



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## NÁVRH VÝROBY STÍNIDLA

PRODUCTION CONCEPT OF LAMPSHADE

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Drška

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2023

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Jan Drška</b>
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Michaela Císařová, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2022/23

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

## Návrh výroby stínidla

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Téma diplomové práce je zaměřeno na technologii výroby stínidla stolní lampy rotačního tvaru. Literární rešerše bude vypracována na vhodnou technologii plošného tváření. Výstupem bude návrh postupu výroby součástí, návrh tvářecího nástroje a volba vhodného stroje.

### **Cíle diplomové práce:**

Vypracování literární studie na zvolenou technologii výroby. Zhodnocení současné technologie výroby stínidla. Návrh vhodné technologie výroby součástí a zpracování postupu výroby doplněné technologickými a kontrolními výpočty. Součástí práce bude i návrh sestavy nástroje a lisovacího stroje, závěry se zhodnocením navrhované technologie.

### **Seznam doporučené literatury:**

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

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

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

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

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

TSCHÄETSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. Springer Berlin Heidelberg, New York, 2006. 404 s. ISBN 3-540-33216-2.

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

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## ABSTRAKT

V této práci je vypracován návrh optimalizace stínítka lampy. Cílem optimalizace je použití dostupnějších dílů v sestavě a využití technologie pro velkosériovou výrobu. Pro zvolenou technologii je provedená literární studie. Jsou provedeny technologické výpočty koeficientu tažení, rozměrů výtažků, rozměry tažníků, výpočet tažné a přidržovací síly, návrh konstrukce nástrojů, návrh vhodného stroje a byla provedena simulace v programu PAM-STAMP. Na základě výstupů z programu do Keller-Goodwinova diagramu je součást vyrobitelná. V závěru je určeno, že pro zvolenou technologii hlubokého tažení bude tažen stupňovitý výtažek na pět operací a šestá závěrečná operace je kalibrační. Stroj je zvolen hydraulický lis od firmy HŠV Polička z důvodu, že firma je schopna dodat příslušenství v podobě vyhazovačů a upravit výšku rozevření stroje. Nástroj je rozdělen na dvě části z důvodu velkého počtu operací.

### Klíčová slova

Hluboké tažení, ČSN 11 320, tažení kužele, stupňovitý výtažek, PAM-STAMP

## ABSTRACT

In this thesis is worked out for the optimization of the lamp shade is developed. The aim of the optimization is to use more affordable parts in the assembly and to use technology for large-scale production. A literature study is carried out for the chosen technology. The technological calculations of the drag coefficient, the dimensions of the extractions, the dimensions of the pullers, the calculation of the pulling and holding force, the design of the construction of the tools, the design of a suitable machine and the simulation in the PAM-STAMP program were carried out. Based on the outputs from the program to the Keller-Goodwin diagram, the part is manufacturable. In conclusion, it is determined that for the selected deep drawing technology, a graded extract will be drawn for five operations, and the sixth final operation is a calibration one. The machine chosen is a hydraulic press from the company HŠV Polička because the company is able to supply additional accessories in the form of ejectors and adjust the opening height of the machine. The tool is divided into two parts due to the large number of operations.

### Keywords

Deep drawing, ČSN 11 320, cone deep drawing, step extraction, PAM-STAMP

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

DRŠKA, Jan. *Návrh výroby stínidla*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/149238>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Michaela Císařová.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh výroby stínidla vypracoval(a) samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

26.5.2023

místo, datum

Bc. Jan Drška

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Michaele Císařové, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování diplomové práce. Také děkuji rodičům a sestře za podporu při celé době studia na vysoké škole.

**OBSAH**

Zadání práce	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
ÚVOD .....	9
1 POPIS PROBLEMATIKY .....	10
1.1 MOŽNOSTI VÝROBY .....	10
2 Hluboké tažení .....	12
2.1 Víceoperační hluboké tažení .....	13
2.2 Možnosti tažení komolého kužele .....	14
2.3 Výpočet tvaru a velikosti polotovaru .....	15
2.4 Výroba polotovaru .....	16
2.5 Výpočet síly a práce .....	18
2.5.1 Přidržovací síla .....	18
2.5.2 Tažná síla .....	19
2.5.3 Tažná práce .....	21
2.6 Konstrukce nástroje .....	22
2.6.1 Volba tažnice .....	22
2.6.2 Volba tažníku .....	24
2.6.3 Volba přidržovače .....	26
2.6.4 Další prvky nástroje .....	26
2.7 Volba stroje .....	27
2.7.1 Rozdělení dle nezávislých beranů .....	27
2.7.2 Rozdělení lisů dle hnací soustavy .....	28
2.8 Maziva .....	32
3 VÝPOČETNÍ MODEL ŘEŠENÍ ZADANÉ SOUČÁSTI .....	33
3.1 Výpočet průměru rondelu bez přídavek .....	33
3.2 Výpočet modulu tažení $m$ a průměru rondelu s přídávky .....	33
3.3 Výpočet pro stříhání rondelu .....	35
3.4 Výpočet průměrů v jednotlivých operacích .....	37
3.5 Výpočet rozměrů výtažků v každé operaci .....	38
3.6 Výpočet sil .....	45
4 KONSTRUKCE NÁSTROJE .....	49
5 SIMULACE .....	52
Závěr .....	58
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratek	
Seznam příloh	

## ÚVOD

Pro výrobu součástek a dílů se využívají různé metody výroby. Na základě několika faktorů například kolik kusů se má vyrábět, jaké jsou požadované vlastnosti výrobku, materiál, cena materiálu, strojní vybavení podniku nebo efektivita technologie.

Možné technologie vhodné pro zpracování kovů se dělí na obrábění a tváření. Obráběcí technologie jsou finančně náročné, ale univerzálnější. Tvářecí technologie se dají dělit na plošné a objemové. Objemové technologie jsou například kování nebo protlačování. Plošné technologie jsou kovotlačení, stříhání, ohýbání, lemování, rovnání nebo hluboké tažení.

Hluboké tažení je metoda plošného tváření, při které se rovný plech protáhne přes hranu tažnice za pomoci tažníku, který na sebe „nabírá“ plech a výsledný tvar kopíruje tvar tažníku. K výše uvedeným nástrojům lze použít i přídržovač.

V závěrečné práci bude probraná úvaha o využití vhodné technologie pro výrobu dílu při zadaném objemu výroby a optimalizace dílu, jak pro výrobu a využití velkosériových dílů v navazující sestavě. Cílem je navrhnout optimální výrobu s co nejnižší cenou výrobku a případnou úsporou pro celkovou sestavu



Obr. 1 Příklady výrobků [1, 2, 3]

## 1 POPIS PROBLEMATIKY

V této závěrečné práci je cílem optimalizovat výrobu dílu stínítka lampy. Z hlediska správné funkčnosti musí obsahovat kuželové zakončení z důvodu usměrnění světelných paprsků ze zdroje a tím se i vytvoří prostor na zdroj světla. Dále musí obsahovat otvory pro výměnu tepla vzniklé odporem v žárovce a objímce a musí být umístěné tak, aby bylo umožněno volné proudění vzduchu. Dále je třeba vyřešit upevnění objímky na žárovku a přívod vodičů k objímce, to bude řešeno v podobě otvoru ve dnu stínítka, kterým bude veden vodič a celé stínítko bude upevněno skrz tento otvor (původní stav je na obrázku 2).

Tyto výše uvedené prvky musí obsahovat optimalizovaná součást. V práci bude proveden výpočet a simulace současného stavu, návrh na optimalizaci výroby v podobě poupravení tvaru, výpočet, počítačová simulace optimalizované výroby, výkresová dokumentace (výkres stávajícího dílu, návrh optimalizovaného dílu, tažník a tažnice 1. operace a výkres sestavy nástroje), návrh stroje.



Obr. 2 Fotografie výchozího stavu

### 1.1 MOŽNOSTI VÝROBY

Jako výrobní technologie lze použít inkrementální tváření, třískové obrábění (soustružení a frézování), rotační kovotlačení nebo hluboké tažení.

Inkrementální tváření je nekonvenční technologie tváření, kterou lze vytvořit stupňovité komplikované nerotační tvary. Nevýhoda je že technologie je pomalá a pracuje na principu ztenčení stěny a je třeba velká příruba na upevnění plechu, energeticky i cenově náročná a málo rozšířená.

Třískové obrábění je dostupné, celkem jednoduché a dají se vytvořit velmi složité, přesné tvary o různé tloušťce stěny. Nevýhodou je velké množství odpadu, velké opotřebení řezných nástrojů a velká cenová náročnost technologie.

Technologie kovotlačení funguje na principu rotačního tlačení rondelu na formu se ztenčením tloušťky stěny závislé na úhlu formy vůči ose rotace. Nevýhodou této technologie je složitý polotovar a dlouhá doba na upevnění a vytažení materiálu.

Hluboké tažení je konvenční metoda tváření plechů. Funguje na principu, že nástroj (tažník) protlačí plech skrz otvor (tažnice). Metoda je vhodná pro velkosériovou výrobu z důvodu vyšších pořizovacích nákladů nástroje a stroje, ale na úkor nízkých nákladů na provoz. Další nevýhodou je nízká univerzálnost nástroje (jeden nástroj dělá jeden výrobek), proto je třeba použít například víceoperační nástroj.

Z výše uvedených technologií se jeví jako nejvýhodnější technologie tažení plechu konvenčním způsobem. Jako polotovar bude zvolen výstřižek, dále proběhne víceoperační tažení, kalibrace kužele a vystřižení větracích otvorů. Pro eliminaci ostrých hran bude výrobek obarven (barva zaobalí ostré rohy).

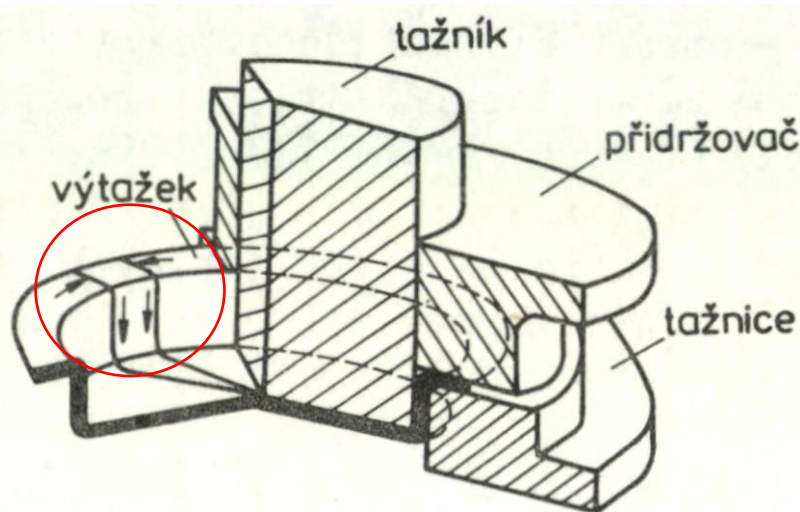
Materiál musí být vhodný pro hluboké tažení a musí mít aspoň minimální protikorozní vlastnosti, jelikož se předpokládá, že umístění bude v místnosti při stabilní teplotě a s přijatelnou vlhkostí. Proto jako materiál je zvolen plech ČSN 11 320. Výrobce uvádí velmi dobré vlastnosti pro hlubokotažnost a dobrou korozní odolnost, jak je vidět označené v tabulce 1. [4]

**Tabulka 1 Vybrané hodnoty z normy pro ČSN 11 320**

Chemické složení [hm. %]				
C max.	P max.	S max.		
0,11	0,045	0,045		
Mechanické vlastnosti				
Pevnost	Mez kluzu	Tažnost		Svařování
Rm [MPa]	Re [MPa]	A50(min. %)		
270-370	260	30		Zaručené

## 2 HLUBOKÉ TAŽENÍ

Hluboké tažení je technologie plošného tváření. Úkolem je přeměna polotovaru v podobě plechu různého tvaru na dutou součást. Výtažek vzniká působením tažníku přes hranu tažnice s tím, že se výrazně nemění tloušťka stěny plechu. Při procesu může dojít k několika vadám, například zvlnění příruby (dochází zde k tlakovým a tahovým napětím, což může vést k vzniku vlny) nebo může dojít k utržení dna výtažku (je to důsledek extrémního tahového napětí). Tok materiálu je vyobrazen na obrázku 3 vlevo (vyznačeno červeně). Eliminace nechtěných projevů se dá řešit několika způsoby jako např. použitím přidržovače, brzdných žebër nebo víceoperačního tažení. [5; 6; 7].

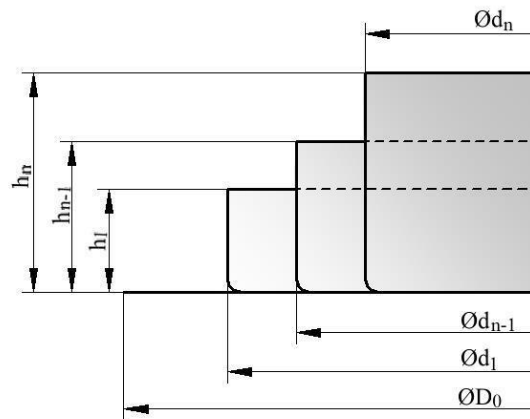


Obr. 3 Řez tažným nástrojem [5]

Přidržovač je vyobrazen na obrázku 3. Jeho úkolem je přitlačit materiál na tažnici a tím zabránit vybočení polotovaru do tvaru vlny, zároveň působícím tlakem se zvyšuje třením na tažnici a zpomaluje to přísun materiálu k hraně tažnice a tím tažník odebírá dostatek materiálu na to, aby nevznikalo příliš velké tlakové napětí. Když je přidržovací tlak nedostatečný dá se použít i brzdné žebro. To se využívá například u nerotačních výtažků, kde vzniká nerovnoměrné napětí. V místech s nízkým napětím materiál „předbíhá“ a ve výsledku se deformuje v konečný výtažek. [5; 6; 7; 8].

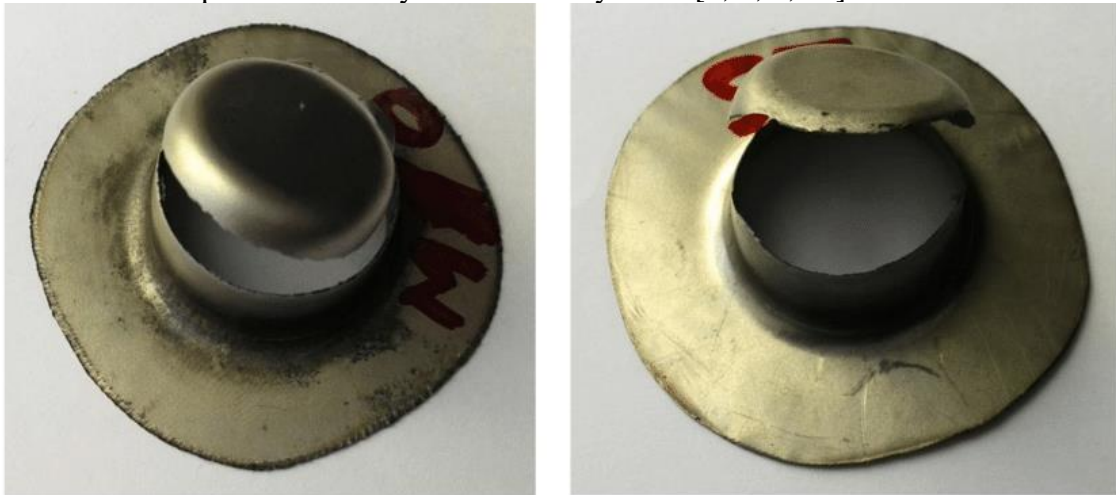
Pro případ že se utrhne dno je tu řešení v podobě víceoperačního tažení. Výhoda je ta, že deformace se rozloží do více operací a nedojde k porušení. Rozložení probíhá v podobě tažení od největšího do výsledného průměru výtažku tak, jak je vyobrazeno na obrázku 4. [5; 10; 12; 17]

## 2.1 Víceoperační hluboké tažení



Obrázek 4 Víceoperační tažení [9]

Když výtažek nelze vytáhnout na první operaci, tak je možnost táhnout na více operací, kdy se průměr postupně zmenšuje až na konečnou hodnotu. Při překročení kritické meze tváření může dojít vlivem tahových napětí k utržení dna výtažku (viz obr. 5). V materiálu při víceoperačním tažení se rozloží napětí a umožní vytáhnout užší výtažek. [5; 6; 7; 11].



Obr. 5 Ukázka utržení dna výtažku [11]

Na základě zmíněných informací, je třeba určit správný počet operací  $n$ , k tomu slouží vzorec na stanovení průměru vytaženého výtažku (2.1). [5; 6; 7; 11]

$$n = 1 + \frac{\ln d_n - \ln (m_1 \cdot D_0)}{\ln m'} , \quad (2.1)$$

- kde:
- $d_n$  – průměr výtažku na konci operace [mm]
  - $m_n$  – součinitel tažení pro danou operaci  $m_n = \frac{d_{n-1}}{d_n}$  [-]
  - $m'$  – střední hodnota součinitele tažení  $m'$  se volí dle doporučení normy ČSN 22 7301  $m' = (0,75 \div 0,85)$
  - $D_0$  – průměr rondelu. [mm]

Dle tabulky 2 pro stanovení koeficientu tažení se určí koeficienty pro 1 až 5 operací. V tabulce lze nalézt jen 5 operací z důvodu, že po 4 - 5 tahu je třeba rekrystalizačního žíhání z důvodu vyčerpání plastických vlastností materiálu. Dle použití rekrystalizačního žíhání se navrátí mechanické vlastnosti na původní hodnotu a koeficienty se zase používají od prvního. Z této tabulky jde ověřit i maximální výška  $h$  výtažku. [5; 6; 7; 11]

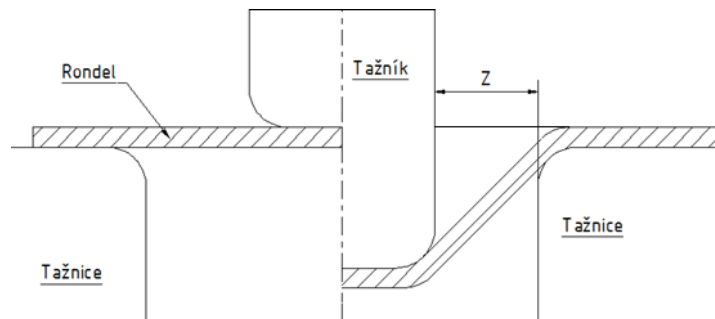
**Tabulka 2 Hodnoty koeficientů tažení [12]**

Vliv poměrné síly rondelu na koeficient tažení na první tah						
	Poměrná síla rondelu $\frac{s}{D} \cdot 100$					
	2,0 - 1,5	1,5 - 1,0	1,0 - 0,6	0,6 - 0,3	0,3 - 0,15	0,15 - 0,08
$m_1$	0,48 - 0,50	0,50 - 0,53	0,53 - 0,55	0,55 - 0,58	0,58 - 0,60	0,60 - 0,63
$m_2$	0,73 - 0,75	0,75 - 0,76	0,76 - 0,78	0,78 - 0,79	0,79 - 0,80	0,80 - 0,82
$m_3$	0,76 - 0,78	0,78 - 0,79	0,79 - 0,80	0,80 - 0,81	0,81 - 0,82	0,82 - 0,84
$m_4$	0,78 - 0,80	0,80 - 0,81	0,81 - 0,82	0,82 - 0,83	0,83 - 0,85	0,85 - 0,86
$m_5$	0,80 - 0,82	0,82 - 0,84	0,84 - 0,85	0,85 - 0,86	0,86 - 0,87	0,87 - 0,88
Operace	Největší poměrná tloušťka tažení $\frac{h}{d}$					
	1	0,94 - 0,77	0,84 - 0,65	0,70 - 0,57	0,62 - 0,50	0,52 - 0,45
2	1,88 - 1,54	1,60 - 1,33	1,36 - 1,1	1,13 - 0,94	0,96 - 0,83	0,9 - 0,7
3	3,5 - 2,7	2,8 - 2,2	2,3 - 1,8	1,9 - 1,5	1,6 - 1,3	1,3 - 1,1
4	5,6 - 4,3	4,3 - 3,5	3,6 - 2,9	2,9 - 2,4	2,9 - 2,0	2,0 - 1,5
5	8,9 - 6,6	6,6 - 5,1	5,2 - 4,1	4,1 - 3,3	3,3 - 2,7	2,7 - 2,0

## 2.2 Možnosti tažení komolého kužele

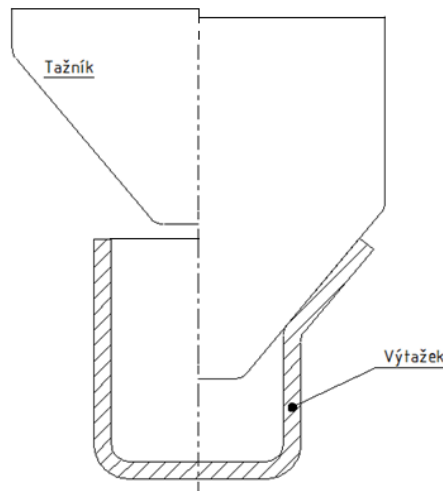
Tažení komolého kužele oproti kolmým výtažkům má nevýhodu v tom, že je zde poměrně velká plocha, která nemusí být podepřena žádnou nebo jen některou částí nástroje (tažnice, tažník nebo přidržovač). Výrobu komolého kužele lze provést 3 možnými způsoby. První možnost je zhotovení kužele tažením hned v první operaci. Druhá možnost je vytažení stupňovitého výtažku s následnou kalibrací na tvar kužele. Třetí možnost je vytažení válce na konečný nejvyšší průměr a následně radiálně vypínán na finální tvar. [12; 13],

První výše zmíněný způsob musí splňovat podmínku, že tažná síla musí být menší než síla kritická a že počet operací  $n$  ve vzorci (2.1) musí být roven nebo nižší než 1. Výhodou tohoto způsobu je relativní jednoduchost nástroje. Například je možné vytvořit kužel pomocí jen široké tažné mezery, jak je vyobrazeno na obrázku 6. Hlavní části nástroje je nutné upravit tak, aby podporovaly plech při tažení, a to buď tažníkem ve tvaru komolého kužele, nebo tažnice s otvorem v podobného tvaru. [12; 13]


**Obr. 6 Tažení kužele na 1 operaci s rovným tažníkem**

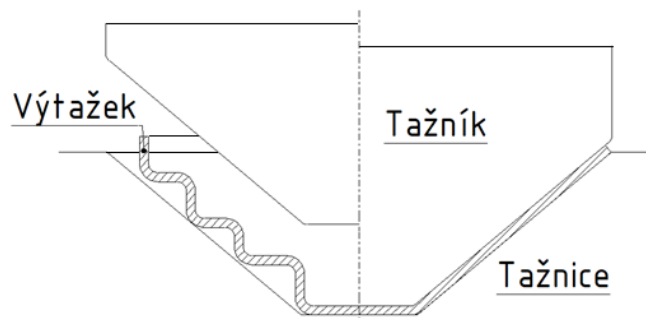
Tažení s následným radiálním vypínáním je vyobrazeno na obrázku 7. Postup se skládá z víceoperačního tažení (obr.4) a výsledném radiálním vypínáním na finální tvar. Výhoda je, že se dají vytvořit komolé kužely s nízkým vrcholovým průměrem. Nevýhodou je

komplikovanější nástroj a větší přetvoření při tvorbě kuželu (hrozí překročení meze plasticity). [12; 13]



Obr. 7 Příklad konečného rozšíření výtažku na kužel

Stupňovitý výtažek s kalibrací na kužel je poslední z těchto variant. Nejprve se vytáhne stupňovitý výtažek a v poslední operaci se kalibruje na tvar kužele pomocí kuželovitého nástroje. Výhoda je, že v poslední operaci nedochází k takovému přetvoření jako u předchozího typu. Nevýhodou je složitost nástroje a horší kvalita povrchu kuželové části. [12; 13]



Obr. 8 Možnost kalibrace na kužel

### 2.3 Výpočet tvaru a velikosti polotovaru

Základem pro výpočet a konstrukci nástroje je výpočet polotovaru ze kterého se bude součást vyrábět. Postupuje se za předpokladu platnosti zákona o zachování objemu a konstantní tloušťky (obr. 9) a díl je rozdělen na tvarově jednodušší sekce (pro jednodušší výpočet) a vypočítá se objem  $V$  dílu. Musí se však počítat s takovým tvarem který má vystoupit v poslední tažné operaci. K výslednému objemu se musí přidat přídávky na ostřížení kvůli anizotropii materiálu (materiál má v různou tažnost v každém směru). Přídavek se volí 3 % objemu pro první operaci a s každou další 1 % navíc. Tudíž například pro 5 operací je přídavek 7 % objemu. Poté se může vypočítat průměr (2.3) pomocí vztahu pro výpočet celkového objemu (2.2). [5; 7]

$$V = \pi \cdot \frac{D_0^2}{4} \cdot s_0 , \quad (2.2)$$

kde:  $V$  –objem výtažku [mm<sup>3</sup>]

$s_0$  – tloušťka materiálu [mm]  
 Odtud úpravou vztahu 2.2 lze získat potřebný polotovar.

$$D_0 = \sqrt{\frac{V_C \cdot 4}{\pi \cdot s_0}}, \quad (2.3)$$

kde:  $V_C$  – celkový objem výtazku zvětšeného o s přídavky na ostřížení [mm<sup>3</sup>].



Obr. 9 Díl po všech tažných operacích

## 2.4 Výroba polotovaru

Pro výrobu rondelu je třeba stanovit vhodnou technologii. Pro malosériové výrobky lze použít například třískové obrábění. Pro velkosériovou výrobu je vhodné použít ekonomicky daleko přívětivější technologie, například stříhání z plechu nebo svitku oceli.

Stříhání (viz obr. 10) má velkou výkonost a nízkou cenu na provoz, ale větší pořizovací náklady na nástroj a minimální univerzálnost. Nevýhody pro tento typ jsou nepodstatné z důvodu velkého množství polotovarů a nepředpokládá se změna průměru či tloušťky plechu v průběhu výroby. Další otázkou je zvolení vstupního materiálu v podobě plechu nebo svitku. To, jaký způsob se využije, je dle výpočtu využitelnosti materiálu. [5; 7]



Obr. 10 Ukázka technologie stříhání [15]

Plech se nastříhá na pruhy a postupně jsou vkládané do střížného nástroje. Výhoda je jednoduchost pro obsluhu a jednodušší manipulace. Nevýhody jsou nízká automatizace, větší množství ztrát na začátku a konci pásu. [5; 7]

Svítek je dlouhý pásek plechu smotaný v roli (obr 11), jeho výhodou je úspora materiálu a je vhodnější pro automatizaci. Nevýhoda tkví ve velké hmotnosti svitku (obtížnější manipulace pro obsluhu) a v důsledku namotání plechu na roli je třeba před vstupem do nástroje plech zase rovnat a tím se i lehce zpevňuje. [5; 7]



Obr. 11 Ukázka svitku plechu [16]

## Výpočet střížné síly

Stříhání oceli se často používá pro výrobu polotovarů nebo i pro finální výrobky. Pro výpočet střížné síly je odvozen vzorec (2.6), v němž je odvozena pevnost ve stříhu  $\tau_s$  dle vzorce (2.5), kde  $\sigma_p$  je pevnost v tahu  $R_m$ . [5; 7; 10]

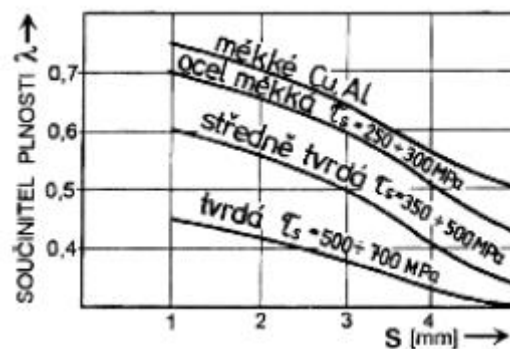
$$\tau_s = \frac{4}{3 \cdot \sqrt{3}} \cdot \sigma_p \approx 0,77 \cdot R_m, \quad (2.5)$$

$$F_s = n \cdot L \cdot (s_0 - h_s) \cdot \tau_s, \quad (2.6)$$

kde:  $n$  – koeficient otupení střížné hrany  $n = (1,0 \div 1,3)$  [-]  
 $L$  – délka křivky stříhu [mm]  
 $h_s$  – hloubka vniknutí střížné hrany [mm]

$$A_s = \lambda \cdot F_s \cdot s_0 [J] \quad (2.7)$$

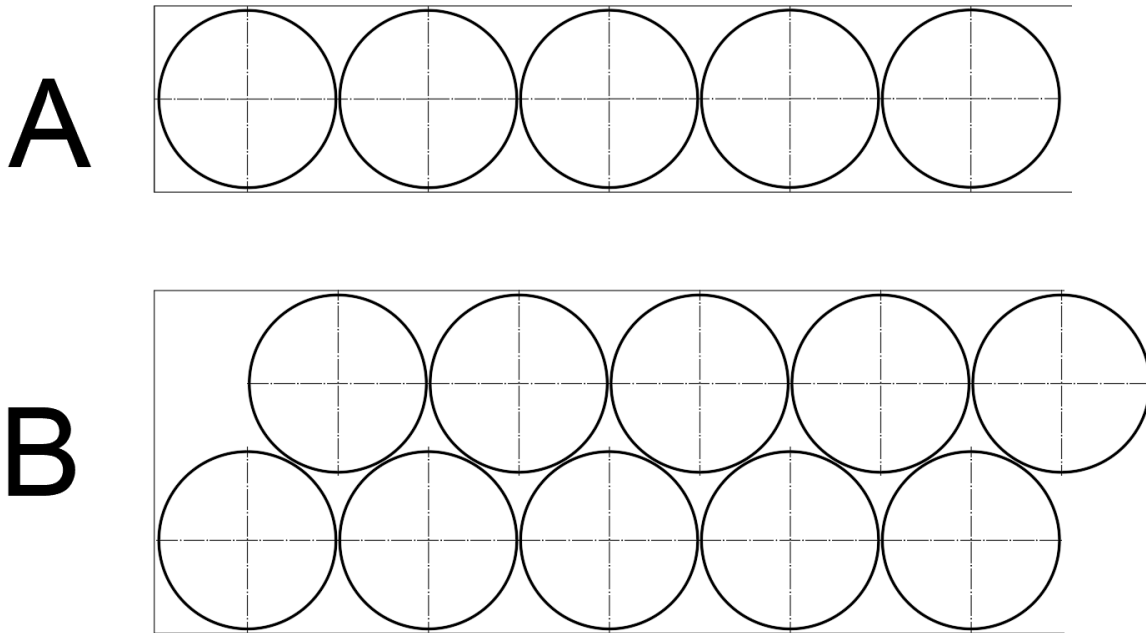
kde:  $A_s$  – střížná práce  
 $\lambda$  – součinitel plnosti. Pro tvrdou ocel  $\lambda = (0,42 \div 0,45)$  [-].



Graf 1 Součinitel plnosti [10]

## Využitelnost plechu

Využitelnost plechu určuje nejlepší rozložení polotovarů na dané ploše. Výsledkem je procentuální využití materiálu s cílem dosažení co nejnižšího odpadu. Do výpočtu se zahrnuje plocha výstřížku včetně vnitřních otvorů. Rozložení výstřížku na plechu musí splňovat technologické požadavky. Technologické požadavky zajišťují, aby nebyly deformovány hrany, které jsou příliš tenké (např. mezi koncem a výstřížkem). Příklady rozložení jsou na obr. 12. [16]



Obr. 12 Příklad rozložení na plechu

## 2.5 Výpočet síly a práce

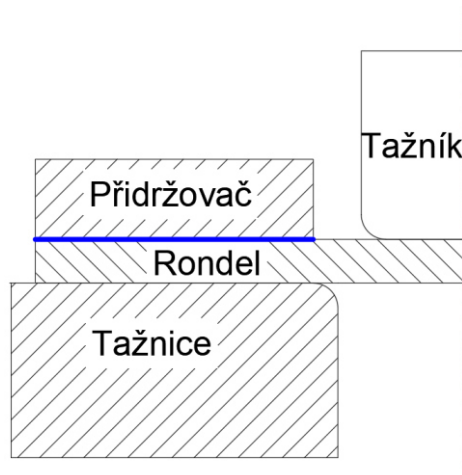
Pro správné určení stroje a kontrolní výpočty nástroje je třeba určit tažnou sílu  $F_t$ , sílu přidržovače  $F_p$ , sílu vyhazovače  $F_v$ , celkovou sílu  $F_c$  a celkovou práci  $A_c$ . Výsledný součet sil v podobě  $F_c$  se skládá ze součtu všech sil výše zmíněných a je to jeden z hlavních faktorů při určování potřebného stroje.  $F_t$  je nejsložitější z hlediska výpočtu. [5; 10; 12; 17]

### 2.5.1 Přidržovací síla

Přidržovací síla  $F_p$  působí na rondel tlakovou silou na oblast kontaktu rondelu a tažnice do oblasti zaoblení vtažného otvoru vyobrazeno modrou barvou na obr 13. Tlakem je vyvíjena třecí síla na rondel, který zpomaluje tok materiálu do otvoru a omezuje vznik vln v přírubě. Tlak  $p$  působící na rondel je volena mezi 2 - 3 MPa. [5; 12; 17]

$$F_p = p \cdot S_p, \quad (2.8)$$

kde:  $S_p$  – plocha přidržovače v kontaktu s rondelem [mm<sup>2</sup>]  
 $p$  – tlak přidržovače [MPa]



Obr. 13 Zobrazení kontaktní plochy přidržovače

Přidržovač není nutné vždy použít. Jeho použití lze vyčíst z normy ČSN 22 7301. Použití je ovlivněno součinitelem  $U$  (2.9). Dále je toto kritérium porovnané (2.10) a je-li součinitel  $U$  větší nebo rovno je třeba užití přidržovače.

$$U = 50 \cdot \left( z - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) [-] \quad (2.9)$$

kde:  $z$  - materiálová konstanta  $z = 1,9$  (pro ocelový hlubokotažný plech)

$$U \geq \frac{100 \cdot d}{D_0} \quad (2.10)$$

Pro další operace pro použití přidržovače platí, je-li  $m < 0,9$ ,

### 2.5.2 Tažná síla

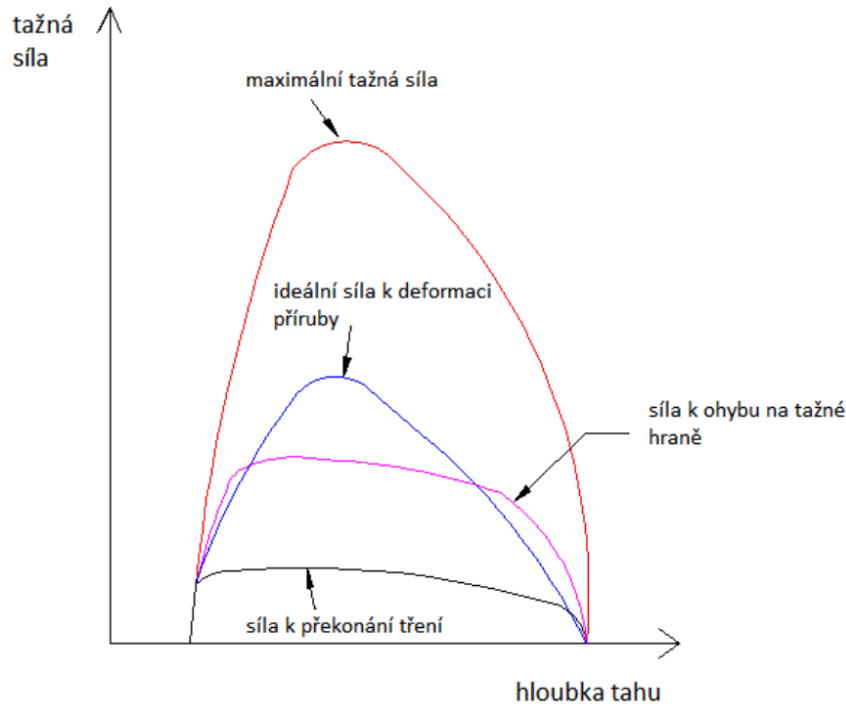
Tažná síla se určuje z napětí působících na rondel a skládá se ze součtu síly pro překonání tření, síly deformace příruby a síly k ohybu příruby na tažnici (viz obr. 14). Síla je omezená kritickou hodnotou, která je definována vzorcem (2.11). Jedná se o jednoduchou definici síly z tlaku, kterou lze upravit tak, aby se z ní dala určit tažná síla, tak že maximální mez pevnosti v tahu nahradí deformační odpor. Tím vznikne vzorec (2.12) pro první tažnou operaci. [5; 10; 12; 17]

$$F_{krit} = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot R_m, \quad (2.11)$$

kde:  $d_s$  - střední průměr [mm]

$$F_{t1} = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot \sigma_d \quad (2.12)$$

kde:  $\sigma_d$  - deformační přetvárný odpor [MPa]



**Obr. 14 Průběh síly vzdálenosti na hloubce tahu**

Deformační přetvárný odpor určuje, jakým tlakem bude materiál působit proti tváření materiálu. Přesný proces je velmi složité určit, ale dají se použít výpočetní modely, které zahrnují hlavní faktory a co nejlíže se přibližují realitě. Hlavní část z hodnoty je přirozený přetvárný odpor, který ukazuje odpor materiálu proti přetvoření a připojují se následně další faktory jako tření, teplota atd. Výpočetní modely pro hluboké tažení jsou konkrétně dle Sachse a dle Šofmana. Výpočet dle Sachse vychází z podmínky rovnováhy sil při uvážení podmínky plasticity. Výpočet dle Šofmana (vzorec 2.13) vychází ze stejné podmínky jak Sachs, ale model je doplněn o parabolickou aproximací křivky zpevnění z pracovního diagramu zpevnění dle Gupkina. [5; 10; 12; 17]

$$\sigma_{ps} = \frac{R_m}{1-\psi_{krč}} \cdot \left[ \frac{\varepsilon_{stf}}{\psi_{krč}} \right]^{\frac{\psi_{krč}}{1-\psi_{krč}}} = \frac{R_m}{1-\psi_{krč}} \cdot \left[ \frac{1-0,5 \cdot \left( \rho' + \frac{m_1}{\sqrt{1-\rho'^2+m_1^2}} \right)}{\psi_{krč}} \right]^{\frac{\psi_{krč}}{1-\psi_{krč}}} \quad (2.13)$$

kde:  $\sigma_{ps}$  - střední přirozený přetvárný odpor dle Šofmana [MPa]

$\varepsilon_{stf}$  - střední poměrné přetvoření dle Šofmana [-]

$\psi_{krč}$  - poměrné zúžení na počátku krčku  $\psi_{krč} = 0,23\%$

$\rho'$  - poměrné zvětšení vnějšího průměru polotovaru  $\rho' = \frac{R}{R_0}$  [-]

$$\sigma_d = \sigma_z = \sigma_{ps} \cdot \left( \zeta \cdot \ln\left(\frac{R}{\rho}\right) + \frac{f \cdot F_p}{\sigma_{ps} \cdot \pi \cdot R \cdot s_0} + \frac{s_0}{s_0 + 2 \cdot r_{tc}} \right) \cdot (1 + 1,6 \cdot f), \quad (2.14)$$

kde:  $\zeta$  - Lodeho součinitel při tažení  $\zeta = 1,1$  [-]

$R$  - poloměr výtažku [mm]

$f$  - součinitel tření [-]

$r_{tc}$  - poloměr zaoblení tažnice  $r_{tc} = 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d_1) \cdot s_0}$  [mm].

Tažná síla pro další operace (2.15) je odlišná, z důvodu, že jsou změněny vstupní podmínky jako například tažná úhel tažnice a průměr výtažku. [5; 10; 12; 17]

$$F_{tn} = 1,21\pi \cdot d_{sn} \cdot s_0 \cdot \frac{Rm}{1-\psi_{krč}} \cdot \left[ \frac{1-0,5 \cdot m_1 \cdot (m_n+1)}{\psi_{krč}} \right]^{\frac{\psi_{krč}}{1-\psi_{krč}}} \cdot \frac{f+tg \alpha_{taž}}{f} \cdot \left( 1 - m_n^{\frac{f}{tg \alpha_{taž}}} \right) \cdot (1 + f \cdot \hat{\alpha}_{taž}), \quad (2.15)$$

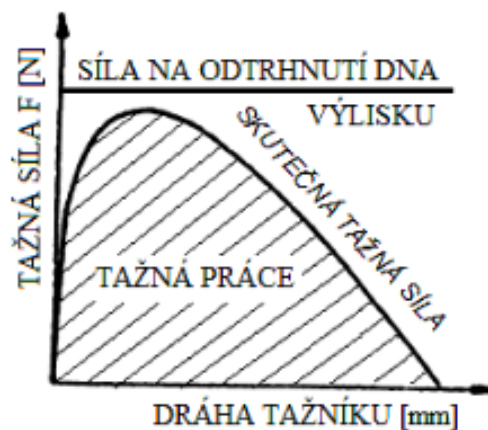
kde:  $\alpha_{taž}$  - tažný úhel [°]  
 $\hat{\alpha}_{taž}$  - tažný úhel [rad].

### 2.5.3 Tažná práce

Pro správné určení stroje je zapotřebí celková tažná síla a tažná práce  $A_t$ . Práce je důležitá z hlediska pohybu beranu v záběru. Ověří, jestli je stroj schopný dotáhnout celý tah v operaci. Výpočet je dle vzorce (2.16). [5; 10; 12; 17]

$$A_t = \frac{C \cdot F_{tc} \cdot h}{1000}, \quad (2.16)$$

Kde: C - koeficient tažné práce  $C = 0,6 \div 0,8$  [-]  
 h - výška výtažku [mm]  
 $F_{tc}$  - celková tažná síla [N].

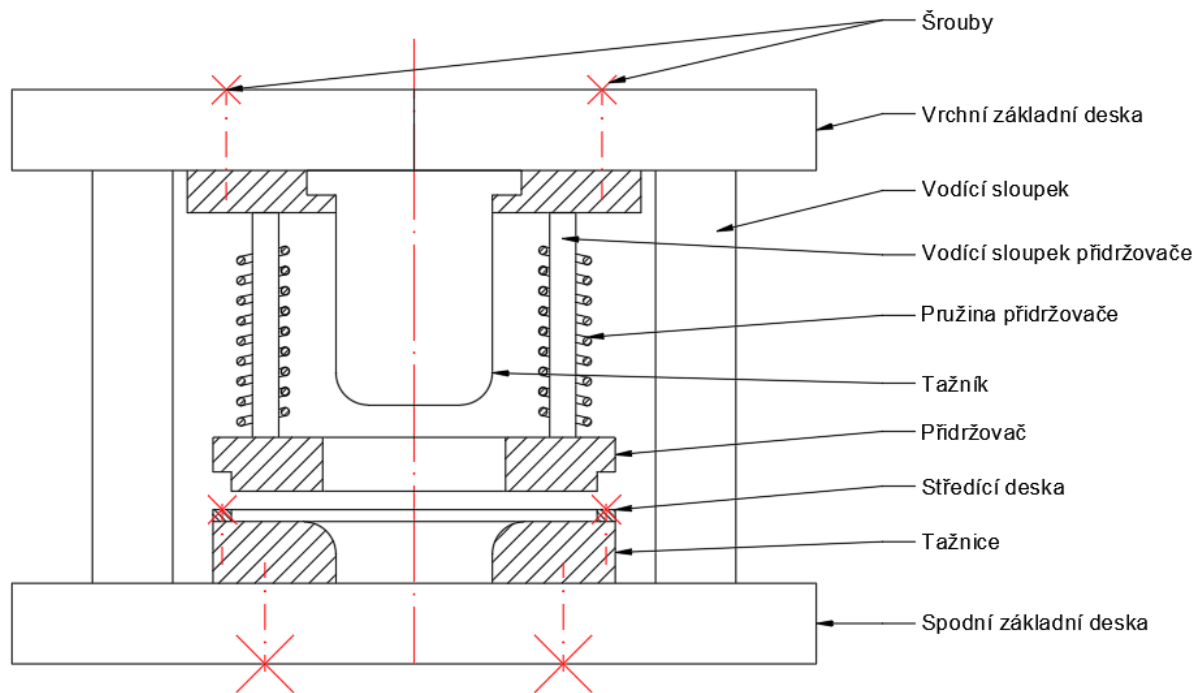


Graf 2 Graf pro zobrazení tažné práce [20]

## 2.6 Konstrukce nástroje

Navržení konstrukce nástroje se skládá z několika rozhodovacích kritérií, například počet a velikost výtažků, tažná síla, hloubka výtažků, způsob upínání, použití přidržovače atd. Pro názorné zobrazení je tažný nástroj načrtnutý na obrázku 15. Tažný nástroj se skládá z sériových dílů, upravených sériových dílů (například základová deska, do které jsou vyvrtány otvory) a kompletně vyrobených dílů „na zakázku“, ke kterému konstruktér nástroje dodá dokumentaci. Dále je důležité použití materiálů na správné místa, například nástrojová ocel, která je nejdražší, není nutné použít všude. Nástrojová ocel se používá jen na funkční místa například tažnice nebo tažníku (popřípadě jen vrchol tažníku). Pro méně namáhané části je vhodné použít například středně legované oceli, nebo konstrukční oceli. Pro poslední kategorii dílů, které například dělají podporu funkčním částem, je vhodné použít konstrukční nebo nízkolegované a nelegované oceli. [5; 10; 12; 17]

Materiály pro funkční části jsou vysokolegované nástrojové oceli a vhodných oceli jsou například dle ČSN 19 436, 19 437 nebo i o něco méně legované například 19 191 a 19 221. Pro části nástroje, které nejsou hlavní (tažník a tažnice), je vhodné použít oceli typu dle ČSN 11 600 nebo 12 050. [5; 10; 12; 17]



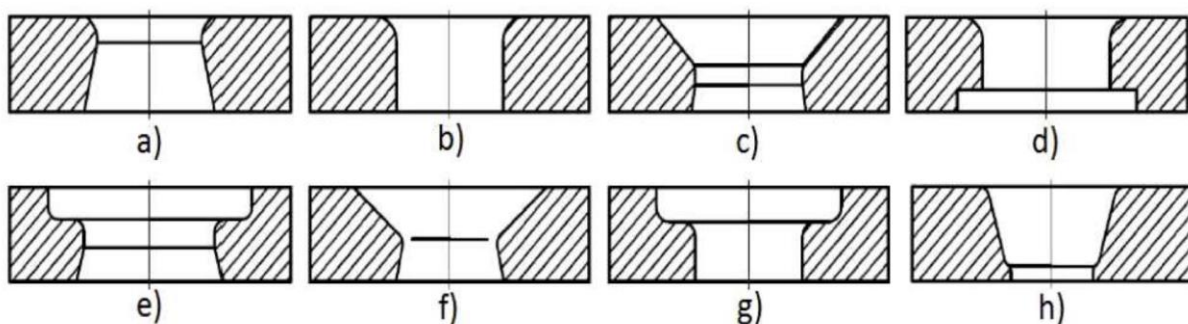
Obr. 15 Tažný nástroj

### 2.6.1 Volba tažnice

Tažnice je jedna z hlavních částí tažného nástroje. Tvarově se jedná o desku s otvorem uprostřed, skrz který se táhne materiál za pomoci tažníku. Tvar otvorů se liší podle toho, co je jako vstup a co je požadováno na výstupu. Na vstupu záleží, jestli se jedná o první operaci nebo druhou a další operace. V první operaci vstupuje do nástroje rondel a v následujících operacích následuje výtažek, který má přechod do dna zkosný pod daným úhlem a podle toho je i geometricky navržený přidržovač. Na výstupu záleží, jestli je protahuje celý výtažek tažnicí nebo jen část. [5; 10; 12; 17]

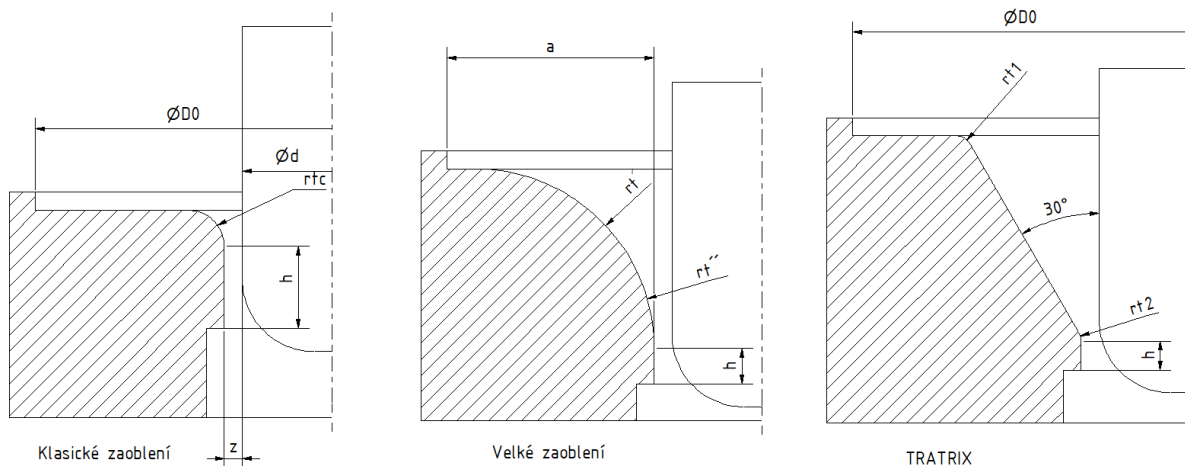
Konstrukce tažnic lze rozdělit dle (viz obr. 16):

- setření tažníku po následném vrácení nad tažnici,
- propad výrobku a setření ostrou hranou tažnice,
- víceoperační tahy, kdy se výtažek vrací nad tažnici,
- odlehčení spodní části tažnice,
- druhý až n-tý tah do průměru 60 mm, výtažek se vrací nad tažnici,
- druhý až n-tý tah, výtažek propadává,
- druhý až n-tý tah do průměru 60 mm, výtažek propadává,
- kuželový výtažek bez použití přidržovače, výtažek propadává.



Obr. 16 Typy tažnic [18]

**Zaoblení tažnice** – jsou ve třech provedeních (viz obr.17), a to s klasickým zaoblením, velkým zaoblením a TRATRIX. Tažnice s klasickým zaoblením má výhodu možnosti použití přidržovače. Velké zaoblení je vhodné pro tenkostěnné mělké výtažky, jelikož se značně redukuje tažná síla. TRATRIX je úprava evolventním profilem, který umožňuje tažení velmi malou silou a nízkým součinitelem tažení až  $m = 0,35$ . [5; 10; 12; 17]



Obr. 17 Zaoblení tažnice

### Klasické zaoblení

Zaoblení pro první OP

$$r_{tc1} = 0,8 \cdot \sqrt{s_0 \cdot (D_0 - d)} \quad (2.17)$$

Zaoblení pro druhou OP

$$r_{tc2} = 0,6 \cdot r_{tc1} \quad (2.18)$$

Zaoblení pro další OP

$$r_{tcn} = 0,8 \cdot r_{tc(n-1)} \quad (2.19)$$

**Velké zaoblení**

Horní zaoblení	$r'_t = 0,5 \cdot a$	(2.20)
----------------	----------------------	--------

Dolní zaoblení	$r''_t = 2,3 \cdot a$	(2.21)
----------------	-----------------------	--------

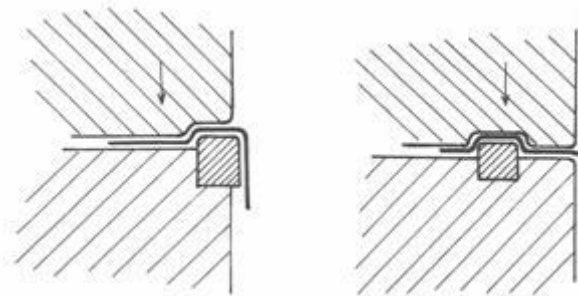
Výška kolmé části	$h = 1 \div 10 \text{ mm dle } s_0$	(2.22)
-------------------	-------------------------------------	--------

**TRATRIX**

Horní zaoblení	$r_{t1} = 0,05 \cdot D_0$	(2.23)
----------------	---------------------------	--------

Dolní zaoblení	$r_{t2} = 5 \cdot s_0$	(2.24)
----------------	------------------------	--------

**Brzdná žebra** – se používají s kombinací přidržovače. Účel brzdného žebra je zpomalení materiálu do tažnice a tím snížení tlakového napětí a zabránění vzniku zvlnění plechu. Brzdné žebro může být na okraji a nahrazovat zaoblení tažnice (viz obr. 18 vlevo) nebo zabudované dál od okraje (viz obr. 18 vpravo). [5; 10; 12; 17]



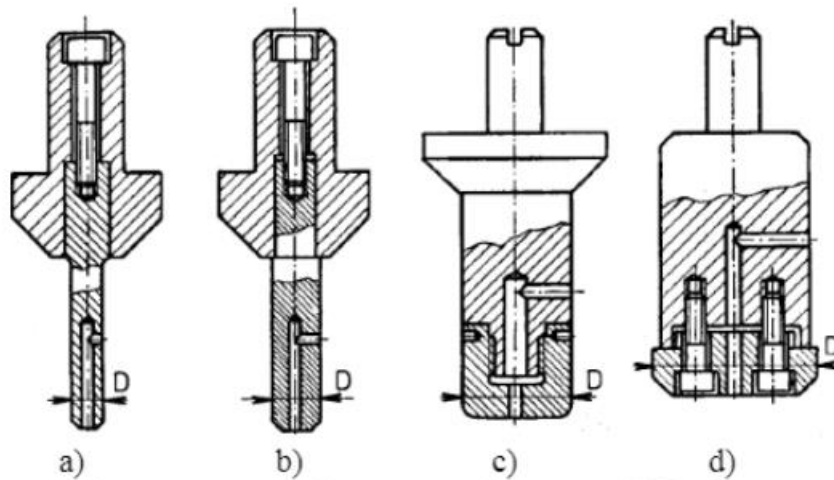
Obr. 18 Brzdná žebra [14]

**2.6.2 Volba tažníku**

Tažník je jedna z hlavních částí nástroje, která tvaruje výtažek. Konstrukce tažníku je odvozena ze dvou parametrů, a to, jestli je tažník pro poslední operaci nebo speciální (například kalibrační operace) a druhý parametr je průměr výtažku. Pro větší průměry se na tělo tažníku, které je z konstrukční oceli, nasadí vrchní díl z nástrojové oceli. Ten může být upevněn na závit nebo uložen do díry a sešroubován tak, jak je vyobrazeno na obr 19. [5; 10; 12; 17]

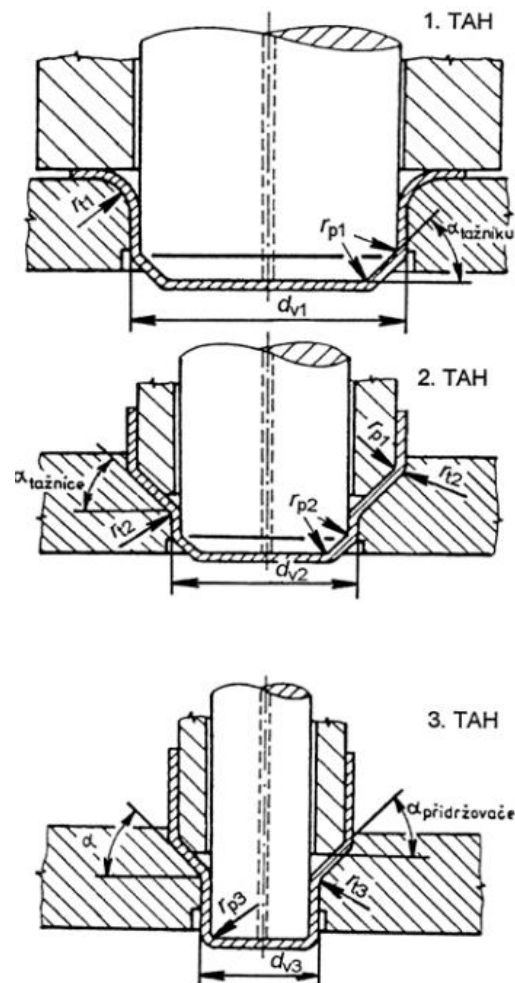
**Rozdělení tažníků dle obr. 19.:**

- pro průměr  $D < 25 \text{ mm}$ ,
- pro průměr  $D < 30 \text{ mm}$ ,
- pro průměr  $D < 80 \text{ mm}$ ,
- pro průměr  $D > 100 \text{ mm}$ .



Obr. 19 Ukázka konstrukce tažníků podle průměru [19]

Parametr podle operace je buď konečná nebo speciální a ta má tvar podle finálního tvaru výtažku a podmíněný výstup je jen minimální zaoblený tažníku  $r_{tv}$ . Tažník pro nezávěrečnou operaci nemá jen zaoblenou hranu, ale i zkosenou pod úhlem  $\beta = 35^\circ \div 45^\circ$ . Zaoblení  $r_{tv} = (3 \div 7) \cdot s_0$  je zvolené pro přechod zkosení jako je vyobrazeno na obr. 20 v první a druhé operaci. [5; 10; 12; 17]



Obr. 20 Ukázka nástrojů ve 3 operacích [20]

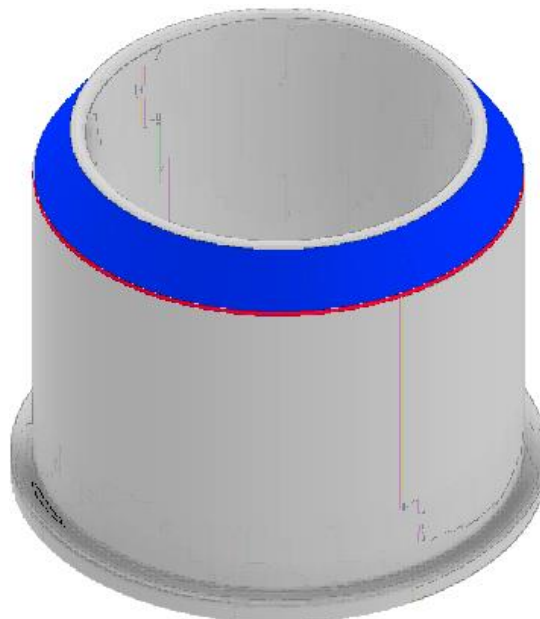
Středem tažníku je vyvrtán otvor pro přívod vzduchu pro sundání výtazku z tažníku. Po tažení se plech natáhne na tažník a při sundávání by vznikl podtlak, který by bránil sundání. Tento problém je vyřešen tím, že ve středu vrcholu tažníku je vyvrtán otvor a u držící desky tažníku je vyvrtán druhý otvor, který protíná ten první otvor. Tím je zajištěn přívod vzduchu pro vyrovnání tlaku a sundání výtazku. [5; 10; 12; 17; 20]

### 2.6.3 Volba přídržovače

Přídržovač pomáhá zpomalovat tok materiálu do otvoru tažnice. Literatury uvádí že nejnižší tlak, kterým působí na plochu rondel/výtazku v případě víceoperačního tažení je 2 MPa a vrchní hranice je 3 až 4 MPa. Konstrukce se liší podle použití. Například se dá rozdělit na přídržovač pro první operaci, pro druhou až n-tou operaci a pro speciální použití. [5; 10; 12; 17; 20]

Přídržovač pro první operaci má největší plochu přídržovače, jelikož se působí na rondel (viz obr.20 část první tah). Výpočet plochy působení je rozdíl plochou rondelu a otvoru v tažnici s plochou zaoblení. Ve zkratce je počítá plochou dotyku tažnice ještě před působením tažníku. [5; 10; 12; 17; 20]

Přídržovače pro další operace mají tvar silnostěnné trubky (obr. 21). Funkční plocha je vyznačena modrou barvou, s touto plochou se počítá síla přídržovače. Pro snadnější průchod materiálu je třeba zaoblit některé hrany (na obr 21 vyznačeno červenou barvou). V případě že zaoblení chybí, hrozí vysoké riziko zastavení toku materiálu, což zvyšuje napjatost v operaci a riziko porušení materiálu, nebo může materiál přímo ustříhnout. [5; 10; 12; 17; 20]



Obr. 21 Přídržovač pro 2 až n-tou operaci

### 2.6.4 Další prvky nástroje

**Vyhazovač** - Je určen k vyhození nebo uvolnění výtazku z nástroje. Vyhazovač může být pro jednočinný stroj v podobě jednoduchého pružinového systému, může být nahrazen jinou funkční částí (například přídržovačem) nebo může být napojený na samostatný systém stroje. [5; 10; 12; 17; 20; 21]

**Základové desky** - Jsou z pravidla dvě, vrchní a spodní. Spodní deska je pevná a umísťuje se do ní vodící sloupky. Vrchní deska se umísťuje na beran stroje a je pohyblivá. Do vodících

desek jsou vytvořeny otvory, buď na vodící nebo spojovací prvky a ovládací prvky (například vstup pro beran vyhazovače). [5; 10; 12; 17; 20; 21]

**Dorazy** – Mohou být pevné, ruční nebo na pružinovém mechanismu. Dorazy slouží k správnému umístění pásu plechu nebo jiného vstupního materiálu do nástroje. [5; 10; 12; 17; 20; 21]

**Vodící prvky - Sloupky** – Slouží k navádění prvků, ať už se jedná o základovou desku nebo jen části, například vyhazovač. Po sloupcích se pohybuje jen vodící pouzdro, které je pevně upevněné na jiný díl. [5; 10; 12; 17; 20; 21]

**Vodící pouzdra** – Jsou samomazná nebo kuličková. Samomazná pouzdra (obr. 22) jsou vhodná pro nižší rychlosti a jsou méně náročná na údržbu. Kuličková pouzdra (obr 23) jsou pro vyšší rychlosti, ale jsou náročnější na údržbu. [5; 10; 12; 17; 20; 21]



Obrázek 22 Samomazné vodící pouzdro [21]



Obrázek 23 Kuličkové vodící pouzdro [21]

## 2.7 Volba stroje

Tvářecí stroje pro plošné tváření jsou několika typů. Rozdělují se podle počtu na sobě nezávislých beranů na jednočinný, dvojčinný a trojičinný lis. Další rozdělení je dle typu pohonného ústrojí. [24]

### Rozdělení lisů podle hnací soustavy:

- hydraulické lisy
- mechanické lisy
  - vřetenové třecí lisy
  - klikové lisy
  - výstředníkové lisy
- ruční lisy

#### 2.7.1 Rozdělení dle nezávislých beranů

**Jednočinný lis** – Má jen jeden funkční beran, což neznamená, že nástroj neobsahuje přidržovač nebo vyhazovač a síla je použita pro hlavní funkci stroje (stříhání, tažení nebo ohýbání). Pružinových ústrojí mezi nevýhody patří špatná regulace působení sil (nekonstantní síla) a odpor pružiny se postupem času snižuje a je třeba celý nástroj rozebrat a pružiny vyměnit. Příklad je na obrázku 24. [24]



Obr. 24 Jednočinný hydraulický lis HŠV Polička [22]

**Dvoučinný lis** – Výhodou tohoto typu je, že už se jeden z podpůrných pohybů dá velmi dobře načasovat a regulovat. Konstrukce nástroje se dá ještě upravit tak, že například vyhazovač může zastupovat jiná část nástroje nebo je v podobě jednoduchého ústrojí. [24]

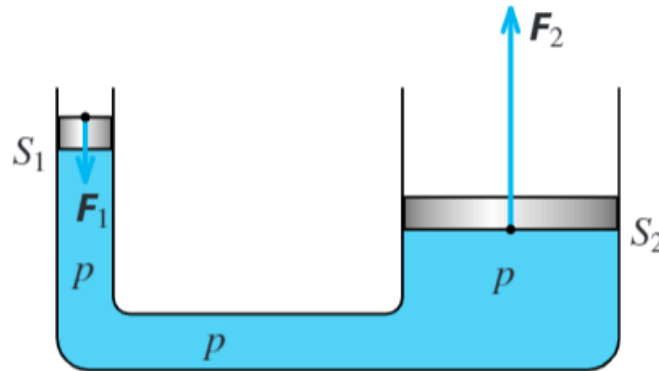
**Trojčinný lis** - Podle názvu je zřejmé, že tento typ má 3 na sobě nezávislé berany a dají se ovládat všechny 3 berany samostatně. Nástroj musí mít potřebný počet vstupů/zachycení na berany a konstrukčně je jednodušší a spolehlivější v dlouhodobějším provozu. Tyto stroje jsou nejvhodnější pro automatizaci, jelikož se dají přesně načasovat na ostatní prvky výrobní linky. [24]

### 2.7.2 Rozdělení lisů dle hnací soustavy

Hnací soustavy mohou být různé, ale lze je rozdělit do 3 základních kategorií. První je pomocí kapaliny, druhá je pomocí mechanické soustavy a třetí je na bázi ručního pohonu. [24]

#### Hydraulické a pneumatické lisy

Fungují na principu spojených nádob a Pascalova zákona (viz obr. 25). Zařízení je mechanicky jednoduché, ale musí být utěsněné a snést provozní tlaky kapaliny (používají se například hydraulické oleje nebo v případě pneumatického jen vzduch). Tyto lisy mají konstantní rychlost deformace s přízpusobujícím se zatížením. [24; 33; 34]

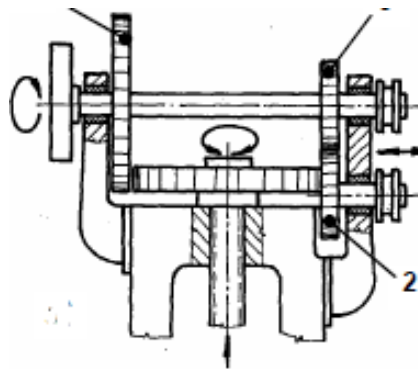


Obr. 25 Princip hydraulického lisu [23]

### Mechanické lisy

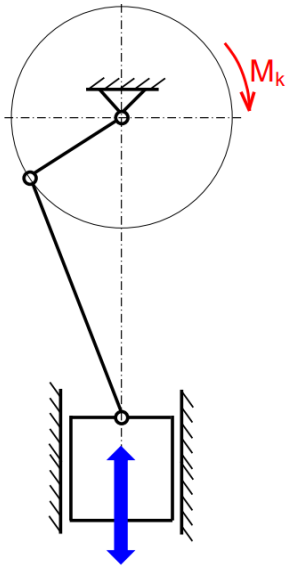
Mechanické lisy fungují na principu převodu energie motoru přes mechanické ústrojí do translačního pohybu beranu. Zdrojem pohybu bývá většinou rotační pohyb z elektromotoru a mechanickým systémem se přeneše energie/pohyb do beranu stroje. [25; 26; 33; 34]

- **Vřetenové třecí lisy** - Fungují na principu přenosu kinetické energie nárazem. Převádí rotační pohyb motoru přes disky na setrvačnick, který je spojený s beranem přes šroubové ústrojí, jak je vyobrazeno na obr.26. [25]

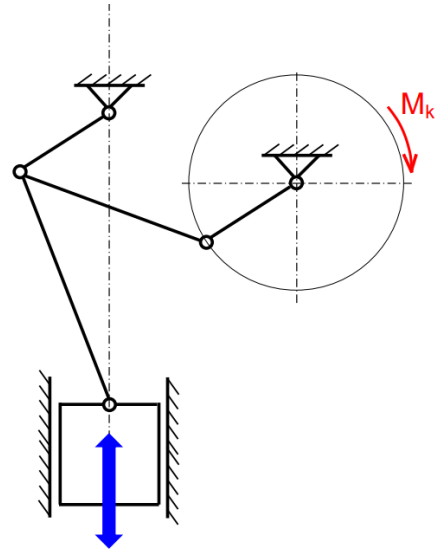


Obr. 26 Nákres přenosu energie v vřetenovém lisu [25]

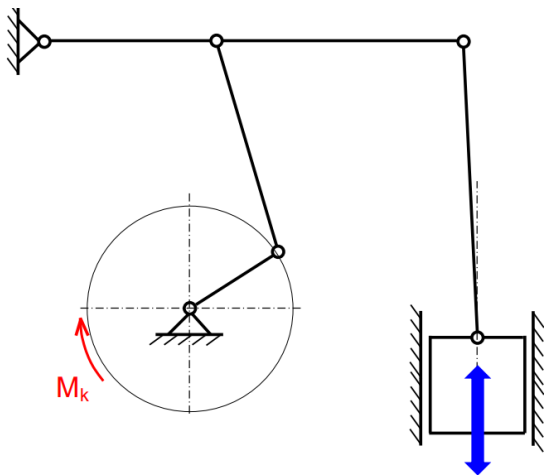
- **Klikové lisy** - Hlavním cílem je přes jednoduché ústrojí převést energii na translační pohyb. Pro zesílení se používá principu páky. Nevýhoda těchto lisů je nekonstantní síla závislá na poloze úvratě, jak je vyobrazeno v grafu 3 níže. [24; 25]
  - a) Klikové mechanismy (schéma na obr. 28)
  - b) Kliko – kolenové mechanismy (schéma na obr. 27)
  - c) Kliko – pákové mechanismy (schéma na obr. 30)
  - d) Přidržovací mechanismy (schéma na obr. 29)



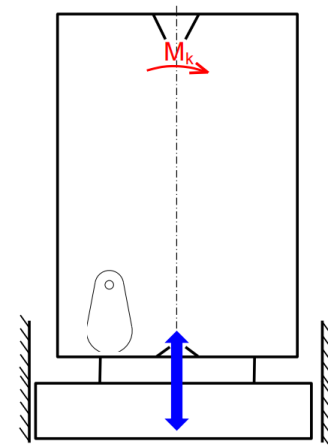
Obr. 28 Klikový mechanismus [23]



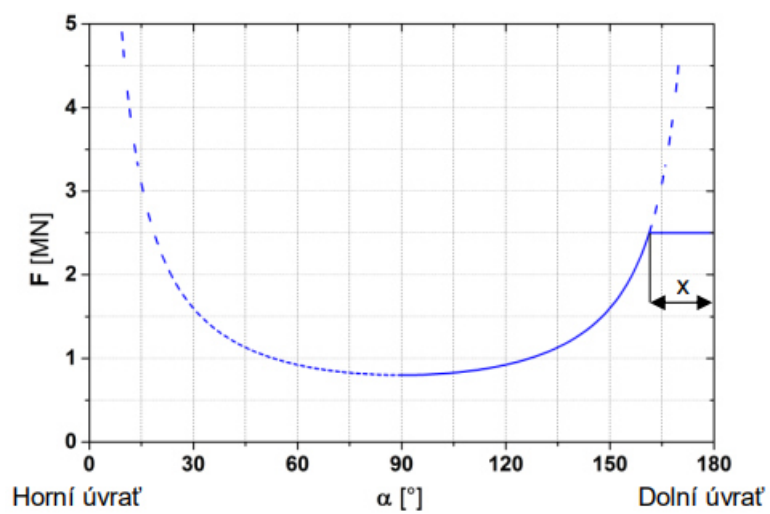
Obr. 27 Kliko - kolenové mechanismy [23]



Obr.30 Kliko - pákové mechanismy [23]

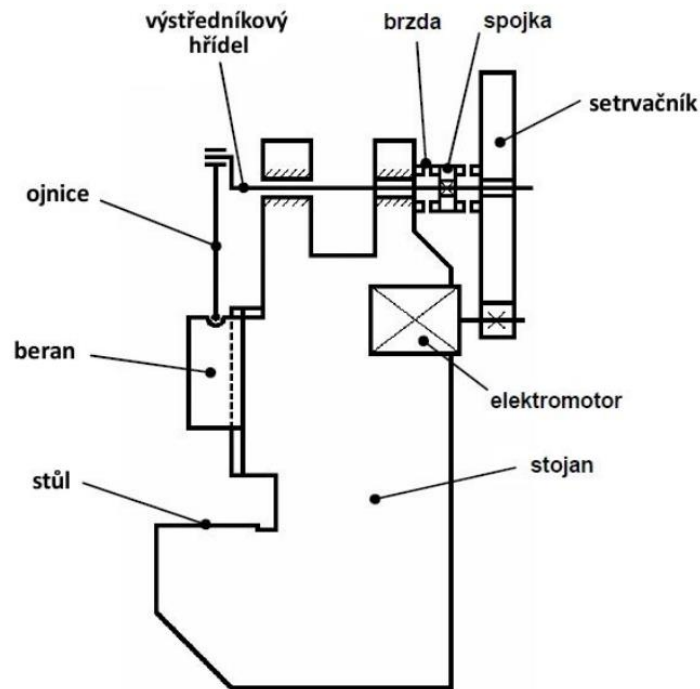


Obr. 29 Přidržovací mechanismy [23]



Graf 3 Průběh síly na klikových lizech [23]

**Výstředníkové lisy** – Fungují na principu, že elektromotor roztáčí setrvačnick, který je spojený s hřídelí, která je v místě napojení na ojnici beranu vyosenná. Princip je vyobrazen na obr 31. Nevýhoda je stejná jak u klikových lisů a to, že nekonstantní síla je vyvolána podobným průběhem, jak na grafu 3. Výhodou je možnost nastavení zdvíhu beranu, valivé uložení hřídele a ojnice a provoz je velmi tichý. [25; 26; 33; 34]



Obr. 31 Princip výstředníkového lisu [26]

**Ruční lisy** – Ruční lisy jsou nejjednodušší tvářecí lisy. Jedná se většinou o jednoduchý pákový princip na ruční pohon. Je jednoduchý na provoz i na údržbu. Je vhodný pro dílenskou výrobu. [24; 25; 33; 34]



Obrázek 32 Pákový lis [26]

## 2.8 Maziva

Maziva jsou důležitá pro snížení třecího koeficientu  $f$  a tím je snížen odpor při samotném tažení. Maziva mají vytvářet optimální mazací filmy (může dosáhnout až hodnoty 0,1) a nesmí zanechávat žádné stopy oxidace, barevné změny povrchu, lepidivé povrchy a musí být dobře odstranitelné, ekologické a zdravotně nezávadné. Používají se 3 druhy maziv kapalná, plastická a tuhá maziva. [17]

Kapalná maziva jsou zpravidla rostlinné oleje, mastné kyseliny, živočišné, syntetické, ropné, nebo s přídavkem tuhých maziv, které se používají ve formě například emulze vody a oleje. Plastická maziva se pro tažení používají hlavně měkká a tažná. Výhodou těchto maziv je velká mazací schopnost. Tuhá maziva jsou pro požadavek velmi únosného mazacího filmu a jsou vhodná pro zvláštní operace, které ne vyžadují odvod tepla.[17]

Příklad maziva pro hluboké tažení je na obr. 33 WISURA ZW 3356 od společnosti Combinata s.r.o. a je vhodné pro přesné stříhání, hluboké tažení a tváření s vysokou přilnavostí. Odstranění je možné pomocí alkalických čistících přípravků, jak uvádí výrobce. [28]



Obrázek 33 WISURA ZW 3356 - 20KG [28]

### 3 VÝPOČETNÍ MODEL ŘEŠENÍ ZADANÉ SOUČÁSTI

V této části bude proveden výpočetní model pro požadované hodnoty, které budou použity k sestavě nástroje. Bude zde proveden výpočet pro rozměry v každé operaci a postupně bude vypracován postup až po sílu v každé operaci. Výpočet celkové síly bude v kapitole konstrukce nástroje, protože operace mohou být rozděleny do více nástrojů.

#### 3.1 Výpočet průměru rondelu bez přídavek

Postup výpočtu bude takový, že se z výstupního výrobku ještě před vystřižením otvorů vypočítá objem a přes zákon zachování objemu se vypočítá velikost rondelu.

Pro výchozí objem může použít analytický výpočet přes výkres výrobku a rozdělit si výtazek do jednodušší části pro výpočet objemu nebo lze objem získat přes modelářský software. Pro zjištění objemu bude využita druhá možnost, programu Inventor 2022 od společnosti Autodesk. K určení konečného průměru rondelu jsou zapotřebí 3 parametry, a to čistý objem výtazku, tloušťka materiálu a počet tažných operací. Z programu byla odečtena hodnota čistého objemu  $V_{\text{čistý}}$ .

$$V_{\text{čistý}} = 17\,739,462 \text{ mm}^3$$

Z předběžných výpočtů je zjištěno, že je potřeba zvolit plech s větší tloušťkou. Z měření výchozího stavu je dle mikrometru zjištěna tloušťka,

$$s_{\text{výchozí}} = 0,557 \text{ mm}$$

a z této hodnoty se ještě musí odečíst tloušťka nátěru, tak že předpokládaná tloušťka plechu 0,5 mm. Pro volbu modulů tažení tato tloušťka není vhodná (bude objasněno v kapitole výpočet modulu tažení) a tak je tloušťka vstupního materiálu zvolena:  $s_0 = 0,6 \text{ mm}$ .

Čistý průměr je určen ze vzorce 2.3, jen místo celkového objemu je dosazený  $V_{\text{čistý}}$ .

$$D_{0 \text{ čistý}} = \sqrt{\frac{V_{\text{čistý}} \cdot 4}{\pi \cdot s_0}} = \sqrt{\frac{17\,739,462 \cdot 4}{\pi \cdot 0,6}} = 194 \text{ mm}$$

#### 3.2 Výpočet modulu tažení $m$ a průměru rondelu s přídávky

V této části bude zjištěn počet operací z čistého průměru a následně bude vypočten výsledný průměr z rondelu.

Moduly budou určeny podle tabulky koeficientu tažení. Dle tabulky 3 bude určena poměrná síla rondelu.

$$\frac{s_0}{D_{0 \text{ čistý}}} \cdot 100 = \frac{0,6}{194,02} \cdot 100 = 0,31 [-]$$

**Tabulka 3 Tabulka s vyznačenými koeficienty tažení**

Vliv poměrné síly rondelu na koeficient tažení na první tah						
	Poměrná síla rondelu $\frac{s}{D} \cdot 100$					
	2,0 - 1,5	1,5 - 1,0	1,0 - 0,6	0,6 - 0,3	0,3 - 0,15	0,15 - 0,08
$m_1$	0,48 - 0,50	0,50 - 0,53	0,53 - 0,55	0,55 - 0,58	0,58 - 0,60	0,60 - 0,63
$m_2$	0,73 - 0,75	0,75 - 0,76	0,76 - 0,78	0,78 - 0,79	0,79 - 0,80	0,80 - 0,82
$m_3$	0,76 - 0,78	0,78 - 0,79	0,79 - 0,80	0,80 - 0,81	0,81 - 0,82	0,82 - 0,84
$m_4$	0,78 - 0,80	0,80 - 0,81	0,81 - 0,82	0,82 - 0,83	0,83 - 0,85	0,85 - 0,86
$m_5$	0,80 - 0,82	0,82 - 0,84	0,84 - 0,85	0,85 - 0,86	0,86 - 0,87	0,87 - 0,88
Operace	Největší poměrná tloušťka tažení $\frac{h}{d}$					
	1	2	3	4	5	
1	0,94 - 0,77	0,84 - 0,65	0,70 - 0,57	0,62 - 0,50	0,52 - 0,45	0,46 - 0,38
2	1,88 - 1,54	1,60 - 1,33	1,36 - 1,1	1,13 - 0,94	0,96 - 0,83	0,9 - 0,7
3	3,5 - 2,7	2,8 - 2,2	2,3 - 1,8	1,9 - 1,5	1,6 - 1,3	1,3 - 1,1
4	5,6 - 4,3	4,3 - 3,5	3,6 - 2,9	2,9 - 2,4	2,9 - 2,0	2,0 - 1,5
5	8,9 - 6,6	6,6 - 5,1	5,2 - 4,1	4,1 - 3,3	3,3 - 2,7	2,7 - 2,0

Poměrná síla rondelu 0,3 odpovídá rozmezí 0,6-0,3 což je vyznačené v tabulce 4 níže. Dle rozmezí lze zvolit koeficienty tažení a lze vypočítat počet tahu dle vzorce (2.1).

$$n_{\text{předpoklad}} = 1 + \frac{\ln d_n - \ln(m_1 \cdot D_0)}{\ln m'} = 1 + \frac{\ln 50 - \ln(0,56 \cdot 194,02)}{\ln 0,8} = 4,48 \rightarrow 5 \text{ tahů} \quad (2.1)$$

Tento výpočet vytvořil odhad, že výtazek je možné zhotovit pomocí 5 tahů. Teď když jsou známy hodnoty pro výpočet rozměru rondelu tak bude proveden výpočet, který bude znovu ověřen. K čistému objemu je potřeba přidat přírůstek na ostřížení, které obsahuje přírůstek na nesymetrickou deformaci v rámci anizotropie nebo na nepřesné založení rondelu. Přírůstek je 3 % objemu pro první operaci a pro každou další je přírůstek ještě 1 %. Pro tento případ je přírůstek 7 %.

$$V_c = V_{\text{čistý}} \cdot 1,07 = 17\,739,462 \cdot 1,07 = 18\,981,22 \text{ mm}^3$$

Z vypočteného objemu bude vypočten předpokládaný průměr rondelu a dle vzorce 2.3.

$$D'_0 = \sqrt{\frac{V_c \cdot 4}{\pi \cdot s_0}} = \sqrt{\frac{18\,981,22 \cdot 4}{\pi \cdot 0,6}} = 200,697 \text{ mm}$$

Výsledná hodnota předpokladu průměru rondelu je tedy,

$$D_0 = 201 \text{ mm.}$$

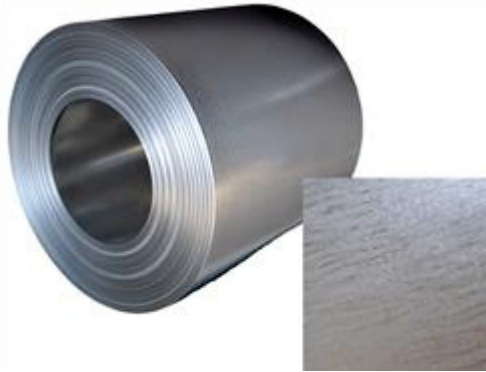
$$n = 1 + \frac{\ln d_n - \ln(m_1 \cdot D_0)}{\ln m'} = 1 + \frac{\ln 50 - \ln(0,56 \cdot 201)}{\ln 0,8} = 4,64 \rightarrow 5 \text{ tahů}$$

Výsledný počet tahu je po zaokrouhlení stejný jako předpoklad, lze tedy tvrdit, že předpoklad byl správný.

### 3.3 Výpočet pro stříhání rondelu

V této části budou provedeny výpočty pro výrobu rondelu jednak bude vytvořeno několik možností řešení pro vstupní materiál a rozložení výstřížku na materiálu, výpočet využitelnosti materiálů a výpočet síly pro výrobu rondelu.

Vstupním materiálem je může být na výběr tabule nebo svitek plechu. Tabule plechu má nevýhodu, že je třeba ji nastříhat na pásy a hrozí že zbude pás plechu, který je moc úzký na to, aby na něj byl aplikován nástřihový plán, a ještě vždy na začátku a konci jsou v nástřihovém plánu ztráty. Proto je zvolen jako vstupní materiál svitek (obr. 34).



Obr. 34 Příklad svitku plechu [29]

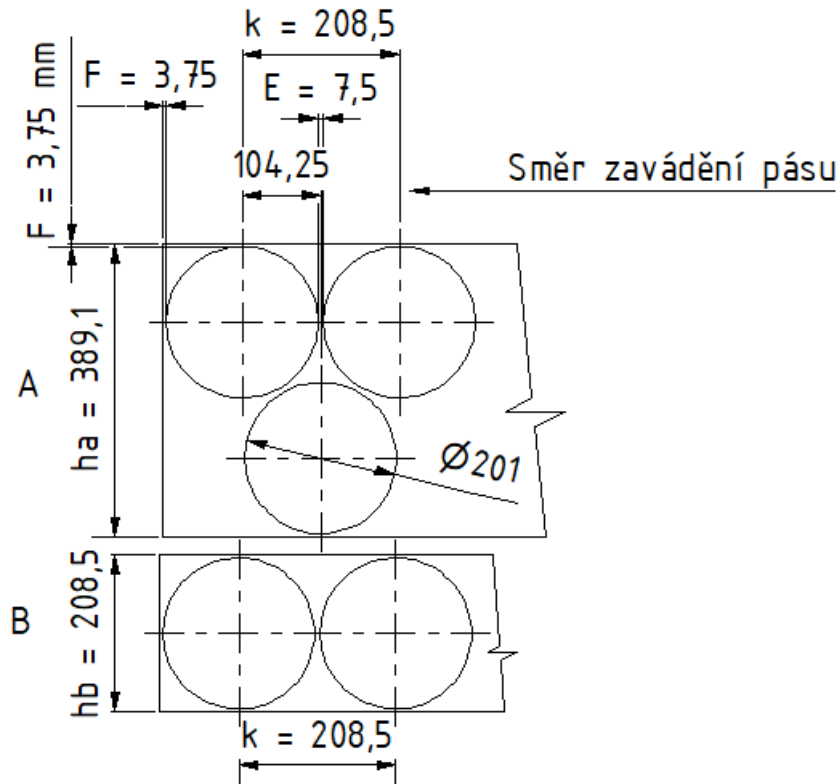
#### Využitelnost svitku

Šířka svitku je volitelná a délka je uvedena výrobcem dle kapacity stroje. Průměrný stoj pro navíjení unese 30 tun a dle toho lze dopočítat délka pásu,

$$h \cdot L_p \cdot \rho = \frac{m}{s_0}, \quad (2.2)$$

kde: h - šířka pásu [m],  
 $L_p$  - délka pásu [m],  
 m - maximální hmotnost  $m=30\,000$  kg,  
 $\rho$  - hustota oceli  $\rho=7\,850$  kg·m<sup>-3</sup>.

Na obr. 35 jsou uvedeny z návrhu nástřihových plánů. V nástřihovém plánu jsou započítány mezery mezi výstřížky  $E = 7,5$  mm a mezera mezi výstřížkem a okrajem  $F = \frac{E}{2} = 3,75$  mm.



Obr. 35 Návrhy nástřihového plánu

Následně bude proveden výpočet pro možnost uspořádání výstřižků A i B  
Dle rovnice 2.2:

$$h \cdot L \cdot s_0 = \frac{m}{\rho} \rightarrow \frac{m}{\rho \cdot s_0 \cdot h} = L$$

$$L_A = \frac{m}{\rho \cdot s_0 \cdot h} = \frac{30\,000}{7860 \cdot 0,0006 \cdot 0,3891} = 16\,348,8 \text{ m} = 16\,348,8 \cdot 10^3 \text{ mm}$$

$$L_B = \frac{m}{\rho \cdot s_0 \cdot h} = \frac{30\,000}{7860 \cdot 0,0006 \cdot 0,2085} = 30\,509,9 \text{ m} = 30\,509,9 \cdot 10^3 \text{ mm}$$

Následně bude určen počet dílů z 1 svitku.

$$N'_A = \frac{L_A - (2 \cdot F)}{\text{Délka kroku}} \cdot 2 - 1 = \frac{16\,348,8 \cdot 1000 - (2 \cdot 3,75)}{208,5} \cdot 2 - 1 = 156\,821,9 \text{ ks}$$

$$N_A = 156\,822 \text{ ks}$$

Díky zvolenému uložení výstřižků na pás je možné zaokrouhlit výslednou hodnotu nahoru. Tato podmínka platí, je-li desetinná hodnota větší než 5.

$$N'_B = \frac{30\,509,9 \cdot 1000 - (2 \cdot 3,75)}{208,5} = 146\,330,4 \text{ ks}$$

$$N_B = 146\,330 \text{ ks}$$

Procentuální využitelnost plechu  $P$  se spočítá pomocí poměru plochy vystřihnutých rondelů proti ploše svitku.

$$P = \frac{N \cdot S_{\text{Rondelu}}}{S_{\text{Svitku}}} \cdot 100 = \frac{N \cdot \pi \cdot \frac{D_0^2}{4}}{h \cdot L} \cdot 100$$

$$P_A = \frac{N_A \cdot \pi \cdot \frac{D_0^2}{4}}{h_A \cdot L_A} = \frac{156822 \cdot \pi \cdot \frac{201^2}{4}}{389,1 \cdot 16\,348,8 \cdot 1000} = 78,22 \%$$

$$P_B = \frac{N_B \cdot \pi \cdot \frac{D_0^2}{4}}{h_B \cdot L_B} = \frac{146\,330 \cdot \pi \cdot \frac{201^2}{4}}{208,5 \cdot 30\,509,9 \cdot 1000} = 72,99 \%$$

Závěrem lze tvrdit, že nástřihový plán A má lepší využitelnost. Výpočet délky svitku je sice ilustrativní, ale výsledek jasně určuje, že využitelnost plechu A je úspornější než možnost B.

## Střížná síla a práce

Pro výpočet je zaveden předpoklad, se vždy vystřihne jen jeden kus při sjezdu střížníku. Pro výpočet střížné síly  $F_s$  je využit vzorec 2.6 a pro výpočet střížné práce je využit vzorec 2.7.

$$F_s = n \cdot L \cdot (s_0 - h_s) \cdot \tau_s \text{ [N]} \quad (2.6)$$

kde:  $n$  – koeficient otupení střížné hrany  $n = 1,3[-]$   
 $L_s$  – délka křivky stříhu  $L_s = \pi \cdot D_0 = \pi \cdot 201 = 631,46 \text{ mm}$   
 $h_s$  – Hloubka vniknutí střížné hrany

$$F_s = n \cdot L \cdot (s_0) \cdot 0,77 \cdot R_m = 1,3 \cdot 631,46 \cdot 0,6 \cdot 0,77 \cdot 370 = \mathbf{140\ 324,3\ N}$$

Hloubku vniknutí střížné hrany je možné zanedbat z důvodu malé tloušťky materiálu. Koeficient otupení střížné hrany bude uvažován jako největší, aby byla zajištěna jistota vystřihnutí i u maximálně přípustného otupeného nástroje.

Pro správné výsledky je třeba dosadit tloušťku materiálu v metrech

$$A_s = \lambda \cdot F_s \cdot s_0 \text{ [J]} \quad (2.7)$$

kde:  $A_s$  – střížná práce  
 $\lambda$  – součinitel plnosti. Pro ocel  $\lambda = 0,45 [-]$ .

$$A_s = \lambda \cdot F_s \cdot s_0 = 0,45 \cdot 140\ 324,3 \cdot 0,0006 = \mathbf{37,88\ J}$$

## 3.4 Výpočet průměrů v jednotlivých operacích

$$m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} \rightarrow d_n = m_n \cdot d_{n-1}$$

pro začátek bude použita střední hodnota tabulky č.3 v tabulce 4 níže hodnoty ve sloupci vpravo jsou zvolené.

Tabulka 4 Výběr z tabulky 3

	Rozmezí koeficientů	Vybrané koeficienty
$m_1$	0,55 - 0,58	0,56
$m_2$	0,78 - 0,79	0,78
$m_3$	0,80 - 0,81	0,8
$m_4$	0,82 - 0,83	0,82
$m_5$	0,85 - 0,86	0,85

### 1. Operace

Pro první rozměr výtažku je získání první tažnou operací.

$$d'_1 = m_1 \cdot D_0 = 0,56 \cdot 201 = 112,56 \text{ mm}$$

$$d_1 = 113 \text{ mm}$$

Pro výpočet dalších hodnot tažení se proces ještě musí určit správný modul tažení,

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} = \frac{113}{201} = 0,560 \approx 0,56$$

### 2. Operace

$$d'_2 = m_2 \cdot d_1 = 0,78 \cdot 113 = 88,14 \text{ mm}$$

$$d_2 = 88 \text{ mm}$$

$$m_2 = \frac{d_2}{d_1} = \frac{88}{113} = 0,778\ 761 \approx 0,78$$

### 3. Operace

$$d'_3 = m_3 \cdot d_2 = 0,80 \cdot 88 = 70,4 \text{ mm}$$

$$d_3 = 71 \text{ mm}$$

$$m_3 = \frac{d_3}{d_2} = \frac{71}{88} = 0,804 \approx 0,80$$

### 4. Operace

$$d'_4 = m_4 \cdot d_3 = 0,82 \cdot 71 = 58,22 \text{ mm}$$

$$d_4 = 58 \text{ mm}$$

$$m_4 = \frac{d_4}{d_3} = \frac{58}{71} = 0,816 \approx 0,82$$

### 5. Operace

$$d'_5 = m_5 \cdot d_4 = 0,85 \cdot 58 = 49,13 \text{ mm}$$

Jelikož výsledná hodnota je o dost menší, než je finální rozměr tak poslední hodnota je rovna konečnému rozměru

$$d_5 = 50 \text{ mm}$$

$$m_5 = \frac{d_5}{d_4} = \frac{50}{58} = 0,862 \approx 0,86$$

V závěru je uveden souhrn vypočtených výsledků

**Tabulka 5 Výsledné průměry výtažků a koeficientů tažení**

D <sub>0</sub>	201		
d <sub>1</sub>	113	m <sub>1</sub>	0,56
d <sub>2</sub>	89	m <sub>2</sub>	0,78
d <sub>3</sub>	71	m <sub>3</sub>	0,80
d <sub>4</sub>	58	m <sub>4</sub>	0,82
d <sub>5</sub>	50	m <sub>5</sub>	0,86

## 3.5 Výpočet rozměrů výtažků v každé operaci

V této podkapitole budou rozebrány a vypočteny rozměry výtažku pro každou operaci. Dále bude zapotřebí určení základních rozměrů tažníku, konkrétně volbu úhlu zkosení  $\beta$ , průměr dna tažníku a zaoblení tažné hrany tažníku  $r_{tv}$ . Úhel  $\beta$  je zvolen co nejnížší možný dle literatury z rešerše, jelikož výsledný úhel ve stínítku je  $10^\circ$  a minimální povolený z literatury je  $35^\circ$  tudíž:

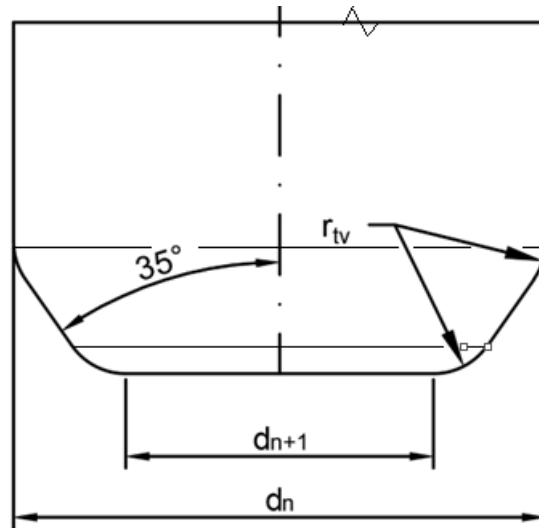
$$\beta = 35^\circ.$$

Pro zaoblení tažné hrany je  $r_{tv} = (3 \text{ až } 7) \cdot s_0$  bude z intervalu vybrána hodnota 4, tudíž

$$r_{tv} = 4 \cdot s_0 = 4 \cdot 0,6 = 2,4 \text{ mm}$$

Pro zvolení průměru spodní části bude hodnota  $d_{n+1}$

Všeobecné rozměry pro nezávěrečné operace jsou na obr. 36 níže.


**Obrázek 36 Všeobecný popis pro nezávěrečné operace tažení**

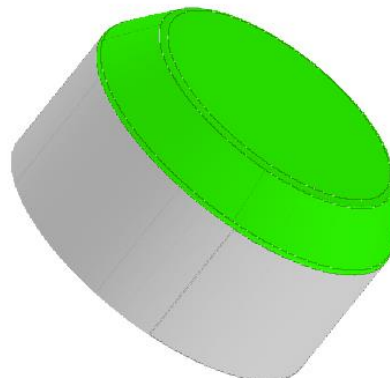
Ve výpočtech bude uvažováno jen s čistým objemem a bez deformace tloušťky plechu, což znamená, že v celém modelu bude tloušťka stěny 0,6 mm. Vypočítaná výška musí být nižší než poměr největší poměrné tloušťky z tabulky 3. Výběr a dopočítaná maximální výška je v tabulce.

**Tabulka 6 Výběr z „Největší poměrné tloušťky tažení“ z tabulky 3**

OP	$h/d$	$d$ [mm]	$h_{max}$ [mm]
1	0,62 - 0,50	112,6	69,812
2	1,13 - 0,94	87,9	99,327
3	1,9 - 1,5	70,4	133,76
4	2,9 - 2,4	57,8	167,62
5	4,1 - 3,3	50	205

### Výpočet rozměrů výtažku pro 1. operaci

Pro první operaci je výsledný průměr  $d_1 = 113 \text{ mm}$  a jelikož maximální rozevření kužele v konečném tvaru je 81 mm celý rondel bude protažen tažnicí.


**Obr. 37 Výtažek v 1 op.**

Geometrické rozměry:

$$d_n = d_1 = 112,6 \text{ mm}$$

$$d_{n+1} = d_2 = 88 \text{ mm}$$

$$\beta = 35^\circ$$

$$r_{tv} = 2,4 \text{ mm}$$

Jediné, co zbývá vypočítat je výška  $h$  výtažku. K tomu bude využita pomoc z programu Inventor 2022. Z programu je ztišen objem zelené části na obr. 37 (zelená oblast je dno, zkosení a obě zaoblení). Pro výpočet výšky je využita rovnice součtu zelené části  $V_1$  a válcovité části, a je rovno čistému objemu výtažku  $V_{\text{čistě}}$ .

$$h_1 = \frac{4 \cdot (V_{\text{čistě}} - V_1)}{\pi \cdot [(d_1 + 2 \cdot s_0)^2 - d_1^2]}$$

$$h'_1 = \frac{4 \cdot (17\,739,46 - 7\,935,044)}{\pi \cdot [(113 + 2 \cdot 0,6)^2 - 113^2]} = 45,94 \text{ mm}$$

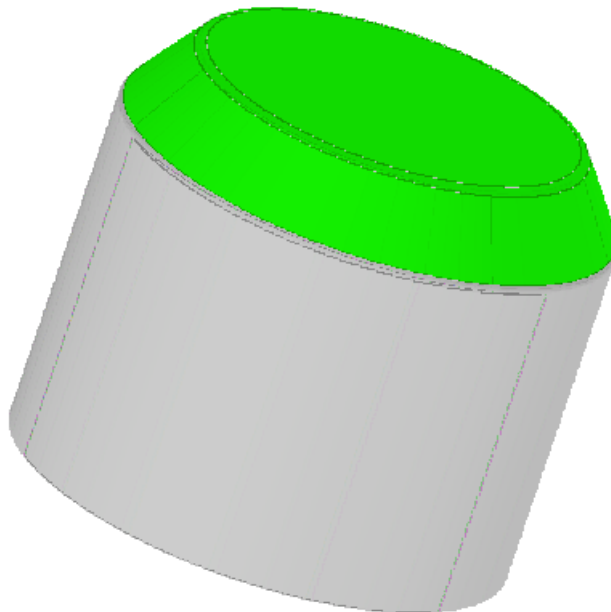
$$h_1 = \mathbf{46 \text{ mm}}$$

kde:  $V_1$  -objem zelené části  $V_1 = 7\,935,044 \text{ mm}^3$

Maximální hloubka výtažku zjištěná pomocí programu včetně zkosené hrany je 64,4 mm a maximální výška z tabulky 6 69,8 mm. Tudíž výška vyhovuje.

### Výpočet rozměrů výtažku pro 2. operaci

Průměr v druhé operaci je  $d_2 = 88 \text{ mm}$ , takže bude výtažek protáhnutý podobně jak v 1. op kompletně celou tažnicí. Model výtažku je na obr. 38 a zelená oblast je objem vypočtený pomocí aplikace Inventor 2022.



Obr. 38 Výtažek 2. op

Geometrické rozměry:

$$d_n = d_2 = 88 \text{ mm}$$

$$d_{n+1} = d_3 = 71 \text{ mm}$$

$$\beta = 35^\circ$$

$$r_{tv} = 2,4 \text{ mm}$$

$$h_2 = \frac{4 \cdot (V_{\text{čistě}} - V_2)}{\pi \cdot [(d_2 + 2 \cdot s_0)^2 - d_2^2]}$$

$$h'_2 = \frac{4 \cdot (17\,739,46 - 4\,786,38)}{\pi \cdot [(88 + 2 \cdot 0,6)^2 - 88^2]} = 77,65 \text{ mm}$$

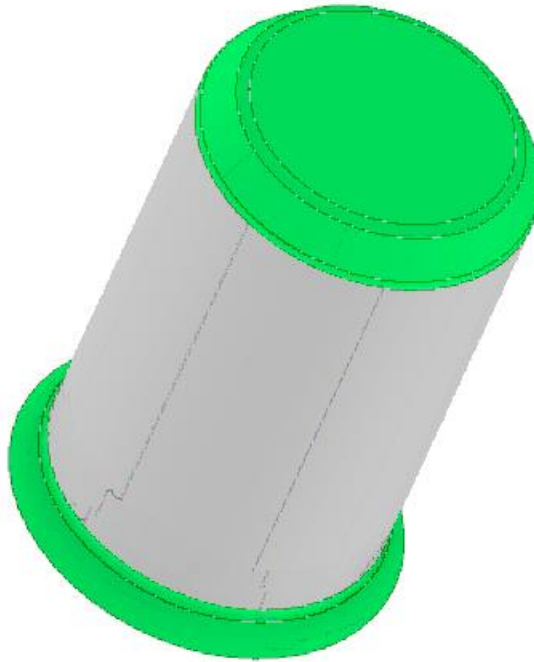
$$h_2 = \mathbf{77,7 \text{ mm}}$$

kde:  $V_2$  -objem zelené části  $V_2 = 4\,786,38\text{ mm}^3$

Maximální hloubka výtažku z programu i se zkosenou hranou je 96,1 mm a maximální výška z tabulky 6 99,3 mm. Tudiž výška vyhovuje.

### Výpočet rozměrů výtažku pro 3. operaci

Průměr ve třetí operaci je  $d_2 = 71\text{ mm}$ , takže bude z části výtažek protáhnutý podobně jak v 1. op kompletně celou tažnicí. Model výtažku je na obr. 39 a zelená oblast je objem vypočtený pomocí aplikace Inventor 2022. Příruba ve vrchní části není v této operaci tvářena a usnadní poslední kalibrační operaci.



Obrázek 39 Výtažek pro 3. operaci

$$\begin{aligned} d_n &= d_3 = 71\text{ mm} \\ d_{n+1} &= d_4 = 58\text{ mm} \\ \beta &= 35^\circ \\ r_{tv} &= 2,4\text{ mm} \\ h_3 &= \frac{4 \cdot (V_{\text{čistě}} - V_3)}{\pi \cdot [(d_3 + 2 \cdot s_0)^2 - d_3^2]} \\ h'_3 &= \frac{4 \cdot (17\,739,46 - 4\,557,647)}{\pi \cdot [(71 + 2 \cdot 0,6)^2 - 71^2]} = 98,495\text{ mm} \\ h_3 &= \mathbf{98,5\text{ mm}} \end{aligned}$$

kde:  $V_3$  -objem zelené části  $V_3 = 4\,557,647\text{ mm}^3$

Výška tvářené části od dna výtažku po horní začátek zaoblení příruby je 108,25 mm a maximální výška je dle tabulky 6 je 133,76 mm. Výtažek vyhovuje

### Výpočet rozměrů výtažku pro 4. operaci

Od čtvrté operace bude vytvářen stupňovitý výtažek. Zjednodušené rozměry výtažku bude načrt pomocí aplikace Inventor 22 na obr. 40. Ještě musí být vypočtena hodnota pro zaoblení tažnice  $r_t$  dle vzorců (2.17), (2.18) a (2.19)

$$\begin{aligned} r'_{tc1} &= 0,8 \cdot \sqrt{(D_0 - d_1) \cdot s_0} = 0,8 \cdot \sqrt{(201 - 112,6) \cdot 0,6} = 5,82\text{ mm} \\ r_{tc1} &= 6\text{ mm} \end{aligned}$$

Pro druhou operaci

$$r'_{tc2} = 0,6 \cdot r_{tc1} = 0,8 \cdot 6 = 3,6 \text{ mm}$$

$$r_{tc2} = 3,6 \text{ mm}$$

Pro další operace

$$r'_{tcn} = 0,8 \cdot r_{tc(n-1)}$$

$$r'_{tc3} = 0,8 \cdot r_{tc2} = 0,8 \cdot 3,6 = 2,88 \text{ mm}$$

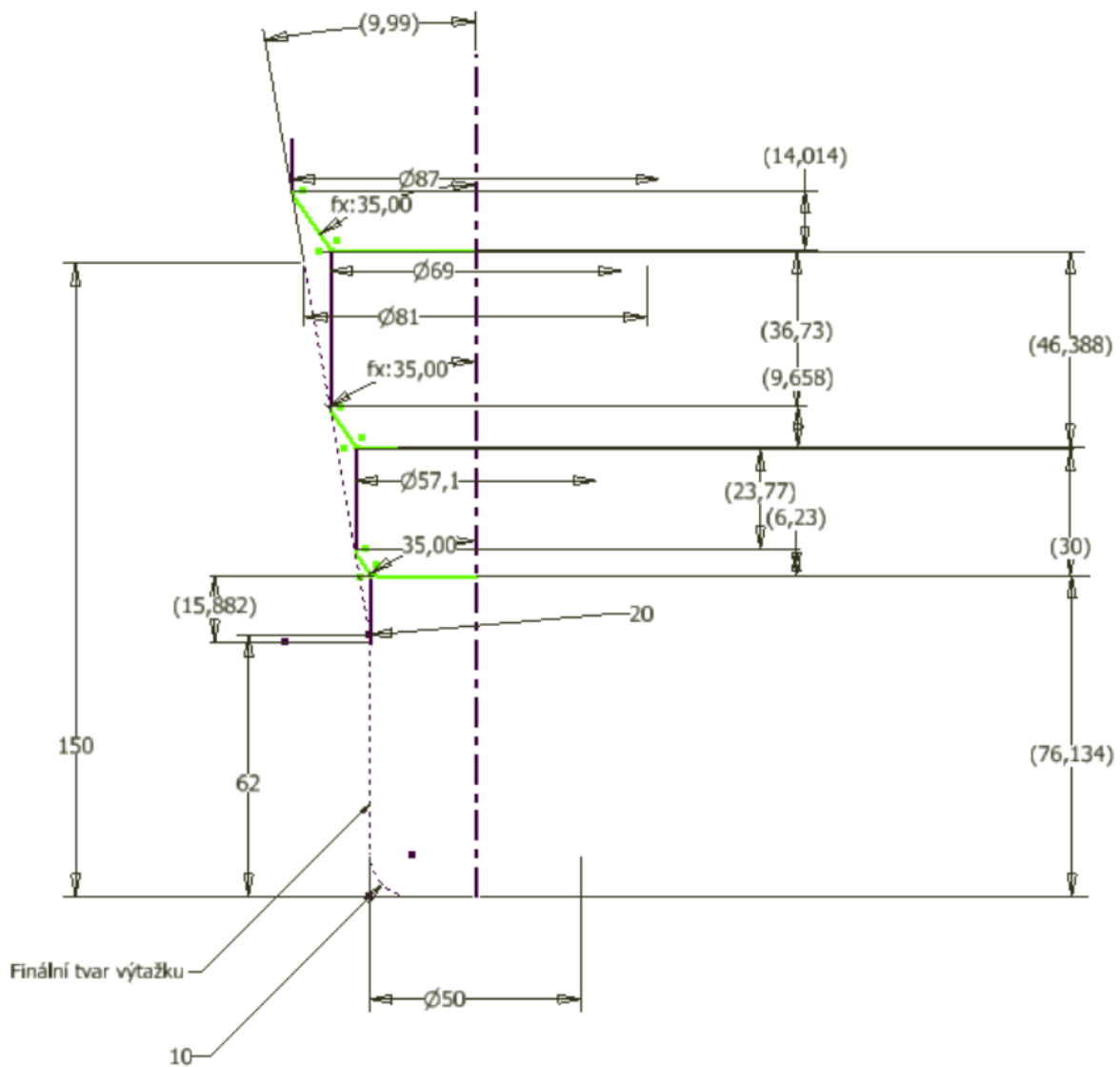
$$r_{tc2} = 2,9 \text{ mm}$$

$$r'_{tc4} = 0,8 \cdot r_{tc3} = 0,8 \cdot 2,9 = 2,32 \text{ mm}$$

$$r_{tc2} = 2,4 \text{ mm}$$

$$r'_{tc5} = 0,8 \cdot r_{tc4} = 0,8 \cdot 2,4 = 1,92 \text{ mm}$$

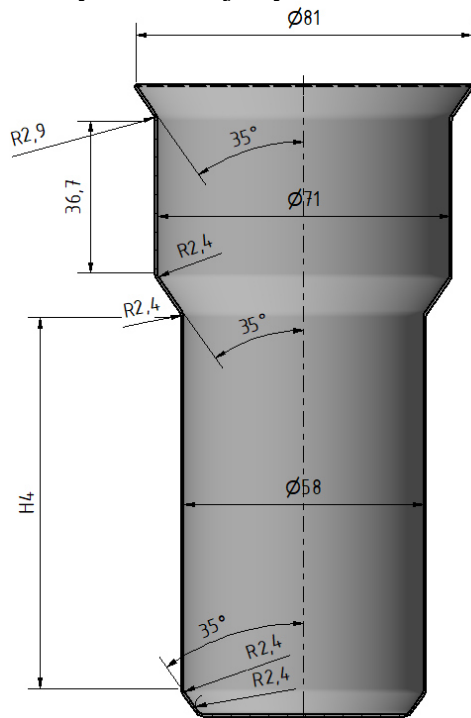
$$r_{tc2} = 2 \text{ mm}$$



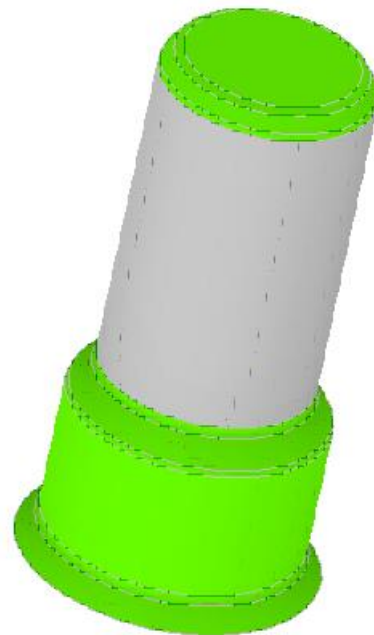
Obr. 40 Náčrt rozměrů pro finální výtažek z aplikace Inventor

Z náčrtu lze zjistit většinu rozměrů výtažku až na výšku  $h_4$  válcové části o vnitřním průměru  $d_4$ . Z toho lze vytvořit nákres, který je na obr 41. Výšku  $h_4$  lze zjistit stejně jak u předchozích

operací. Tím že je známý obsah popsaných oblastí a je odečten od čistého objemu. Obsah známých oblastí je vyobrazen na obr. 42 zelenou barvou.



Obrázek 41 Model výtazku ze 4 operace



Obrázek 42 Model výtazku ze 4 operace s vyznačenými zelenými oblastmi

$$V_{\text{čistě}} = V_4 + \pi \cdot \frac{(d_4 + 2 \cdot s_0)^2 - d_4^2}{4} \cdot h_3$$

$$h_4 = \frac{4 \cdot (V_{\text{čistě}} - V_4)}{\pi \cdot [(d_4 + 2 \cdot s_0)^2 - d_4^2]}$$

$$h'_4 = \frac{4 \cdot (17\,739,46 - 10\,028,543)}{\pi \cdot [(58 + 2 \cdot 0,6)^2 - 58^2]} = 70,047 \text{ mm}$$

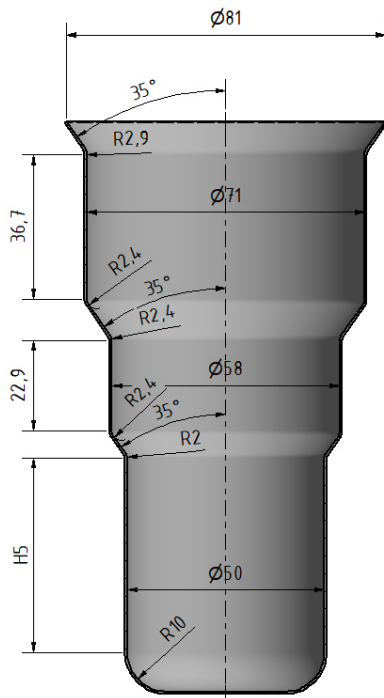
$$h_4 = \mathbf{70 \text{ mm}}$$

kde:  $V_4$  -objem zelené části  $V_4 = 10\,028,543 \text{ mm}^3$

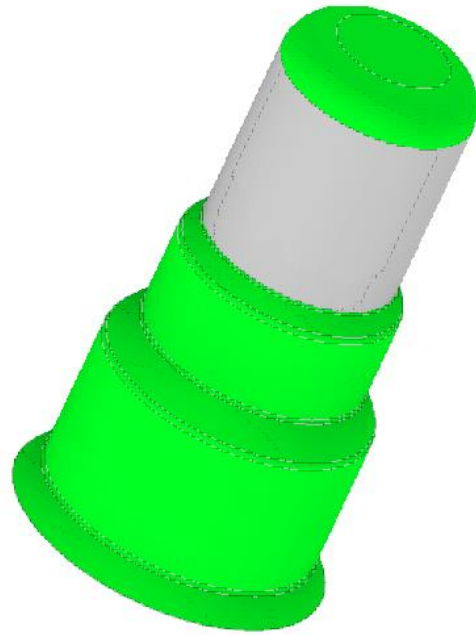
Délka tahu ve 4 operaci je 95,7 mm a maximální délka tahu dle tabulky 6 je 167,62 mm. Výtazek vyhovuje.

### Výpočet rozměrů výtazku pro 5. operaci

Rozměry výtazku jsou z větší části na obr. 40. Zaoblení tažníku je stejné jak finální zaoblení konečného výtazku. Výška  $h_5$  nedosáhne v kalibrační operaci na „dno“, protože když se bude stupňovitý výtazek kalibrovat, může začít vznikat například zvlnění, které se dotlačením nedá odstranit. Na obr. 43 je okótovaný výtazek a jediná neznámá hodnota je  $h_5$ , která bude vypočtena stejně jak v předchozích operacích. Na obr. 44 je vyobrazena zelená část, ze které byl zjištěn objem.



Obrázek 43 Okótovaný výtažek v 5 OP



Obrázek 44 Zeleně vyznačená oblast se známým objemem

$$V_{\text{čistě}} = V_5 + \pi \cdot \frac{(d_5 + 2 \cdot s_0)^2 - d_5^2}{4} \cdot h_3$$

$$h_5 = \frac{4 \cdot (V_{\text{čistě}} - V_5)}{\pi \cdot [(d_5 + 2 \cdot s_0)^2 - d_5^2]}$$

$$h'_5 = \frac{4 \cdot (17\,739,46 - 12\,830,716)}{\pi \cdot [(50 + 2 \cdot 0,6)^2 - 50^2]} = 51,5 \text{ mm}$$

$$h_5 = 51,5 \text{ mm}$$

kde:  $V_5$  -objem zelené části  $V_5 = 12\,830,716 \text{ mm}^3$

Hloubka tahu v 5 operaci je 61,5 mm a maximální délka tahu dle tabulky 6 je 205 mm. Výtažek vyhovuje.

### Výpočet rozměrů výtažku pro 6. kalibrační operaci

Poslední operace je kalibrační s výtažkem ná finální rozměry. Stejný tvar mají i části kalibrační tažnice, které jsou v kontaktu s výtažkem. Průběh operace začíná na vstupu pátého výtažku a jeho dno je postupně vtahované dovnitř, na kuželové části dochází k vypínání stupňů z předchozích operací a v poslední fázi při dotlačení se kalibruje na finální tvar.

	[mm]
$h_1$	46
$h_2$	77,7
$h_3$	98,5
$h_4$	70
$h_5$	51,5

Tabulka 7 Souhrn neznámých výšek h v operacích

### 3.6 Výpočet sil

Ve této části budou rozebrány síly a jejich podmínky. Pro přidržovací sílu budou podmínky použití přidržovače a u tažné síly podmínka překročení kritické tažné síly pro utržení dna. V této části nebude proveden výpočet celkové síly, z důvodu, že zatím není známá konstrukce nástroje a z důvodu velkého počtu operací je pravděpodobné použití ve dvou nástrojích.

#### Výpočty pro přidržovač

První je zapotřebí určit v jakých operacích je zapotřebí použití přidržovače, to bude určeno pomocí kritéria  $U$  a vzorce (2.9) a porovnání (2.10).

$$U = 50 \cdot \left( z - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) = 50 \cdot \left( 1,9 - \frac{\sqrt{0,6}}{\sqrt[3]{201}} \right) = 88,39$$

$$U \geq \frac{100 \cdot d}{D_0}$$

$$88,39 \geq \frac{100 \cdot 112,6}{201}$$

$$\mathbf{88,39 \geq 56}$$

Podmínka je platná, tudíž je v první operaci zapotřebí přidržovač. Dle tabulky 5 jsou koeficienty pro druhou a další operaci menší než 0,9, tudíž ve všech operacích je zapotřebí přidržovač.

Výpočet síly přidržovače je dle vzorce (2.8) jako tlak přidržovače bude zvolen maximální z volby tudíž  $p = 3 \text{ MPa}$ ,

$$F_p = p \cdot S_p$$

Plocha přidržovače, která je v kontaktu s rondelem/výtažkem se stanou dle vztahu pro první tažnou operaci:

$$S_{p1} = \pi \cdot \frac{[D_0^2 - (d_1 + 2 \cdot (z + r_{tc1}))^2]}{4}$$

$$S_{p1} = \pi \cdot \frac{[201^2 - (113 + 2 \cdot (0,72 + 6))^2]}{4} = 19\,253,97 \text{ mm}^2$$

kde:  $z$  - tažná mezera  $z = 1,2 \cdot s_0 = 1,2 \cdot 0,6 = 0,72 \text{ mm}$

Další plochy přidržovače jsou  $S_p$  bude určeno pomocí programu Inventor 2022. V programu byl vytvořen model přidržovače a z něho byla odečtena hodnota plochy přidržovače. Hodnoty jsou uvedeny v jednotlivých tažných operacích tabulce 8.

**Tabulka 8 Hodnoty ploch přidržovačů**

$S_{p1}$	19 253,97 mm <sup>2</sup>
$S_{p2}$	5 030,98 mm <sup>2</sup>
$S_{p3}$	2 373,60 mm <sup>2</sup>
$S_{p4}$	1 662,76 mm <sup>2</sup>
$S_{p5}$	933,79 mm <sup>2</sup>

S pomocí tabulky, lze dopočítat síly přidržovačů:

$$F_{p1} = 3 \cdot 19\,253,97 = 57\,761,91 \text{ N}$$

$$F_{p2} = 3 \cdot 5\,030,98 = 15\,092,94 \text{ N}$$

$$F_{p3} = 3 \cdot 2\,373,60 = 7\,120,80 \text{ N}$$

$$F_{p4} = 3 \cdot 1\,662,76 = 4\,988,28 \text{ N}$$

$$F_{p5} = 3 \cdot 933,79 = 2\,801,37 \text{ N}$$

## Výpočty tažné síly

První bude vypočtena hodnota k první tažné operaci. Prvně bude vypočten střední přetvárný odpor, následně deformační odpor nakonec tažná síla v první operaci

$$\sigma_{ps} = \frac{370}{1-0,23} \cdot \left[ \frac{1-0,5 \cdot \left( 0,56 + \frac{0,56}{\sqrt{1-0,56^2+0,56^2}} \right)}{0,23} \right]^{0,23} = 614,73 \text{ MPa}$$

kde:  $\psi_{krč}$  - poměrné zúžení na počátku krčku  $\psi_{krč}=0,23\%$

$\rho'$  - Poměrné zvětšení vnějšího průměru polotovaru  $\rho' = \frac{R}{R_0} = \frac{56}{100,5} = 0,56$

$$\sigma_d = \sigma_z = \sigma_{ps} \cdot \left( \zeta \cdot \ln \left( \frac{R}{\rho} \right) + \frac{f \cdot F_p}{\sigma_{ps} \cdot \pi \cdot R \cdot s_0} + \frac{s_0}{s_0 + 2 \cdot r_{tc}} \right) \cdot (1 + 1,6 \cdot f)$$

$$\sigma_d = 614,73 \cdot \left( 1,1 \cdot \ln \left( \frac{100,5}{56} \right) + \frac{0,1 \cdot 57\,761,91}{614,73 \cdot \pi \cdot 56,3 \cdot 0,6} + \frac{0,6}{0,6 + 2 \cdot 6} \right) \cdot (1 + 1,6 \cdot 0,1)$$

$$\sigma_d = 101,29 \text{ MPa}$$

kde:  $r_{tc}$  -  $r_{tc} = 6 \text{ mm}$

$d_s$  -  $d_s = d_1 - s_0 = 113 - 0,6 = 112,4 \text{ mm}$

$R$  -  $R = 100,5 \text{ mm}$

$f$  -  $f = 0,1$

$$F_{t1} = \pi \cdot d_s \cdot s_0 \cdot \sigma_d = \pi \cdot 112,4 \cdot 0,6 \cdot 101,29 = \mathbf{21\,497,45 \text{ N}}$$

Pro tažné síly v dalších operacích je výpočet odlišný a počítá se dle vzorce 2.15.

### Síla pro druhou operaci

$$F_{t2} = 1,21\pi \cdot d_{s2} \cdot s_0 \cdot \frac{Rm}{1-\psi_{krč}} \cdot \left[ \frac{1-0,5 \cdot m_1 \cdot (m_2+1)}{\psi_{krč}} \right]^{0,23} \cdot \frac{\psi_{krč}}{1-\psi_{krč}} \cdot \frac{f+tg \alpha_{taž}}{f} \cdot \left( 1 - m_2^{\frac{f}{tg \alpha_{taž}}} \right) \cdot (1 + f \cdot \hat{\alpha}_{taž})$$

Kde:  $d_{s2}$  - střední průměr v 2 OP  $d_{s2} = d_2 - s_0 = 88 - 0,6 = 87,4 \text{ mm}$

$\alpha_{taž}$  -  $\alpha_{taž} = 35^\circ$

$\hat{\alpha}_{taž}$  -  $\hat{\alpha}_{taž} = 0,610865 \text{ rad}$

$$F_{t2} = 1,21\pi \cdot 87,4 \cdot 0,6 \cdot \frac{370}{1-0,23} \cdot \left[ \frac{1-0,5 \cdot 0,56 \cdot (0,78+1)}{0,23} \right]^{0,23} \cdot \frac{0,1+tg 35^\circ}{0,1} \cdot \left( 1 - 0,78^{\frac{0,1}{tg 35^\circ}} \right) \cdot (1 + 0,1 \cdot 0,610865)$$

$$F_{t2} = 3\,274,82 \text{ N}$$

### Síla pro třetí operaci

$$F_{t3} = 1,21\pi \cdot d_{s3} \cdot s_0 \cdot \frac{Rm}{1-\psi_{krč}} \cdot \left[ \frac{1-0,5 \cdot m_1 \cdot (m_3+1)}{\psi_{krč}} \right]^{0,23} \cdot \frac{\psi_{krč}}{1-\psi_{krč}} \cdot \frac{f+tg \alpha_{taž}}{f} \cdot \left( 1 - m_3^{\frac{f}{tg \alpha_{taž}}} \right) \cdot (1 + f \cdot \hat{\alpha}_{taž})$$

Kde:  $d_{s3}$  -  $d_{s3} = d_3 - s_0 = 71 - 0,6 = 70,4 \text{ mm}$

$$F_{t3} = 1,21\pi \cdot 70,4 \cdot 0,6 \cdot \frac{370}{1-0,23} \cdot \left[ \frac{1-0,5 \cdot 0,56 \cdot (0,80+1)}{0,23} \right]^{0,23} \cdot \frac{0,1+tg 35^\circ}{0,1} \cdot \left( 1 - 0,80^{\frac{0,1}{tg 35^\circ}} \right) \cdot (1 + 0,1 \cdot 0,610865)$$

$$F_{t3} = 2\,347,82 \text{ N}$$

**Síla pro čtvrtou operaci**

$$F_{t4} = 1,21\pi \cdot d_{s4} \cdot s_0 \cdot \frac{R_m}{1-\psi_{krč}} \cdot \left[ \frac{1-0,5 \cdot m_1 \cdot (m_4+1)}{\psi_{krč}} \right]^{\frac{\psi_{krč}}{1-\psi_{krč}}} \cdot \frac{f+tg \alpha_{taž}}{f} \cdot \left( 1 - m_4^{\frac{f}{tg \alpha_{taž}}} \right) \cdot (1 + f \cdot \hat{\alpha}_{taž})$$

$$\text{Kde: } d_{s4} - d_{s2} = d_2 - s_0 = 58 - 0,6 = 57,4 \text{ mm}$$

$$F_{t4} = 1,21\pi \cdot 57,4 \cdot 0,6 \cdot \frac{370}{1-0,23} \cdot \left[ \frac{1-0,5 \cdot 0,56 \cdot (0,82+1)}{0,23} \right]^{\frac{0,23}{1-0,23}} \cdot \frac{0,1+tg 35^\circ}{0,1} \cdot \left( 1 - 0,82^{\frac{0,1}{tg 35^\circ}} \right) \cdot (1 + 0,1 \cdot 0,610865)$$

$$F_{t4} = 1\,708,65 \text{ N}$$

**Síla pro pátou operaci**

$$F_{t5} = 1,21\pi \cdot d_{s5} \cdot s_0 \cdot \frac{R_m}{1-\psi_{krč}} \cdot \left[ \frac{1-0,5 \cdot m_1 \cdot (m_5+1)}{\psi_{krč}} \right]^{\frac{\psi_{krč}}{1-\psi_{krč}}} \cdot \frac{f+tg \alpha_{taž}}{f} \cdot \left( 1 - m_5^{\frac{f}{tg \alpha_{taž}}} \right) \cdot (1 + f \cdot \hat{\alpha}_{taž})$$

$$\text{Kde: } d_{s2} - d_{s5} = d_5 - s_0 = 50 - 0,6 = 49,4 \text{ mm}$$

$$F_{t5} = 1,21\pi \cdot 49,4 \cdot 0,6 \cdot \frac{370}{1-0,23} \cdot \left[ \frac{1-0,5 \cdot 0,56 \cdot (0,86+1)}{0,23} \right]^{\frac{0,23}{1-0,23}} \cdot \frac{0,1+tg 35^\circ}{0,1} \cdot \left( 1 - 0,87^{\frac{0,1}{tg 35^\circ}} \right) \cdot (1 + 0,1 \cdot 0,610865)$$

$$F_{t5} = 1\,205,69 \text{ N}$$

**Síla pro šestou kalibrační operaci**

Pro kalibraci je zvolena největší možná síla, a to trojnásobek síly pro 2 tažnou operaci.

$$F_{t6k} = 3 \cdot F_{t2} = 3 \cdot 3\,274,82 = 8\,815,01 \text{ N}$$

**Kritická hodnota pro utržení dna výtažku**

Tažná síla u jednotlivých operacích musí být menší než kritická, jinak dojde k utržení dna. Kritická hodnota je zjištěna pomocí vzorce 2.11.

$$F_{krit n} = \pi \cdot d_{sn} \cdot s_0 \cdot R_m$$

Kritická síla pro první operaci

$$F_{krit 1} = \pi \cdot d_{s1} \cdot s_0 \cdot R_m = \pi \cdot 112,4 \cdot 0,6 \cdot 370 = 82\,334,86 \text{ N}$$

Kritická síla pro druhou operaci

$$F_{krit 2} = \pi \cdot d_{s2} \cdot s_0 \cdot R_m = \pi \cdot 87,4 \cdot 0,6 \cdot 370 = 64\,177,08 \text{ N}$$

Kritická síla pro třetí operaci

$$F_{krit 3} = \pi \cdot d_{s3} \cdot s_0 \cdot R_m = \pi \cdot 70,4 \cdot 0,6 \cdot 370 = 51\,312,26 \text{ N}$$

Kritická síla pro čtvrtou operaci

$$F_{krit 4} = \pi \cdot d_{s4} \cdot s_0 \cdot R_m = \pi \cdot 57,4 \cdot 0,6 \cdot 370 = 42\,049,59 \text{ N}$$

Kritická síla pro pátou operaci

$$F_{krit 5} = \pi \cdot d_{s5} \cdot s_0 \cdot R_m = \pi \cdot 49,4 \cdot 0,6 \cdot 370 = 36\,315,55 \text{ N}$$

**Tabulka 9 Srovnání tažné a kritické síly**

OP	$F_{\text{tažná}} \text{ [N]}$	$F_{\text{kritická}} \text{ [N]}$
1.	21 497,45	82 334,86
2.	3 274,01	64 177,08
3.	2 347,82	51 312,26
4.	1 708,65	42 049,59
5.	1 205,69	36 315,55

V tabulce 9 jsou uvedeny hodnoty tažných a kritických sil. Z výsledků srovnání plyne, že nedojde k poškození výtažků. Tažné síly vyhovují.

## 4 KONSTRUKCE NÁSTROJE

V této části bude rozebrána konstrukce nástroje. Pro konstrukci základních prvků jako například desek, vodících sloupků a ložisek, je použit katalog od firmy HASCO GmbH. Další díly (kromě šroubů, kolíků, pojistných kroužků atd.) jsou nestandardizované. [32]

### Tažník

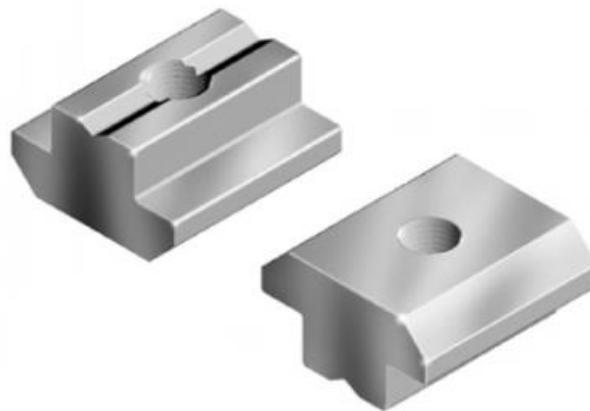
Tažníky jsou ze dvou částí, a to těla tažníku, který je ukotven na deskách a vložka tažníku, která je z nástrojové oceli. Upevnění je dle obrázku 19. První tažník je dle verze d). V těle tažníku je otvor, do kterého je zasunuta vložka a je zajištěn pomocí dvou šroubů. Zbylé tažníky jsou dle varianty c). Na těle tažníku je závitová tyč, na které je našroubovaná vložka. Tvary tažníku jsou dle obrázku 20. Pro první až čtvrtý tah je hrana vložky, která je v kontaktu s materiálem, zkosená pod úhlem  $\beta$ . Pro pátý tah je zkosení nahrazeno zaoblením o rozměru konečného tvaru výtažku. Kalibrační vložka je dle tvaru finálního výtažku a je zakótovaná na výkrese „Vložka tažníku 6 OP“ pod číslem 2023-DP-200611-07. Vložka tažníku je z materiálu ČSN 19 436 a materiál pro tělo tažníku je z ČSN 12 050. [33; 34]

### Tažnice

Tažnice jsou upevněny pomocí 3 šroubů. Typy tažnic jsou dle obrázku 16 a všechny výtažky jsou vráceny nad tažnici. Pro první operaci je tažnice tvaru a) a pro druhý až pátý tah je tažnice typu c). Pro kalibrační operaci je navržena speciální tažnice, která je na výkresu „Tažnice 6 OP“ pod číslem 2023-DP-200611-08. Materiál tažnic je ČSN 19 436.

### Vodící prvky

Sloupky jsou vybrány z katalogu z materiálu DIN 1.0401. Jako vedení po sloupku je zvoleno kuličkové ložisko stejné jako na obrázku 23. Kuličkové ložisko je z materiálu DIN 1.7131. Upevnění nástroje je pomocí T drážek. Do drážky jsou vloženy drážkové matice (viz obr. 45) z materiálu EN SS 303. [31, 32]



Obr. 45 Drážková matice [31]

### Desky

Pro každý přidržovač jsou navrženy dvě vrchní a spodní desky, pro tažníky dvě vrchní a spodní, pro tažnice jedna, na které jsou přišroubované pomocí šroubů. Na základní desky jsou přidělané drážkové matice. Desky jsou z materiálu DIN 1.1730. Distanční stěny slouží pro zajištění dostatečného prostoru pro pohyb přidržovače a pro vytažení výtažku. Distanční stěny jsou z materiálu ČSN 12 050. [32]

## Sestavení nástroje

Nástroje jsou sestavené v přílohách na výkresech. První nástroj je na výkrese *1.NÁSTROJ* s číslem 2023-DP-200611-01. Druhý nástroj je na výkrese *2.NÁSTROJ* s číslem 2023-DP-200611-04.

## Výpočet sil

Pro velký počet operací jsou zvoleny 2 nástroje, proto bude proveden výpočet celkové síly pro první  $F_{C1}$  a  $F_{C2}$  druhý nástroj. Celková síla je součet přidržovacích a tažných sil v operacích v nástroji.

$$F_{C1} = F_{t1} + F_{t2} + F_{t3} + F_{p1} + F_{p2} + F_{p3}$$

$$F_{C1} = 21\,497,47 + 3\,274,82 + 2\,347,82 + 57\,761,91 + 15\,092,94 + 7\,120,80$$

$$F_{C1} = \mathbf{107\,094,92\,N}$$

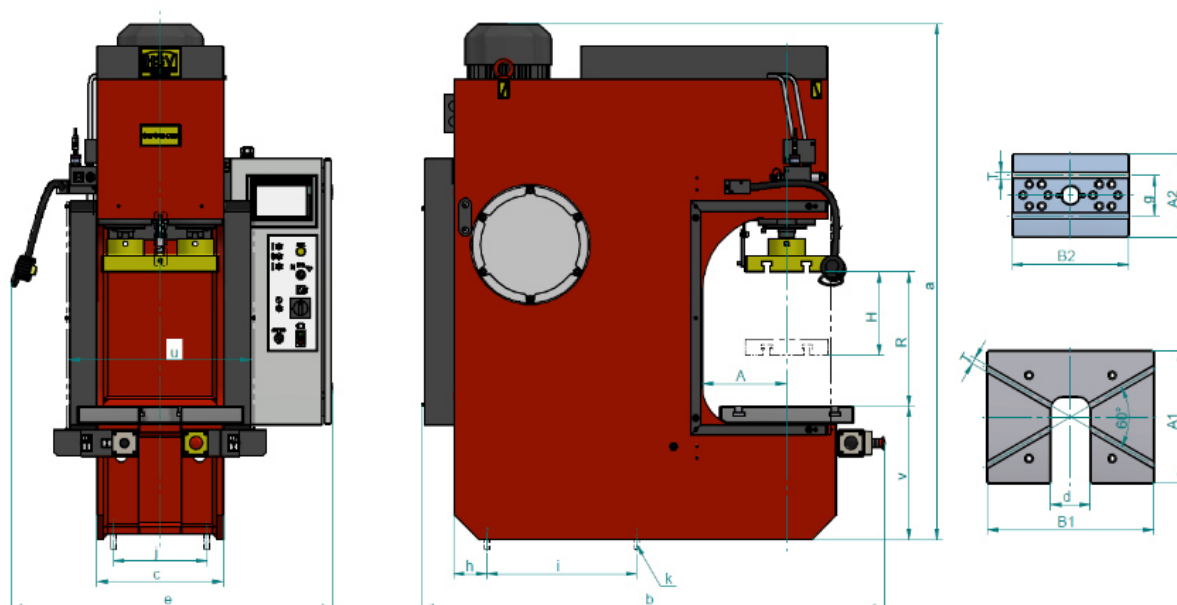
$$F_{C2} = F_{t4} + F_{t5} + F_{t6} + F_{p4} + F_{p5}$$

$$F_{C2} = 1\,708,65 + 1\,205,69 + 8\,185,01 + 4\,988,28 + 2\,801,37$$

$$F_{C2} = \mathbf{18\,889,01\,N}$$

## Volba lisu

Lis musí být hydraulický a díky relativně malé síle nemusí být velký. Požadavek je velikost beranu, aby byl v kontaktu celou plochou největšího nástroje. Lis je zvolen od společnosti HŠV Polička a konkrétně typ CUPS 80 DEU na obr 46. Tento lis je dle informací na webu ne úplně vyhovující. Nevyhovujícím parametrem je rozevření lisu, ale dle informací ze společnosti je možné velikost rozevření změnit. Lis není standartně vybaven vyhazovači, ale je možné je doplnit díky zvláštnímu příslušenství. Základní rozměry z obr. 46 jsou v tabulce 10.



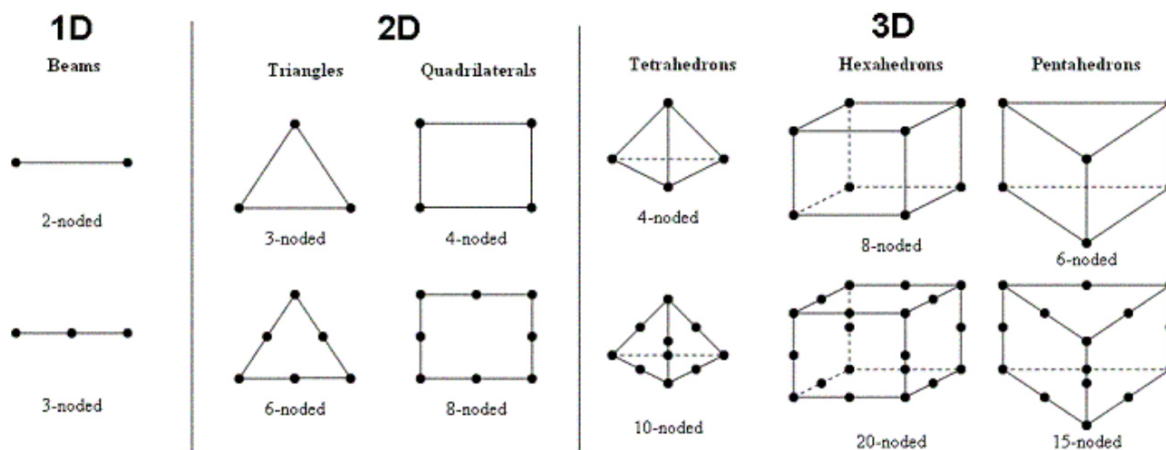
Obrázek 46 Nákres lisu [22]

Tabulka 10 Rozměry lisu [22]

	Značka	Hodnota	Jednotky
Jmenovitá síla	-	800	kN
Rozevření	R	750	mm
Zdvih beranu	H	300	mm
Vyložení	A	350	mm
Stůl	A1xB1	500x750	mm
Beran	A2xB2	400x600	mm
Max. výška	a	2570	mm
Hloubka	b	1750	mm
Max. šířka stojan	e	1315	mm
Výška stolu	v	786	mm
Hmotnost	-	4800	kg
T-drážka	T	22	mm
Rozteč drážek	g	250	mm

## 5 SIMULACE

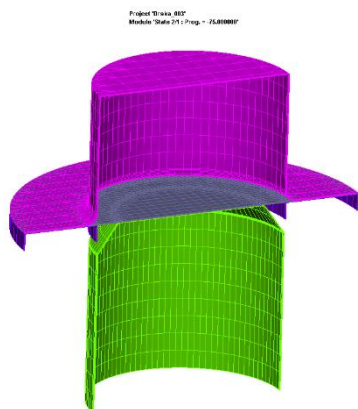
Pro výtažek je provedena simulace pomocí programu Pam-Stamp. Jedná se o simulaci pomocí metody konečných prvků (dále jen MKP). MKP řeší kontinuum tím, že ho nahradí diskretizací prvků. Příklady prvků jsou na obr. 47.



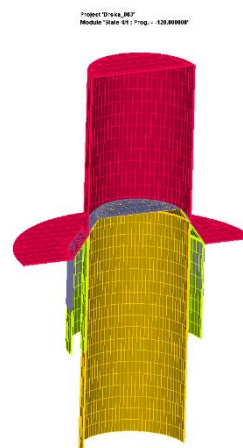
Obrázek 47 Příklady prvků sítě MPK [30]

### Zobrazení sítě v každé operaci

Na obr. 47 je zobrazeno rozložení sítě na prvcích nástroje a rondelu a vzájemné uložení v simulaci. Světle fialová je tažnice, tmavě fialová je přídržovač, zelený je tažník a šedý je rondel.



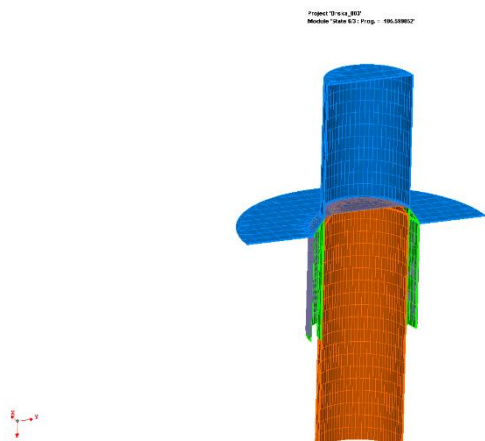
Obr. 48 Zobrazení sítě a uložení sestavy v 1 OP



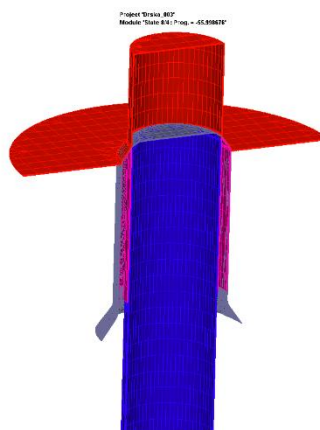
Obr. 49 Zobrazení sítě a uložení sestavy v 2 OP

Na obr. 49 je to samé pro druhou operaci. Červený je tažnice, světle žlutý je přídržovač, oranžový je tažník a šedý je výtažek z 1 OP.

Na obr. 50 je to samé pro třetí operaci. Modrá je tažnice, světle zelený je přídržovač, oranžový je tažník a šedý je výtažek z 2 OP.



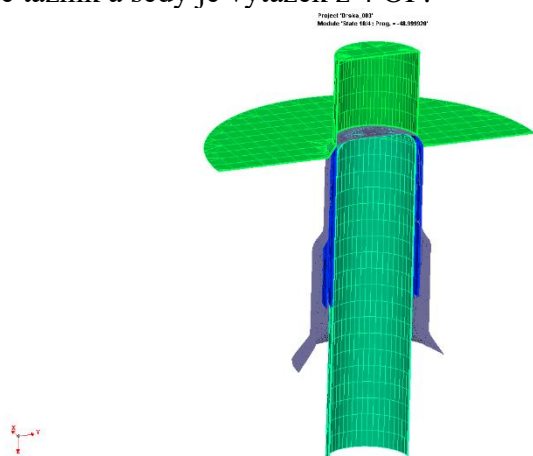
Obr. 50 Zobrazení sítě a uložení sestavy v 3 OP



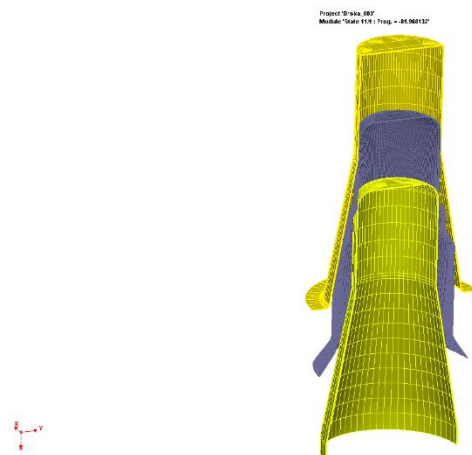
Obr. 51 Zobrazení sítě a uložení sestavy v 4 OP

Na obr. 51 je to samé pro čtvrtou operaci. Červená je tažnice, růžový je přidržovač, modrý je tažník a šedý je výtažek z 3 OP.

Na obr. 53 je zobrazení pro pátou operaci. Zelená je tažnice, modrý je přidržovač, zelenomodrý je tažník a šedý je výtažek z 4 OP.



Obr. 53 Zobrazení sítě a uložení sestavy v 5 OP



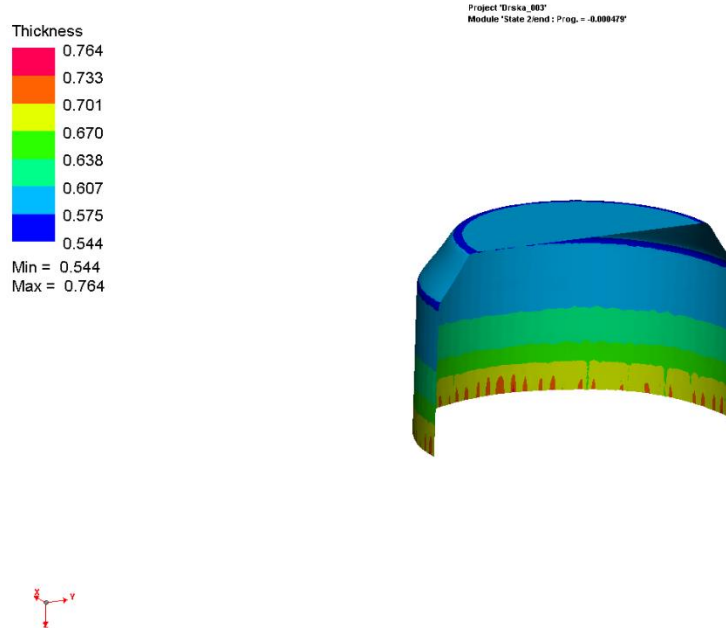
Obr. 52 Zobrazení sítě a uložení sestavy v kalibrační operaci

Na obr. 52 je vyobrazena kalibrační operace. Tmavě žlutá je tažnice, světle žlutý je tažník a šedý je výtažek z 5 OP. Jak je patrné ze sestavy, tak výtažek bude, jak táhnut, tak i kalibrován.

### Výsledek simulace výtažků

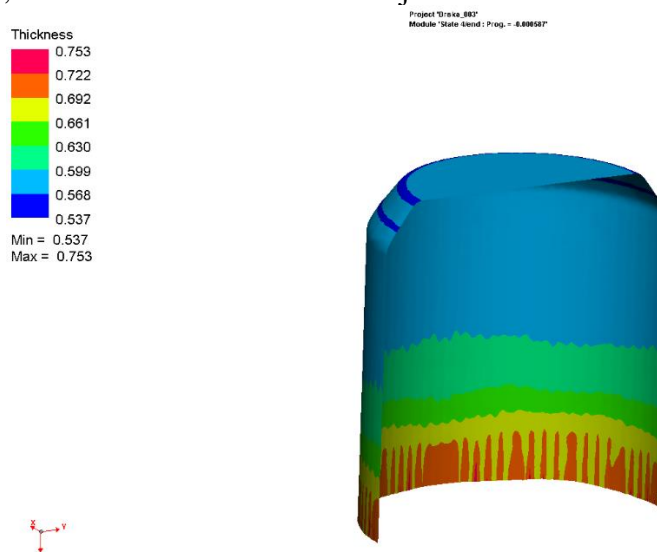
Na následujících záznamech jsou výtažky s vyobrazenou tloušťkou dle barevné škály. Barevná škála je v mm.

První operace na obr. 54 se zdá bezproblémová. Tloušťka dosahuje rozmezí od 0,764 mm do 0,544 mm. Pro zjištění, jestli výtažky vyhovují, bude u šesté závěrečné operace jsou převedené body do grafu s křivkou Keller-Goodwin. V grafu je vyobrazené přetvoření.



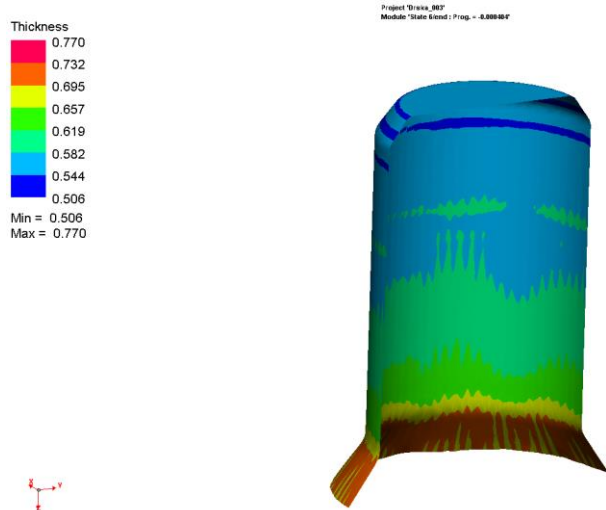
**Obr. 54 Simulace výtažku 1 operace**

Druhý výtažek na obr. 55 ukazuje posun, tím že maximální tloušťka je menší a dosahuje hodnoty 0,753 mm a minimální tloušťka je ztenčená na hodnotu 0,537 mm.



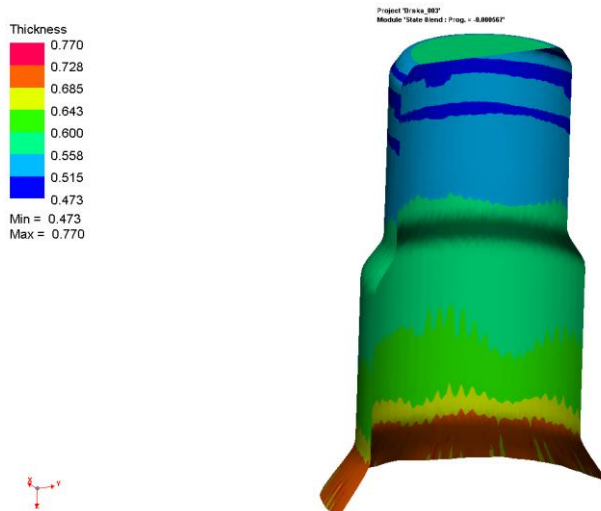
**Obr. 55 Simulace výtažku 2 operace**

Třetí výtažek na obr. 56 vytvoří maximální tloušťku na části příruby o maximální hodnotě 0,770 mm. Minimální hodnota je 0,506 mm ve spodní oblasti.



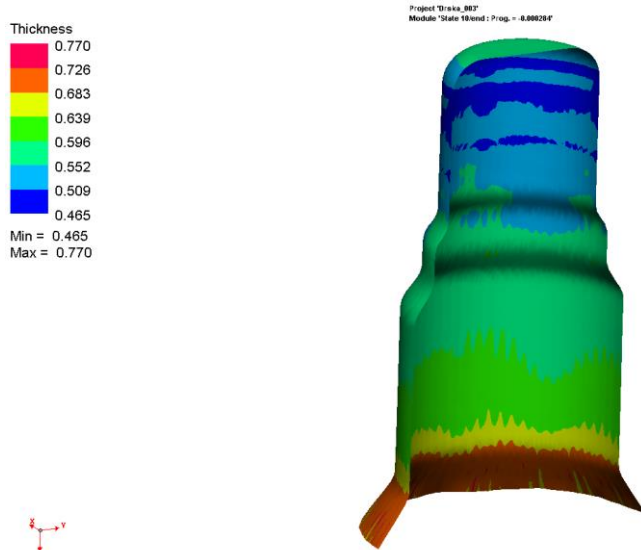
**Obr. 56 Simulace výtažku 3 operace**

Na obr. 57 je simulace čtvrté tažné operace výtažku. Maximální hodnota je nezměněná z důvodu, že příruba z předchozí operace nebude tvářena. Minimální tloušťka je 0,473 mm ve spodní části.



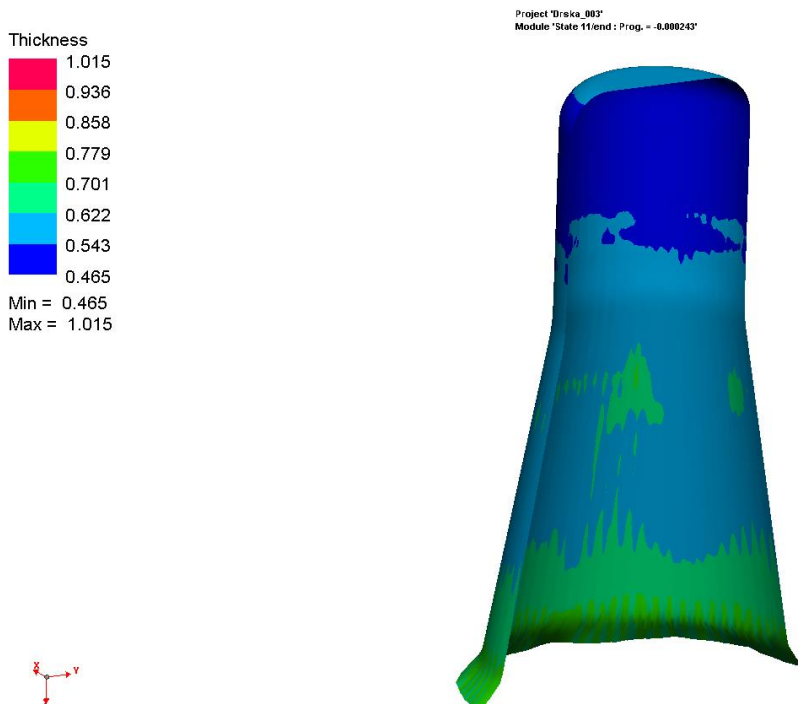
**Obr. 57 Simulace výtažku 4 operace**

Na obr. 58 je pátý výtažek a podobně jak na 4 výtažku se mění jen minimální tloušťka, a to na hodnotu 0,465 mm.



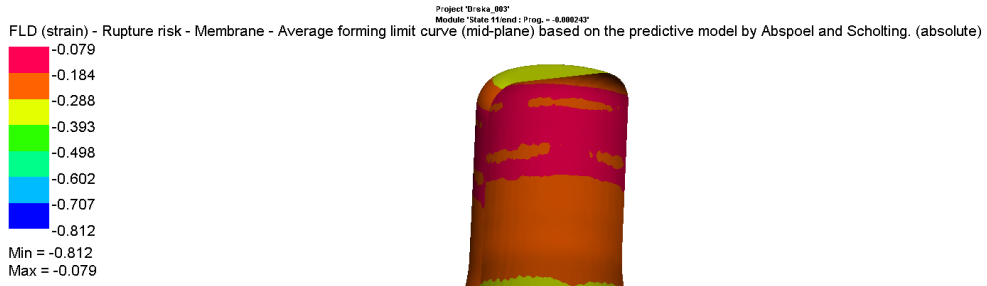
**Obr. 58 Simulace výtažku 5 operace**

Kalibrace na obr. 59 ukazuje výsledný výtažek. Maximální tloušťka je dle škály 1,015 mm, ale na modelu není viditelná, to může být způsobeno tím, že tato hodnota nastává ve velmi malé oblasti.



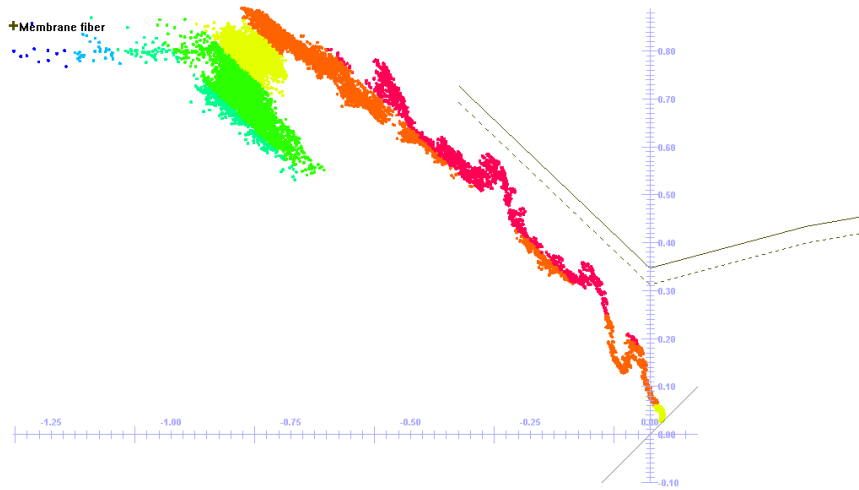
**Obr. 59 Simulace výtažku 6 operace**

Na obr. 60 je vyobrazen výtažek po 6 operaci s vyobrazeným přetvořením pomocí barevné škály a na grafu 4 jsou body z modelu vyneseny do grafu s Keller-Goodwinovou křivkou. Z grafu vyplývá, že žádný z bodů nepřekračuje křivku K-G, tudíž výtažek je dle simulace proveditelný.



Obr. 60 FLD po 6 operace

Project "Draka\_003"  
Module "State 11/end : Prog. = -0.000243"



Graf 4 FLD diagram po 6 operace

## ZÁVĚR

V rámci provedené práce bylo provedeno zhodnocení původního stavu stínítka. Následně byla provedena optimalizace tvaru. Pro optimalizaci byla zvolena vhodná výrobní technologie, a to hluboké tažení plechu. K technologii byla provedena literární rešerše. K technologickému řešení byly provedeny výpočty koeficientu tažení, počet operací, rozměry výtažků v operacích, deformační přetvárný odpor, tažná síla, přídržovací síla a celková síla. Při přípravě rondelu byly vypočteny přídavky na ostřížení, střížná síla a práce a procentuální využitelnost materiálu v podobě zvoleného svitku s využitelností 78,22 % pro navržené rozložení výstřížku na svitku. Následně byly vypočteny rozměry výtažků v operacích, následně návrh tažníků, tažnic a celková konstrukce nástroje, jejíž výkresy jsou v přílohách. Pro nástroj byl zvolen vhodný lis, konkrétně hydraulický lis od společnosti HŠV Polička. Stroj je vybaven tři berany vyhazovače a je speciálně rozšířeno rozevření stroje. Pro ověření výpočtů byla dále provedena simulace v programu PAM-STAMP. Výstupem ze simulace byly modely tloušťky výtažků v jednotlivých operacích a pro konečný tvar ještě model přetvoření materiálu. Z modelu přetvoření materiálu byly odečteny body a vloženy do grafu Keller-Goodwin, který potvrdil proveditelnost zvoleného technologického řešení.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Tiefziehen. In: Europages [online]. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.europages.de/Tiefziehen/METALLDRUCKEREI-SCHMITT-GMBH-CO-KG/cpid-6015386.html>
2. Vysoký hrnec s poklicí, HENDI. In: HENDI [online]. 2023 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: [https://hendi.com/cz/vysoky-hrnec-s-poklici-hendi-budget-line-98l-o500xh500mm-835104?gclid=CjwKCAiAxvGfBhB-EiwAMPakqgGO8-twLreRjB02eBPeTpr3OR3U9vIIFbZfHDM1f2b72nFUdH3GexoCzUMQAvD\\_BwE](https://hendi.com/cz/vysoky-hrnec-s-poklici-hendi-budget-line-98l-o500xh500mm-835104?gclid=CjwKCAiAxvGfBhB-EiwAMPakqgGO8-twLreRjB02eBPeTpr3OR3U9vIIFbZfHDM1f2b72nFUdH3GexoCzUMQAvD_BwE)
3. Anemostat. In: Palmat s. r. o. [online]. Palmat, 2023 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: [https://www.elektro-paloucek.cz/ventilatory-ventraci-mrizky-talirove-ventily-c-231\\_664\\_665/anemostat-nerezovy-talirovy-ventil-100-mm-am100vrf-nerez-p-14266](https://www.elektro-paloucek.cz/ventilatory-ventraci-mrizky-talirove-ventily-c-231_664_665/anemostat-nerezovy-talirovy-ventil-100-mm-am100vrf-nerez-p-14266)
4. Katalog materiálu. In: ALFUN a.s. [online]. CZE: ALFUN, 2023 [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.alfun.cz/produkty/nerez/>
5. TIŠNOVSKÝ, Miroslav. Hluboké tažení plechu na lisech [online]. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990 [cit. 2023-02-28]. Knihnice technických aktualit. ISBN 80-030-0221-4. Dostupné z: <https://dnnt.mzk.cz/view/uuid:b3bc3b70-d68c-11e3-b110-005056827e51?page=uuid:9ffb3840-fd27-11e3-9806-005056825209>
6. TATÍČEK, František. Akademie tváření: Hluboké tažení. Akademie tváření: Hluboké tažení [online]. ČVUT, FS v Praze: MM Průmyslové spektrum, 2011 [cit. 2023-02-28]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-hluboke-tazeni>
7. ODEHNAL, Josef. Hluboké tažení plechu na lisech. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963. Signatura:2-0496.990.
8. RUMÍŠEK, Pavel. Technologické projekty. Brno: VUT Brno, 1991. ISBN 80-214-0385-3.
9. ŽILKA, Daniel. *Výroba tvarového krytu*. Brno, 2015.40 s,5 výkresů, 6příloh, CD. Bakalářská 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.
10. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
11. QAYYUM, Faisal Qayyum. *Complex shape sheet hydroforming*. Technische Universität Bergakademie Freiberg, 2014, 82. Dostupné z: doi:10.13140/RG.2.2.13352.26888
12. FOREJT, M. *Teorie tváření, Návodů do cvičení.pdf*. Studijní opora FSI VUT, říjen 2004 (2022)
13. DOUBRAVSKÝ, Miroslav. Vybrané statě z tváření III.: Ohýbání a tažení plechů. Brno: VUT, 1971. ISBN 55-637-71.
14. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6. LENFELD, Petr. *Technologii tváření kovů* [online]. In: . Liberec [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/06.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm)
15. *Pozinkované plechy přírodní - svitky*. In: *Maxira Technology s.r.o.* [online]. Ostrava: Maxira Technology, 2023 [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.maxira.cz/pozinkovane-plechy-prirodni-svitky-1338cz24/>
16. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL, 1983. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:7d36cf80-4f77-11ed-ad9c-5ef3fc9bb22f>

17. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. Vyd. 2. Brno: PC-DIR Real, 1999. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1481-2.
18. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení* [online]. Brno, 2002 [cit. 2019-05-07]. 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 opora. VUT.
19. BEZDĚK, Jiří. *Technologie výroby tvarové součásti tvářením*. [online] Brno [cit. 2023-05-07]: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 009. s.75. Vedoucí práce: doc. Ing. Milan Dvořák, CSc. Dostupné z: <https://docplayer.cz/45888020-Technologie-vyroby-tvarove-soucasti-tvarenim-technology-of-production-form-parts-by-forming.html>
20. PROCHÁZKA, Vojtěch. *Výroba krytu vzduchového filtru*. Brno, 2017. 36s, 4 výkresy, 4 přílohy, CD. Bakalářská 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
21. *Katalog HASCO* [online]. HASCO, 2023 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.hasco.com/cs/Produktov%C3%BD-katalog/Z/Vod%C3%ADc%C3%AD-elementy/c/PIM0301>
22. *HŠV Polička Hydraulické lisy* [online]. HŠVstroje 2023, 2023 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://www.hsvpolicka.cz/cs/lisy/univerzalni-hydraulicke-lisy>
23. *Fyzika* [online]. Polička: Jana Maříková, 2017 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://zstynec-marikova.webnode.cz/fyzika-7-viii/>
24. *Tvářecí stroje* [online]. Liberec: TUL, 2017 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: [http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobní\\_stroje/tvareci.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobní_stroje/tvareci.pdf)
25. MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje*. ČVUT v Praze: Fakulta strojní [online]. Praha, 2006/2007 [cit. 2023-02-02]. Dostupné z: [http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor\\_stud/VSZ\\_-\\_2351054/VSZ\\_-\\_Tvareci\\_stroje.pdf](http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor_stud/VSZ_-_2351054/VSZ_-_Tvareci_stroje.pdf)
26. KOVÁČ, Andrej a Bedřich RUDOLF. *Tvárníace stroje*. Vyd. 1. Bratislava: Alfa, vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, n.p., 1989. 376 s. ISBN 80-05-00126-6.
27. *Ruční pákový lis a Kolenová páka 800kp Berg + Schmid Pressentechnik* [online]. Starovice: VRC náradí s.r.o, 2023 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://www.e-shop-naradi.cz/produkt/rucny-pakovy-lis-800kp-zalomena-paka-bs/>
28. *WISURA ZW 3356 - 20KG* [online]. Písek: Combinata, 2023 [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: [http://combinata.cz/index.php?route=product/product&product\\_id=3600](http://combinata.cz/index.php?route=product/product&product_id=3600)
29. *Svítek pozink 0,55 x 670 mm* [online]. Praha: STAV-INVEST, střešní systémy, 2023 [cit. 2023-05-14]. Dostupné z: <https://eshop.stavinvest.cz/svitek-pozink-0-55-x-670-mm/>
30. HORVÁTHOVÁ, Nikoleta. *MKP analýza mostných konštrukcí*. BRATISLAVA, 2019. Bakalářská práce. SLOVENSKA TECHNICKA UNIVERZITA V BRATISLAVE STAVEBNA FAKULTA. Vedoucí práce Ing. Marek Macák, PhD.
31. *Matice do T-drážek T22 / M20 , ČSN 021529* [online]. Kovonástroje, 2023 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.marek.eu/fath-doplňky-hlinikovych-systemu/pripevnit/t-drazka-matice/slot-10/self-aligning/32090/drazkova-matice-19-5-x-10-6-mm-vyska-pera-4-3-mm.html>
32. *Katalog HASCO* [online]. HASCO, 2023 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.hasco.com/cs>

33. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet metal forming processes and die design*. 1. New York: Industrial Press, 2004. ISBN 0-8311-3182-9.
34. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli* (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
35. TSCHÄETSCH, Heinz. *Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools*. Springer Berlin Heidelberg, New York, 2006. 404 s. ISBN 3-540-33216-2.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

### Symbols

Označení	Legenda	Jednotka
$A_s$	střížná práce	[J]
$R_m$	mez pevnosti v tahu	[MPa]
$R_e$	mez kluzu	[MPa]
$A_{50}$	tažnost	[%]
$n$	počet operací	[-]
$d_n$	průměr výtažku v operaci $n$	[mm]
$m_n$	součinitel tažení pro operaci $n$	[-]
$m'$	střední hodnota součinitele tažení	[-]
$s_0$	tloušťka plechu	[mm]
$V$	objem výtažku	[mm]
$D_0$	průměr přístříhu (rondele)	[mm]
$V_C$	celkový objem výtažku s přídávky	[mm <sup>3</sup> ]
$F_s$	střížná síla	[N]
$n_s$	otupení střížné hrany	[-]
$L$	délka křivky stříhu	[mm]
$h_s$	hloubka vniknutí střížné hrany	[mm]
$S_p$	plocha přidržovače v kontaktu s rondelem	[mm <sup>2</sup> ]
$p$	tlak přidržovače	[MPa]
$U$	součinitel přidržovače	[-]
$z$	materiálová konstanta	[-]
$F_{krit\ n}$	kritická tažná síla pro operaci $n$	[N]
$F_{t\ n}$	tažná síla pro operaci $n$	[N]
$F_{p\ n}$	Přidržovací síla pro operaci $n$	[N]
$d_s$	střední průměr	[mm]
$R$	poloměr výtažku	[mm]
$r_{tc\ n}$	poloměr zaoblení tažnice pro operaci $n$	[mm]
$C$	koeficient tažné práce	[-]
$h$	výška výtažku	[mm]
$F_C$	celková tažná síla	[N]
$V_{čistý}$	čistý objem výtažku	[mm <sup>3</sup> ]
$L_p$	délka pásu	[mm]
$\rho$	hustota oceli	[kg·m <sup>-3</sup> ]
$E$	mezera mezi výstřížky	[mm]
$F$	mezera mezi výstřížkem a okrajem	[mm]
$N_x$	počet dílů z jednoho svitku dle návrhu $x$	[ks]
$P_x$	procentuální využití materiálu dle návrhu $x$	[%]
$r_{tv}$	zaoblení tažníku	[mm]
$\hat{\alpha}_{taž}$	tažný úhel	[rad]
$\alpha_{taž}$	tažný úhel	[°]
$\beta$	úhel zkosení tažníku	[°]

$\rho'$	poměrné zvětšení vnějšího průměru polotovaru	[-]
$\varepsilon_{stř}$	Střední poměrné přetvoření dle Šofmana	[-]
$\psi_{krč}$	poměrné zúžení na počátku krčku	[%]
$\zeta$	Lodeho součinitel při tažení	[-]
$f$	součinitel tření	[-]
$\sigma_d$	deformační přetvárný odpor	[MPa]
$\sigma_{ps}$	střední přirozený přetvárný odpor	[MPa]
$\lambda$	součinitel plnosti	[-]
$\tau_s$	pevnost tahu ve střihu	[MPa]

### Zkratky

Označení	Legenda
OP	Operace

---

## **SEZNAM VÝKRESŮ**

1.NÁSTROJ	2023-DP-200611-01
Kusovník 1.Nástroj 1/2	2023-DP-200611-02
Kusovník 1.Nástroj 2/2	2023-DP-200611-03
2.NÁSTROJ	2023-DP-200611-04
Kusovník 2.Nástroj 1/2	2023-DP-200611-05
Kusovník 2.Nástroj 2/2	2023-DP-200611-06
Vložka tažníku 6 OP	2023-DP-200611-07
Tažnice 6 OP	2023-DP-200611-08
Optimalizace	2023-DP-200611-09