Obr. 49 Model řešené součásti po tažné a ostříhovací operaci .....	42
Obr. 50 Rozdělení povrchu výtažku .....	42
Obr. 51 Sestrojení výsledného tvaru polotovaru dle Tišnovského .....	44
Obr. 52 Znázornění tažné mezery v řezu tažným nástrojem [25] .....	45
Obr. 53 Činná plocha přidržovače .....	46
Obr. 54 Hydraulický lis řady ZH [42] .....	47
Obr. 55 Tažný nástroj .....	48
Obr. 56 Řez tažným nástrojem .....	49
Obr. 57 Zakládací kolík .....	49
Obr. 58 Diskretizace činných součástí tažného procesu .....	52
Obr. 59 Křivka zpevnění pro ocel DC01 [47] .....	52
Obr. 60 Průběh simulace s vyhodnocením tloušťky plechu .....	53
Obr. 61 Riziko roztržení přetvořené součásti .....	53
Obr. 62 Keeler-Goodwinův diagram pro tažení s danými parametry .....	54
Obr. 63 Křivka zpevnění pro ocel DC05 [47] .....	54
Obr. 64 Riziko roztržení přetvořené součásti s použitím parametrů druhé varianty simulace .....	55
Obr. 65 Keeler-Goodwinův diagram pro tažení s parametry druhé varianty simulace .....	55
Obr. 66 Odchylka okrajů přetvořené součásti od ideálního modelu (v mm) .....	56
Obr. 67 Geometrie polotovaru dle softwaru PAM-STAMP [47] .....	56
Obr. 68 Riziko roztržení přetvořené součásti s použitím parametrů třetí varianty simulace .....	56
Obr. 69 Keeler-Goodwinův diagram pro tažení s parametry třetí varianty simulace .....	57
Obr. 70 Odchylka okrajů přetvořené součásti od ideálního modelu pro tažení s parametry třetí varianty simulace (v mm) .....	57
Obr. 71 Odchylka přetvořeného tvaru od ideálního modelu součástí .....	57
Obr. 72 Průběh tažné síly v závislosti na dráze beranu .....	58
Obr. 73 Rozložení maximálního počtu polotovarů na tabuli [51] .....	59
Obr. 74 Diagram bodu zvratu .....	62

## SEZNAM TABULEK

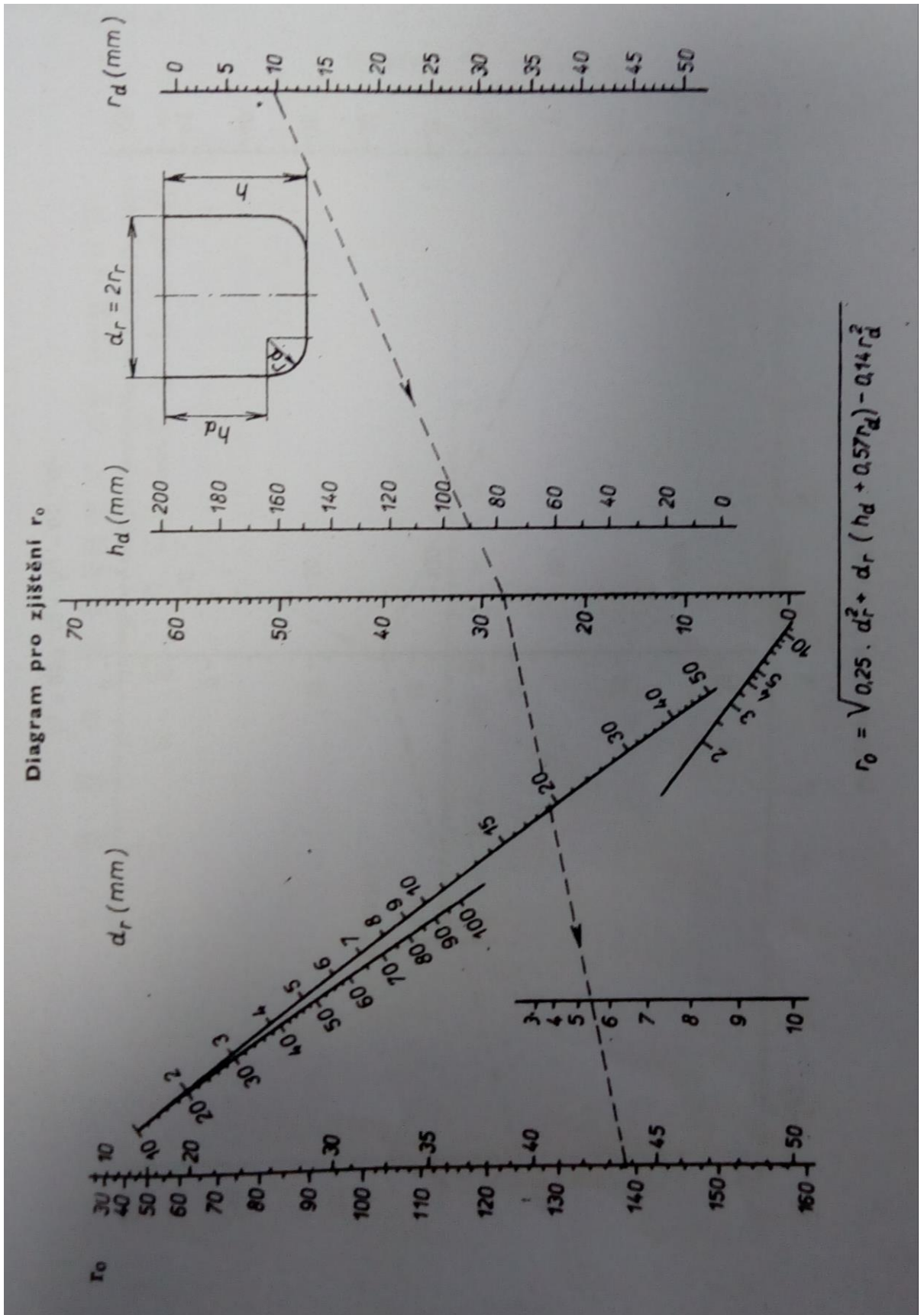
Tab. 1	Ekvivalentní označení oceli DC01 [9].....	12
Tab. 2	Chemické složení oceli DC01 [10].....	12
Tab. 3	Mechanické vlastnosti oceli DC01 [10] .....	12
Tab. 4	Hodnoty vhodného přídatku na ostřížení [20] .....	18
Tab. 5	Závislost výšky výtažku dosažitelné v prvním tahu na poloměru zaoblení v rozích [15] .....	22
Tab. 6	Doporučené hodnoty redukce tvaru válcových výtažků z ocelových plechů [15] .....	23
Tab. 7	Doporučené hodnoty tažné mezery vzhledem k velikosti tloušťky plechu [15] .....	25
Tab. 8	Hodnoty součinitele $A_k$ v závislosti na délce výtažku [15] .....	26
Tab. 9	Minimální hodnoty zaoblení hrany tažníku [2] .....	29
Tab. 10	Vybrané hodnoty materiálové konstanty dle ČSN 22 7301 [2].....	33
Tab. 11	Měrné tlaky přidržovače v závislosti na druhu taženého materiálu [2].....	33
Tab. 12	Doporučené tlaky přidržovače v závislosti na tloušťce taženého plechu [15] .....	34
Tab. 13	Parametry hydraulického lisu ZH 10 [41] .....	48
Tab. 14	Vlastnosti maziva MOLYDUVAL Moralub KFP 61 V [45] .....	51
Tab. 15	Technologický postup výroby .....	51

## **SEZNAM PŘÍLOH**

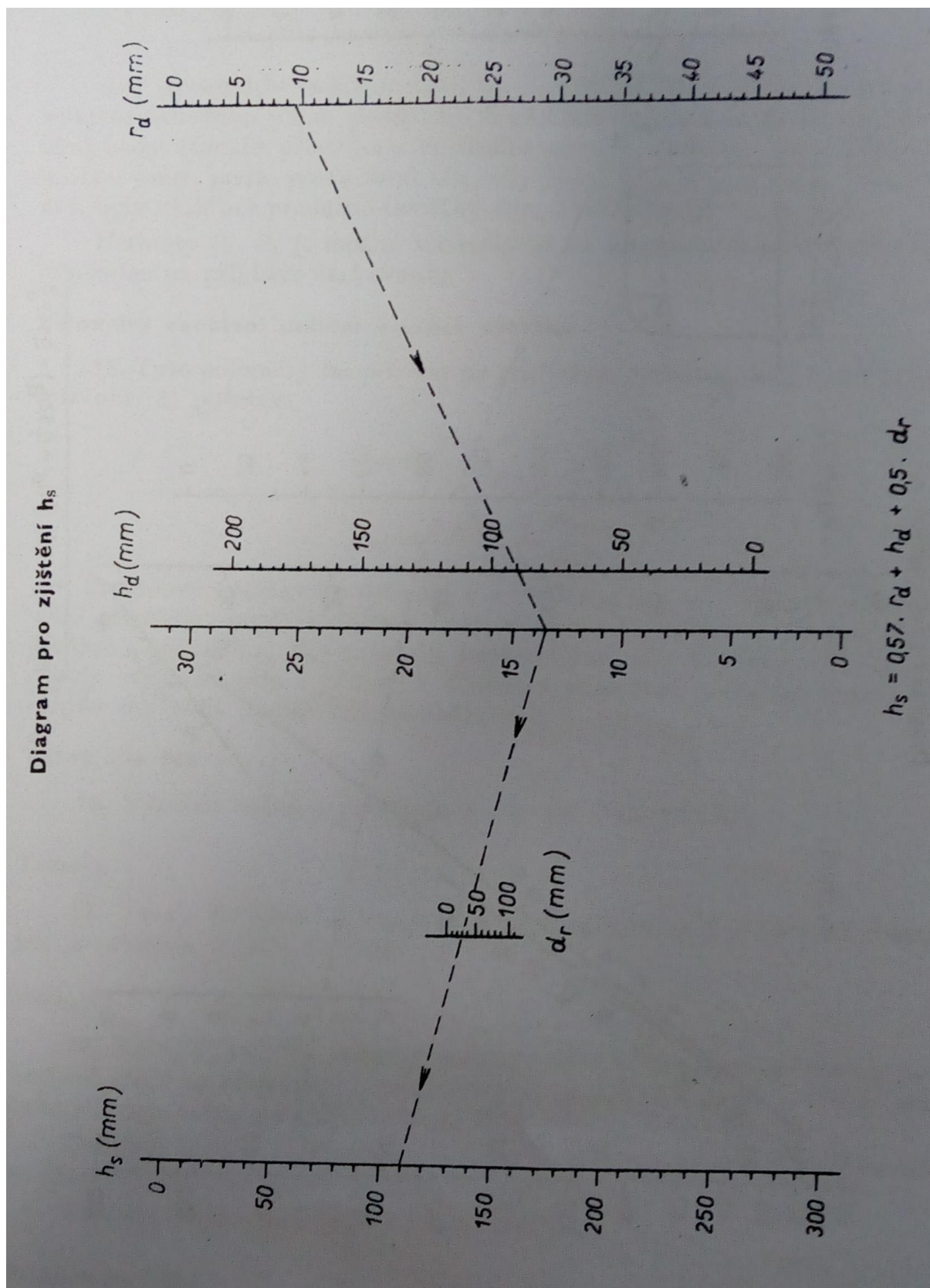
- Příloha 1 Diagram pro zjištění poloměru přístřihu v rohu výtažku  $r_0$  [25]
- Příloha 2 Diagram pro zjištění rozvinuté výšky stěn výtažku H [25]
- Příloha 3 Diagram pro zjištění pomocných koeficientů x, y [25]
- Příloha 4 Výběr z katalogu společnosti FIBRO – vodící sloupky [43]
- Příloha 5 Výběr z katalogu společnosti FIBRO – vodící pouzdra [43]
- Příloha 6 Model anizotropie Vegter pro ocel DC01 [47]
- Příloha 7 Model anizotropie Vegter pro ocel DC05 [47]
- Příloha 8 Geometrie polotovaru výtažku dle softwaru PAM-STAMP [47]
- Příloha 9 Průběh třetí varianty simulace s vyhodnocením tloušťky stěny [47]
- Příloha 10 Nevýhodnější rozložení polotovarů na tabuli dle softwaru Nest&Cut [51]

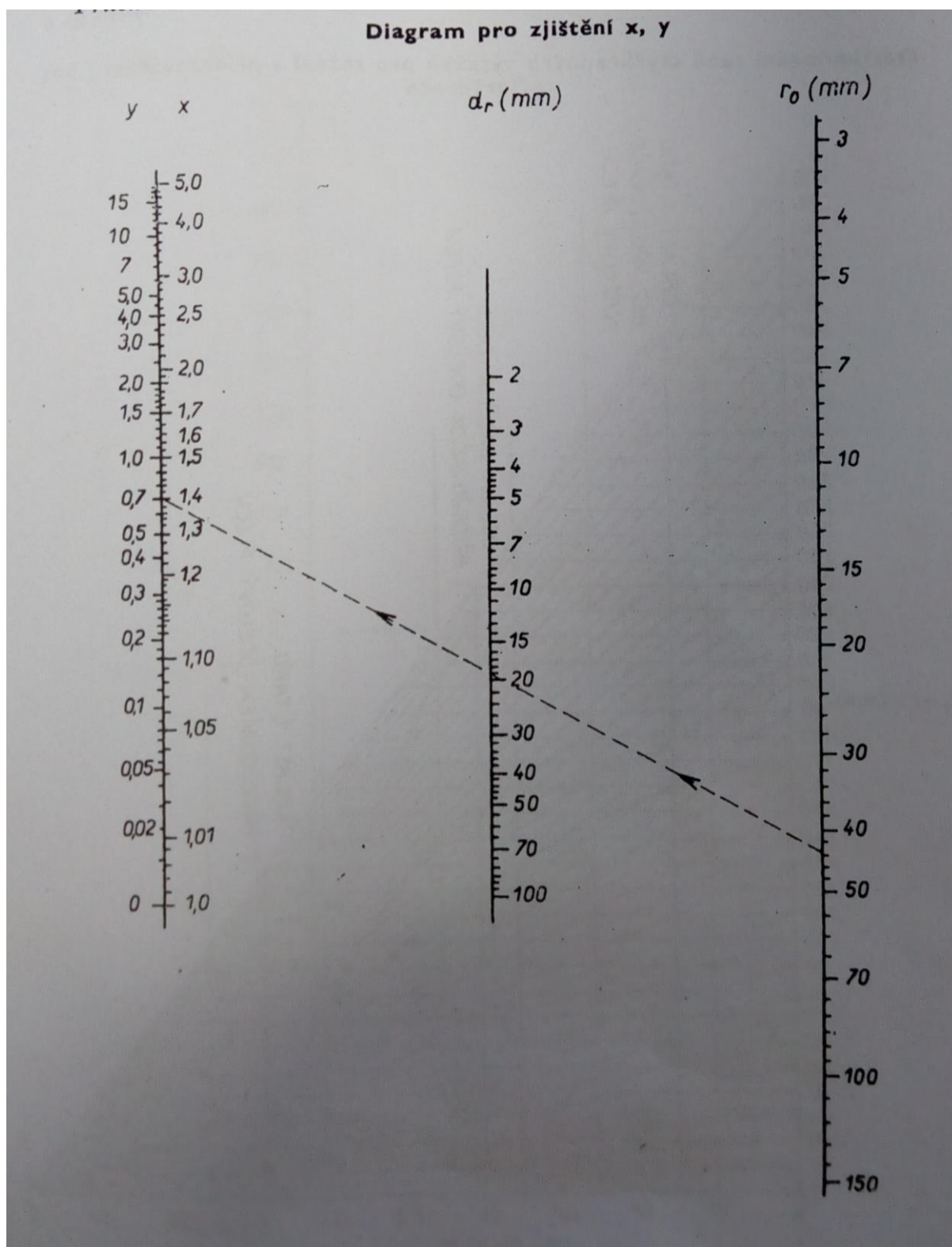
## **SEZNAM VÝKRESŮ**

Pouzdro zapalování	DP2020-161461-03
Tažnice	DP2020-161461-02
Tažník	DP2020-161461-01
Tažný nástroj	DP2020-161461-00





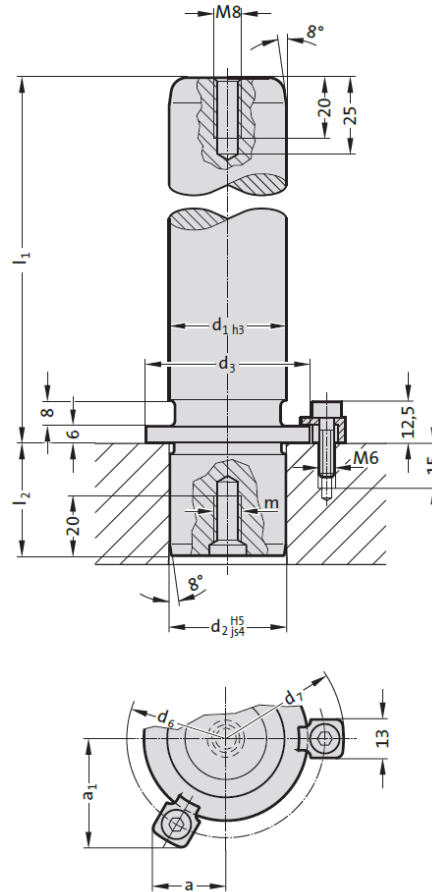




**GUIDE PILLAR WITH COLLAR, SCREW CLAMP RETENTION, DIN 9825/-ISO 9182-5**



2021.46.



**Description:**

Demountable pillars with shoulder are suited to applications where die sharpening requires dismantling and re-fitting.

**Material:**

Steel, (Core strength:  $\geq 900 \text{ N/mm}^2$ ) surface hardened  
Surface hardness:  $60 + 3 \text{ HRC}$ , Hardness penetration  $\geq 1,8 \text{ mm}$


**Execution:**


fine precision ground  
Method of manufacturing entails that centre holes are not concentric with O.D.


**Note:**

The attachment is with 3 Screw clamp, from  $\varnothing d_1 = 38$  with 4 Screw clamp, which are included in delivery (Order No: 207.45 - Screw clamp incl. socket cap screw DIN 6912, M6x20, Head  $\varnothing 13$ ).

Optionally, it is also possible to fix it with a central screw connection 2021.43. or supporting ring 2021.45. (order separately).

 Bearing clearance / Preloading see pairing classification at the beginning of chapter D.

 Matching guide combinations, see selection matrix at the beginning of chapter D.

 Assembly guide lines / Dimensional requirements and tolerances at the end of chapter D.

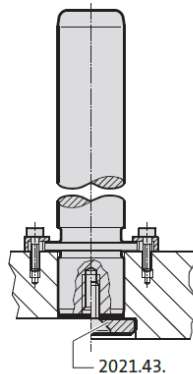
Tolerance range:

yellow = .10

green = .20

red = .30

**Mounting example**



**GUIDE PILLAR WITH COLLAR, SCREW CLAMP RETENTION,  
DIN 9825/~ISO 9182-5**

2021.46. Guide pillar with collar, screw clamp retention, DIN 9825/~ISO 9182-5

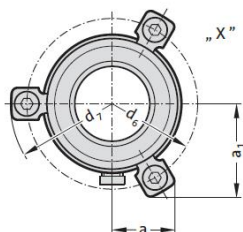
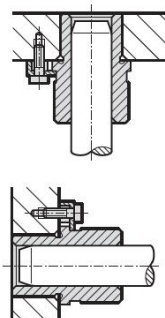
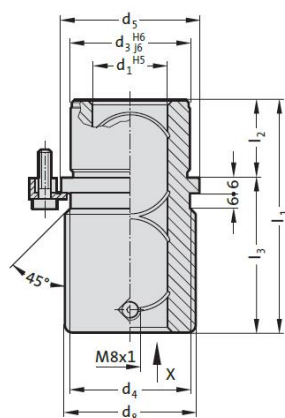
d <sub>1</sub>	15 16	19 20	24 25	30 32	38 40	48 50	60 63	80
d <sub>2</sub>	15 16	19 20	24 25	30 32	38 40	48 50	60 63	80
d <sub>3</sub>	22	25	32	40	50	63	80	95
d <sub>6</sub>	33	36	43	51	61	74	91	106
d <sub>7</sub>	45.7	48.7	55.7	63.7	73.7	86.7	103.7	118.7
a	15.9	16.6	18.4	20.4	29.2	33.8	39.8	46.2
a <sub>1</sub>	21.7	23	26	29.5	29.2	33.8	39.8	46.2
m	8	8	8	8	8	8	8	12
l <sub>2</sub>	20	23	30	37	37	47	47	60
h								
100	●	●	●					
112	●	●	●	●				
125	●	●	●	●	●			
140	●	●	●	●	●	●		
160	●	●	●	●	●	●	●	
180	●	●	●	●	●	●	●	
200	●	●	●	●	●	●	●	●
224			●	●	●	●	●	●
250			●	●	●	●	●	●
280				●	●	●	●	●
315				●	●	●	●	●
355					●	●	●	●
400						●	●	●

Headed guide bush "ECO-LINE", bronzeplated, ISO 9448-6



2081.91.

Mounting example



**Material:**  
Steel, d<sub>3</sub> induction hardened

**Execution:**  
Bronze coated internal bore.  
Outside diameter fine-ground.

**Note:**  
The attachment is with 3 screw clamps, from  $\varnothing d_1 = 38$  with 4 screw clamps, which are included in delivery (Order No: 207.45 - screw clamp incl. socket cap screw DIN 6912, Head  $\varnothing 13$ ).  
Matching guide combinations, see selection matrix at the beginning of chapter D.  
Assembly guide lines / Dimensional requirements and tolerances at the end of chapter D.

2081.91. Headed guide bush "ECO-LINE", bronzeplated, ISO 9448-6

d <sub>1</sub>	19 20	24 25	30 32	38 40	48 50	60 63	80
d <sub>3</sub>	32	40	48	58	70	85	105
d <sub>4</sub>	32	40	48	58	70	85	105
d <sub>5</sub>	40	48	56	66	80	95	118
d <sub>6</sub>	52	60	67	77	91	106	129
d <sub>7</sub>	64.7	72.7	79.7	89.7	103.7	118.7	141
d <sub>8</sub>	39	46	53	63	77	92	115
a	20.7	22.7	24.4	35.3	40.2	45.5	54.5
a <sub>1</sub>	30.3	33.4	36.4	35.3	40.2	45.5	54.5
l <sub>1</sub>	59	79	93	108	127	150	150
l <sub>2</sub>	23	23	30	37	47	60	60
l <sub>3</sub>	36	56	63	71	80	90	90

Ordering Code (example):

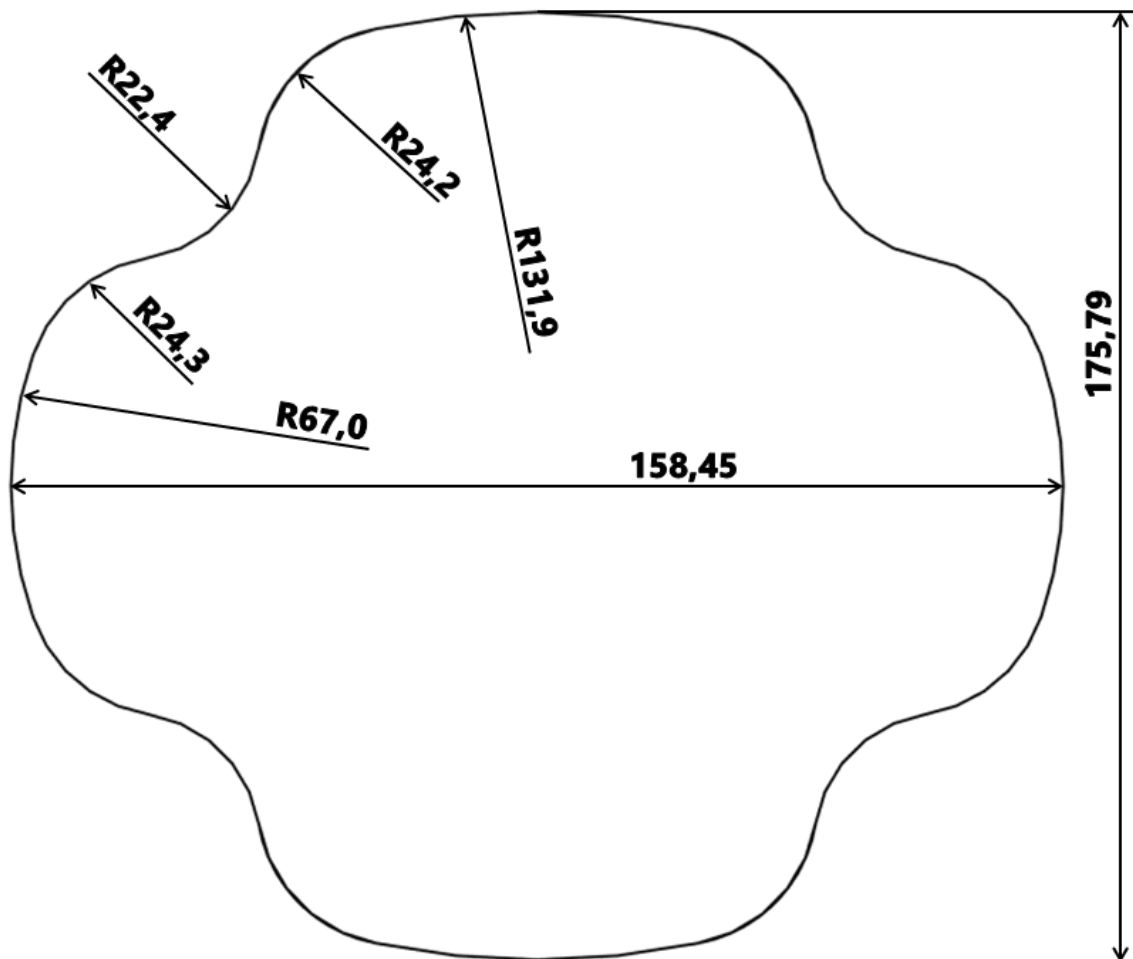
Headed guide bush "ECO-LINE", bronzeplated, ISO 9448-6	=2081.91.
Guide diameter d <sub>1</sub>	19 mm = 019
Order No	=2081.91. 019

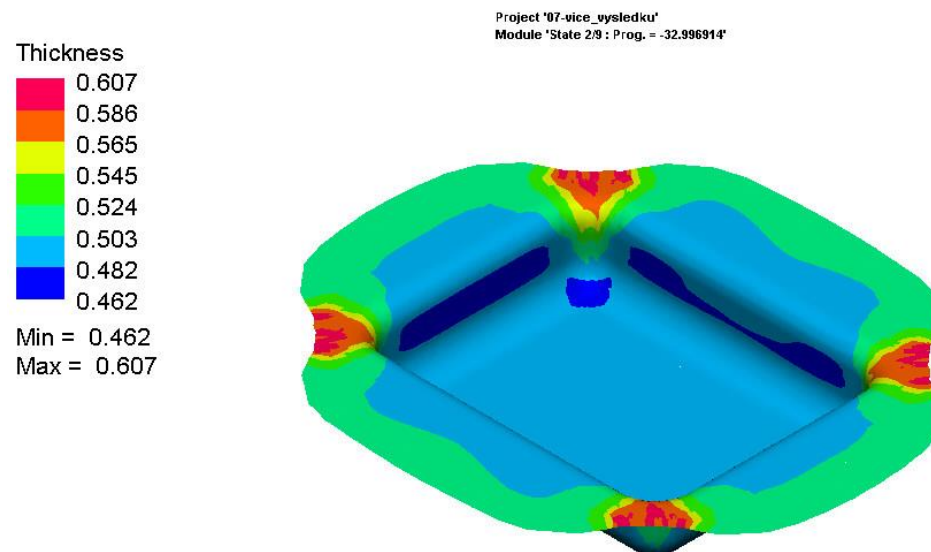
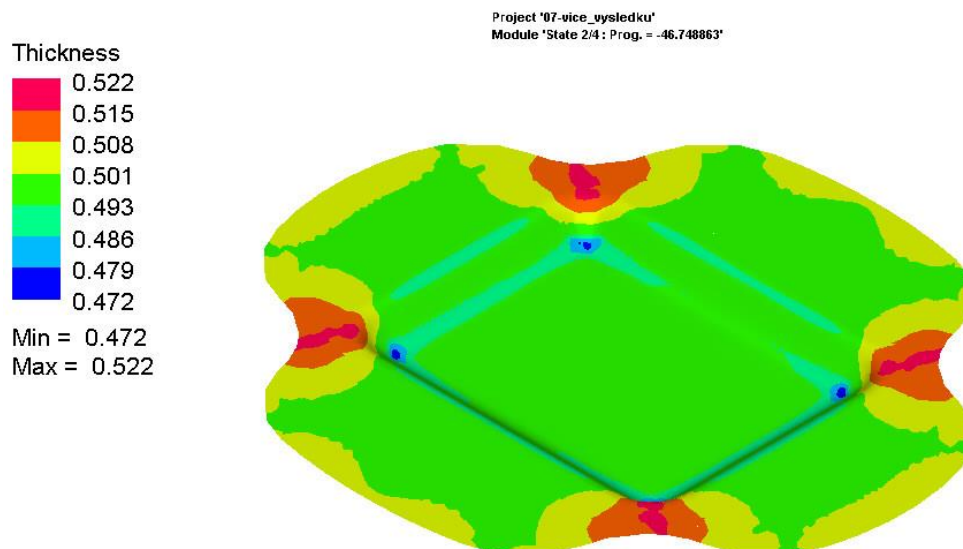
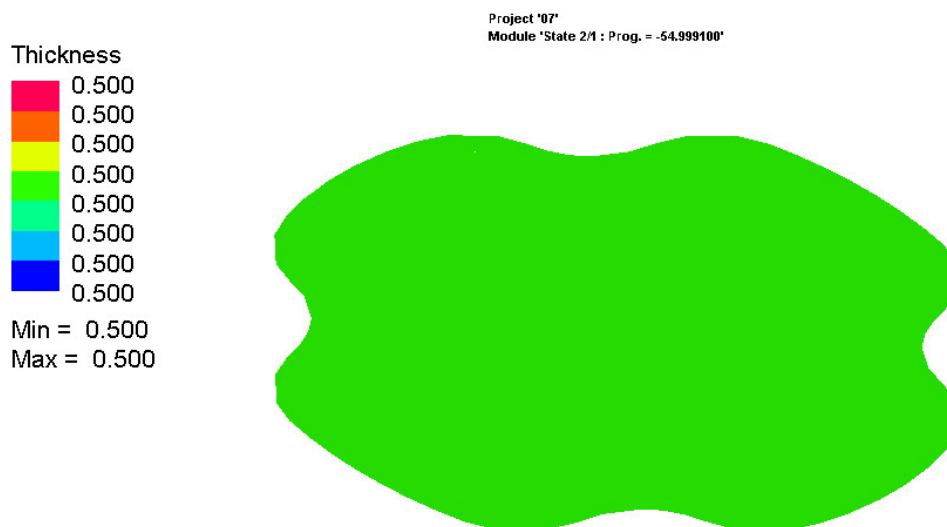
	0	45	90
$\sigma$ -uniaxial	1.	1.015	0.992
r-uniaxial	1.513	1.621	1.83
$\sigma$ -plane	1.203	1.232	1.223
$\alpha$ -plane	0.627	0.591	0.617
$\sigma$ -pure shear	0.548	0.549	0.541
r-biaxial	0.827	$\sigma$ -biaxial	1.114

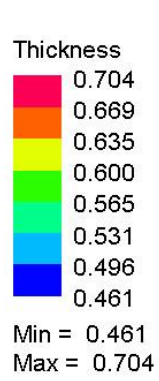


	0	45	90
$\sigma$ -uniaxial	1.	1.021	0.98
r-uniaxial	2.011	1.541	2.421
$\sigma$ -plane	1.247	1.232	1.245
$\alpha$ -plane	0.606	0.613	0.627
$\sigma$ -pure shear	0.54	0.555	0.535
r-biaxial	0.831	$\sigma$ -biaxial	1.13

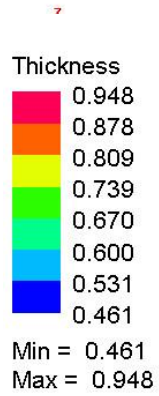
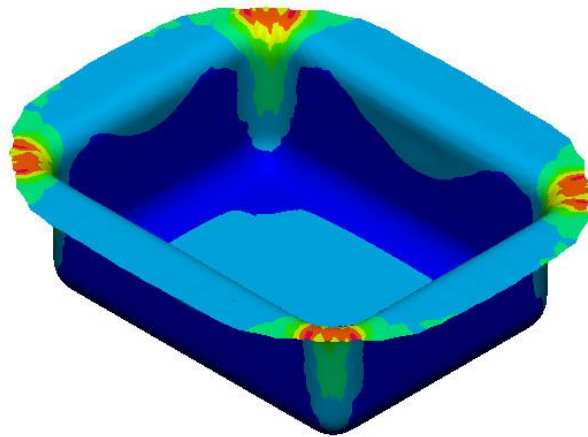




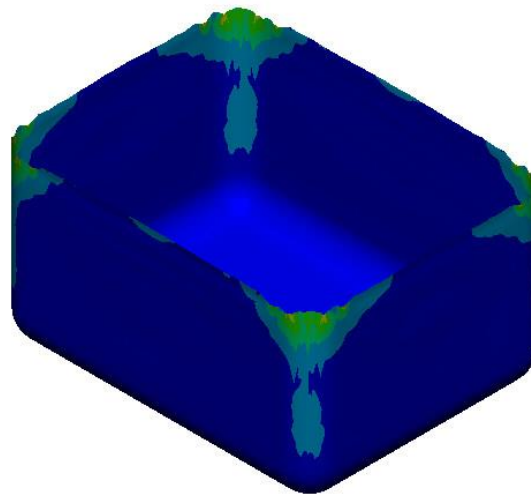




Project '07-vice\_vysledku'  
Module 'State 2/4 : Prog. = -19.247885'



Project '07-vice\_vysledku'  
Module 'State 2/end : Prog. = -0.001376'

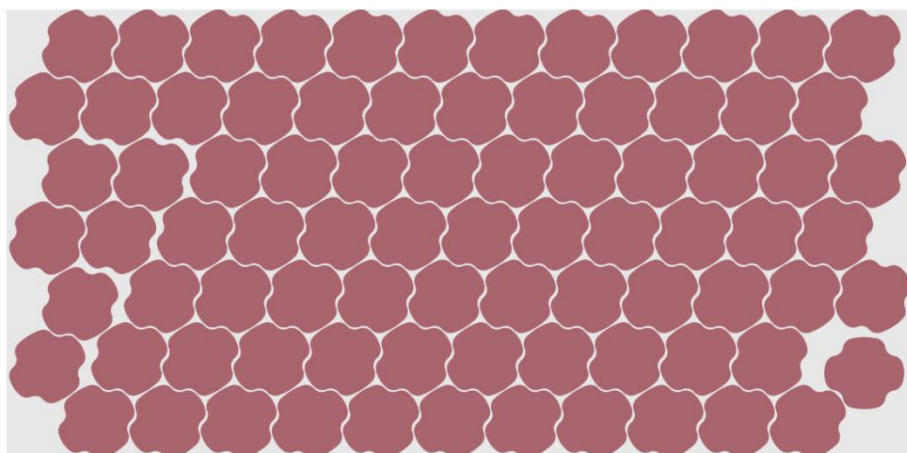


Vstupní parametry:

## Nesting parameters

Part gap	3 mm
Border gap	6 mm
Step angle	All steps
Flip allowed	Yes
Asked time	300 seconds

Výsledky výpočtu:



2000 mm x 1000 mm

82.68% efficiency

83 nested parts

1.99 m used length