



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**  
**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## **VÝROBA KRYTU BRZDOVÉHO KOTOUČE SDRUŽENÝM NÁSTROJEM**

**THE MANUFACTURING OF BRAKE DISK COVER BY THE COMPOUND TOOL**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

**Bc. JIŘÍ KUČERA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**  
SUPERVISOR

**Ing. EVA PETERKOVÁ, Ph.D.**

**BRNO 2015**



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie  
Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Jiří Kučera

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

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

### **Výroba krytu brzdového kotouče sdruženým nástrojem**

v anglickém jazyce:

### **The Manufacturing of Brake Disk cover by the Compound Tool**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby krytu brzdového kotouče. Tvarová součást je opatřena otvory jednoduchých tvarů. Výchozím polotovarem je plech o tloušťce 1 mm. Zadaná součást bude vyráběna kombinací postupového stříhání a tažení ve sdruženém postupovém nástroji.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii stříhání a tažení. Návrh vhodné technologie výroby součásti a vypracování postupu výroby. Provedení technologických a kontrolních výpočtů, volba stroje. Návrh sdruženého postupového nástroje pro výrobu zadané součásti. Technicko-ekonomické hodnocení navržené výroby. Závěr.

Seznam odborné literatury:

1. TSCHAETSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2006. ISBN 3-540-33216-2.
2. SCHULER GmbH. Handbuch der Umformtechnik. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996. ISBN 3-540-61099-5.
3. SUCHY, Ivana. Handbook of die design. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.
4. LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření I. 1. vyd. Brno: Vydavatelské oddělení UO, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
5. DVOŘÁK, Milan, František, GAJDOŠ a Karel, NOVOTNÝ. Technologie tváření: Plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
6. KOTOUČ, Jiří, Jan, ŠANOVEC, Jan, ČERMÁK a Luděk, MÁDLE. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1993, 349 s. ISBN 80-010-1003-1.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Eva Peterková, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 13.11.2014

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

KUČERA Jiří: Technologie výroby krytu brzdového kotouče tvářením

---

Projekt vypracovaný v rámci magisterského studia oboru strojírenská technologie a průmyslový management (M2I-K Strojírnoství) předkládá návrh technologie výroby krytu brzdového kotouče ve sdruženém nástroji, s roční produkcí 500 000 kusů. Materiálem je hlubokotažný plech 11 305.21 o tloušťce 1 mm. Na základě literární studie problematiky tváření a výpočtů bylo navrženo několik možných variant výroby zadané součásti. Navržený nástroj je upnut do klikového lisu LDC 400 firmy Šmeral s nominální silou 4000 kN. Funkční části jsou vyrobeny z nástrojové oceli 19 573. Návrh technologie tažení byl prověřen pomocí simulačního programu AutoForm.

Klíčová slova: Sdružený postupový nástroj, plošné tváření, hluboké tažení, simulace tažení

## **ABSTRAKT**

KUČERA Jiří: Technology of production casing brake disc by forming

---

This project is conceived within the master's degree in engineering technology and industry management (M2I-K Engineering) technology by design of the brake disc cover in compound tool, with year production 500 000 pcs. The material is deep-drawn sheet metal 11 305.21, 1 mm thickness. It is based on the literature studies about forming and calculation was suggested several variants of the present components. The proposed tool is clamped in the crank press LDC 400 firm Šmeral with a nominal force of 4000 kN. The functional parts are made from steel 19 573. The proposed technology of the deep drawing was verified by using simulation program AutoForm.

Key words: Compound follow-on tool, sheet metal forming, deep drawing, simulation

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KUČERA Jiří: *Technologie výroby krytu brzdového kotouče tvářením*. Brno, 2015. 83 s., CD.  
FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů.  
Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně dne 29. 5. 2015

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji paní Ing. Evě Peterkové Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.



# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Str.

<b>ÚVOD .....</b>	<b>9</b>
<b>1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU .....</b>	<b>10</b>
1.1 Chemické a mechanické vlastnosti oceli 11 305.....	10
1.2 Výběr nejvhodnější metody .....	10
1.2.1 Stříhání v postupovém nástroji.....	10
1.2.2 Řezání laserem .....	10
1.2.3 Řezání vodním paprskem .....	11
1.2.4 Řezání plasmou .....	12
1.2.5 Konvenční tažení.....	13
1.2.6 Marform.....	13
1.2.7 Hydroform .....	14
1.2.8 Hydromechanické tažení .....	14
1.2.9 Zhodnocení .....	15
<b>2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ.....</b>	<b>16</b>
2.1 Princip stříhání .....	16
2.2 Rozbor stavu napjatosti při uzavřeném stříhání .....	17
2.3 Střížná síla.....	17
2.4 Stírací a protlačovací síla .....	18
2.5 Střížná práce.....	19
2.6 Střížná vůle .....	20
2.6.1 Výpočet střížné vůle .....	21
2.6.2 Vliv vůle mezi střížníkem a střížnicí na rozměry výstřížku .....	21
2.7 Pevnostní výpočty střížníku a střížnice.....	22
2.8 Tvar a kvalita střížné plochy .....	22
2.9 Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížků.....	23
2.10 Střížný nástroj .....	25
2.10.1 Materiály střížných nástrojů .....	25
2.10.2 Tepelné zpracování a povlakování funkčních částí střížných nástrojů .....	26
<b>3 TECHNOLOGIE TAŽENÍ .....</b>	<b>27</b>
3.1 Základní způsoby tažení.....	27
3.2 Princip tažení.....	27

3.2.1 Hluboké tažení.....	28
3.2.2 Vady výtažků.....	28
3.2.3 Napjatost a deformace při tažení .....	29
3.2.4 Součinitel a stupeň tažení .....	30
3.3 Tažení rotačně symetrických tvarů .....	30
3.3.1 Určení počtu tažných operací .....	30
3.3.2 Velikost přístřihu .....	31
3.3.3 Tažná mezera.....	31
3.3.4 Výpočet použití přidržovače.....	32
3.3.5 Tažné síly u rotačních tvarů .....	32
3.3.6 Tažná práce.....	33
3.4 Tažení nerotačních tvarů .....	34
3.4.1 Stanovení velikosti přístřihu.....	35
3.4.2 Učení počtu tažných operací .....	37
3.4.3 Odstupňování tahů u čtyřhranných výtažků .....	37
3.4.4 Učení tažné mezery .....	38
3.4.5 Tažné síly nerotačních tvarů.....	38
3.5 Prolisy .....	38
3.6 Technologičnost konstrukce výtažků .....	39
3.7 Tažný nástroj.....	40
3.7.1 Zaoblení tažné hrany .....	41
3.8 Materiály tažných nástrojů.....	41
3.9 Maziva.....	41
3.10 Numerická simulace hlubokého tažení plechů.....	42
<b>4 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY .....</b>	<b>43</b>
4.1 Návrh postupu výroby.....	44
4.1.1 Stanovení velikosti přístřihu.....	44
4.1.2 Uspořádání vylisku na pásu – varianta 1.....	44
4.1.3 Uspořádání vylisku na pásu – varianta 2.....	45
4.2 Ekonomické využití plechu.....	46
4.2.1 výpočet ekonomického využití plechu – varianta 1. ....	46
4.2.2 výpočet ekonomického využití plechu – varianta 2. ....	47
4.2.3 Vyhodnocení variant ekonomického využití plechu .....	48
<b>5 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY .....</b>	<b>49</b>
5.1 Výpočty pro technologii stříhání.....	49
5.1.1 Výpočet střížné síly .....	49
5.1.2 Výpočet střížné práce .....	49
5.1.3 Stírací a protlačovací síly .....	49
5.1.4 Výpočet velikosti střížné vůle .....	50
5.2 Výpočet pro technologii tažení .....	50
5.2.1 Stanovení součinitele tažení a počtu tahů.....	50

5.2.2 Určení tažné mezery .....	50
5.2.3 Velikost tažné síly .....	50
5.2.4 Velikost přidržovací síly .....	51
5.2.5 Výpočet pro výrobu prolisů.....	51
5.2.6 Tažná práce.....	51
5.2.7 Zaoblení tažných hran .....	51
5.3 Numerická simulace s využitím programu AutoForm .....	51
<b>6 NÁVRH TVÁŘECÍHO STROJE .....</b>	<b>58</b>
<b>7 POPIS FUNKCE NÁSTROJE.....</b>	<b>60</b>
<b>8 TECHNICKO - EKONOMICKÉ HODNOCENÍ .....</b>	<b>65</b>
8.1 Přímé náklady .....	65
8.1.1 Náklady na materiál.....	65
8.1.2 Náklady na mzdy.....	66
8.1.3 Náklady na spotřebovanou energii.....	67
8.1.4 Náklady na nástroj.....	67
8.2 Nepřímé náklady .....	68
8.3 Cena jednoho kusu výrobku.....	68
8.4 Bod zvratu .....	68
<b>9 ZÁVĚR.....</b>	<b>70</b>
Seznam použité literatury.....	70
Seznam použitých symbolů.....	74
Seznam příloh .....	77
Seznam obrázků a tabulek.....	77

## ÚVOD

Tvářením kovů se rozumí technologický (výrobní) proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru, příp. vlastností, v důsledku působení vnějších sil. Podstatou tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dojde v okamžiku dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál. Výhodami tváření jsou vysoká produktivita práce, vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků. Nevýhodou je vysoká cena strojů a nástrojů a omezení rozměry konečného výrobku.

Jedním z nerozšířenějších je tváření plošné, při kterém převládají deformace ve dvou směrech. Patří sem tažení, ohýbání, stříhání, apod. Plošným tvářením se dosáhne žádaného tvaru součásti (převážně z plechu) bez podstatné změny průřezu nebo tloušťky výchozího materiálu a kde také nedochází ke změně mechanických vlastností.

Tváření lze rozdělit také na tváření za studena, tj. tváření pod rekrystalizační teplotu. Tato metoda je nejčastěji používaná. Dále to je tváření za tepla, kdy se materiál přehřívá nad teplotu rekrystalizace. Tato metoda je čím dál častěji využívána, zejména u automobilového průmyslu, zejména pro díly z vysoko pevnostní oceli.

Technologie hlubokého tažení je využívána v mnoha oborech, zejména pak v automobilovém průmyslu.

Předkládaná diplomová práce popisuje návrh vhodné technologie výroby tvarové součásti z plechu. Práce zahrnuje celou problematiku tohoto návrhu, přes zhodnocení současného stavu možností výroby, analýzu možných výrobních postupů, výběr optimální varianty a návrh tvářecího nástroje včetně ekonomického hodnocení.

Cílem této diplomové práce je návrh vhodné technologie výroby zadaného výlisku, který je určený pro krytí brzdového kotouče osobního vozidla. Jedná se o prostorově tvarovanou součástku, kde roční výrobní množství je 500 tisíc kusů. Návrh výsledné technologie je ovlivněn zejména tvarem součásti a ročním výrobním množstvím.

Níže jsou znázorněny různé příklady prachových krytů brzdových kotoučů pro různé typy automobilů.



Obr. 1. Příklady krytů brzdových kotoučů.

# 1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU

Zadaná součást slouží jako prachový kryt zadního brzdového kotouče pro osobní automobily (obr. 1.1). Jedná se o kruhovou tvarovou součást o průměru 300 mm, s tvarovým vybráním ve střední části o hloubce 35 mm, a prolisy na horní straně. Materiál součásti je hlubokotažná ocel 11 305.21.



Obr. 1.1 Vyráběná součást.

## 1.1 Chemické a mechanické vlastnosti oceli 11 305

Jedná se o hlubokotažnou ocel uklidněnou proti stárnutí. Ekvivalentní označení dle EN je DC04. Ocel nelegovaná, válcovaná za studena vhodná k tváření (válcování) za studena, k zvláště hlubokému tažení. Je vodná pro výrobky, u kterých může být povrch upraven lakováním, pokovováním a smaltováním. Chemické a mechanické vlastnosti této oceli jsou uvedeny v tabulce 1.1 [14].

Tab. 1.1 Chemické a mechanické vlastnosti oceli 11 305 [14].

Značka oceli	Stav	Pevnost v tahu Rm [MPa]	Tažnost A10 min %	C max.	Mn max.	Si max.	P max.	S max.	Al min.
11 305	20	270-350	36	0,07	0,4	0,03	0,025	0,025	0,025
	21	290-360	34						

## 1.2 Výběr nejvhodnější metody

Existuje více metod, kterými by se dala daná součást vyrábět. Je také několik aspektů, které ovlivňují výběr vhodné technologie. Jsou to zejména např.:

- předpokládané roční vyráběné množství,
- předpokládaná doba výroby, tj. kolik roků bude daný výrobek vyráběn,
- požadovaná přesnost výrobku,
- dostupnost strojového vybavení,
- dostupnost dané technologie.

Daná součást lze celá vyrobit metodou plošného tváření, a to vybranými metodami stříhání a tažení. Řešením je také užít pro přípravu rozvinutého tvaru součásti nekonvenčních způsobů dělení (řezání laserem, plazmou, vodním paprskem) s následným tažením.

Pro vytvoření ucelené představy jsou níže nastíněny možné způsoby výroby zadané součásti. Obecně lze konstatovat, že zadanou součást je možné vyrábět buď na dvě etapy, kdy v první řadě se zhotoví rozvinutý tvar součásti z plechu a pak následuje dohotovení prolisů a tahů na jiném stroji, anebo v jednom nástroji, kde jsou sdruženy všechny potřebné metody tváření.

Samotný rozvinutý tvar zadané součásti by bylo možné vyrobit:

- stříháním ve střížném nástroji,
- řezáním laserem,
- řezáním vodním paprskem,
- řezáním plasmou.

Konečný tvar součást pak lze dotvořit pomocí jedné z metod tažení například metodou:

- tažení v kovovém nástroji,
- hydromechanického tažení,
- Marform,
- Hydroform.

### 1.2.1 Stříhání v postupovém nástroji

Jedná se o nejrozšířenější metodu plošného tváření. Princip postupového stříhání spočívá v tom, že daná součást se vyrábí v jednom nástroji, a to několika operacemi, které jsou potřebné pro zhotovení celé součásti. Pás materiálu prochází střížným nástrojem, a to vždy v několika krocích, v kterých se provádějí jednotlivé operace. Při poslední operaci dojde k odstřížení hotového výrobku od pásu. Při stříhání součástí z materiálu o tloušťce do 4 mm se u běžného stříhání dosahuje přesnosti IT 12 až IT 14. Mezi výhody patří poměrně levná výroba, mezi nevýhody menší využití materiálu.

### 1.2.2 Řezání laserem [15]

Řezání laserem (obr. 1.2) patří v současné době k nejprogressivnějším metodám dělení materiálu. Vysoká koncentrace energie umožňuje dělit všechny technické materiály bez ohledu na jejich tepelné, fyzikální a chemické vlastnosti. Fokuseovaný laserový svazek fotonů při dopadu na materiál ohřeje místo kontaktu na teplotu varu, přičemž okolní materiál je v úzké zóně nataven. Řezání laserem může být sublimační oxidační, nebo tavné. Na obr. 1.2 je znázorněno ořezávání finální kontury výtažku laserem.



Obr. 1.2 Řezání laserem [15].

Laserové řezání se vyznačuje těmito výhodami:

- je možné řezat téměř všechny technické materiály,
- řezné rychlosti jsou vysoké – v metrech až desítkách metrů za minutu,
- tloušťka řezu u oceli dosahuje až 25 mm,
- přesnost řezání je vysoká cca 0,05 až 0,1 mm na jeden metr délky řezu,
- velmi dobrá kvalita řezných ploch s drsností cca Ra 1,6,
- lze provádět rovinné i prostorové řezy,
- vlivem snadné regulace výkonu je kvalita řezu rovnoměrná na celé řezné ploše včetně, rohů, kde je výkon laseru redukován v závislosti na rychlosti pohybu řezné hlavy,
- úzká řezná spára – fokusace laserového svazku na průměr cca 0,05 mm.

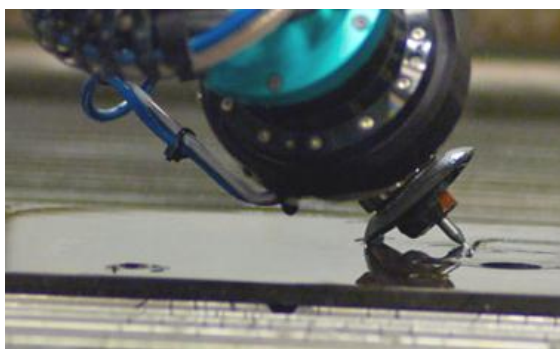
Mezi nevýhody patří poměrně vysoké investiční a provozní náklady, omezení tloušťky materiálu: konstrukční ocel 25 mm, vysokolegovaná ocel 15 mm, hliník 10 mm. Přesné řízení vzdálenosti řezací hlavy.

### 1.2.3 Řezání vodním paprskem [29]

Principem technologie řezání vodním paprskem (obr. 1.3) je, že voda pod velmi vysokým tlakem přes čerpadlo a vysokotlaké vedení vstupuje do řezací hlavy, kde se mění v trysce na vodní paprsek o rychlosti několikrát vyšší nežli je rychlost zvuku. Pro řezání se používají dva typy řezacích paprsků:

- čistý vodní paprsek, který se používá pro měkké materiály,
- abrazivní paprsek pro tvrdé materiály (příměs abraziva).

Pracovní tlak vody se pohybuje v rozsahu 50–400 MPa. Díky novým pokročilým technologiím je dnes možno řezat i ve 3D, a při přesnostech až 0,05 mm tak zcela odstranit nákladné následné mechanické obrábění i na velmi tvrdých materiálech. Omezením při konstrukci dílů pro technologii vodního paprsku je pouze nutnost respektovat odvod vody paprsku do volného prostoru. Rychlost řezání je kolem 10 m/min.



Obr. 1.3 Řezání vodním paprskem [29].

Abrazivní paprsek má následující vlastnosti:

- žádné tepelně ovlivněné zóny,
- žádné mechanické namáhání,
- tenký proud (průměr 0,508 až 1,27 mm),
- mimořádně detailní geometrie,

- řezání tenkého materiálu,
- řezání materiálu do tloušťky 254 mm,
- řezání materiálu ve svazcích,
- malý odpad materiálu při řezání,
- nízké řezné síly, během řezání max. 4,5 N,
- rychlé přepínání mezi čistým a abrazivním vodním paprskem,
- omezení počtu následných operací,
- malé nebo žádné otřepy.

Mezi nevýhody patří:

- nevyhnutelný kontakt s vodou
- kovové materiály nutno vhodně ošetřit
- delší vysoušení u nasákových materiálů
- možnost změny barvy či znečištění některých materiálů.

#### 1.2.4 Řezání plazmou [30]

Při plazmovém řezání (obr. 1.4) je využíváno vysoké teploty a výstupní rychlosti plazmového paprsku. Mezi řezaným materiálem a tryskou se po přivedení elektrického napětí vytvoří elektrický oblouk. Z trysky vylétává vysokou rychlostí velmi horký ionizovaný plyn, který je do trysky vháněn z tlakových lahví. Teplota plazmatu při úniku z trysky může dosahovat až 30 000 °C. K vyfouknutí nataveného materiálu z řezné spáry dochází vlivem dynamického účinku vystupující plazmy, kde výstupní rychlost plazmy se pohybuje až 2300 m/s. Vysoká teplota umožňuje řezat všechny kovové vodivé materiály a s omezením i nevodivé materiály. Rychlost řezání u tenkých plechů se pohybuje 9-12 m/s.

Složení plynu, který proudí do trysky a který je následně obloukem zahříván, se liší podle použití, ale nejčastěji se používají argon, dusík, vodík, kyslík a jejich směsi.



Obr. 1.4 Řezání plazmou [30].

Výhody:

- Vyšší rychlost řezání než u řezání kyslíkem pro tenké a střední tloušťky,
- snížení vneseného tepla do materiálu (menší tepelně ovlivněná oblast a tím i deformace),
- možnost řezání všech kovových materiálů hlavně vysokolegovaných ocelí a hliníku vertikálně nebo úkosem,
- kvalita povrchu řezaných materiálů má minimální vliv na proces řezání,



- minimální ztrátový čas,
- dosažení vysoké kvality řezání (platí pro tloušťku maximálně 60 % z doporučené hodnoty dané výrobcem u konkrétního typu zařízení).

Nevýhody:

- úhel řezné hrany je větší než u řezání kyslíkem,
- horní hrana plechu je zaoblená více než u kyslíkového řezání,
- velký vývin škodlivých dýmů,
- vysoká hladina hluku,
- vysoké pořizovací náklady,
- obtížné propalování otvorů u silnějších materiálů (nad 15 mm).

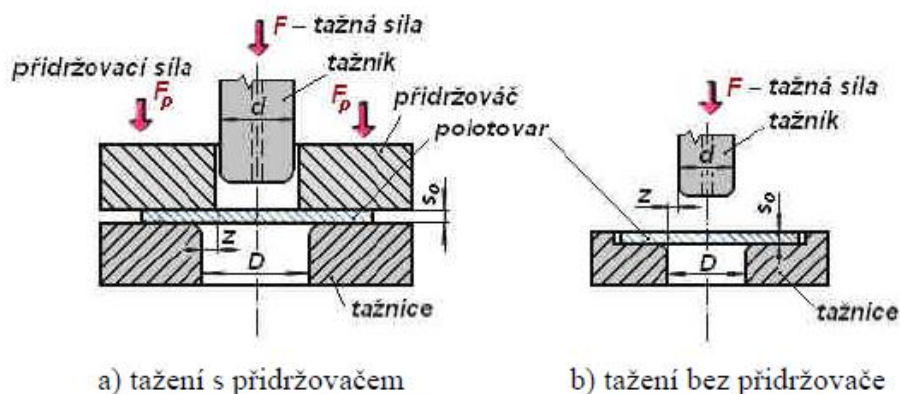
### 1.2.5 Konvenční tažení [13, 21]

Tento princip tažení je jednou z nejpoužívanějších metod pro hluboké tažení. Jako nástroj se používá tažidlo, které se skládá z tažníku, tažnice, přidržovače, a dalších funkčních částí. Tažník působí silou na tvářený materiál, který se posouvá přes tažnou hranu směrem do tažnice (obr. 1.5).

Touto metodou mohou být vyráběny tvarově velmi složité výlisky, a to se ztenčením stěny nebo bez ztenčení stěny. Dále lze výtažky vyrábět na jednu či více operací, a to s použitím přidržovače či bez něj.

Tento princip tažení je také používán pro horké tváření, které je v poslední době čím dál častěji používáno pro výrobu dílů části karosérií automobilů.

Výhodou je větší trvanlivost nástroje. Nevýhodou je výroba hlubších výtažků na větší počet operací.



Obr. 1.5 Schematický proces klasického tažení [13].

### 1.2.6 Marform [13, 21]

Jedná se o tváření pryží, která je upevněna v polouzavřené ocelové skříni na lisu. Tažník vtlačuje tvářený plech do polštáře pryže (obr. 1.6).

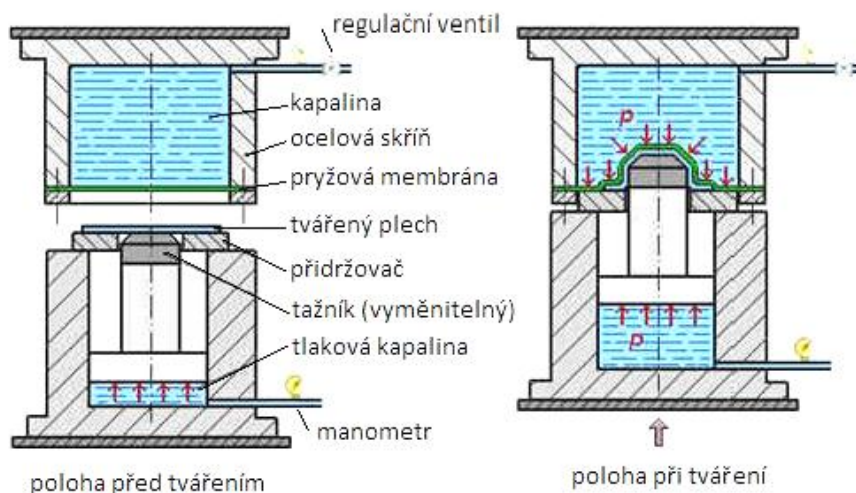
Tato metoda se používá pro kusovou a malosériovou výrobu, pro výtažky z ocelových i nezelezných plechů, do síly plechu 1 mm, hliníkové plechy do 2 mm. Nevýhodou je poměrně rychlé opotřebení elastomeru.



Obr. 1.6 Schematický proces tažení Metaform [13].

### 1.2.7 Hydroform [13, 21]

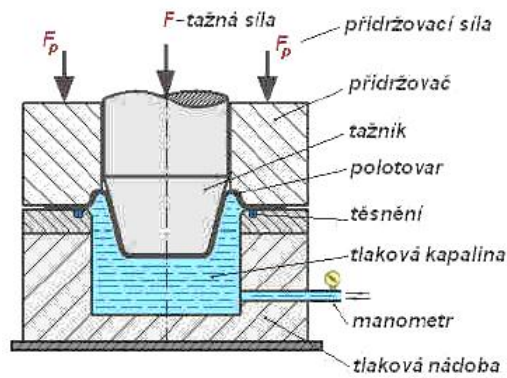
Ocelová skříň je přetažena pryžovou membránou a naplněna kapalinou. Tažník zatlačuje tvářený plech do pracovního prostoru skříň, kde tlakem kapaliny jsou membrána i tvářený plech tvarovány podle tvaru tažníku (obr. 1.7). Lze tvářet výtažky a výlisky s různým tvarem dna a hluboké i přes 100 mm. Životnost membrány u běžných tvarů je okolo 5 000 výtažků. V porovnání s klasickou metodou zařízení umožňuje větší stupeň přetvoření. Mezi nevýhody patří vyšší cena nástroje a tvářecího stroje.



Obr. 1.7 Schematický proces tažení Hydroform [13].

### 1.2.8 Hydromechanické tažení [13, 21]

U hydromechanického tažení působí tlaková kapalina přímo na povrch polotovaru. Tažnice je nahrazena kapalinou, která nahrazuje funkci tažné hrany. Tažník zatlačuje tvářený plech do pracovního prostoru s kapalinou, a vzniklý hydrostatický tlak působí na celou plochu tažníku. Metoda je vhodná pro tváření náročných rotačních i nerotačních dílců, často i na jednu operaci. Tato metoda se používá pro malosériovou a velkosériovou výrobu. Nevýhodou je nutnost použití příruby s těsněním, aby se zabránilo úniku kapaliny.



Obr. 1.8 Schematický proces Hydromechanického tažení [13].

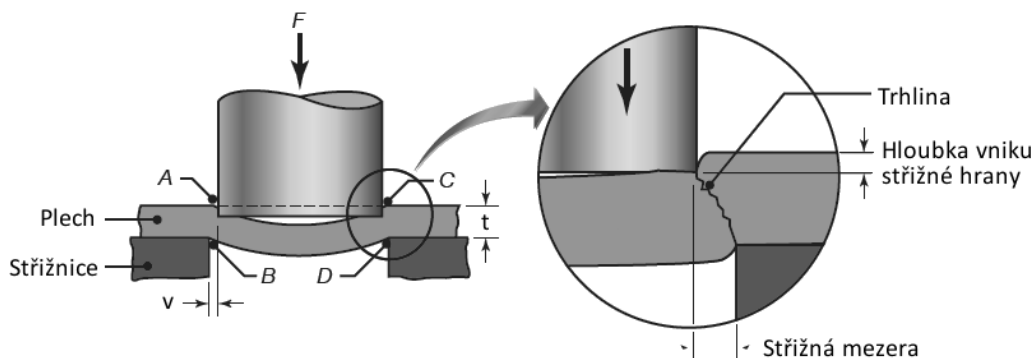
### 1.2.9 Zhodnocení

Výhodou nekonvenčních metod tažení je cena nástroje, výtahy bez poškození vnější plochy, kde je možné tvářet materiál již povrchově upravený. Dále snížení počtu tažných operací, než u konvenčního tažení. Nevýhodou je menší životnost nástrojů, a vhodnost spíše pro malosériovou výrobu, a také nutná dostupnost výrobního zařízení. Pro tyto technologie nekonvenčního tažení by bylo nutné použít některou z výše jmenovaných metod pro zhotovení přístříhu. Výrobek by byl tedy vyráběn ve dvou fázích, což by znamenalo delší výrobní časy, a případně nutnost použití speciálních lisů.

Vzhledem ke všem již zmíněným ovlivňujícím faktorům, které mají zásadní vliv na volbu nejvýhodnější technologie, je jednodušší vyrábět celou součást v jednom nástroji. Řešením je tedy volba sdruženého nástroje, pracujícím pod jedním lisem, kde v několika operacích, pomocí klasického stříhání a tažení bude vyráběna celá součást.

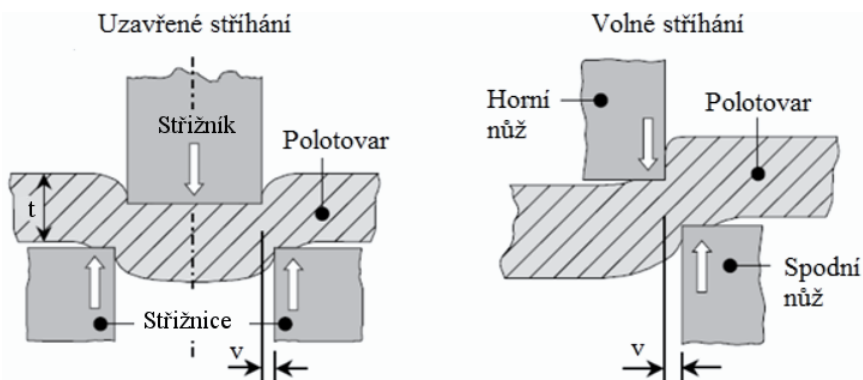
## 2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [1, 2, 8, 11]

Stříhání patří k základním technologiím tváření, a je nejrozšířenější způsob zpracování plechu. Podstatou stříhání je oddělování materiálu protilehlými noži, kde oddělení nastane přesně v žádané rovině z důvodu, že materiál je elastický, tvárný a smykové napětí způsobuje tlak nožů po celé ploše. Proces stříhání se tedy přibližuje čistému smyku. Stříhání se řadí do oblasti beztržkových technologií, u kterých nedochází k úběru materiálu a vzniku třísek. Schematický proces stříhání se zobrazením střížníku a střížnice je vykreslen na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Schematický proces stříhání [11].

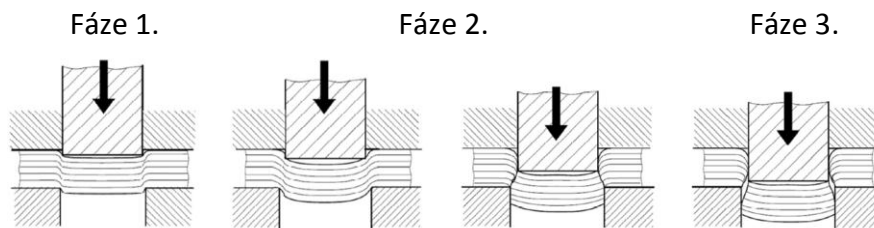
Stříhání může být buď volné, nebo uzavřené (obr. 2.2). Nejčastěji používanou variantou ve střížných nástrojích je stříhání uzavřené. V některých případech může ale být i používána varianta volného stříhání, jako např. ostříhování pasu, nebo výstřížku jako poslední operace u postupového stříhání.



Obr. 2.2 Uzavřené stříhání a volné stříhání [8].

### 2.1 Princip stříhání [2, 8, 19]

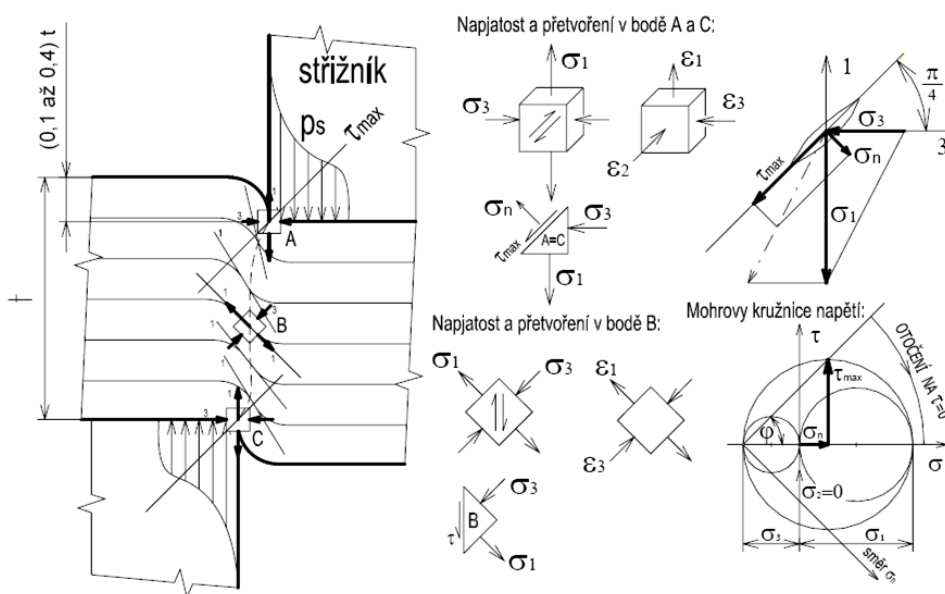
Během procesu stříhání probíhají v zásadě tři základní fáze (obr. 2.3). V první fázi po dosednutí střížníku dochází k pružnému vnikání do povrchu stříhaného materiálu. Dvojice sil mezi hranami střížníku a střížnice způsobuje ohyb. Ve druhé fázi je napětí větší než mez kluzu a dochází k trvalému plastickému přetvoření. Ve třetí fázi dosáhne napětí meze pevnosti ve stříhu  $\tau_s$ . Vznikne tzv. nástřih, tj. tvoří se první trhlinky, které se postupně se šíří, až dojde k celkovému oddělení výstřížku.



Obr. 2.3 Průběh stříhání s normální střížnou vůlí [8].

## 2.2 Rozbor stavu napjatosti při uzavřeném stříhání [4, 9, 19]

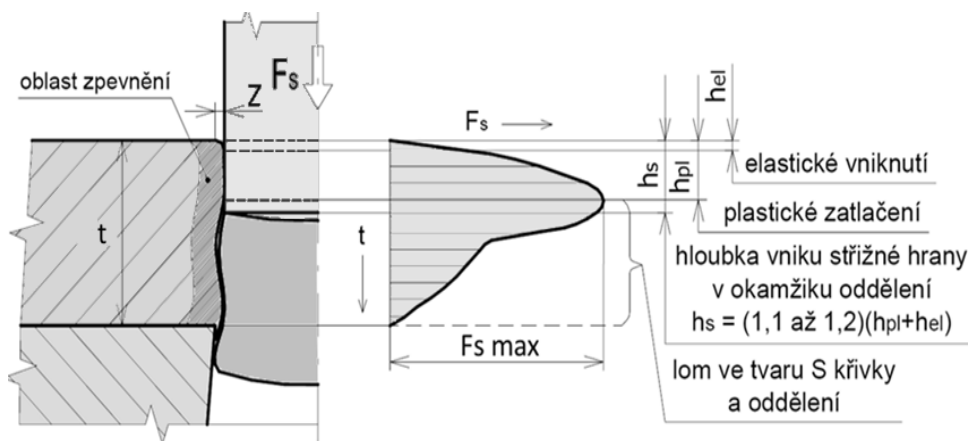
V průběhu uzavřeného stříhání je ohybový moment navenek vyvážen uzavřenou křivkou nože. Může ale způsobit nežádoucí trvalé přetvoření ve střížné ploše, která je pružně svírána při protlačování výstřížku. Materiál je natahován a současně vytlačován do stran mezi pružnými hranami a uvolňuje místo břitům, které postupně vnikají do materiálu. Na obr. 2.4 jsou podélné vrstvy, znázorněné vrstevnicemi, které se prodlužují a výrazně mění křivost. Také tloušťka plechu se zmenšuje mezi břity. Na břitu působí hlavní tlakové napětí  $\sigma_1$ ,  $\sigma_3$  a smykové napětí  $\tau_{\max}$  vyvolané třením. U napjatosti v bodě A je zřejmé, že kolmo na rovinu maximálního smykového napětí  $\tau_{\max}$  působí kladná normálová složka  $\sigma_n$ . Tato normálová složka napětí způsobuje rozevírání trhlin při nástřihu. U napjatosti v bodě B je hlavní tlakové napětí  $\sigma_1 = -\sigma_3$  a je splněna podmínka prostého smyku  $\sigma_n = 0$ .



Obr. 2.4 Schéma napjatosti a přetvoření při stříhání [9].

## 2.3 Střížná síla [2, 6, 9, 19]

Charakteristický průběh střížné síly v závislosti na hloubce vniknutí střížníku je představen na obr. 2.5. Po krátké dráze elastického vniknutí břitu – napěchování kovu pod břitem, dochází k plastickému přetvoření. Vlivem lokálního zpevnění dochází k plynulému nárůstu síly. Po vzniku nástřihu nastává ještě mírný a plynulý pokles síly, a to až po hloubku vniknutí  $h_s$ , kdy dojde k úplnému porušení lomem ve tvaru S křivky a následnému oddělení výstřížku s výrazným poklesem síly. Hloubka zpevnění dosahuje 20 až 30% tloušťky materiálu.



Obr. 2.5 Charakteristický průběh střížného procesu a střížné síly [9].

Střížnou sílu ovlivňují následující faktory:

- střížná vůle (tlak potřebný k prostřížení klesá do určité meze se stoupající vůlí),
- naostření řezných hran razníku a matrice,
- úhel sklonu střížných hran,
- vlastnosti materiálu (pevnost, houževnatost, povrchu, směru vláken, tepelném zpracování),
- hloubka vniknutí střížníku do materiálu,
- četné jiné důležité činitele (chlazení, mazání atd.).

K největšímu přetvoření stříhaného materiálu dochází na střížných hranách, směrem do materiálu se deformace zmenšuje. Při postupu střížníku se přetvárná práce vyčerpá a dojde k porušení soudržnosti materiálu (ustřížení). Střížnou sílu lze zjednodušeně vypočítat ze vztahu:

$$F_s = k_o \cdot \tau_s \cdot S = k \cdot \tau_s \cdot L \cdot t \text{ [N]} \quad (2.1)$$

Kde:

- |                        |  |
|------------------------|--|
| $k_o$                  | – je opravný součinitel na opotřebení nástroje (1,2 až 1,5),   |
| $\tau_s$ [MPa]         | – je střížný odpor materiálu, pro ocel (0,75 až 0,90). $R_m$ , |
| $S$ [mm <sup>2</sup> ] | – je střížná plocha,   |
| $L$ [mm]               | – délka střížné hrany,   |
| $t$ [mm]               | – je tloušťka materiálu.                                       |

Střížná síla působí rovnoměrně, působí-li v těžišti nástroje.

## 2.4 Stírací a protlačovací síla [21]

Ve střížném procesu figurují kromě střížné síly také síla stírací a protlačovací. Po oddělení výstřížku od základního materiálu, může materiál ulpívat na střížníku vlivem své elasticity. K jeho setření je potřeba síla  $F_{st}$ . Tato síla je závislá na druhu materiálu, jeho tloušťce, složitosti stříhu, střížné vůli, a mazání. Síla potřebná k protlačení výstřížku střížnicí, je síla protlačovací  $F_{pr}$ . Tato síla je podobného charakteru, jako je síla stírací, a je také závislá na stejných činitelích.

Stírací síla se vypočte podle vztahu:

$$F_{st} = c_1 \cdot F_S \text{ [N]} \quad (2.2)$$

Kde:

$c_1$  – součinitel stírání (tab. 2.1)

$F_S$  [N] – střižná síla

Tab. 2.1 Součinitel stírání [21].

Tloušťka materiálu	Součinitel stírání $c_1$
Ocel do 1 mm	0,02 až 0,12
1 až 5 mm	0,06 až 0,16
nad 5 mm	0,08 až 0,20
Mosaz	0,06 až 0,07
Slitiny hliníku	0,09

$$F_{pr} = c_2 \cdot F_S \text{ [N]} \quad (2.3)$$

Kde:

$c_2$  – součinitel protlačování (tab. 2.2)

$F_S$  [N] – střižná síla

Tab. 2.2 Součinitel protlačování [21].

Tloušťka materiálu	Součinitel stírání $c_2$
Ocel do 1 mm	0,005 až 0,08
1 až 5 mm	
nad 5 mm	
Mosaz	0,04
Slitiny hliníku	0,02 až 0,04

## 2.5 Střižná práce [2, 19]

Střižnou práci ovlivňují zejména, střižná síla a třecí síly vznikající při vystřihování a stříhání materiálu. Střižná práce je odvozena od přetvárné práce lisu a lze ji vypočítat z následujícího vztahu:

$$A = \lambda \cdot F_s \cdot t \text{ [J]} \quad (2.4)$$

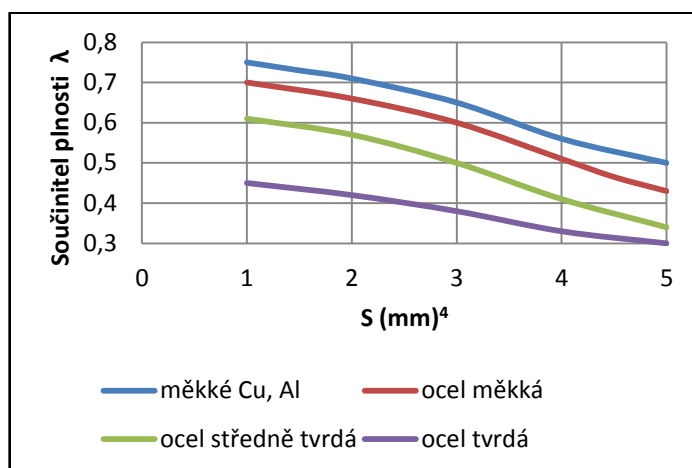
Kde:

$\lambda$  [-] – součinitel plnosti z grafu závislosti na tloušťce stříhaného materiálu,

$F_s$  [N] – střižná síla,

$t$  [mm] – tloušťka materiálu.

Velikost součinitele  $\lambda$  se určí podle tloušťky materiálu z diagramu na obr. 2.6.



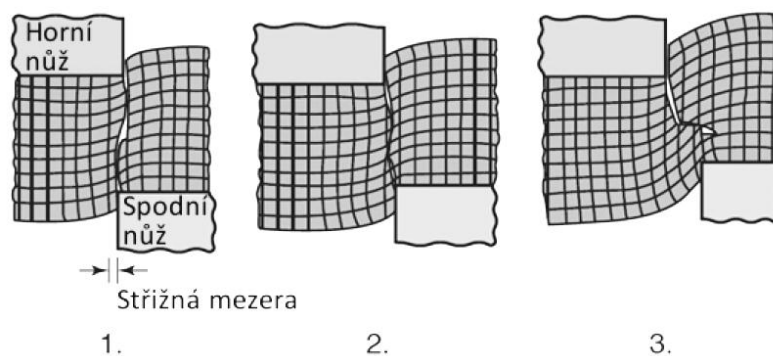
Obr. 2.6 Diagram závislosti součinitele plnosti [2].

Z uvedeného diagramu (obr. 2.6) lze vyčíst hodnotu součinitele plnosti dle použité tloušťky stříhaného materiálu a jeho druhu. A to pro následující druhy materiálů:

- pro měď a hliník,  $\tau_s=70-250$  MPa,
- měkké oceli  $\tau_s=250-300$  MPa,
- středně tvrdé oceli  $\tau_s=350-500$  MPa,
- tvrdé oceli  $\tau_s=500-700$  MPa.

## 2.6 Střížná vůle [3, 2, 6, 10, 23]

Střížná vůle má vliv na velikost, kvalitu a vzhled střížné plochy. Na obr. 2.7 je znázorněn vliv střížné mezery na trhliny, které vznikají v materiálu od obou střížných hran. Je žádoucí, aby se obě trhliny setkaly uprostřed stříhaného plechu (obr. 2.7-2). Při malé nebo velké vůli se trhliny míjejí a vytvoří nerovný povrch v ploše stříhu, což vede ke zhoršení kvality střížné plochy (obr. 2.7-1 a 2.7-3). Je-li střížná vůle příliš velká, vzniká tříška. Třískový odpad se pak hromadí ve stříhadle, a tím mohou vzniknout problémy s pohyblivými částmi stroje.



Obr. 2.7 Střížná mezera [10].



Střížná mezera je závislá na střížném odporu  $\tau_s$ , a měla by být volena tak, aby výstřížek byl v požadované kvalitě bez dalších zbytečných operací. Také je nutné brát v úvahu životnost střížného nástroje. Menší vůle snižuje trvanlivost nástroje a jakost výrobku, větší vůle má za následek, že vystřížený otvor je kuželový (dolů se rozšiřuje), materiál při okraji se ohýbá. Tyto různé protichůdné požadavky je nutné ekonomicky vyhodnotit před návrhem střížného nástroje a provést nejprve pečlivou analýzu pořizovacích a provozních nákladů [3, 2, 6, 23].

### 2.6.1 Výpočet střížné vůle [17]

Střížná vůle je rozdíl mezi celkovým rozměrem střížníku a střížnice. Střížná vůle se dělí na dvě stejné mezery, které mají být stejné po celém obvodu stříhu. Velikost střížné mezery se obvykle volí mezi 5–10 % tloušťky stříhaného materiálu. Střížnou vůli je možné také určit dle normativních tabulek, nebo spočítat, například s použitím níže uvedeného vztahu.

Střížná vůle:

$$v = 2 \cdot z \quad [\text{mm}] \quad (2.5)$$

Kde:

$z$  [mm] – mezera mezi střížníkem a střížnicí.

Pro plechy tloušťky  $t \leq 3\text{mm}$  platí:

$$Z_s = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}] \quad (2.6)$$

Pro plechy tloušťky  $t \geq 3\text{mm}$  platí:

$$Z_s = (1,5 \cdot c \cdot t - 0,015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}] \quad (2.7)$$

Kde:

$c$  [-] – konstanta v rozmezí  $c = (0,005 \div 0,035)$ ,

$\tau_s$  [MPa] – střížný odpor,

$t$  [mm] – tloušťka stříhaného materiálu.

### 2.6.2 Vliv vůle mezi střížníkem a střížnicí na rozměry výstřížku [5]

Při určování rozměrů střížníku a střížnice mohou nastat dva případy. A to je buď vystřihování, nebo děrování.

- Vystřihování

Při vystřihování vnějšího obrysu součástky jsou rozměry výstřížku závislé na rozměrech střížnice. Střížnice má tedy rozměr výstřížku a střížník se zmenší o střížnou vůli.

- Děrování

Při děrování jsou rozměry otvoru závislé na skutečných rozměrech střížníku. Střížník má tedy rozměr výstřížku a střížnice se zvětší o střížnou vůli.

## 2.7 Pevnostní výpočty střížníku a střížnice [23]

Střížníky běžného provedení s malou délkou stačí kontrolovat na namáhání v tlaku, s použitím následujícího vztahu:

$$\sigma_d = \frac{F_s}{S} < \sigma_{dov} \text{ [MPa]} \quad (2.8)$$

Kde:

$F_s$  [N] – střížná síla,

$S_s$  [mm<sup>2</sup>] – plocha průřezu střížníku,

$\sigma_{dov}$  [MPa] – dovolené namáhání v tlaku (2000–2500 MPa).

V případě delších střížníku je nutné provést kontrolu na vzpěr. Kritická délka pro vedený střížník se vypočte podle vztahu:

$$l_k = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F_s}} \text{ [mm]} \quad (2.9)$$

Kde:

$F_s$  [N] – střížná síla,

$E$  [MPa] – modul pružnosti vztahu (ocel –  $2,15 \cdot 10^5$ ),

$I$  [mm<sup>4</sup>] – moment setrvačnosti ( $I = 0,05 \cdot d^4$ ),

$k_b$  [-] – koeficient bezpečnosti (1,5 – 2).

Minimální tloušťka střížnice vypočtená s přihlédnutím k dovolenému napětí v ohybu:

$$H = \sqrt{\frac{1,5 \cdot F_s}{\sigma_{dov}}} \text{ [mm]} \quad (2.10)$$

Kde:

$F_s$  [N] – střížná síla,

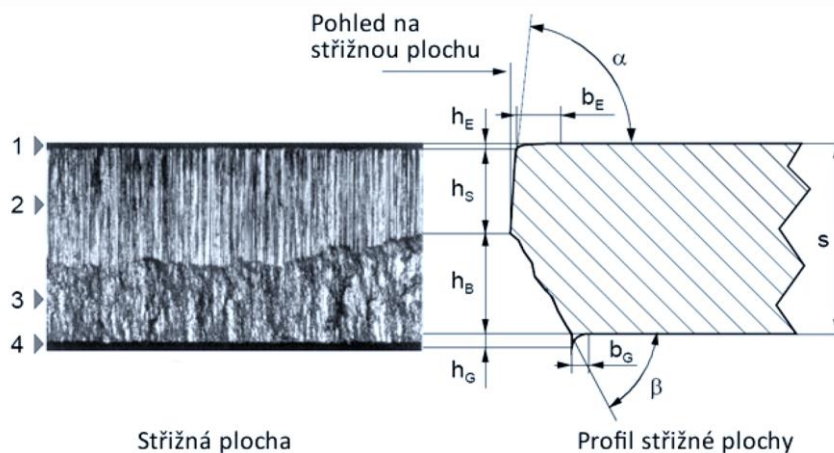
$\sigma_{dov}$  [MPa] – dovolené namáhání v ohybu (300 – 400 MPa).

## 2.8 Tvar a kvalita střížné plochy [2, 10, 19]

Geometrie a kvalita střížné plochy závisí na vlastnostech materiálu, velikosti střížné vůle tvaru a geometrii střížných hran, stavu napjatosti a rychlosti stříhání. Charakteristická pásma na střížné ploše jsou znázorněna obr. 2.8. Tvar střížné plochy je možné rozdělit celkem do čtyř pásem.

1. Pásmo – odpovídá pružné deformaci materiálu při vnikání střížníku (ohýbání krajních vláken). Je větší, čím je materiál tvárnější. Bývá 5–8 % tloušťky stříhaného materiálu.
2. Pásmo – vlastního stříhu. Hladká a lesklá část střížné plochy je vytvořena plastickou deformací. Velikost této oblasti je dána vlastnostmi stříhaného materiálu, která činí 10–28 % jeho tloušťky.

3. Pásmo – probíhá oddělování stříhané části pod smykovým napětím z předcházející oblasti samovolně. Není již zapotřebí další síly k úplnému oddělení výstřížku.
4. Pásmo – tato oblast představuje vtisk dolního břitu. Na okraji této oblasti se vytváří otřep.



Obr. 2.8 Tvar a kvalita střížné plochy [10].

U běžného stříhání (u materiálů do tl. 4 mm) se dosahuje přesnosti IT 12 až IT 14. Přesnost součástí vyrobených stříháním je ovlivňována mnoha faktory, jako je např. přesnost zhotovení střížníku a střížnice, druh a stav nástroje, vlastnosti materiálu, takt stroje apod. Doporučená kvalita povrchu se udává pro tloušťky do 1 mm v rozmezí Ra 0,8 - 0,4. Pro materiály o větších tloušťkách v rozmezích Ra 3,2 - 1,6.

## 2.9 Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížků [2, 13, 28]

Technologičnost konstrukce je souhrn mnoha požadavků, které musí splnit konstrukce výrobku pro zajištění jeho správné funkce a požadované životnosti při minimálních nákladech na výrobu. Optimální konstrukce bývá proto většinou kompromisem mezi technickými požadavky, technologickými možnostmi a ekonomičností výroby. Z toho vyplývá, že je mnohdy nutné často řešit protichůdné požadavky. Proto je velmi složité najít cestu k optimální konstrukci.

Jednou z nejdůležitějších otázek je rozmístění výstřížků na pásu plechu. Odpad (ať už technologický nebo konstrukční) je nedílnou součástí technologie stříhání, která patří mezi hromadné výrobní procesy, proto se musí rozmístění výrobků věnovat velká pozornost. Materiál tvoří zhruba 60 až 75 % celkových nákladů. Tvar a uspořádání výstřížku na pásu velkým způsobem ovlivňuje využití materiálu. Výsledný součinitel hospodárného využití materiálu by neměl být menší než 0,7. Volba rozmístění výstřížků závisí na tvaru a konstrukci výrobku, na dodržování zásad konstrukce, na minimálních vzdálenostech mezi výrobky od okraje pásu. Hospodárnost rozmístění na pásu plechu charakterizuje součinitel využití materiálu, který lze zapsat ve tvaru:

$$h = \frac{S_o}{S_p} [-] \quad (2.11)$$

Kde:

$S_o$  [mm<sup>2</sup>] – celková plocha výstřížků,  
 $S_p$  [mm<sup>2</sup>] – plocha pásu plechu.

K dosažení technologičnosti konstrukce je zapotřebí respektovat některé nedokonalosti procesu stříhání, jako např. drsnost střížné plochy, malé zešikmení střížné plochy, zeslabení tloušťky plechu podél střížné hrany, zpevnění materiálu do hloubky 0,1 až 0,2 mm, odchylky v rozměrech, nebo prohnutí výstřížku. Uvedeným nedokonalostem lze předcházet, nebo zabránit použitím např. přesného stříhání, kalibrování apod. Toto ale vede ke zvýšení ceny výrobních nákladů.

Na základě výše uvedených vlastností stříhání je možné definovat pravidla technologičnosti.

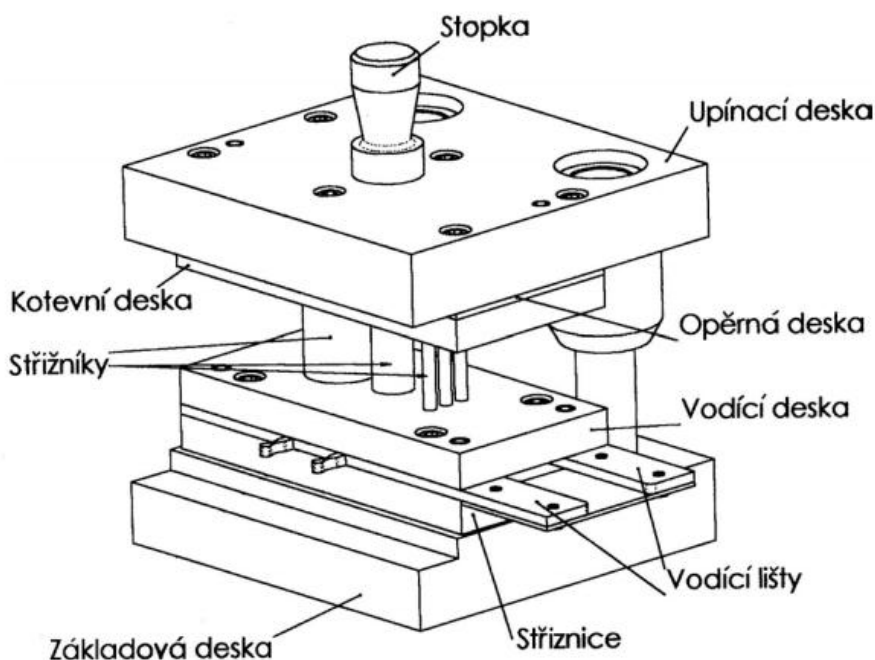
- Navrhovat optimální rozmístění výstřížků na páse. Využití materiálu by mělo být minimálně 70 %.
- Vhodně volit rozměrové tolerance. Výstřížky menších rozměrů než 150 mm se vyrábějí v toleranci IT 12 až IT 14, u přesných stříhadel s vodícími sloupky v toleranci IT 9 až IT 11.
- Nepředepisovat rovinnost výstřížků, která se vlivem ohybového momentu těžko dodržuje. V případě úzkých kroužků (podložky apod.) předepisovat hodnotu jen nezbytně nutnou.
- Nepředepisovat kolmost střížné plochy, které běžným stříháním nelze dosáhnout. V případě konstrukčního požadavku na kolmost je nutné zvolit technologii přesného vystřihování.
- Vhodně volit jakost povrchu střížné plochy. Ustřížená část mívá drsnost  $Ra = 3,2 \div 6,3$ . Přesným stříháním a děrováním lze dosáhnout  $Ra = 0,2 \div 0,8$ .
- Dávat přednost kruhovým otvorům před nekruhovými, případně tvarovými. Plynulé přechody oblouků do přímkové části výstřížků zdražují nástroj a vyžadují uzavřený stříh s bočními a podélnými přepážkami. Nicméně kruhové otvory a tvary jsou méně výhodné z hlediska spotřeby materiálu.
- Vhodně volit vzdálenosti mezi otvory a vnějším obrysem. Vzdálenost mezi otvory nebo otvorů od okraje výstřížku má být nejméně:  $a \geq 0,8 t$ ,  $b \geq t$ ,  $c \geq 1,5 t$  (uvedené údaje platí pro polotvrdý ocelový plech  $Rm = 500 \text{ MPa}$ ). U měkčích materiálů je třeba uvedené vzdálenosti zvětšit o 20 až 25 % u plechu o tloušťce  $t \leq 1,5 \text{ mm}$  a 10 až 15 % u plechů větších tlouštěk.
- Zohledňovat možnosti stříhání velmi malých. Nejmenší velikost otvorů, jež lze běžným nástrojem prostříhnout, závisí na tloušťce a druhu materiálu.
- Šířka vyčnívajících částí dílu, nebo nejmenší šířka štíhlých výstřížků má být 1,5 t.
- Rohy na výstřížku mají být srazeny nebo zaobleny.
- Není správné měnit na výstřížku poloměr zaoblení rohů, střídát ostré a zaoblené rohy. Plynulé přechody oblouků do přímých částí obrysu apod. zdražují nástroj a vyžadují uzavřený stříh.

## 2.10 Střížný nástroj [6, 16]

U střížných nástrojů funkci horního pohyblivého nože vykonává střížník a funkci spodního nože jeho střížnice. Střížné nástroje můžeme rozdělit podle počtu operací na jednoduché, sloučené, postupové. Dále pak podle počtu vyráběných součástí na jednonásobné a vícenásobné.

U nástrojů, kde se provádí více technologických operací (např. stříhání, ohýbání, tažení), může být dělení ještě na sdružené, sdružené postupové.

Příklad postupového střížného nástroje je možné vidět na obr. 2.9



Obr. 2.9 Příklad postupového střížného nástroje [16].

### 2.10.1 Materiály střížných nástrojů [31]

Jak chemické složení materiálu nástroje, tak jeho tvrdost jsou důležité faktory pro životnost nástroje. Příliš vysoká tvrdost však zvyšuje vydrolování na povrchu nástroje. Nebezpečí vydrolování, vyštipování a praskání nástroje vyžaduje proto určitou tažnost a houževnatost. Pro střížné nástroje se nejčastěji používají uhlíkové a nástrojové oceli.

Příklad použití materiálů pro různé části:

Základové a upínací desky:	11 500, 11 373, 11, 375, 42 24 54
Vodící desky:	11 500, 11 600
Opěrné desky:	11 500, 11 600, 12 050
Přidržovací desky:	11 500, 11 600, 19 221, 19 312
Vodící lišty:	11600
Hledáčky:	19 421, 19 312, 14 220
Dorazy:	11 500, 12 061, 19 312
Střížníky a střížnice:	19 312, 19 436, 19573
Vodící sloupky a pouzdra:	14 220, 14 160, 19 221

## 2.10.2 Tepelné zpracování a povlakování funkčních částí střížných nástrojů [31]

Nástrojové oceli jsou dále tepelně zpracovávány, a to kalením a popouštěním. Pro snížení opotřebení střížných hran, a zvýšení životnosti nástroje se stále častěji používají různé druhy povlaků, které se nanáší na původní povrch materiálu a obvykle mají odlišné chemické složení i strukturu než základní materiál.

Povlaky a povrchové vrstvy, které zlepšují výkonnost tvářecích nástrojů, zahrnují nitridaci, tvrdé povlaky na bázi slitin niklu, bóru, PVD, CVD a tvrdé chromování. Při použití těchto povrchových úprav lze předpokládat dvojnásobné až čtyřnásobné prodloužení životnosti nástroje. Nástroje, které jsou povlakované karbidy, či nitridy rovněž výrazně zlepšují drsnost povrchu přesných výstřižků. Tvrdé PVD povlaky jsou vhodné pro dosažení přesnějších rozměrů, ale mají poněkud menší odolnost proti abrazivnímu opotřebení než CVD povlaky. Nevýhodou CVD povlaků jsou vysoké teploty povlakovacího pochodu. Tyto teploty jsou značně vyšší než popouštěcí teploty nástrojových ocelí a proto je nezbytné po povlakování tepelné zpracování (kalení a popuštění).

Nejčastěji se používají PVD povlaky (TiN, TiAlN a CrN). Povlak TiN je univerzálně použitelný a relativně snadno se nanáší v porovnání s ostatními povlaky. Povlak TiCN má často lepší odolnost proti opotřebení než TiN. Povlak TiAlN má na povrchu tenkou vrstvu Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, která slouží jako tepelná bariera, proto má lepší vlastnosti než povlaky TiN a TiCN při vysokých teplotách v oblasti kontaktu. Nejpříznivější vlastnost povlaku CrN je jeho velmi vysoká houževnatost v kombinaci s poměrně vysokou tvrdostí a nízkou adhezí k některým zpracovávaným materiálům.

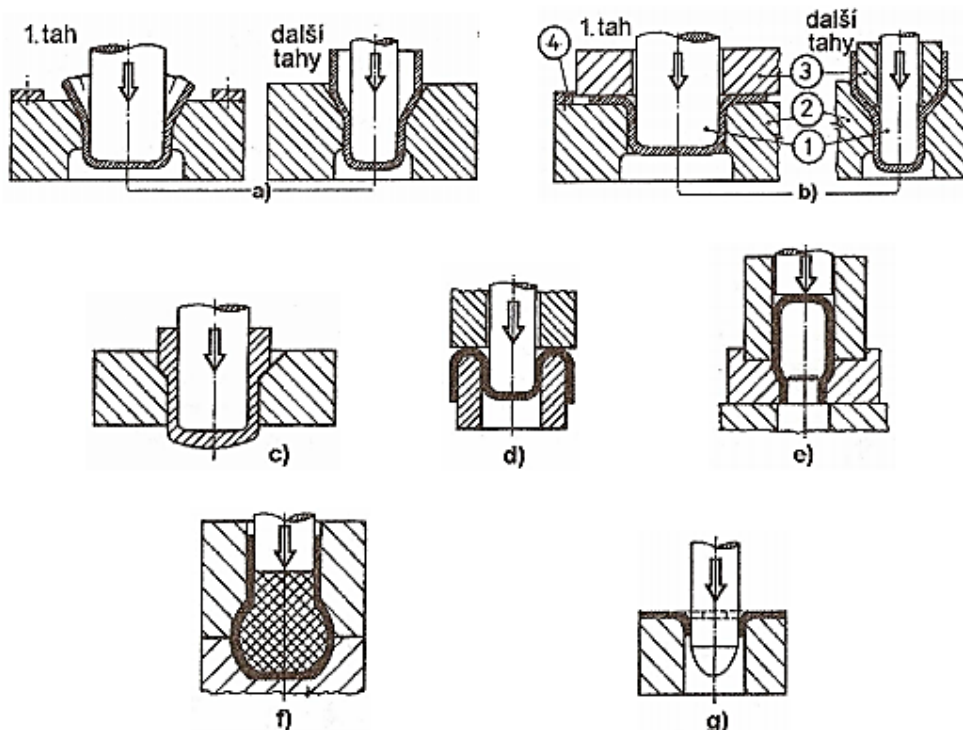
V oblasti aplikací, kde je požadována odolnost proti opotřebení v kombinaci s nízkým třením, se uplatňují DLC povlaky. Tyto povlaky jsou dopovány kovy (např. Cr) nebo karbidy (WC). Nízký koeficient tření DLC povlaků lze využít u nástrojů pro tváření bez maziva neželezných kovů a slitin.

### 3 TECHNOLOGIE TAŽENÍ [1, 4, 6, 18]

Tažení je technologicky proces, při kterém se z rovinného polotovaru vytváří prostorově orientovaná součást. Jde o prostorový ohyb, do nerozvinutelných tvarů. Výtažek může být formován do různých tvarů, bez podstatného zeslabení tloušťky stěny.

#### 3.1 Základní způsoby tažení [1, 4, 6, 13]

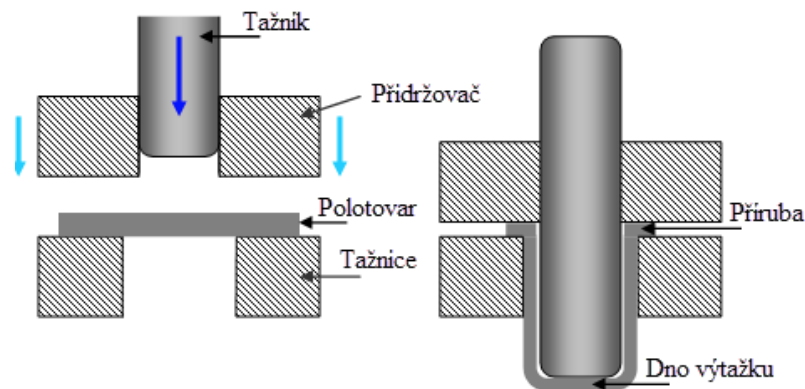
Podle tvaru výlisku se může proces tažení dělit na tažení mělké a hluboké, tažení bez a se ztenčením stěny, tažení rotačních a nerotačních tvarů a dále tažení nepravidelných tvarů. Výchozím polotovarem je přístřih plechu, pás plechu nebo již jinak zpracovaný polotovar. Tento polotovar lze zpracovávat následujícími technologiemi: prostým tažením, tažením se ztenčením stěny, zpětným tažením, žlábkováním, rozšiřováním a lemováním, zužováním, přetahováním, napínáním a speciálními způsoby.



Obr. 3.1 Technologické způsoby tažení A, B - tažení bez přídržovače, 1. a 2. tah, C, D - tažení s přídržovačem, 1. a 2. tah, E - zpětné tažení (obracení), F - tažení se ztenčením stěny, G - zužování, H - rozšiřování, I - lemování (přetahování), J - napínání [13].

#### 3.2 Princip tažení [1, 4, 6, 7]

Tažení je technologickým procesem, při kterém z rovinného plechu (přístřihu) buď v jedné, nebo několika operacích vzniká duté těleso. Nástrojem je tažidlo, které se skládá z tažníku, tažnice a ostatních konstrukčních částí. Materiál je tažen pomocí tažníku do tažnice, kde přechází tečením do trojrozměrného tvaru. Princip tažení je vidět na obr. 3.2.



Obr. 3.2 Princip tažení [7].

### 3.2.1 Hluboké tažení [1, 4, 6]

Hlubokým tažením lze vytvářet vysoce pevné a lehké díly, v některých případech i díly složitých tvarů, kterých nelze dosáhnout v jiných výrobních procesech. Přístřih je obvykle držen přidržovačem přidržovací silou. Na tvářený materiál působí vysoké tlakové napětí přidržovače, bez jehož použití, by mohlo docházet k výraznému zvrásnění stěny výtažku. Toto je jedna z nejčastějších vad u hlubokého tažení, a může nepříznivě působit na součást a její funkci, nebo poškodit tažnici.

Mezi tažníkem a tažnicí je dostatečná vůle, která se může lišit nejen druhem tažení, ale také může být rozdílná u hranatých výtažků v rozích a rovných částech. U tažení bez ztenčení stěny je v rovných částech  $z=1,2 \cdot S_0$ . Ke stanovení optimálních podmínek je nutné určit:

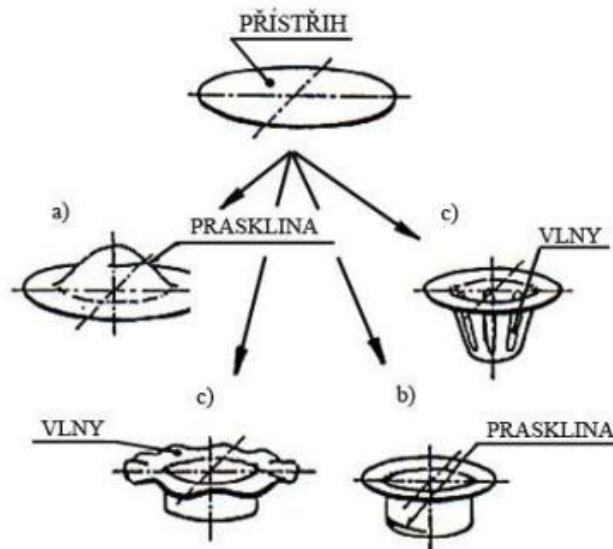
- tvar a velikost původního polotovaru,
- umístění a sílu přidržovače,
- počet operací při více operačním tažení.

### 3.2.2 Vady výtažků [12, 18]

Během tažení může dojít k několika vadám, které se mohou projevit v několika podobách. Jsou to zejména:

- v důsledku vyčerpání zásob plasticity materiálu dojde k tvárnému lomu v nejvíce deformované části (obr. 3.3a),
- porušení výtažku vznikem praskliny, která byla způsobena překročením meze pevnosti plechu v tahu (obr. 3.3b),
- zvlnění plechu na plášti resp. na přírubě výtažku jako projev nestability procesu plastické deformace při působení tlakových napětí (obr. 3.3c).

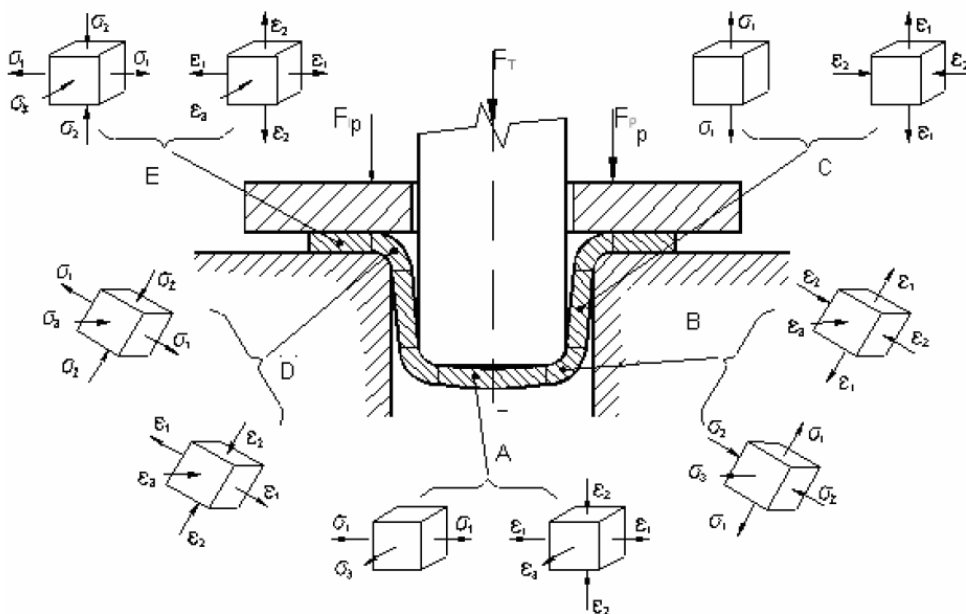




Obr. 3.3 Vady výtažku [12].

### 3.2.3 Napjatost a deformace při tažení [1, 4, 6, 13, 17]

Příklad tažení jednoduchého válcového výtažku bez ztenčení stěny je na obr. 3.4. Napjatost při tažení se v jednotlivých fázích tažení a v různých místech polotovaru liší a dochází zde k anizotropii mechanických vlastností plechu. Ve dně (A) vzniká během tažení rovinná tahová napjatost a prostorová deformace. Ve válcové části (C) dochází k jednoosé tahové napjatosti  $\sigma_1$ , ale v části výtažku, kde přechází válcová část na dno (B) je dvojitá nebo trojitá napjatost. Na tažné hraně (D) vzniká deformace způsobená prostorovým ohybem za současného působení největšího radiálního tahového napětí  $\sigma_1$  a malého tečného tlakového napětí  $\sigma_3$ . Materiál pod přidržovačem (E) je namáhán tahem v radiálním směru  $\sigma_1$  a tlakem v tangenciálním směru  $\sigma_3$ . Kolmo k nim působí tlakové napětí  $\sigma_2$ .



Obr. 3.4 Schémata napjatosti a deformace při hlubokém tažení [13].

Vyjádření deformace při hlubokém tažení:

$$\varepsilon = \frac{D_0 - d}{D_0}; m = \frac{d}{D_0}; K = \ln \frac{D_0}{d}; c = \ln \frac{D_0}{d} \quad (3.1)$$

Závislost mezi těmito rovnicemi definuje poměrné přetvoření a je definováno vztahem:

$$\varepsilon = \frac{D_0 - D}{D_0} = 1 - m = \frac{K-1}{K} = \frac{e^{\varphi}-1}{e^{\varphi}} \quad (3.2)$$

Kde:

$\varepsilon$	– poměrná deformace,
$D_0$ [mm]	– průměr přístřihu,
$d$ [mm]	– průměr výtažku,
$m$	– koeficient tažení,
$Kt$	– stupeň tažení
$\varphi$	– logaritmická deformace

### 3.2.4 Součinitel a stupeň tažení [17]

Požívá se pro určení maximální deformace na jeden tah, a určení počtu tažných operací.

Pro první tah je definován vztahem:

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} [-] \quad (3.3)$$

Pro další tahy platí:

$$m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} [-]$$

Stupeň tažení je vyjádřen převrácenou hodnotou  $m$ :

$$Kt = \frac{1}{m} = \frac{D_0}{d_1} [-] \quad (3.4)$$

## 3.3 Tažení rotačně symetrických tvarů [1, 4, 6, 24]

Tažení rotačně symetrických tvarů je založeno na předpokladu symetrického stavu napětí a deformace, které jsou osově souměrné. Táhnou se součásti válcového tvaru s přírubou, nebo bez příruby. Také součásti složitějšího tvaru jako jsou různé kuželové, parabolické a půlkulové součásti. Výpočtové vztahy odvozené pro rotačně symetrických výtažky se mohou určitým způsobem aplikovat na složitější výtažky nepravidelných nebo obdélníkových tvarů.

### 3.3.1 Určení počtu tažných operací [25]

Požadovaný tvar výtažku lze zhotovit jednou, nebo více tažnými operacemi. Počet operací závisí na tvaru a velikosti výtažku, a také na druhu a tloušťce materiálu.

Průměr výtažku po prvním tahu:

$$d_1 = m_1 \cdot D_0 \text{ [mm]} \quad (3.5)$$

Průměr výtažku po n-tém tahu:

$$d_n = m_n \cdot d_{n-1} \text{ [mm]} \quad (3.6)$$

### 3.3.2 Velikost přístřihu [24]

Při určování velikosti kruhového přístřihu platí předpoklad, že tloušťka stěn je neměnná. Plocha přístřihu je tedy rovna ploše výtažku. Rozměry polotovaru se dají určit několika způsoby, a to výpočtem, graficky (podle Guldinova pravidla), nebo nyní nejčastěji pomocí počítačového software. U tenkých plechů se počítá s vnějšími rozměry, u plechů s tloušťkou nad 2 mm se rozměr polotovaru počítá podle střednice výtažku. Při zjednodušeném výpočtu se malé prolisy a malé poloměry zaoblení (do osminásobku tloušťky materiálu) pro zjednodušení zanedbávají.

Určení průměru přístřihu  $D_0$  jednoduchého rotačního tvaru:

$$D_0 = \sqrt{d_1^2 + 4d_1 \cdot h} \quad (3.7)$$

Tenhle výpočet zanedbává poloměry zaoblení  $r_0$  a hranice použitelnosti podle normy je pouze do  $r_0 = (3\div 8)t_0$ . A při malém poloměru zaoblení je dále možno stanovit průměr přístřihu  $D_0$  z diagramu v normě ČSN 22 7301.

Pro větší poloměry zaoblení dna,  $r_0 > 8 t_0$ , se stanoví dle:

$$D_0 = \sqrt{0,25d_v^2 + d_v \cdot (h_1 + 0,57r_0) - 0,14r_0^2} \quad (3.8)$$

Kde:

$D_0$ [mm]	– průměr přístřihu,
$d_v$ [mm]	– vnitřní průměr výtažku,
$h_v$ [mm]	– výška výtažku,
$r_0$ [mm]	– poloměr zaoblení.

Pro stanovení velikosti přístřihu u složitých tvarů se používá Guldinovo pravidlo, které definuje povrch rotačního tělesa  $S_r$  vytvořeného otáčením křivky libovolného tvaru podle osy. Dalším možným řešením u výtažků neválcových tvarů je použití grafické metody.

### 3.3.3 Tažná mezera [24]

Tažná mezera mezi tažníkem a tažnicí se stanovuje o málo větší, než je tloušťka materiálu, Z důvodu možnosti přemístění přebytečného materiálu při vytahování, a zabránění pýchování materiálu.

Pro první tah:

$$t_m = (1,2 \text{ až } 1,3) t_0 \text{ [mm]} \quad (3.9)$$

Pro poslední tah:

$$t_m = (1,1 \text{ až } 1,2) t_0 \text{ [mm]} \quad (3.10)$$

### 3.3.4 Výpočet použití přidržovače [24]

Přidržovač musí mít takový tlak, aby zamezil tvoření vln v přírubě výtažku, a současně umožnil posunu materiálu do otvoru v tažnici. Přidržovač se použije v následujících případech:

- zjistí-li se výpočtem, že je nutno táhnout výtažek pomocí přidržovače,
- při druhém, nebo dalším tahu, jestliže součinitel tažení  $m < 0,9$ .

Součinitel použití přidržovače se vypočítá ze vzorce:

$$k_p = 50 \left( Z - \frac{\sqrt{t}}{\sqrt[3]{D_0}} \right) \quad (3.11)$$

Kde:

Z – materiálová konstanta

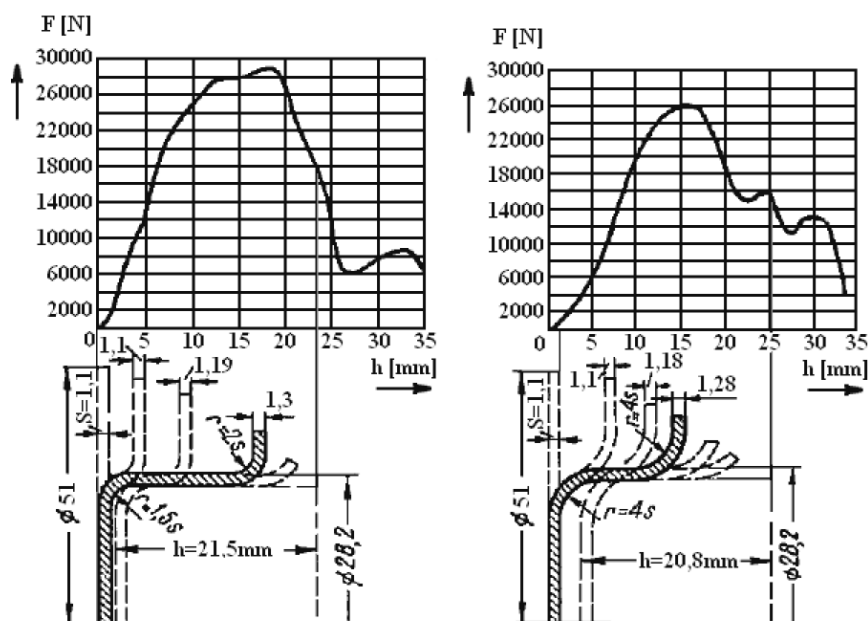
Je-li:

$$k_p \geq \frac{100d_1}{D_0}, \text{ musí se výtažek táhnout s přidržovačem,}$$

$$k_p < \frac{100d_1}{D_0}, \text{ může se výtažek táhnout bez přidržovače.}$$

### 3.3.5 Tažné síly u rotačních tvarů [1, 11, 24, 21, 25]

Poměrně komplikované matematické vztahy pro výpočet tažné síly se zjednodušují, a vycházejí z toho, že dovolené napětí v nebezpečném průřezu musí být menší, než napětí na mezi pevnosti. Největší tažná síla musí být tedy o něco menší, než síla, která způsobí utržení dna výtažku. Na obr. 3.5 je znázorněn průběh tažné síly při různých poloměrech zaoblění. Z obrázku je patrné, že síla se mění od nuly po maximum asi v polovině tahu a potom opět klesá.



Obr. 3.5 Průběh tažné síly při různých poloměrech zaoblění tažných hran [21].

Tažná síla není při celém procesu tažení konstantní. Svého maxima nabude po vniknutí tažníku do tažnice na hloubku o velikosti součtu poloměru zaoblení na tažníku a na tažnici. Síla dále klesá s klesající velikostí plochy vnější přírubové části výtažku.

Tažná síla je definována vztahem:

$$F_t = c \cdot \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m [\text{N}] \quad (3.12)$$

Kde:

- c – konstanta vyjadřující vliv součinitele tažení  $m$ , její hodnota  $c < 1$  a klesá s růstem součinitele tažení, viz tab. 3.1
- t [mm] – tloušťka plechu,
- d [mm] – průměr výtažku,
- $R_m$  [MPa] – mez pevnosti .

Tab. 3.1 Hodnoty součinitele c [24].

$M_1=d_1/D_0$	0,55	0,575	0,6	0,625	0,65	0,675	0,7	0,75	0,8
c	1	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,6	0,5	0,4

Pro zvolení vhodného lisu je potřeba znát maximální tažnou sílu. Tato síla se označuje jako síla potřebná k utržení dna výtažku, protože při tak velké tažné síle dochází k deformaci a porušení výtažku v nejkritičtějším místě. Síla potřebná k utržení dna vychází ze vztahu:

Maximální kritická síla k utržení dna výtažku:

$$F_{krit} = \pi \cdot d \cdot t \cdot R_m [\text{N}] \quad (3.13)$$

Kde:

- d [mm] – průměr výtažku,
- t [mm] – tloušťka plechu,
- $R_m$  [MPa] – mez pevnosti.

Přidržovací síla:

$$F_p = S_p \cdot p_p [\text{N}] \quad (3.14)$$

Kde:

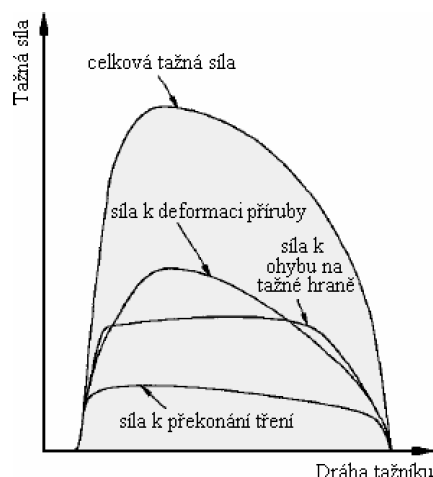
- $S_p$  [mm<sup>2</sup>] – styková plocha přidržovače,
- $P_p$  – měrný tlak přidržovače, (0,8 až 3) [MPa].

Celková tažná síla:

$$F_C = F_t + F_p [\text{N}] \quad (3.15)$$

### 3.3.6 Tažná práce [19, 24]

Tažná práce je zejména důležitá pro určení nebo kontrolu velikosti lisu. Průběh tažné práce znázorňuje obr. 3.5.



Obr. 3.6 Podíl hlavních složek tažné síly na celkové tažné síle [19].

Tažnou práci lze vypočítat ze vztahu:

$$A_t = \frac{c \cdot F_C \cdot h_v}{1000} \text{ [J]} \quad (3.16)$$

Kde:

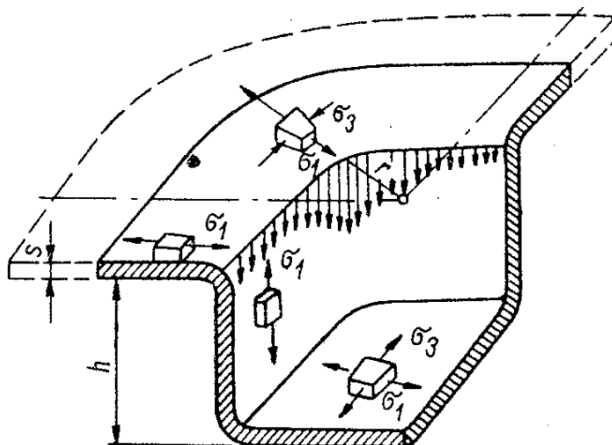
$h_v$  – hloubka výtažku [mm]

$C$  – součinitel, který bývá pro tažení s kalibrováním  $C = 0,66$ ; bez kalibrování  $C = 0,8$ .

### 3.4 Tažení nerotačních tvarů [12, 25]

U hlubokého tažení výtažků nerotačních tvarů dochází k napět'ové nerovnoměrnosti podél tažné hrany, a tím také k nerovnoměrnosti deformací. V rozích dochází k plastické deformaci jako u kruhových výtažků o průměru odpovídajícím jejich zaoblení. V rovných částech existuje pouze radiální napětí stejné jako u ohybu. Při tomto ohybu je podélné tahové napětí největší v poloměrech zaoblení výtažku, na přímých stěnách nejmenší. Tím je zapříčiněno, že kov při tažení není deformován rovnoměrně podél celého obvodu.

Schéma napjatosti při tažení čtyřhranných výtažků se zaoblenými hranami a o výšce  $h$  je zobrazeno na obr. 3.7.

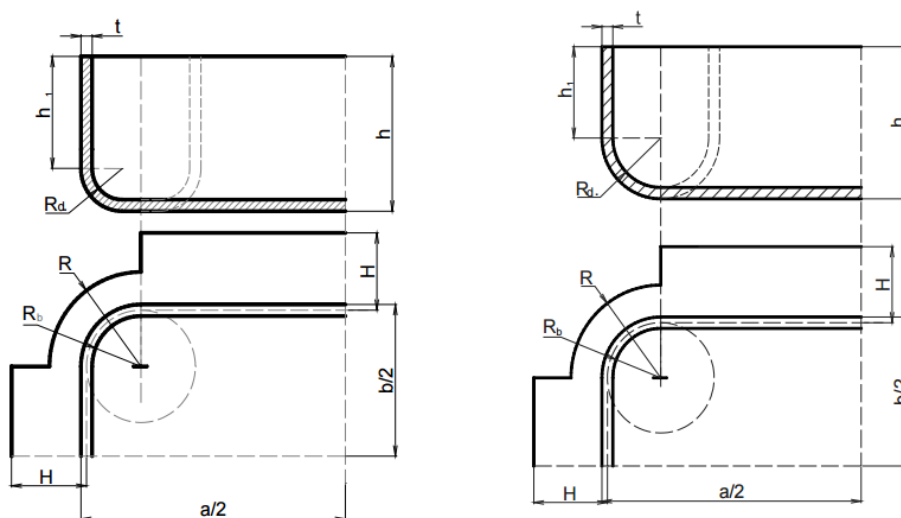


Obr. 3.7 Podíl hlavních složek tažné síly na celkové tažné síle [12].

Vzhledem k nerovnoměrnému přetvoření podél obvodu je určování rozměru a tvaru přístřihu složitější. Rohový poloměr  $R_b$  u pravoúhlého nebo čtvercového tvaru výtažku s rozměry  $a$ ,  $b$  a  $c$  a na obr. 4.3 je hlavní omezující faktor, toho jak hluboce můžeme táhnout výtažek jedním tahem. Existují i další faktory, které mají vliv na maximální hloubku tahu, jako je poměr mezi spodním poloměrem  $R_d$  a rohovým poloměrem  $R_b$ , minimální délka mezi rohovými poloměry, tvářecí rychlost a další.

### 3.4.1 Stanovení velikosti přístřihu pro obdélníkový výtažek [18]

Existují tři možnosti pro rozvinutí rohových zaoblení a všechny mají závislost k rádiusu  $R_b$  a  $R_d$ . Dvě možnosti stanovení rozvinu, jsou znázorněny na obr. 3.8.



Obr. 3.8 Rozložená rohová zaoblení včetně rovné části  $R_d < R_b$  a  $R_d = R_b$  [18].

$R_d < R_b$ , rádius přístřihu  $R$  rohových kontur je dán vztahem:

$$R = R_b^2 + 2R_b(h_v - 0,47R_d) \quad (3.17)$$

Kde:

$$h_v = h_0 + \Delta c$$

$h_v$  - hloubka výtažku

$h_{v0}$  - hloubka konečného výtažku

$\Delta c$  - přídavek materiálu pro ostříhnutí; hodnoty přídavku jsou uvedeny v tab.

Tab. 3.2 Hodnoty přídavku na ostřížení –  $\Delta c$  [18].

$h_0 / R_b$	Číslo tahu	$\Delta c$ [mm]
2,5 - 7,0	1	(0,03 - 0,05) $h_0$
7,0 - 18,0	2	(0,04 - 0,06) $h_0$
18,0 - 45,0	3	(0,05 - 0,08) $h_0$
45,0 - 100	4	(0,06 - 0,10) $h_0$

$R_d = R_b$ , rádius přístřihu  $R$  rohových kontur z obr. 3.8 je dán vztahem:

$$R = \sqrt{2R_b h} \quad (3.18)$$

$R_b = 0$ , rádius přístřihu  $R$  rohových kontur je dán vztahem:

$$R = \sqrt{R_b^2 + 2R_b h} \quad (3.19)$$

Ve všech třech případech jsou středy poloměrů  $R$  a  $R_b$  shodné a vzhledem k tomu, že jsou stěny výtažku zakřivené, může se pro výpočet rozměru  $H$  přístřihu použít následující vzorec:

$$H = h_1 + 0,57 R_b \quad (3.20)$$

Jelikož výpočet velikosti stěn přístřihu pro obdélníkové výtažky tímto způsobem není dostačující, je tvar přístřihu třeba upravit. Úprava je znázorněna na obr. 3.10 a postupuje se podle následujících kroků:

- tažený obdélník o rozměrech  $a$ ,  $b$ ,
- na každé straně obdélníku přidat hodnotu  $H$ ,
- ze středu poloměru  $R_b$  (bod  $O$ ) je nakreslena kružnice o poloměru  $R_1 = x \cdot R$ , kde:

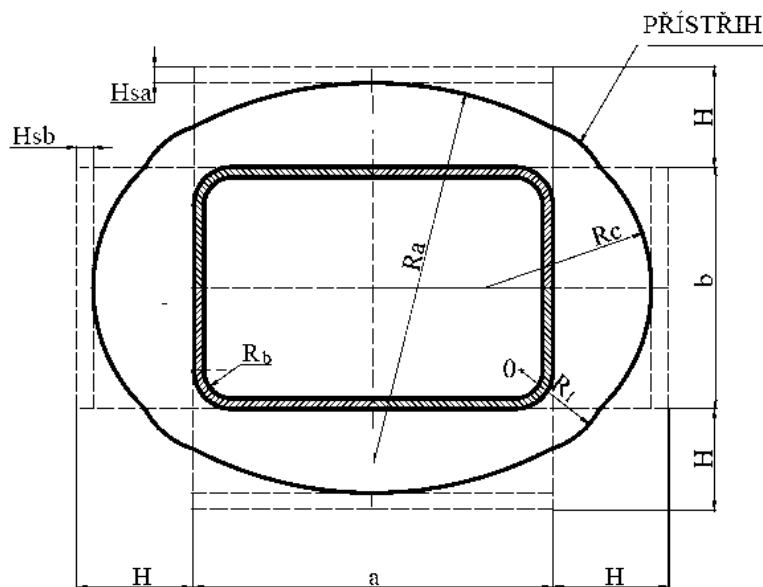
$$x = 0,0185 \left(\frac{R}{R_b}\right)^2 + 0,982 \quad (3.21)$$

- snížení výšky na každé straně o následující hodnoty:

$$H_{sa} = 0,785(x^2 - 1) \frac{R^2}{a} \quad (3.22)$$

$$H_{sb} = 0,785(x^2 - 1) \frac{R^2}{b} \quad (3.23)$$

- zaoblení rohů poloměry  $R_a$  a  $R_b$ .



Obr. 3.9 Upravený přístřih obdélníkového výtažku [18].



### 3.4.2 Učení počtu tažných operací [25]

U tažení nerotačních tvarů je obtížné určit správný počet tažných operací. Toto je zapříčiněno množstvím veličin. Jsou to zejména:

- velikost zaoblení v rozích  $R_b$ ,
- velikost výtažku,
- tloušťka taženého kovu,
- druh taženého materiálu,
- poměr mezi velikostí zaoblení v rozích a délkou rovné části stěny výtažku,
- velikost zaoblení u dna výtažku,
- šířka příruby výtažku,
- tvar přístřihu,
- konstrukce a provedení tažidla,
- tažná rychlost,
- mazání a upnutí lisovadla na lise.

Všechny zmíněné faktory mají vliv na určení počtu tahů. Největší vliv má velikost zaoblení v rozích  $R_b$ , na kterém je přímo závislá výška výtažku, kterou je možné dosáhnout při prvním tahu.

U čtvercového výtažku je redukce podstatně větší, a to z důvodu, že materiál při tažení částečně uniká do stěn výtažku, které se pouze ohýbají. Jestliže se nedá výtažek vyrobit v jedné operaci, tak se redukce při tažení nerotačních součástí volí přibližně stejné a to kolem 60 % až 65 % podle taženého materiálu.

Orientační hodnoty maximální dosažitelné výšky výtažku v prvním tahu jsou uvedeny v tab. 3.3, ale vychází se pouze ze zaoblení v rozích a ostatní činitele nejsou v tabulce zohledněny.

Tab. 3.3 Závislost maximální výšky nerotačního výtažku na velikosti zaoblení výtažku v rozích [25].

Velikost zaoblení $R_b$ [mm]	Maximální výška výtažku $h$ [mm]
do 5	8 $R_b$
5 až 10	7 $R_b$
10 až 13	6 $R_b$
13 až 19	5 $R_b$
přes 19	4 $R_b$

### 3.4.3 Odstupňování tahů u čtyřhranných výtažků [20]

Součinitel tažení pro první tah  $m_1$  se uvádí jako poměr poloměrů zaoblení v rohu čtyřhranného výtažku k redukovanému poloměru přístřihu v tomto místě:

$$m_1 = \frac{R_b}{R_0} [-] \quad (3.24)$$

Kde:

$R_b$  – poloměr zaoblení v rohu výtažku,

$R_0$  – redukovaný poloměr přístřihu.

### 3.4.4 Učení tažné mezery [13]

Tažná mezera se volí jiná v podélných stěnách a v kruhově zaoblených bočních stěnách. Tažná mezera v podélných stranách se volí u prvních a dalších tahů:

$$t_{m1} = t_{m2} = (1,15 \text{ až } 1,30) \cdot t \quad (3.25)$$

Tažná mezera v rozích u prvních a dalších tahů se volí:

$$t_{mr1} = t_{m2} = (1,30 \text{ až } 1,40) \cdot t \quad (3.26)$$

U složitějších tvarů může být tažná mezera v rohu i podélných stranách stejná ( $1,30 \cdot t$ ).

### 3.4.5 Tažné síly nerotačních tvarů [20, 25]

Velikost tažné síly, při které dochází k utržení dna výtažku, se vypočítá stejným způsobem jako u tahů rotačních tvarů. A to součinem obvodu, tloušťky a pevnosti v tahu tažného materiálu v tahu. Při výpočtu velikosti tažné síly u výtažku nerotačních tvarů se navíc rozlišuje síla potřebná k tváření přímé části stěny výtažku, která se pouze ohýbá a síla nutná k tváření rohové části, kde nastává vlastní tažení.

Pro čtyři rohy je velikost tažné síly:

$$F_{t1} = 2\pi \cdot R \cdot t \cdot R_m \cdot C_1 \text{ [N]} \quad (3.27)$$

Pro přímé části stěn výtažku:

$$F_{t2} = L \cdot t \cdot R_m \cdot C_2 \text{ [N]} \quad (3.28)$$

Celková velikost tažné síly:

$$F_t = F_{t1} + F_{t2} = t \cdot R_m (2\pi \cdot R \cdot C_1 + L \cdot C_2) \text{ [N]} \quad (3.29)$$

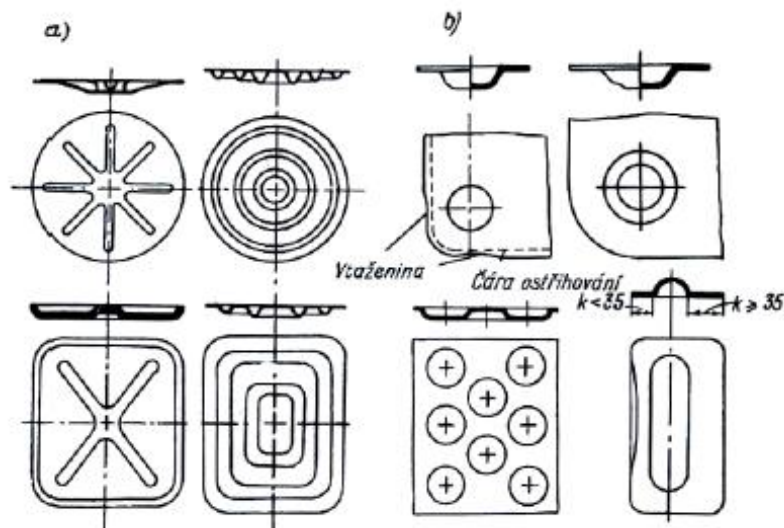
Kde:

$F_t$ [N]	– tažná síla
$t$ [mm]	– tloušťka plechu,
$R_m$ [MPa]	– mez pevnosti,
$R$ [mm]	– poloměr v rozích,
$L$ [mm]	– součet délek přímých částí stěn výtažku,
$C_1, C_2$ [-]	– koeficienty.

Velikost konstanty  $C_1$  se pohybuje v rozmezí 0,5 až 2 (pro mělké výtažky je  $C_1 = 0,5$ ). Hodnota  $C_2$  se při normálním přidržovacím tlaku rovná 0,3. Obě konstanty jsou přímo závislé na provedení tažidla, druhu taženého materiálu, mazání apod.

### 3.5 Prolisy [21]

Vytváření prolisů je mělké tažení, kde nedochází k porušení materiálu. Jedná se o druh reliéfního přetváření, kde dochází ke změně tvaru polotovaru, a dochází k vytváření místní prohlubeniny či vypoukliny. Prolisy se používají k vyztužení výrobku, nebo k eliminaci odpružení materiálu při tváření. Mohou mít také jinou technologickou funkci u navržené součástky. Některé typy prolisů jsou na obr. 3.10 (a–lisování výstužných žeber, b–lisování důlků, bradavek).

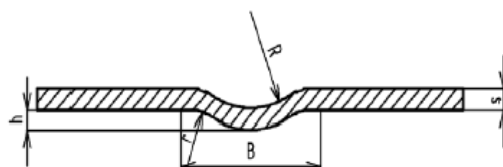


Obr. 3.10 Příklady reliéfního přetváření [21].

Při prolisu nedochází k velkému stupni deformace a přesouvání objemu. Z tohoto důvodu nedochází k tvoření vln a není třeba použít přidržovač. Také není třeba počítat výchozí polotovar (změna rozměrů je zanedbatelná), jako u hlubokého tažení. Tabulka 3.4 a obr. 3.5 definuje závislost dosažitelné max. výšky.

Tab. 3.4 Závislost maximální výšky nerotačního výtažku dosažitelné [21].

	poloměr $R$	výška $h$	šířka $B$	poloměr $r$
normální	$4s$	$3s$	$10s$	$2s$
nejmenší	$3s$	$2s$	$7s$	$s$



Obr. 3.5 Doporučované rozměry výstužných důlků [21].

Síla pro vylisování prolisu:

$$F_{\text{prolis}} = L_{\text{prolis}} \cdot s \cdot R_m \cdot k \text{ [N]} \quad (3.30)$$

Kde :

$L_{\text{prolis}}$  – délka prolisu [mm],

$k$  – součinitel (0,7 - 1).

### 3.6 Technologičnost konstrukce výtažků [17]

Nedokonalost procesu tažení ovlivňuje rozměrovou přesnost výtažků. K nedokonalostem patří zejména:

- měnící se tloušťka stěny, kde v přechodu dna do pláště je nejmenší, na horním okraji výtažku je největší. Tyto rozdíly mohou dosahovat 20 až 30 % při vysokých stupních tažení,

- plášť výtažku může být mírně kuželový a to 1 až 3°. Toto může být zapříčiněno tažnou mezerou, nebo odpružením,
- poloměry zaoblení je potřeba přizpůsobit procesu tažení,
- okraj výtažku je nerovný, a z těchto důvodů je potřeba počítat s ostřížením. Příčinou je různá tloušťka plechu, lišící se síla přidržení okrajů při tažení, anizotropie mechanických vlastností materiálu,
- zpevnění materiálu, největší je zpravidla na okraji výstřížku

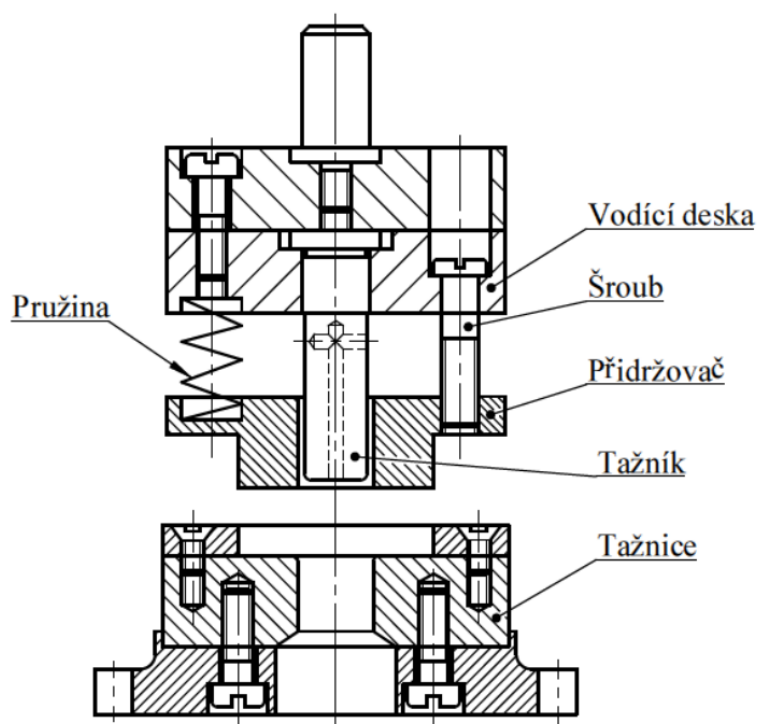
Výše zmíněné nedokonalosti lze omezit např. jemnějším odstupňováním tahů, kalibrováním, tažením se ztenčením stěny atd. Toto jsou však přidavné operace, které znamenají prodražování nástroje.

Pravidla pro konstruování výtažků:

- Nepředepisovat toleranci tloušťky stěn výtažku, jestliže to není nutné,
- nezvětšovat výšku výtažku, jelikož toto má za následek zvýšení počtu tahů,
- nerozšiřovat zbytečně přírubu,
- zaoblení přechodů mezi dnem, pláštěm a přírubou nezmenšovat pod mez potřebnou k úspěšnému tažení,
- tvar výtažku nejvíce ovlivňuje počet tahů.

### 3.7 Tažný nástroj [1, 3, 13]

Hlavní funkční části tažného nástroje tvoří tažník, tažnice a přidržovač. Velice důležitá je geometrie jejich funkčních částí, a zejména poloměry zaoblení tažných hran. Od těchto zaoblení se odvíjí velikost napětí v taženém materiálu, velikost tažné síly a zvlnění materiálu v přírubové části výtažku. Příklad tažného nástroje znázorňuje obr. 3.11.



Obr. 3.11 Příklad tažného nástroje [13].

### 3.7.1 Zaoblení tažné hrany [24, 25]

Konstrukce tažné hrany tažnice musí splňovat přesné požadavky a její poloměr se mění v závislosti na pořadí tahu.

Zaoblení pro první tah:

$$r_{tc} = (8 \div 10) \cdot t_0 [\text{mm}] \quad (3.31)$$

Zaoblení tažnice druhý a další tahy:

$$r_{tc} = (6 \div 8) \cdot t_0 [\text{mm}] \quad (3.32)$$

Poloměr zaoblení tažníku ( $r_{tv}$ ) vychází z poloměru tažné hrany tažnice a pro mezi tahy se obvykle hrany tažníku upravují skosením pod úhlem  $\beta = 35^\circ$  až  $45^\circ$ .

Pro tažnice druhý a další tahy:

Zaoblení tažníku pro všechny tahy:

$$r_{tv} = (1 \text{ až } 2) \cdot r_{tc} [\text{mm}] \quad (3.33)$$

### 3.8 Materiály tažných nástrojů [27]

Materiálem pro malé a střední průměry tažníků bývá ocel 19 191, 19 221, 19 356, 19 312, 19 313, 19 436 a 19 573. Pro méně namáhané tažnice se používá ocel cementační 14 220, nebo 12 061. Pro velmi dobré třecí vlastnosti je používána také šedá litina 42 2425-HB 190 až 240. Pro vložky slinuté karbidy G1, G2 a G3. Keramické vložky se zhotovují z korundu AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> opatřené zděří z oceli 19 436. Pro tažení oceli 17 246 a ocelí feritických korozivzdorných na bázi Cr se používají tažnice z hliníkového bronzu.

### 3.9 Maziva [1, 13, 20, 22]

Tření během tažení, a to v kontaktu materiál-tažnice významně zvyšuje tažnou sílu. Používáním maziv je snížit tření mezi tažnicí a materiálem na minimum. Výhodný je naopak vyšší součinitel tření mezi tažníkem a materiálem, který snižuje podíl tažné síly, který je ode dna výtažku přenášen do deformační zóny stěnou výtažku. Ovšem požadavek na kvalitu vnitřního povrchu výtažku omezuje maximální hodnotu tření na tažníku.

Důsledkem nedostatečného mazání v kontaktu materiálu, tažnice a přídržovače je zvýšení celkové tažné síly až o 50 %. Vrstva maziva tvoří tenkou bariéru proti přímému styku taženého materiálu s materiálem nástroje. Pokud dojde k porušení této vrstvy, dochází k poškození povrchu v podobě škrábanců a rýh, které poškozují povrch součástí. Při výrobě výtažků se používá velkého množství maziv různého složení. Maziva je možné rozdělit na dvě skupiny, a to maziva bez plnidel a maziva s plnidly.

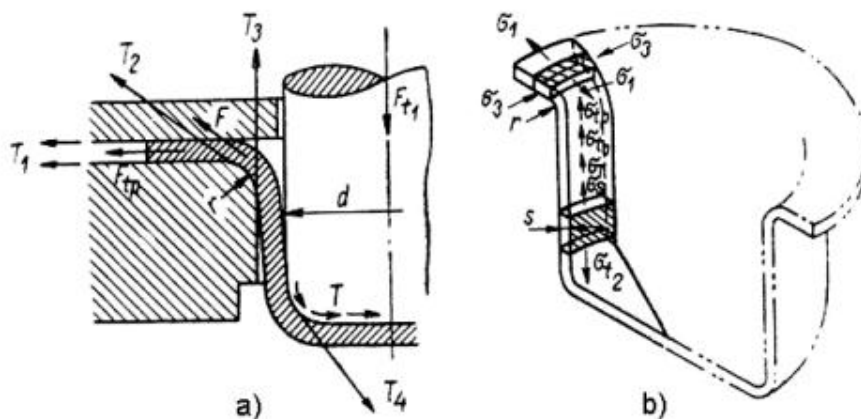
Pokusy bylo zjištěno, že maziva bez plnidel nedávají dostatečně pevnou vrstvu a poměrně snadno se vytlačují. Nejlepší jsou maziva s velkým obsahem plnidel (křída, grafit, ZnO, PbO, MoS<sub>2</sub>), jež zvyšují trvanlivost 2-5x ve srovnání s trvanlivostí tažidel při použití maziv bez plnidel.

Mazivo musí dobře přilnout, musí vytvářet pevnou, rovnoměrnou a nevysychající vrstvu schopnou vydržet velké tlaky. Mazivo nesmí poškozovat mechanicky ani chemicky povrch nástroje a výtažku, a musí být chemicky odolné a ekologicky nezávadné. Také musí být snadno odstranitelné z povrchu hotového výtažku. Je několik způsobů, jak odstranit mazivo z výtažků:

- v louhových lázních,
- elektrolytickým odmašťováním,
- rozpouštěním mastnot benzinem nebo trichlorethylenem,
- pomocí ultrazvuku.

Při tažení (obr.3.12) musí síla působící na tažník  $F_{t1}$  překonat několik sil:

- sílu plastického přetvoření příruby  $F_{tp}$ ,
- sílu  $F_{t0}$  působící proti plastickému ohybu přes poloměr tažnice,
- síly tření v ploše tažnice a přidržovače  $T_1$ ,
- síly tření na hraně tažnice  $T_2$
- síly třecí  $T_3$  mezi otvorem tažnice a tažníkem,
- setrvačné síly  $F_s$ .



a – schéma sil, b – schéma napjatosti  
Obr. 3.12 Schéma působení třecích sil při tažení [18].

### 3.10 Numerická simulace hlubokého tažení plechů [26]

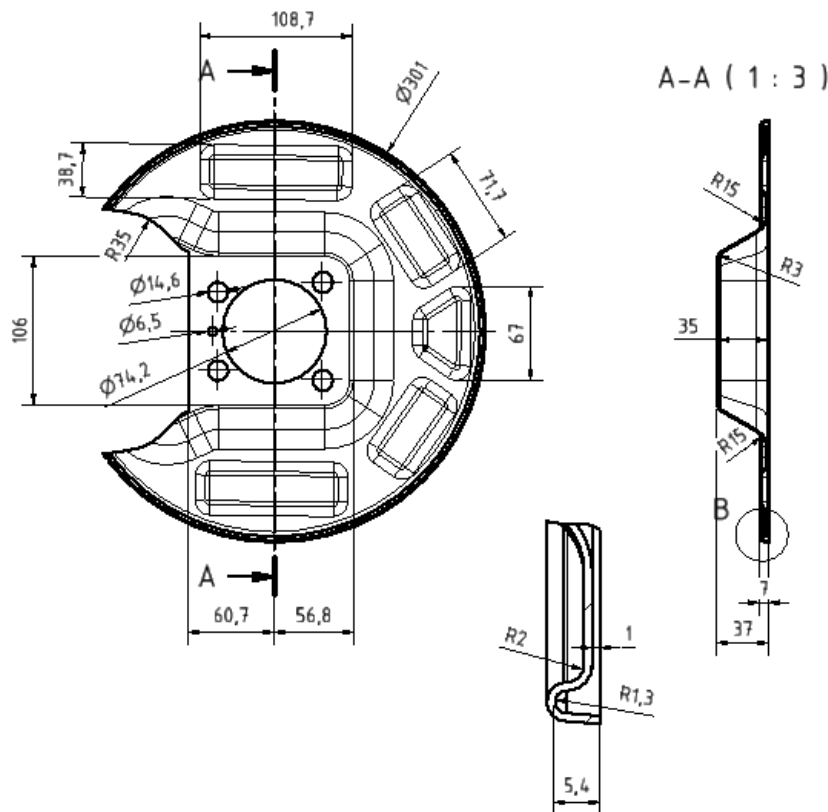
Numerická simulace je velice často využívána v průběhu vývoje výrobků a také v průběhu procesů navrhování nástrojů. Při tvářecích procesech je v současnosti za nejvýkonnější metodu matematického modelování považována metoda konečných prvků (MKP). Základním principem metody je rozdělení tělesa na malé prvky, které jsou matematicky snadno popsatelné. Lisovaná součást je popsána v prostoru trojúhelníkovými nebo čtyřúhelníkovými prvky. Tato metoda může být použita k analýze mnoha úloh, která vyplývá z geometrie tvářených součástí.

Mezi nejpoužívanější programy pro numerické simulace v automobilovém průmyslu patří AutoForm a Pam-Stamp. Tyto programy umožňují snížit nejen náklady na vývoj a výrobu, ale i celkový čas uvedení výrobku na trh. Je možné provádět analýzy lisovatelnosti výtažku.

Pomocí FLD diagramu mezních deformací plechu je možné zjistit hranici mezi bezpečnou oblastí a oblastí porušení. Tato hranice je definována křivkou mezní tvářitelnosti (FLC). Dále je možné provádět vyhodnocení tloušťky plechu po tažení, napětí ve výtažku v průběhu tažení, možné deformace, tvářecí a přidržovací síly, výpočet velikosti přístřihu, a jiné.

## 4 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Zadaná tvarová součást má průměr 300 mm, tloušťku materiálu 1 mm, tvarové vybrání ve střední části o hloubce 35 mm, a prolisy na horní straně. Materiál součásti je hlubokotažná ocel 11 305.21. Znázornění zadaného dílu se základními rozměry je na obr. 4.1.



Obr. 4.1 Vyráběný díl se základními rozměry.

Z hlediska tvaru navrhovaného dílu a ovlivňující faktorů, byla vybrána metoda kombinací tažení pevným nástrojem a klasickým stříháním.

Avšak i tato kombinace může zahrnovat několik technologických variant řešení. Zde může být rozdíl v uspořádání výlisků na pásu, koncepcí nástroje, použití několika samostatných nástrojů, technologií podávání pasu, nebo výlisku, atd.

Pro výběr nejvhodnější varianty je třeba brát v úvahu různé okolnosti, jako je roční vyráběné množství, dostupnost strojového vybavení, úspora materiálu, efektivnost při výrobě.

Z hlediska tvarové složitosti součásti je možné uvažovat o třech technologických variantách výroby.

- Použití oddělených nástrojů, pro každou technologickou operaci. Pro tuto variantu by bylo potřeba 3-5 nástrojů, v závislosti na jejich koncepčním provedení. Min. by bylo nutné použití střížného nástroje pro přístřih, tažného nástroje, a ostříhovacího nástroje.
- Transférový nástroj, kde by bylo více nástrojů pro jednotlivé operace, seřazené za sebou, a pracující pod jedním lisem. Pro toto provedení je nutné mít lis vybavený podavačem, který posouvá vyráběný díl do další pozice.

c) Použití sduženého nástroje, ve kterém by bylo možné vyrábět celý kompletní díl.

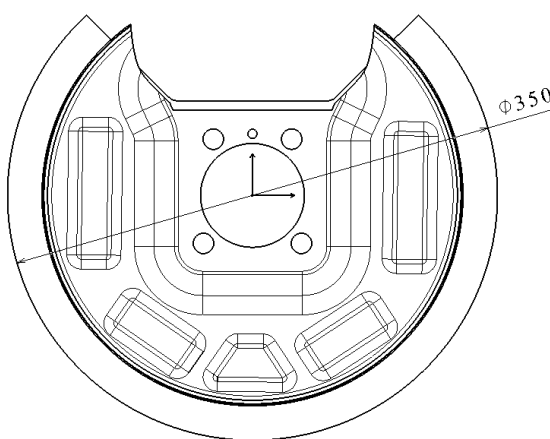
Po zvážení všech ovlivňujících aspektů, vybrána varianta c (sdužený nástroj). Tato varianta bude dále rozpracována v této části diplomové práce.

## 4.1 Návrh postupu výroby

Byly navrženy a porovnávány dvě varianty nástřihového plánu pro sdužený nástroj. A to varianty s odlišným nástřihem výlisků a uchycením v pásu. Pro určení můstku a okrajů pásu v nástřihovém plánu se vycházelo z normogramu v příloze 1. Vzhledem ke složitějšímu tvaru výlisku došlo ke korekci určených rozměrů.

### 4.1.1 Stanovení velikosti přístřihu

Vhledem ke tvarové složitosti výtažku, byl ke stanovení velikosti přístřihu použit simulační program AutoForm, a následně byl přístřih tvarově optimalizován.



Obr. 5.1 Velikost přístřihu.

### 4.1.2 Uspořádání výlisku na pásu – varianta 1.

Varianta 1. spočívá v orientaci součásti na pásu vybráním nahoru. Určení velikosti můstku a velikosti okraje proběhlo na základě tabulky v příloze a s ohledem na použitý postup výroby.

Tloušťka plechu	1 mm
Doporučená šířka můstku	$E4 = 4 \text{ mm}$
Doporučený okraj pásu plechu	$F4 = 9 \text{ mm}$
Velikost přístřihu	$Dp = 350 \text{ mm}$
Korigovaná šířka můstku	$E4' = 10 \text{ mm}$
Korigovaný okraj pásu	$F4' = 30 \text{ mm}$

Výpočet délky kroku:

$$K = D_p + E4' = 350 + 10 = 360 \text{ mm}$$

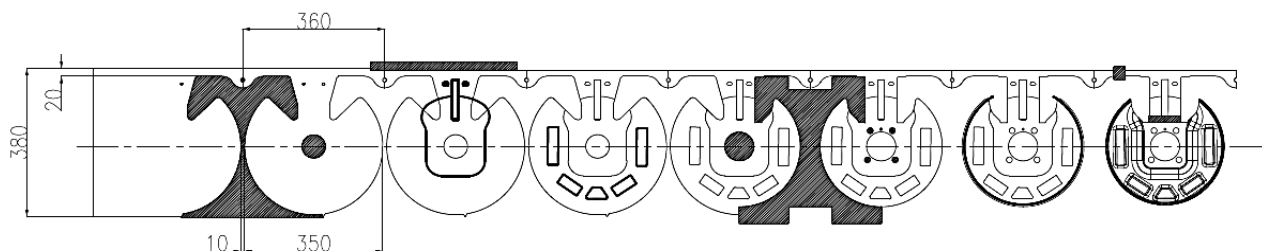


Výpočet šíře pásu:

$$\check{S}_p = D_p + F4' = 350 + 30 = 380 \text{ mm}$$

Při návrhu nástroje je uvažováno použití materiálu ve svitku a využití podávacího zařízení. Výrobky jsou řazeny na páse jednotlivě za sebou. Je navrženo 8 výrobních operací:

1. krok – ostříh kontury přístřihu společně s vynášecím ramenem
2. krok – prostřih středového otvoru
3. Krok – tažení středového tvaru
4. Krok – lisování prolisů
5. Krok – ostříh vnější kontury a prostřih středového otvoru na konečný rozměr
6. Krok – prostřih otvorů
7. Krok – lisování lemu
8. Krok – odštížení součásti od ramene a přestřížení okraje plechu



Obr. 4.2 Uspořádání výlisku na páse – varianta 1.

#### 4.1.3 Uspořádání výlisku na páse – varianta 2.

U varianty 2. je součást pootočená o  $90^\circ$  v porovnání s variantou 1. Určení velikosti můstků a velikosti okraje proběhlo na základě tabulky v příloze a s ohledem na použitý postup výroby.

Tloušťka plechu	1 mm
Doporučená šířka můstku	$E4 = 4 \text{ mm}$
Doporučený okraj pásu plechu	$F4 = 9 \text{ mm}$

Velikost přístřihu dle 4.1.1.  $D_p = 350 \text{ mm}$

Korigovaná šířka můstku	$E4' = 10 \text{ mm}$
Korigovaný okraj pásu	$F4' = 45 \text{ mm}$

Výpočet délky kroku:

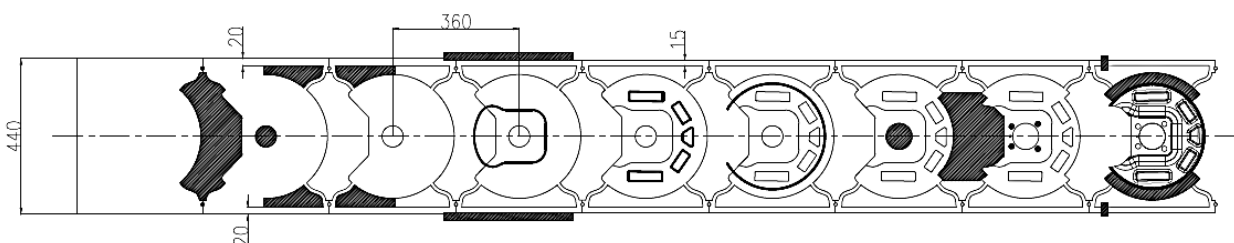
$$K = D_p + E4' = 350 + 10 = 360 \text{ mm}$$

Výpočet šíře pásu:

$$\check{S}_p = D_p + 2 F4' = 350 + 2 \times 45 = 440 \text{ mm}$$

Při návrhu nástroje je uvažováno použití materiálu ve svitku a využití podávacího zařízení. Výrobky jsou řazeny na páse jednotlivě za sebou. Je navrženo 9 výrobních operací:

- 1) 1. krok – ostřih kontury přístřihu
- 2) 2. krok – ostřih kontury přístřihu a prostřih středového otvoru
- 3) 3. Krok – ostřih kontury přístřihu
- 4) 4. Krok – tažení středového tvaru
- 5) 5. Krok – lisování prolisů
- 6) 6. Krok – lisování lemu
- 7) 7. Krok – ostřih vnější kontury a prostřih středového otvoru
- 8) 8. Krok – prostřih otvorů
- 9) 9. Krok – ostřih vnější kontury, odstřížení součásti od ramen, přestřížení okrajů plechu



Obr. 4.3 Uspořádání vylisku na páse – varianta 2.

## 4.2 Ekonomické využití plechu

Maximální využití materiálu je důležitý předpoklad pro efektivní výrobu. Lze ovlivnit při návrhu nástroje. Následuje porovnání a vyhodnocení výše zmíněných variant.

### 4.2.1 výpočet ekonomického využití plechu – varianta 1.

Materiál je odvíjen ze svitku.

Parametry svitku:

Tloušťka plechu

$$t = 0,001 \text{ m}$$

Šířka svitku dle nástřihového plánu

$$\check{s}_p = 0,38 \text{ m}$$

Vnitřní průměr svitku

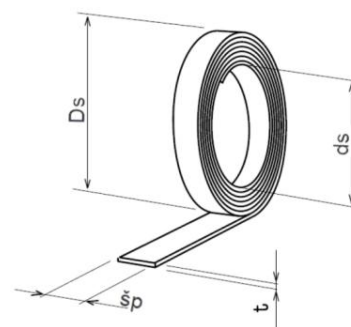
$$d_s = 0,6 \text{ m}$$

Vnější průměr svitku

$$D_s = 1,2 \text{ m}$$

Hustota materiálu

$$\rho = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$



Hmotnost svitku  $m_s$ :

$$m_{sv} = \pi \cdot \frac{D_s^2 - d_s^2}{4} \cdot \check{s}_p \cdot \rho \text{ [kg]} \quad (4.1)$$

$$m_{sv} = \pi \cdot \frac{1,2^2 - 0,6^2}{4} \cdot 0,38 \cdot 7850 = 2530 \text{ kg}$$

Rozvinutá délka svitku  $L_s$ :

$$L_s = \frac{m_{sv}}{\check{s}_p \cdot t \cdot \rho} \text{ [mm]} \quad (4.2)$$

$$L_s = \frac{2530}{0,38 \cdot 0,001 \cdot 7850} = 848139 \text{ mm} = 848,139 \text{ m}$$

Počet výstřížků ze svitku:

délka kroku  $k = 0,36 \text{ m}$

$$n = \frac{L_s}{k} \text{ [ks]} \quad (4.3)$$

$$n = \frac{848,139}{0,36} \text{ [ks]} = 2355 \text{ ks}$$

Využití materiálu:

Pro výpočet využití materiálu byla použita plocha součásti bez vnitřních otvorů, která byla určena z 3D CAD konstrukčního programu.

plocha vyráběné součásti  $S = 72811 \text{ mm}^2 \div 0,0728 \text{ m}^2$

$$K_m = \frac{S \cdot n}{L_s \cdot \check{s}_p} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (4.4)$$

$$K_m = \frac{0,0728 \cdot 2355}{848 \cdot 0,38} \cdot 100 \text{ [%]} = 53,2 \text{ %}$$

#### 4.2.2 výpočet ekonomického využití plechu – varianta 2.

Materiál je odvíjen ze svitku.

Parametry svitku:

Tloušťka plechu

$$t = 0,001 \text{ m}$$

Šířka svitku dle nástřihového plánu

$$\check{s}_p = 0,44 \text{ m}$$

Vnitřní průměr svitku

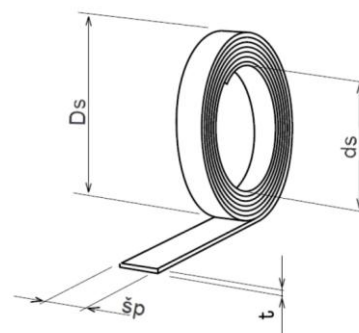
$$d_s = 0,6 \text{ m}$$

Vnější průměr svitku

$$D_s = 1,2 \text{ m}$$

Hustota materiálu

$$\rho = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$



Hmotnost svitku  $m_s$ :

$$m_{sv} = \pi \cdot \frac{D_s^2 - d_s^2}{4} \cdot \check{s}_p \cdot \rho \text{ [kg]} \quad (4.1)$$

$$m_{sv} = \pi \cdot \frac{1,2^2 - 0,6^2}{4} \cdot 0,44 \cdot 7850 = 2930 \text{ kg}$$

Rozvinutá délka svitku  $L_s$ :

$$L_s = \frac{m_{sv}}{\dot{s}_p \cdot t \cdot \rho} \text{ [mm]} \quad (4.2)$$

$$L_s = \frac{2530}{0,44 \cdot 0,001 \cdot 7850} = 840292 \text{ mm} = 840,292 \text{ m}$$

Počet výstřížků ze svitku:

délka kroku  $k = 0,44 \text{ m}$

$$n = \frac{L_s}{k} \text{ [ks]} \quad (4.3)$$

$$n = \frac{848,139}{0,44} \text{ [ks]} = 1927 \text{ ks}$$

Využití materiálu:

Pro výpočet využití materiálu byla použita plocha součásti bez vnitřních otvorů, která byla určena z 3D CAD konstrukčního programu.

plocha vyráběné součásti  $S = 72811 \text{ mm}^2 \div 0,0728 \text{ m}^2$

$$K_m = \frac{S \cdot n}{L_s \cdot \dot{s}_p} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (4.4)$$

$$K_m = \frac{0,0728 \cdot 1927}{840 \cdot 0,44} \cdot 100 \text{ [%]} = 37,96 \text{ %}$$

#### **4.2.3 Vyhodnocení variant ekonomického využití plechu**

Z výpočtu vyplývá, že nejvhodnější variantou z hlediska ekonomického využití plechu, je varianta č. 1. Protože se jedná o větší díl, je i tato varianta výhodnější z hlediska složitosti nástroje. U varianty č. 2 dochází k postupnému ostřížení tvaru v konečné operaci, což by mělo za následek viditelné stopy na okrajích výlisku. Z těchto výše uvedených důvodů byla vybrána varianta č. 1.

## 5 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY

Byly provedeny technologické výpočty pro použité technologické metody během celého výrobního procesu, a to prostřihání, tažení a tvorby prolisů.

### 5.1 Výpočty pro technologii stříhání

Výpočty pro technologii stříhání byly provedeny pro celý střížný proces, který zahrnuje obstřížení přístřihu, stříh otvorů pro hledáčky, stříh otvorů a finální kontury, a odstřížení výlisku od pásu.

#### 5.1.1 Výpočet střížné síly

Výpočet střížné síly a práce je proveden pro střížníky zvolené varianty výroby.

##### Střížná plocha

Střížná plocha se spočítá součinem celkové délky střížných částí a tloušťky materiálu. Vzhledem k tvarové složitosti byla celková střížná plocha zjištěna v CAD 3D programu.

##### Výpočet střížné síly

Pro výpočet střížné síly je použit vztah (2.1) z kapitoly 2.3.

$$F_s = k_o \cdot \tau_s \cdot S \quad [\text{N}]$$

$$F_s = 1,3 \cdot 288 \cdot 4445 = 1664208 \quad \text{N}$$

$$S = 4445 \text{ mm}^2$$

$$\tau_s = 0,8 \cdot 360 = 288 \text{ MPa}$$

$k_o$  – koeficient opotřebení zvolen 1,3

$R_m$  – pro ocel 11 305.21 je 360 MPa

#### 5.1.2 Výpočet střížné práce

Pro výpočet střížné práce použijeme vztah (2.4) z kapitoly 2.5. Velikost součinitele  $\lambda$  byl zvolen 0,6.

$$A_s = \lambda \cdot F_s \cdot s \quad [\text{J}]$$

$$A_s = 0,6 \cdot 1664208 \cdot 1 = 998524,8 \text{ J} = 998,5 \text{ kJ}$$

#### 5.1.3 Stírací a protlačovací síly

Pro výpočet stírací a protlačovací síly použijeme vztahy (2.2) a (2.3) z kapitoly 2.4.

##### Výpočet stírací síly

Velikost součinitele  $c_1$  byl zvolen 0,08.

$$F_{st} = c_1 \cdot F_s \quad [\text{N}]$$

$$F_{st} = 0,08 \cdot 1664208 = 133137 \text{ N}$$

##### Výpočet protlačovací síly

Velikost součinitele  $c_2$  byl zvolen 0,05.

$$F_{pr} = c_2 \cdot F_S \text{ [N]}$$

$$F_{pr} = 0,05 \cdot 1664208 = 83210 \text{ N}$$

### 5.1.4 Výpočet velikosti střížné vůle

Pro výpočet střížné vůle je použit vztah 2.5 a 2.6 z kapitoly 2.6.1. Velikost součinitele  $c$  volíme 0,01.

$$v = 2 \cdot z \text{ [mm]}$$

$$v = 2 \cdot 0,054 = 0,108 \text{ mm}$$

$$Z_S = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]}$$

$$Z_S = 0,01 \cdot 1 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{288} = 0,054 \text{ mm}$$

Dle výpočtu by vůle mezi střížníkem a střížnicí měla být 0,108 mm (střížná mezera 0,054 mm).

## 5.2 Výpočet pro technologii tažení

Výpočty pro technologii tažení byly proveneny pro tažení prostřední tvarové části a pro lisování prolisů.

### 5.2.1 Stanovení součinitele tažení a počtu tahů

Jelikož se jedná o nesymetrickou součást, byl počet tahů určen dle tabulky 3.3 z kapitoly 3.4.2. Z tabulky je možné určit maximální dosažitelnou výšku výtažku pro výtažek s vnitřním rádiusem 21 mm (který je na vnitřní straně vybrání). Při prvním tahu je tedy možné dosáhnout až čtyř násobek poloměru vnitřního rádiusu, tedy 84 mm.

Hloubka výtažku je 30 mm, z tohoto je tedy patrné, že je možné provést celou hloubku vnitřního vybrání na jeden tah.

### 5.2.2 Určení tažné mezery

Určení tažné mezery dle vztahu (3.25) z kapitoly 3.4.4.

$$t_m = 1,30 \cdot t$$

$$t_m = 1,30 \cdot 1 = 1,3 \text{ mm}$$

Tažná mezera bude stejná po celém obvodu výtažku.

### 5.2.3 Velikost tažné síly

Pro výpočet tažné síly bylo uvažováno, jako kdyby byl výtažek celý uzavřený. Celková velikost tažné síly dle vztahu (3.27) z kapitoly 3.4.5, je součet tažné síly pro čtyři rohy  $F_{t1}$  a pro tažné síly pro přímé stěny výtažku  $F_{t2}$ . Hodnoty koeficientů byly určeny  $C_1=1$  a  $C_2=0,3$ . Poloměr rádiusů na vnitřní straně výtažku je  $R=36$  mm.

$$F_t = F_{t1} + F_{t2} = t \cdot R_m (2\pi \cdot R \cdot C_1 + L \cdot C_2) \text{ [N]}$$

$$F_t = 1 \cdot 360 (2\pi \cdot 36 \cdot 1 + 375 \cdot 0,3) = 121860 \text{ N}$$

### 5.2.4 Velikost přidržovací síly

Pro určení přidržovací síly je použit vztah (3.14) z kapitoly 3.3.5.

$$F_p = S_p \cdot p_p$$

$$F_p = 56000 \cdot 0,8 = 44800 \text{ N}$$

### 5.2.5 Výpočet pro výrobu prolisů

Velikost síly na vylisování prolisu, vztah (3.30) z kapitoly 3.5. Součet délky všech prolisů je 423 mm.

$$F_{protis} = L_{protis} \cdot s \cdot R_m \cdot k \text{ [N]}$$

$$F_{protis} = 423 \cdot 1 \cdot 360 \cdot 0,7 = 106596 \text{ N}$$

### 5.2.6 Tažná práce

Velikost tažné práce je použit vztah (3.16) z kapitoly 3.3.6.

$$A_t = \frac{c \cdot F_C \cdot h}{1000} \text{ [J]}$$

$$A_t = \frac{0,66 \cdot 121860 \cdot 35}{1000} = 28145 \text{ J}$$

### 5.2.7 Zaoblení tažných hran

#### Zaoblení tažných hran tažnice

Pro výpočet tažných hran jsou použity vzorce 3.31 a 3.33 z kapitoly 3.7.1

$$r_{tc} = (8 \div 10) \cdot t_0$$

$$r_{tc} = 10 \cdot 1 = 10 \text{ mm}$$

#### Zaoblení tažných hran tažníku

$$r_{tv} = (1 \text{ až } 2) \cdot r_{tc}$$

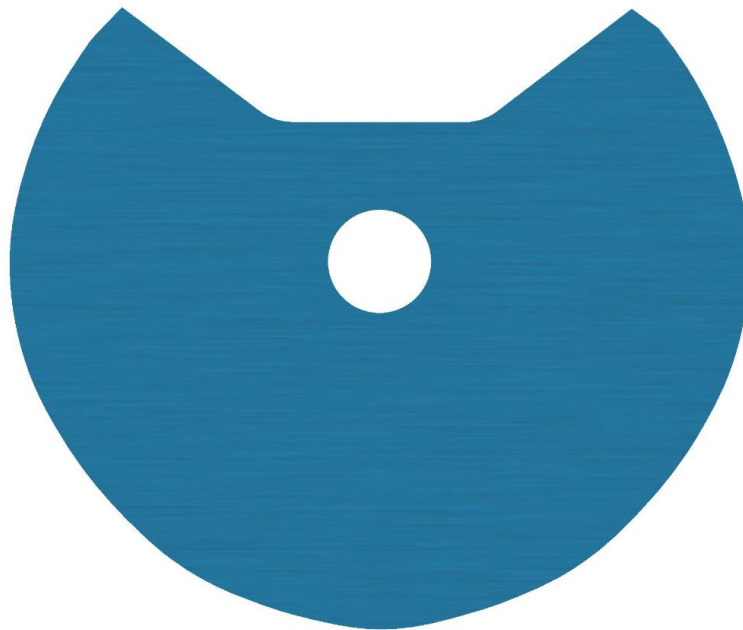
$$r_{tv} = 1 \cdot 10 = 10 \text{ mm}$$

Vzhledem k tažení na jeden tah jsou zaoblení tažných hran definovány tvarem součásti.

## 5.3 Numerická simulace s využitím programu AutoForm

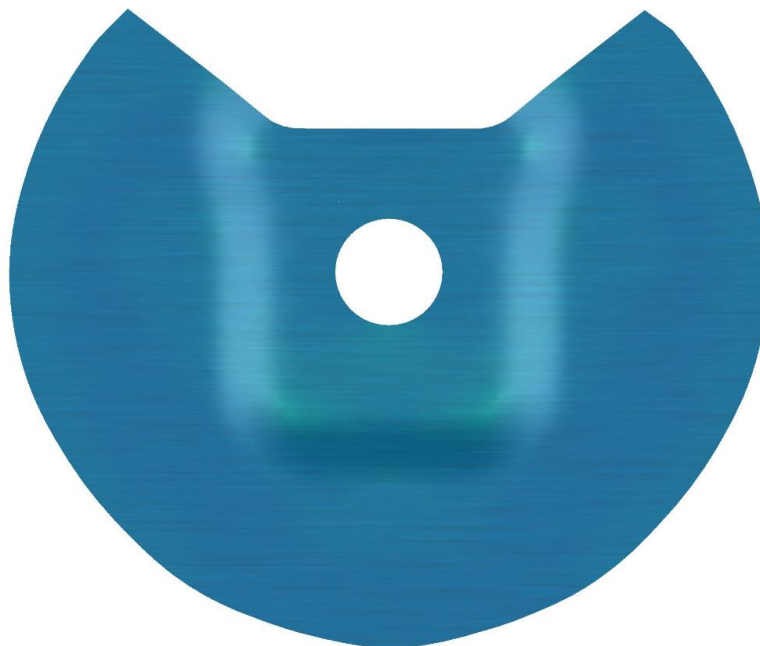
Simulace procesu tváření probíhala v programu AutoForm, a to dle uvažovaného postupu celého postupného procesu tváření. Proces simulace byl proveden a popsán dle jednotlivých technologických operací, zahrnující riziková místa zeslabení materiálu, tahových napětí, a také tlakových napětí, která mohou způsobovat zvlnění materiálu. Součástí simulace je i FLD diagram. Výsledná tažná síla pro středový tvar ze simulačního programu je 104 kN, což je o 17 kN méně, než u ručního výpočtu, kde byl výpočet proveden na celý uzavřený tvar. Přidržovací síla pro optimální vytažení výlisku, bez zvlnění je 150 kN.

Na obr. 5.1 je znázorněn neoptimalizovaný přístřih z programu AutoForm. Finální kontura přístřihu použitá pro nástroj byla tvarově upravena z důvodu zjednodušení tvarů funkčních částí nástroje.



Obr. 5.1 Simulace – neoptimalizovaný přístřih.

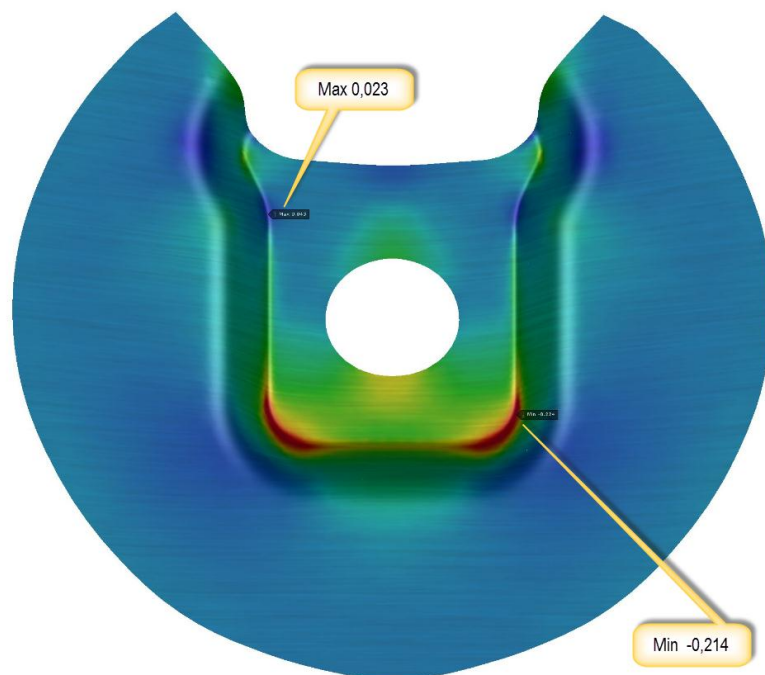
Počátek procesu tváření střední tvarové části je na obr. 5.2, kde je patrná malá deformace.



Obr. 5.2 Simulace – průběh tváření středové části.

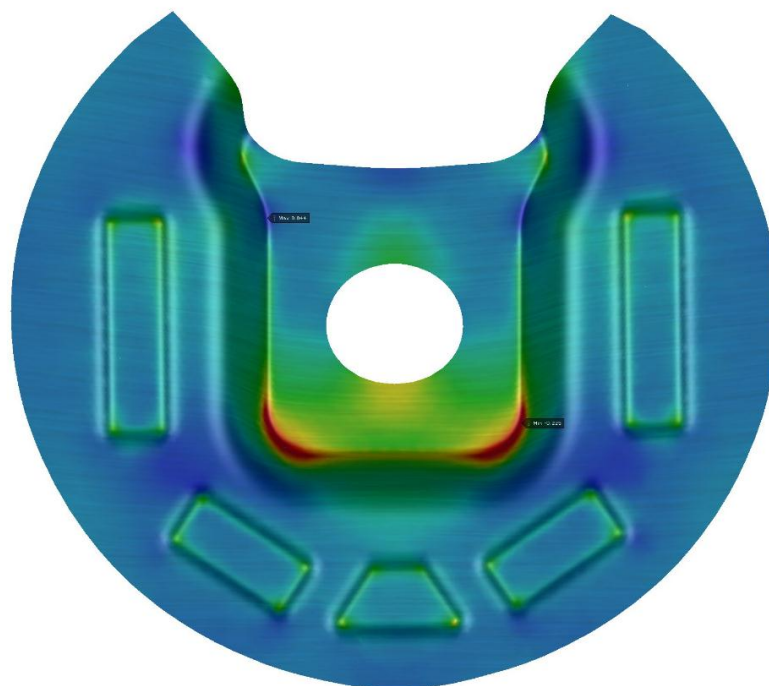
Na obr. 5.3 je dokončené tváření střední části. Z obrázku je patrné, že v rohových rádiusech na spodní části tvaru je oblast, kde dochází k zeslabení materiálu okolo 20 %. Tmavě modrá barva představuje oblasti, kde dochází k pěchování materiálu.



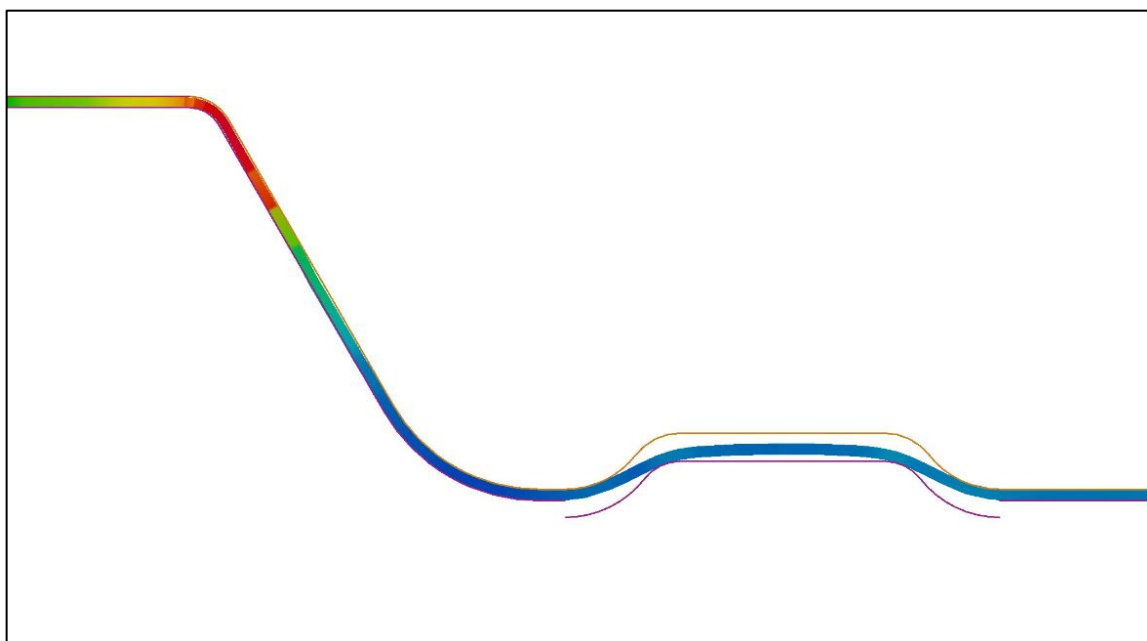


Obr. 5.3 Simulace – dokončené tváření středové části.

Tváření prolisů je znázorněno na obr. 5.4 a 5.5.

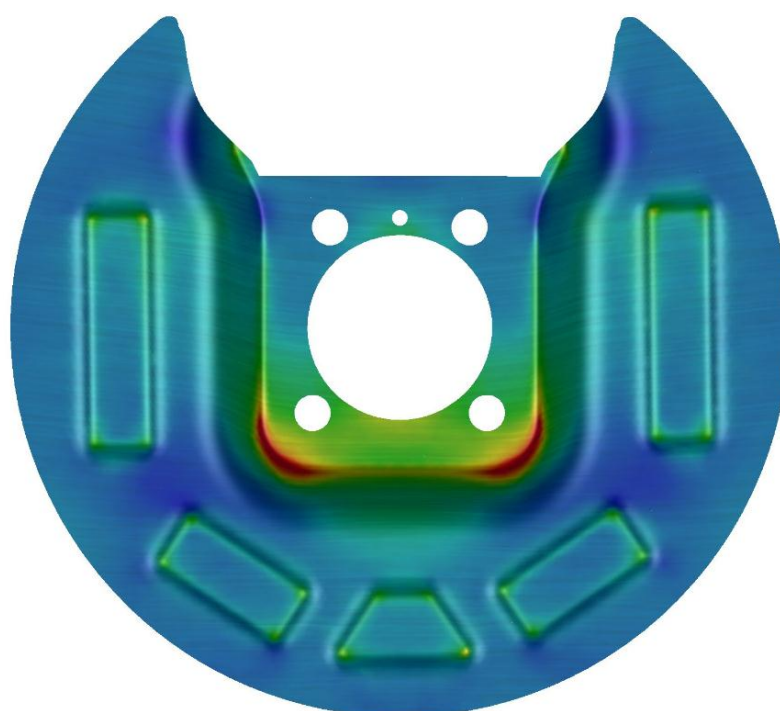


Obr. 5.4 Simulace – tváření prolisů.



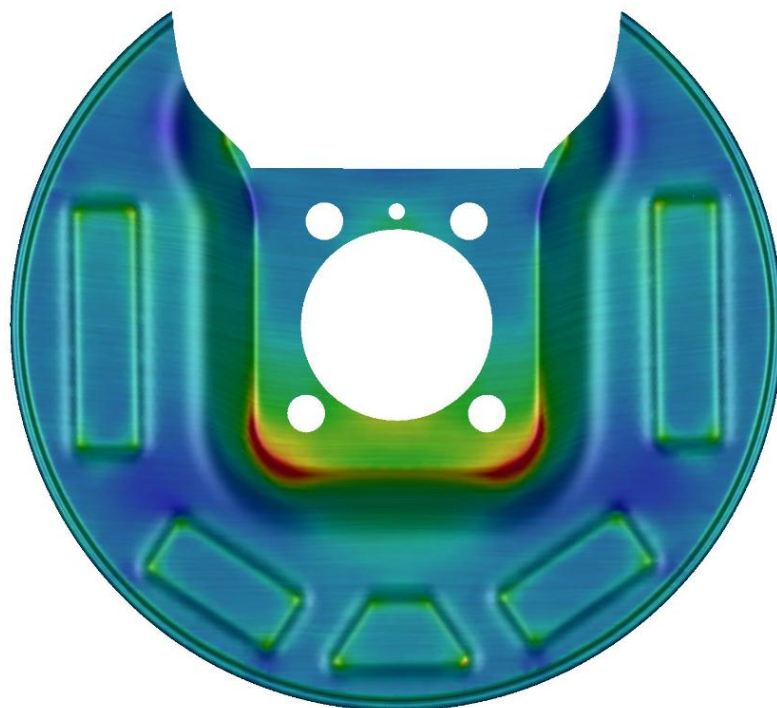
Obr. 5.5 Simulace – průběh tváření prolisů.

Na obr. 5.6 je fáze ostřížení finální vnější kontury, díry ve středu součásti a dále prostřížení vnitřních děr.

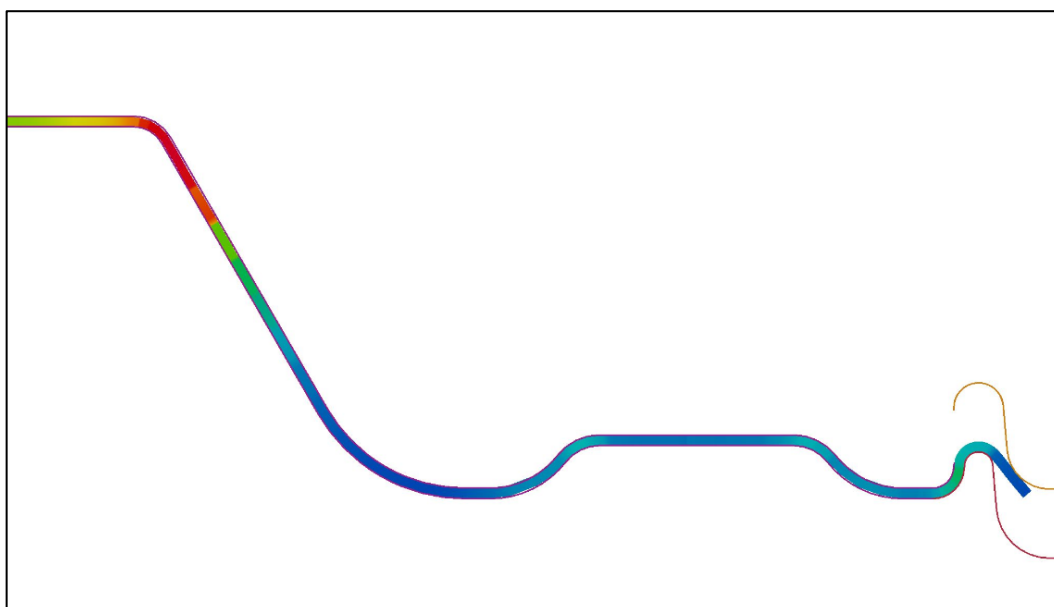


Obr. 5.6 Simulace – ostřížení finální kontury.

Konečná fáze tváření je znázorněna na obr. 5.7 a 5.8, kde dochází k lemování vnějšího okraje součásti.

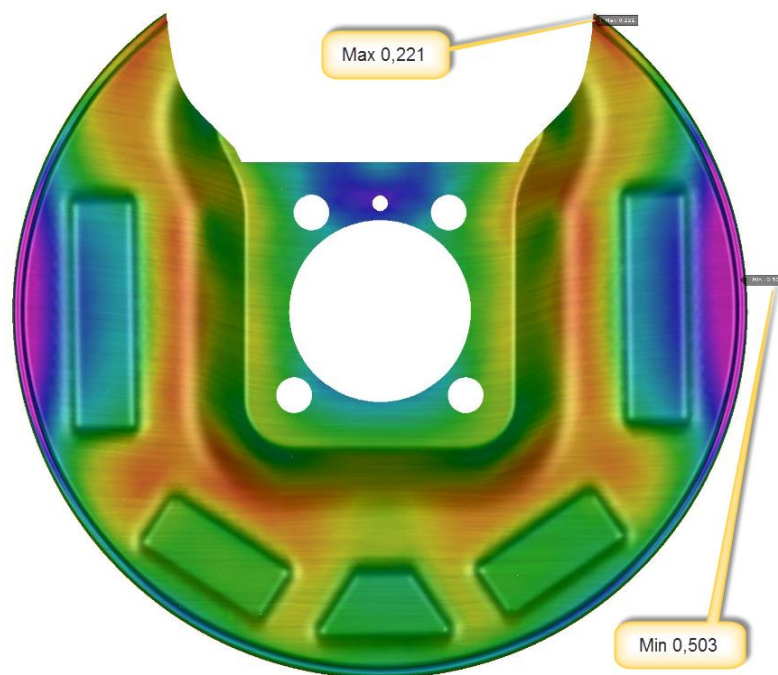


Obr. 5.7 Simulace – lemování vnějšího okraje součásti.



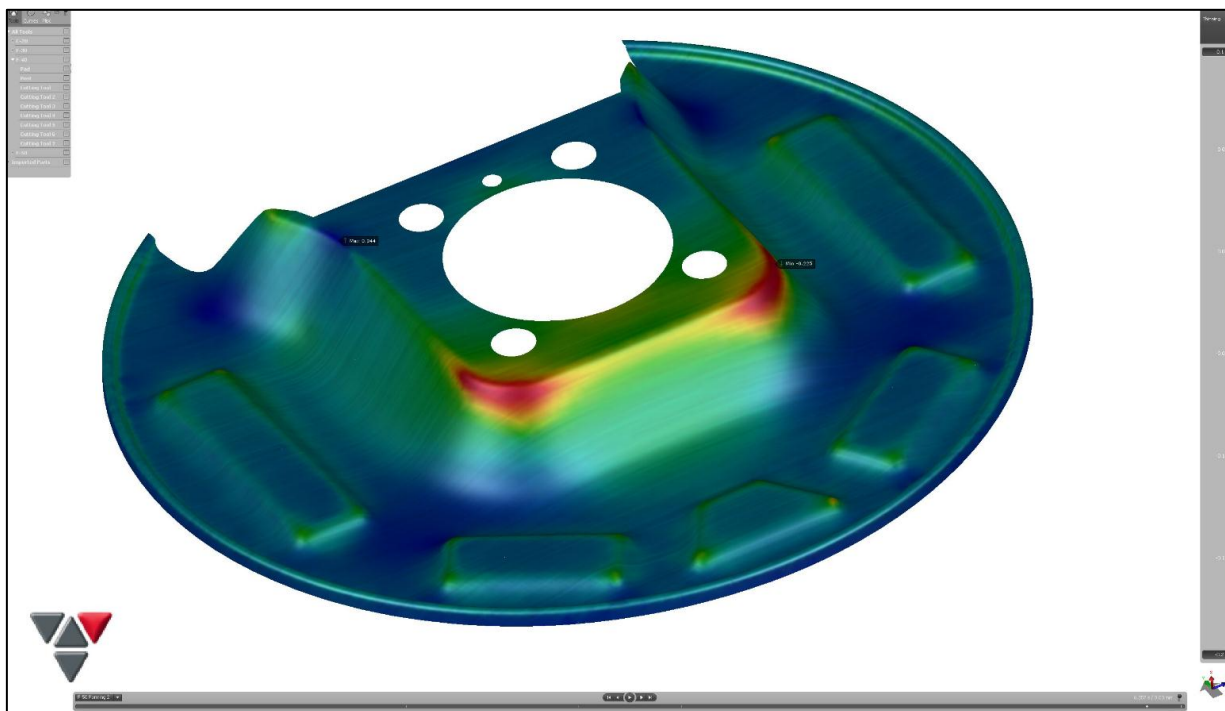
Obr. 5.8 Simulace – průběh procesu lemování vnějšího okraje.

Obr. 5.9 znázorňuje místa, kde bude docházet k největšímu odpružení po lemování, v záporných a kladných hodnotách.



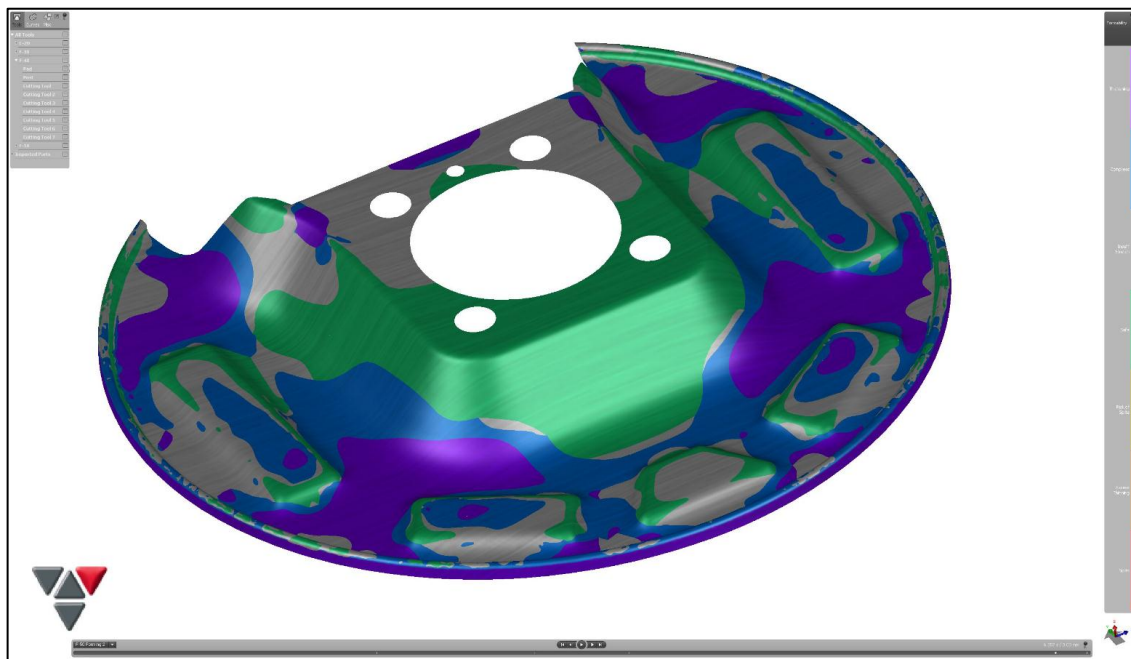
Obr. 5.9 Simulace – odpružení po lemování.

Na obr. 5.10 je znázorněn konečný stav tváření s oblastmi, kde dochází ke ztenčení stěny a k pěchování materiálu.



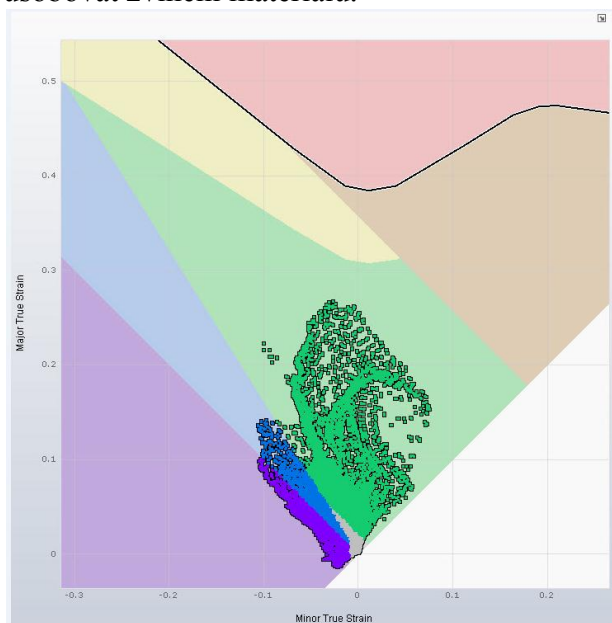
Obr. 5.10 Simulace – oblast ztenčení stěny a pěchování materiálu.

Rozložení napětí v různých oblastech výlisku je znázorněno na obr. 5.11, kde zelená barva představuje bezpečnou oblast. Žlutá až červená, představuje oblasti kde je větší tahové napětí, které může vést až k porušení materiálu. Modré až fialové oblasti představují tlakové napětí. V těchto oblastech může docházet ke zvlnění materiálu.



Obr. 5.11 Simulace – oblast ztenčení stěny a pěchování.

Z FLD diagramu na obrázku 5.12, je patrné, že během procesu tváření se nevyskytují tahová napětí, která by představovala rizika v podobě prasklin materiálu. Tyto napětí jsou v bezpečné zelené zóně. V určitých oblastech, znázorněné fialovou barvou, jsou ale tlaková napětí, která mohou způsobovat zvlnění materiálu.



Obr. 5.12 Simulace – FLD diagram.

## 6 NÁVRH TVÁŘECÍHO STROJE [31, 32]

Pro návrh stroje je rozhodující velikost celkové tvářecí síly.

$$F_C = F_s + F_{pr} + F_t + F_p + F_{prolis} \quad (6.1)$$

$$F_C = 1664208 + 133137 + 121860 + 44800 + 106596 = 2070601 \text{ N} \div 2071 \text{ kN}$$

Celková tvářecí síla s hodnotami tažné a přidržovací síly se simulačního programu AutoForm je vyšší o 88 kN, tedy celková tvářecí síla  $F_C$  je 2159 kN.

Vhledem k celkové tvářecí síle a technologii výroby byl vybrán lis LDC 400 od firmy Šmeral s lisovací silou 4000 kN. Tento klikový lis je možné vybavit tažnými pneumatickými nebo hydraulickými přidržovači. Je určen pro veškeré operace tváření plechových pásů, plechových tabulí či svitků (např. pro přesné stříhání, ohýbání, prostorové tažení). V tab. 5.1 jsou uvedeny základní parametry lisu LDC 400.



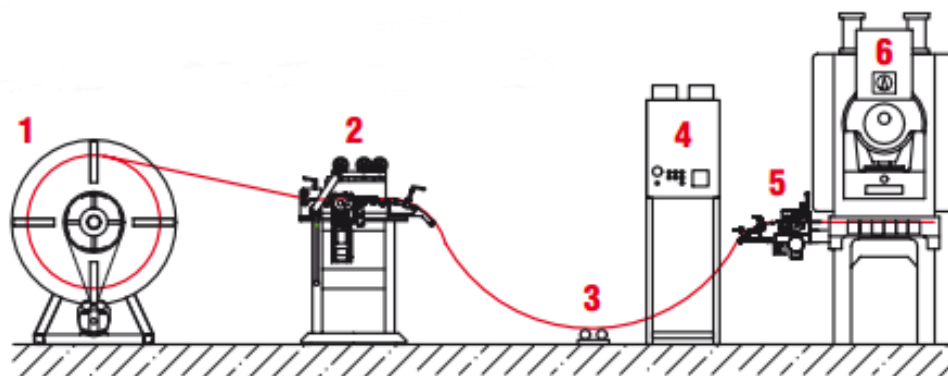
Obr. 6.1 Lis Šmeral LDC 400 [31].

Tab. 5.1 Tabulka parametrů lisu LDC 400 [31].

označení	LDC 400
lisovací síla	4000 kN
počet zdvihů – trvalý chod	200 / 130 1/min
průchod	2000 mm
celkový instalovaný výkon	45 kW
síťové napětí	380 V / 50 Hz
sevření	420 mm
plocha stolu	2450 x 880 mm

K lisu bude také použita podávací a rovnací linka ze svitku. Na obrázku 6.2 je znázorněno schéma podávací linky.

- 1) Odvíják,
- 2) rovnačka,
- 3) sledování smyčky,
- 4) ovládací panel,
- 5) podavač.



Obr. 6.2 Schéma podávací a rovnací linky [32].

Pro odvíjení pásu plechu bylo vybráno odvíjecí zařízení firmy ATTL s typovým označením AOZ40, rovnací zařízení ROA580 (obr. 6.3), jehož parametry jsou v příloze 2.



Obr. 6.3 Odvíjecí zařízení OZ40 a rovnací zařízení ROA580 [32].

## 7 POPIS FUNKCE NÁSTROJE

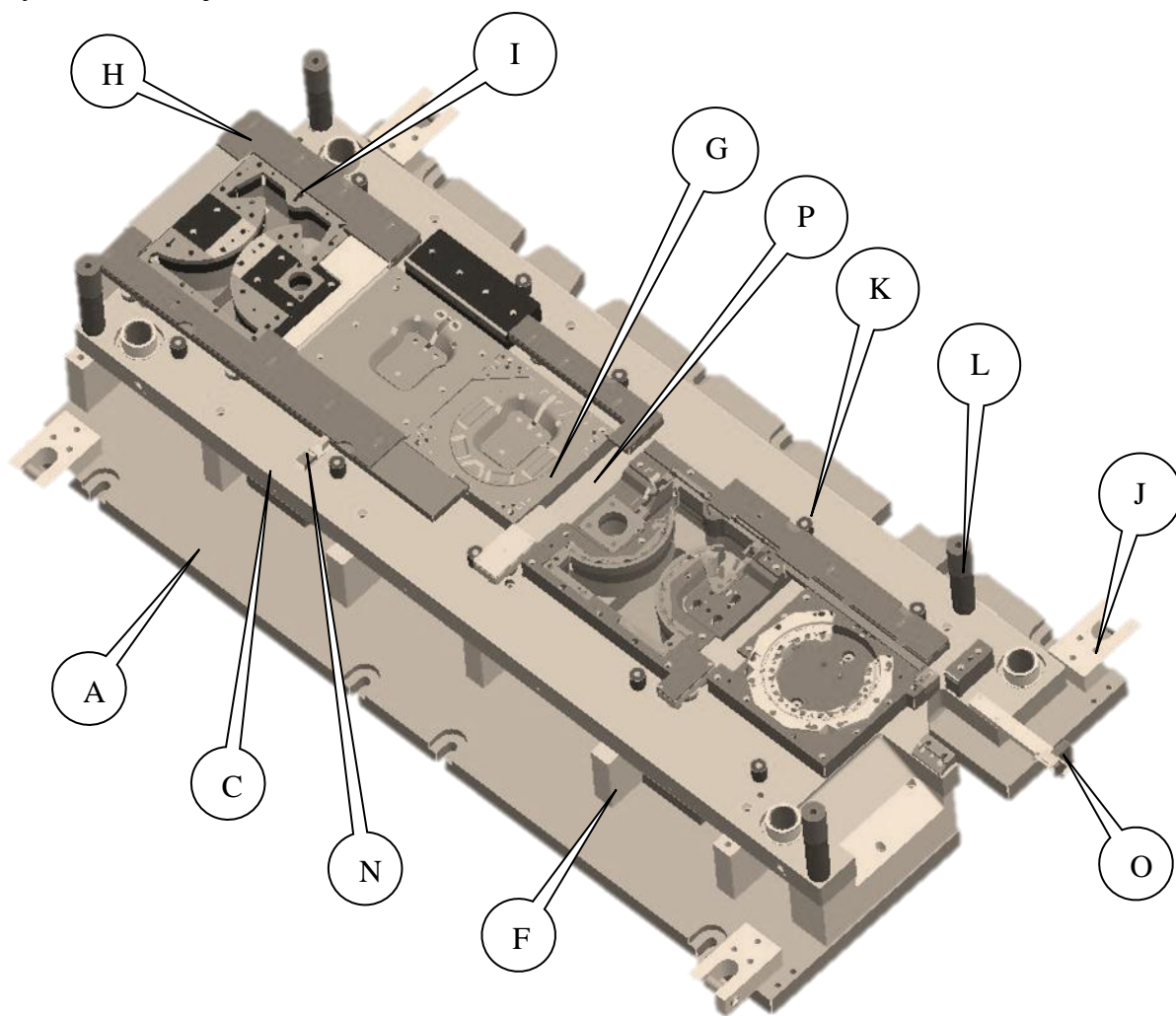
Konstrukci tvářecích nástrojů ovlivňují faktory, jako jsou velikost série, tvar a materiál výlisku. Nástroj je koncepčně navržen tak, aby obsahoval všechny nutné technologické operace nutné pro výrobu celé součásti.

Životnost nástroje je zajištěna vhodnou konstrukcí a materiálem funkčních částí. Pro tyto části byla zvolena ocel 19 573.

Nástroj má čtyř sloupkové kuličkové vedení. Vzhledem k velikosti nástroje, který má na délku c. 2500 mm, je použita koncepce (obrázek 7.1 a 7.2), která obsahuje základní upínací desky A a B, pomocné desky C a D, dále příčná žebra F, která podepírají upínací a pomocné desky. Na spodních nosných deskách jsou pomocí kolíků a šroubů připevněny jednotlivé střížné, tvářecí vložky a tažníky G. Plech pásu je veden vodícími lištami H, které jsou připevněny na pohyblivé části, která zvedá celý pás při pohybu do další pozice. Pro správnou pozici pásu jsou použity hledáčky na pozici I. Mezi tvářecími vložkami jsou zvedáče P, které zvedají pás pro pohyb do další operace.

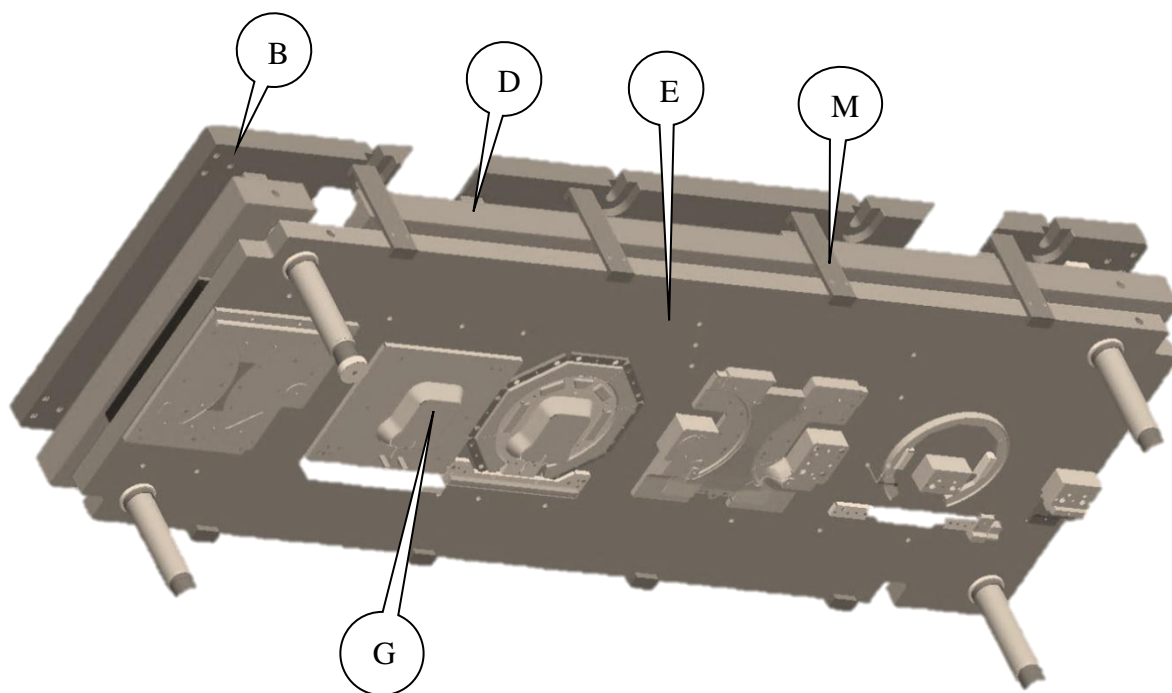
V horní části nástroje odpružená přidržovací deska E, která přidržuje plech pásu s použitím plynových pružin.

Nástroj také zahrnuje nosné prvky J, nutné pro manipulaci s nástrojem. Dále dorazy K, L. Zarážky M na horní straně nástroje přidržují odpruženou desku. Nástroj je také opatřen indukčními čidly N a O, které hlídají posuv pásu do správné pozice a správné vypadnutí výlisku z nástroje.



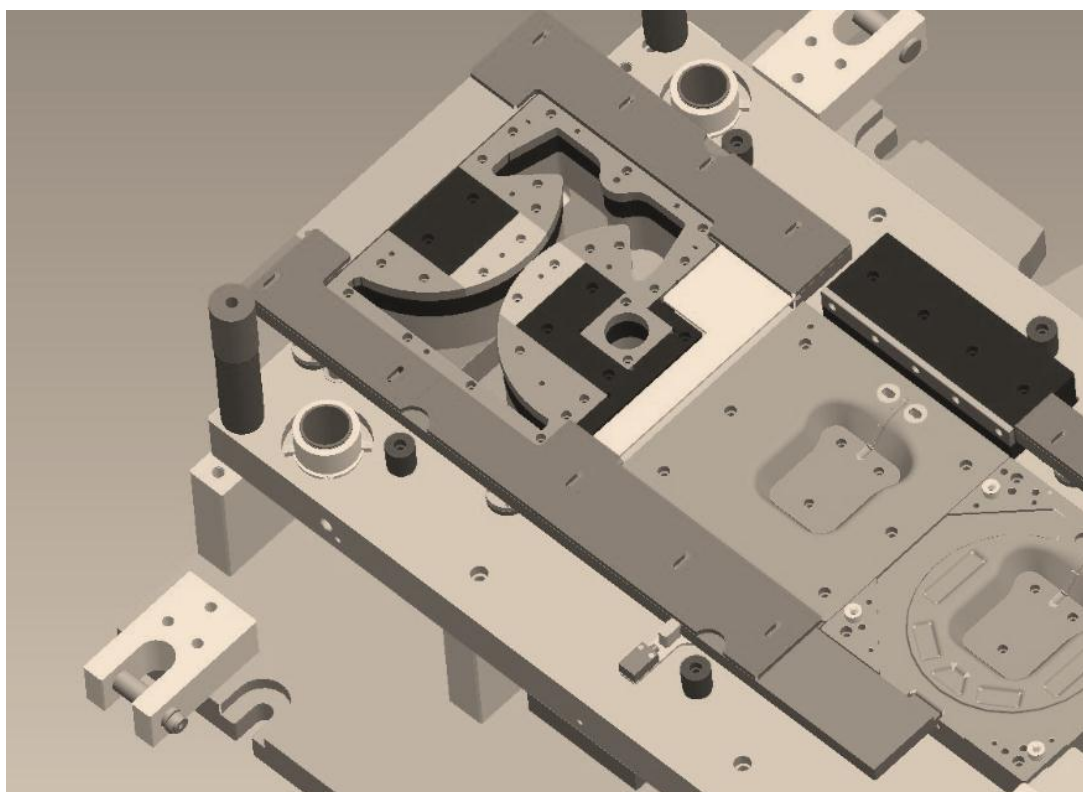
Obr. 7.1 Tvářecí nástroj – spodní část.



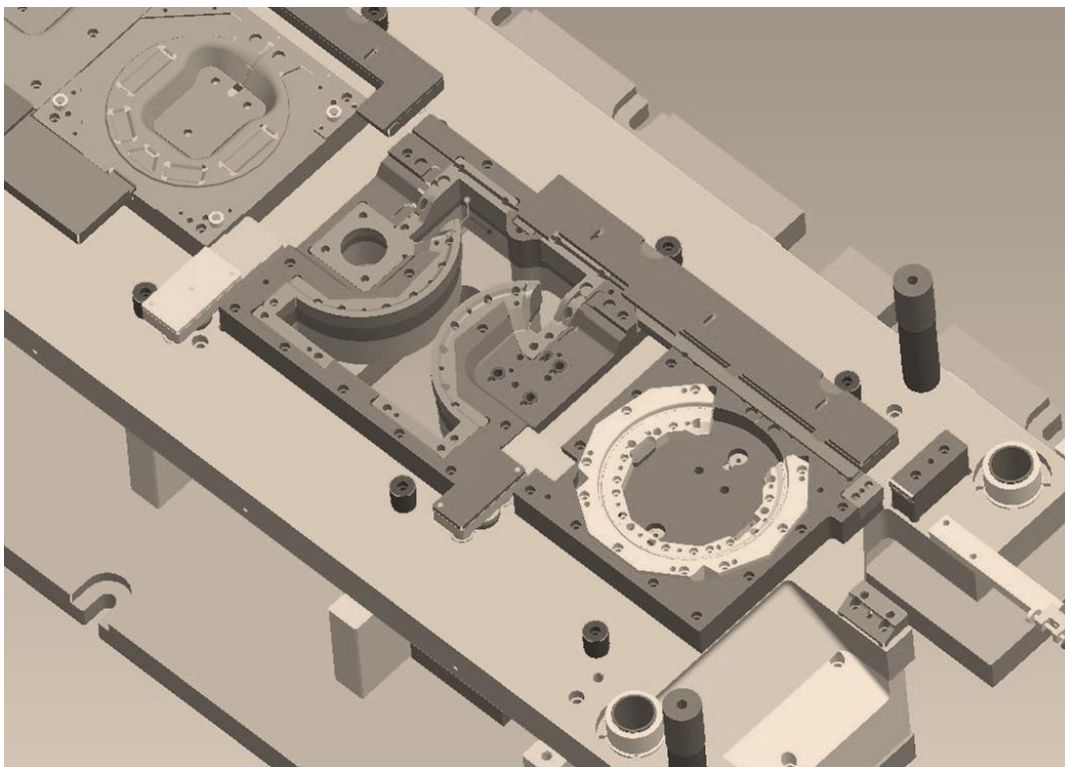


Obr. 7.2 Tvářecí nástroj – horní část.

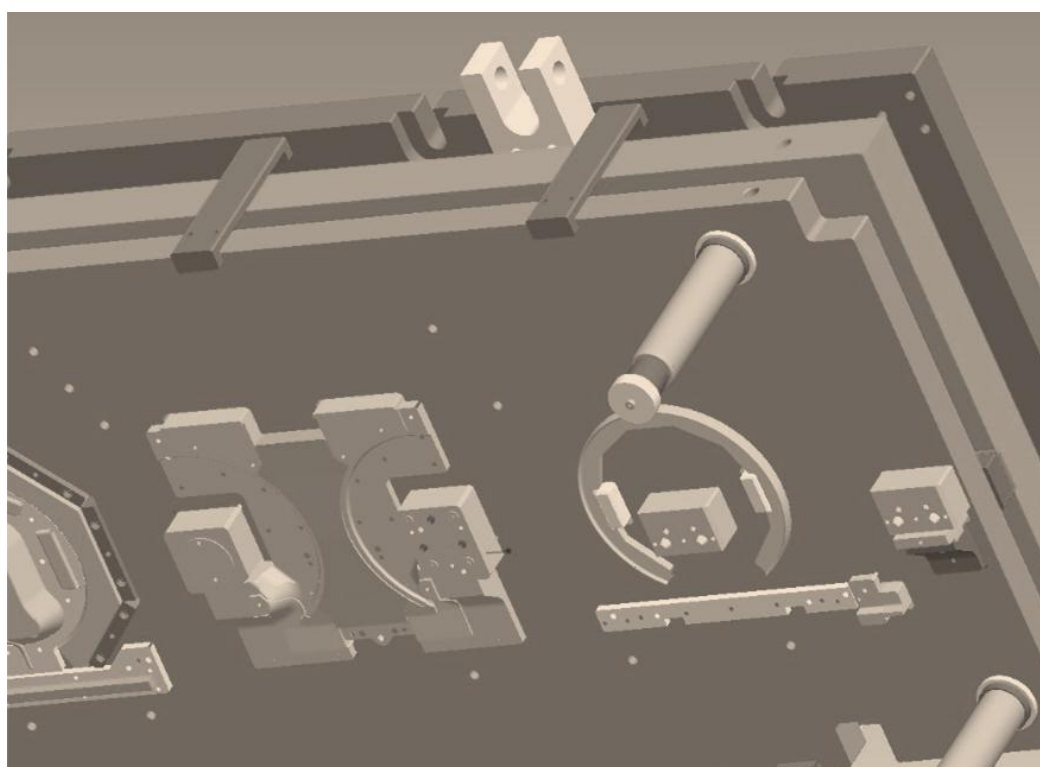
Na obrázku 7.3, 7.4, 7.5, 7.6 jsou znázorněny detaily spodní a horní části tvářecího nástroje.



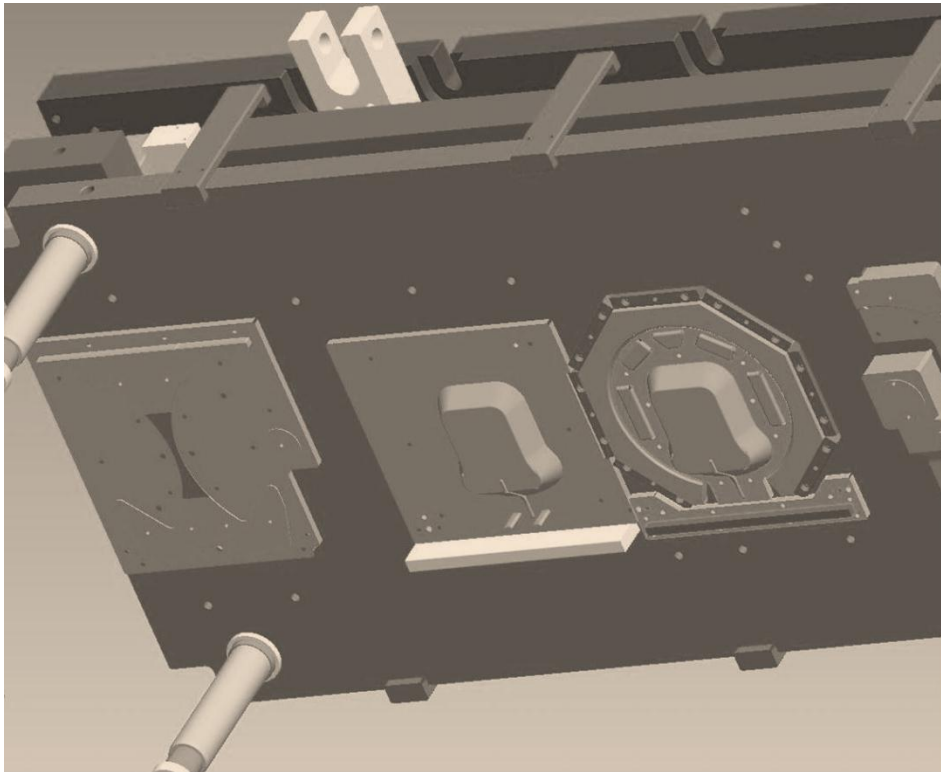
Obr. 7.3 Detail tvářecího nástroje – spodní část 1.



Obr. 7.4 Detail tvářecího nástroje – spodní část 2.



Obr. 7.5 Detail tvářecího nástroje – horní část 1.

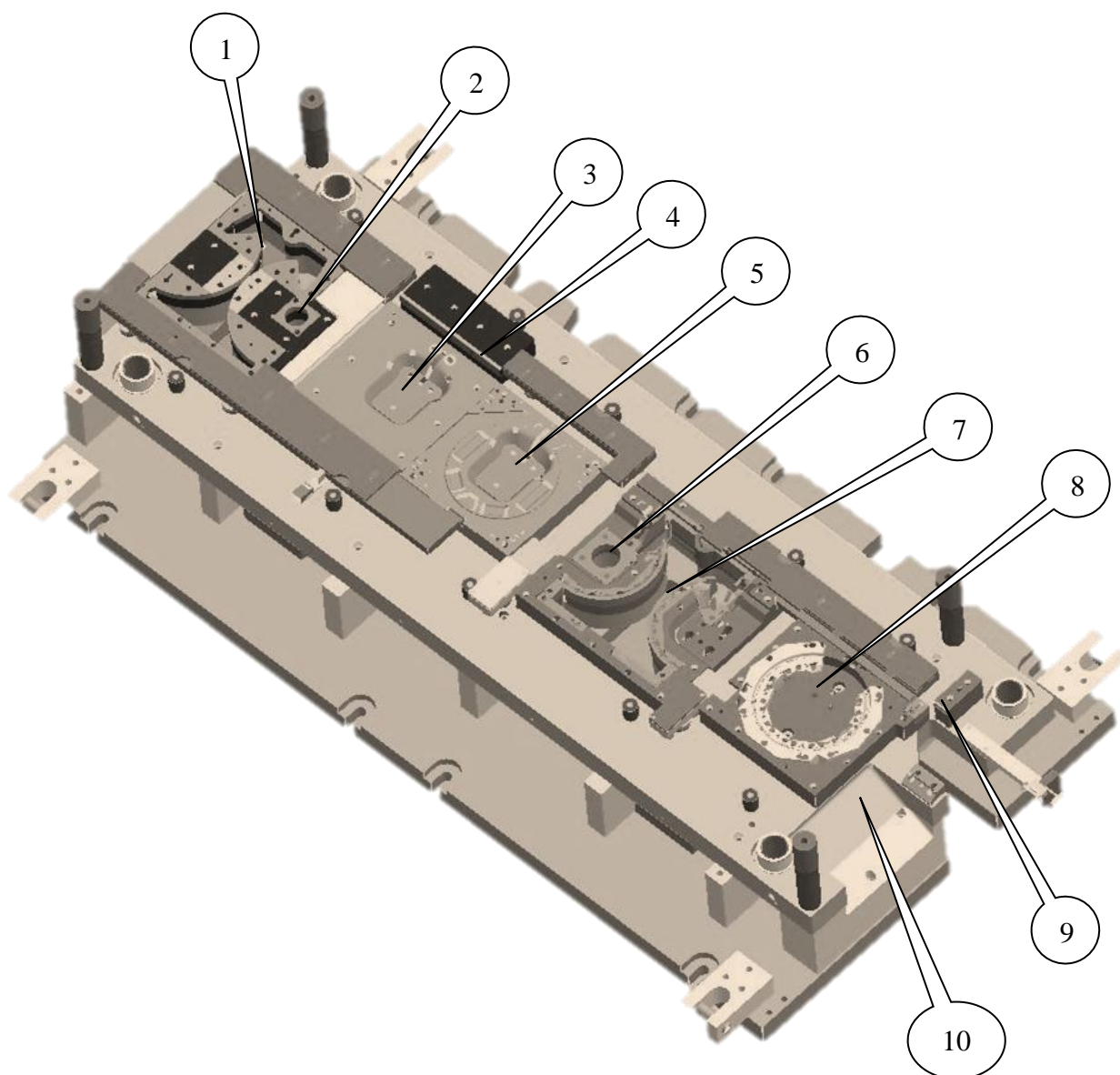


Obr. 7.6 Detail tvářecího nástroje – horní část 2.

Pás materiálu vstupuje do nástroje z levé strany. Výlisek je vytvářen postupně jednotlivými technologickými operacemi v následujících krocích, které jsou pro názornost označeny na obr. 7.7.

- 1) V této pozici je střížení kontury přístřihu, s tím že po tomto ostřížení je výlisek přidržován k pásu pouze na jedné straně. Dále je zde proveden otvor pro hledáčky.
- 2) Střih vnitřního otvoru součásti s technologickým přídavkem, pro uvolnění materiálu pro lepší tvářecí proces.
- 3) V této oblasti dochází k tváření vnitřní tvarové části výlisku.
- 4) Z důvodu zamezení pohybu pásu při tváření vnitřního tvaru, je provedeno v této oblasti ohnutí části pásu o hranu tvářecí vložky. A také je zde provedeno protažení dvou límců, které také omezují pohyb pásu směrem do středu nástroje.
- 5) Na této pozici je tváření prolisů, které jsou po obvodu v ploché části výlisku.
- 6) Provedení vnitřních děr na spodní části výlisku.
- 7) Obstřížení konečné kontury výlisku.

- 8) Na této pozici je tváření obvodového lemu součásti.
- 9) Zde dochází k ostřížení můstku, který přidržuje výlisek k okraji pasu.
- 10) Oblast kde dochází k vypadnutí výlisku z nástroje.



Obr. 7.7 Tvářecí nástroj – přehled technologických operací.

## 8 TECHNICKO - EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Sdružený nástroj je navržen z technologického hlediska tak, aby výrobní náročnost byla co nejmenší, a ekonomicky nejvýhodnější. I přes poměrně složitý tvar výlisku je nástroj koncipován tak, že dovoluje výrobu celého výrobku, aniž by bylo nutné použití dalších nástrojů, nebo přípravků.

Z hlediska složitosti nástroje, a vzhledem k typu výrobku je jeho nesdílňnou součástí i údržba, aby byl zabezpečen optimální provoz nástroje. Pro eliminaci případného výpadku produkce, např. z důvodu poškození funkčních částí, je doporučeno mít ve skladových zásobách náhradní díly některých funkčních částí nástroje.

Z hlediska ekonomické výhodnosti byla provedena kalkulace přímých a nepřímých nákladů. Dále určen bod zvratu, při jakém množství výroby začne být výroba tohoto výrobku v zisku.

Ekonomické hodnocení je na základě stanovení celkových nákladů na výrobu jednoho kusu výrobku na základě určené technologie a dále stanovení bodu zvratu, který určuje hranici ziskovosti výroby. Předpokládané výrobní množství je 500 000 ks/rok.

Složení nákladů, které se promítají do celkové ceny je následující:

- náklady na materiál,
- náklady na mzdy,
- ostatní přímé náklady,
- režie,
- zisk.

### 8.1 Přímé náklady

Jedná se o náklady přímo přiřaditelné k jednotlivým výkonům např. náklady na materiál, na mzdy, ostatní přímé náklady.

#### 8.1.1 Náklady na materiál

Celková hmotnost svitků:

Pro uvažované množství vyráběných kusů je potřeba  $n_{sv} = 212,3$  ks svitků, hmotnost jednoho svitku je  $m_{sv} = 2530$  kg

$$\begin{aligned} m_{svc} &= m_{sv} \cdot n_{sv} \text{ [kg]} \\ m_{svc} &= 2530 \cdot 212,3 = 537\,119 \text{ kg} \end{aligned} \quad (8.1)$$

Náklady na pořízení materiálu

$$\begin{aligned} N_{sv} &= m_{svc} \cdot (C_m + D_m) \\ N_{sv} &= 537\,119 \cdot (26 + 0,05) = 13\,991\,949 \text{ Kč} \end{aligned} \quad (8.2)$$

Kde:

$C_m$  – cena materiálu ve svitku (26 Kč/kg),

$D_m$  – cena dopravy na kg materiálu (0,05 Kč/kg).

Hmotnost uvažovaného množství

$$m_{vc} = m_v \cdot Q \quad (8.3)$$

$$m_{vc} = 0,512 \cdot 500000 = 256\,000 \text{ kg}$$

Kde:

$m_v$  – hmotnost výrobku 0,512 kg.

#### Hmotnost celkového odpadu

$$m_{co} = m_{svc} - m_{vc} \quad (8.4)$$

$$m_{co} = 533510 - 256000 = 277\,510 \text{ kg}$$

#### Cena celkového odpadu

$$C_{zo} = m_{co} \cdot C_o \quad (8.5)$$

$$C_{zo} = 277510 \cdot 6 = 1\,665\,060 \text{ Kč}$$

Kde:

$C_o$  – výkupní cena odpadu – 6 Kč/kg

#### Čisté náklady na materiál

$$N_{m\check{c}} = N_{sv} - C_{zo} \quad (8.6)$$

$$N_{m\check{c}} = 13\,991\,949 - 1\,665\,060 = 12\,326\,889 \text{ Kč}$$

#### Čisté náklady na materiál jednoho kusu

$$N_{m\check{c}1} = \frac{N_{m\check{c}}}{Q} \quad (8.7)$$

$$N_{m\check{c}1} = \frac{12\,326\,889}{500000} = 24,65 \text{ Kč/ks}$$

### 8.1.2 Náklady na mzdy

Počet zdvihů lisů  $n_z = 32 \text{ min}^{-1}$ ; osmihodinová pracovní doba  $W = 8\text{h}$ ; počet vyrobených přístřihu z jednoho svitku  $n_v = 2355 \text{ ks}$ .

#### Počet použitých svitků za směnu:

$$n_{nsvsm} = \frac{n_z \cdot 60 \cdot W}{n_v} \quad (8.8)$$

$$n_{nsvsm} = \frac{32 \cdot 60 \cdot 8}{2355} = 6,5 \text{ svitky/směnu}$$

#### Čas přípravy svitků za směnu:

Příprava jednoho svitku trvá cca 15 min = 0,25 h

$$t_{pc} = 0,25 \cdot n_{nsvsm} \quad (8.9)$$

$$t_{pc} = 0,25 \cdot 6,5 = 1,6 \text{ h/směnu}$$

Výrobní čas stroje je  $t_v = 8 - 1,6 = 6,4 \text{ h}$

Počet vyrobených kusů za směnu:

$$n_{ksm} = n_z \cdot 60 \cdot t_v \quad (8.10)$$

$$n_{ksm} = 32 \cdot 60 \cdot 6,4 = 12\,288 \text{ ks}$$

Přímé mzdy na výrobu za jednu směnu:

Hodinová mzda obsluhy stroje  $M_{ob} = 90$  Kč / h; sociální a zdravotní pojištění  $SZ = 34$  %.

$$p_{vsm} = (W \cdot M_{ob}) \cdot SZ \quad (8.11)$$

$$p_{vsm} = (8 \cdot 90) \cdot 1,34 = 964,8 \text{ Kč}$$

Celkové přímé mzdové náklady na výrobu jednoho kusu:

$$N_{přm} = \frac{P_{mzpř}}{n_{vsm}} \quad (8.12)$$

$$N_{přm} = \frac{964,8}{12288} = 0,08 \text{ Kč}$$

### 8.1.3 Náklady na spotřebovanou energii

Příkon lisu  $P_l=45$  kW, příkon odvíjáku  $P_o=11$  kW, příkon rovnačky  $P_r=18,5$  kW. Cena el. energie  $C_e = 4,60$  Kč / kWh, z aktuálních dat dodavatele el. energie.

Doba provozu lisu

$$t_{LE} = \frac{Q}{n_{vsm}} \cdot t_v \quad (8.13)$$

$$t_{LE} = \frac{500000}{12288} \cdot 6,4 = 260,4 \text{ h}$$

Náklady na spotřebovanou el. energii pro vyráběné množství:

$$N_e = (P_L \cdot t_{LE} + P_o \cdot t_{LE} + P_r \cdot t_{LE}) \cdot C_e \cdot k_e \quad (8.14)$$

$$N_e = (45 \cdot 260,4 + 11 \cdot 260,4 + 18,5 \cdot 260,4) \cdot 4,6 \cdot 0,8 = 71391,26 \text{ Kč}$$

$k_e$  – koeficient zohledňující nestejněměrný odběr lisu ( $k=0,8$ )

Náklady na spotřebovanou energii na jeden kus:

$$N_{e1} = \frac{N_e}{Q} \quad (8.15)$$

$$N_{e1} = \frac{71391,26}{500000} = 0,14 \text{ Kč}$$

### 8.1.4 Náklady na nástroj

Náklady na výrobu nástroje byly stanoveny na 850 000 Kč.

## 8.2 Nepřímé náklady

Mezi nepřímé náklady patří výrobní, správní a odbytová režie. Hodnoty režijních přírážek v procentech:

Výrobní režie VR – 200 %  
Správní režie SR – 120 %  
Odbytová režie OR – 50 %

Výrobní režie:

$$N_{VR} = N_{přm} \cdot \frac{VR}{100} \quad (8.16)$$

$$N_{VR} = 0,08 \cdot \frac{200}{100} = 0,16 \text{ Kč}$$

Správní režie:

$$N_{SR} = N_{přm} \cdot \frac{SR}{100} \quad (8.17)$$

$$N_{SR} = 0,08 \cdot \frac{120}{100} = 0,10 \text{ Kč}$$

Odbytová režie:

$$N_{OR} = N_{přm} \cdot \frac{OR}{100} \quad (8.18)$$

$$N_{OR} = 0,08 \cdot \frac{50}{100} = 0,04 \text{ Kč}$$

## 8.3 Cena jednoho kusu výrobku

Celková cena výrobku se stanoví součtem všech fixních a variabilních nákladů na jednotku produkce, navýšené o zisk.

$$N_{v1} = (N_{mč1} + N_{VR} + N_{SR} + N_{OR} + N_{e1}) \cdot 1,15 \quad (8.19)$$

$$N_{v1} = (24,65 + 0,16 + 0,1 + 0,04 + 0,14) \cdot 1,15 = 28,85 \text{ Kč}$$

Z – uvažovaný zisk je 15 %, Z = 1,15

## 8.4 Bod zvratu

**Fixní náklady** – náklady nezávislé na objemu výroby, jsou pevné (neměnné). Jako fixní náklady byly brány v potaz pouze náklady na výrobu nástroje, a to 850 000 Kč.

**Variabilní náklady** – náklady závislé na objemu výroby (spotřeba materiálu, přímé mzdy, náklady na energii, ostatní přímé náklady apod.)

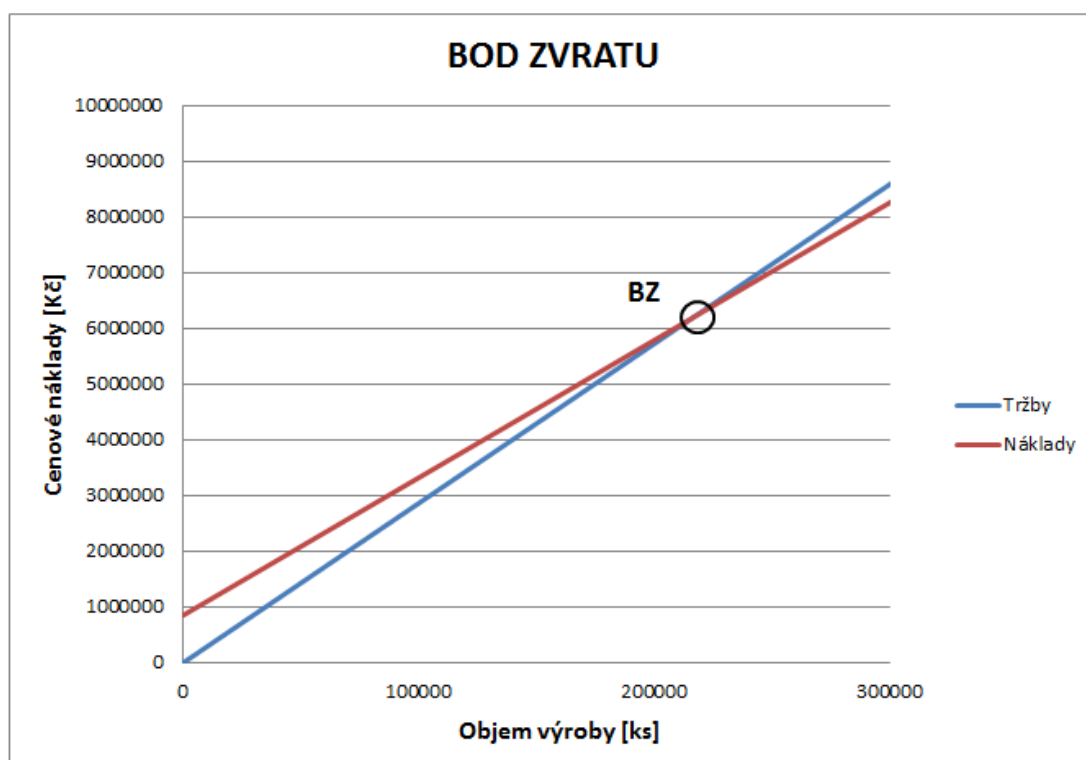
$$VN = N_{mč1} + N_{přm} + N_{e1} \quad (8.20)$$



$$VN = 24,65 + 0,08 + 0,14 = 24,87 \text{ Kč}$$

$$B_z = \frac{FN}{N_{v1} - V_N} \quad (8.21)$$

$$B_z = \frac{850000}{28,64 - 24,87} = 225\,464,2 \text{ Ks}$$



Obr. 8.1 Bod zvratu.

Jednotlivé ekonomické ukazatele pro výpočet nákladů a bodu zvratu jsou pouze orientační. Z výpočtu vyplývá, že objem výroby odpovídající bodu zvratu je 225 464 ks. Po překročení tohoto bodu, začíná být výroba zisková, viz obr. 8.1. Vzhledem k vyráběnému množství 500 000 ks/rok je zřejmé, že výroba součásti dle navržené technologie bude z ekonomického hlediska efektivní.

## 9 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout způsob výroby tvarové součásti z plechu. Materiál vylisku byl ocelový plech 11 305.21 tloušťky 1 mm.

Před výběrem nejvhodnější technologie výroby bylo posuzováno několik variant možností výroby. Vzhledem ke tvaru součásti, a požadované roční produkce bylo rozhodnuto vyrábět požadované součásti technologií plošného tváření (stříhání a tažení), a to pokud možno v jednom sdruženém nástroji.

Dále byla prověřována technologičnost zadané součásti z hlediska možnosti výroby plošným tvářením. Zadaná součást vyhověla požadavkům zvolené technologie výroby.

Po prověření technologičnosti byla provedena literární studie teoretických předpokladů použitých technologií, tedy stříhání a tažení. Poznatky získané z této studie byly použity pro vlastní návrh nástroje.

Při rozhodování o výběru nejvhodnější varianty postupu výroby technologií plošného tváření bylo posuzováno několik možných variant. Posuzování probíhalo z hlediska složitosti a náročnosti výroby nástroje, jeho ceny, skladování a manipulaci, počty vyráběných kusů za rok, ale i také ekonomické využití stříhaného materiálu. Na základě všech těchto posuzovaných hledisek byla vybrána jako neoptimálnější varianta sdruženého kombinovaného nástroje s uchycením vylisků na jedné straně pásu.

Na základě literární studie, teoretických předpokladů a výpočtů bylo navrženo koncepční řešení sdruženého nástroje, kde je možné vyrábět celý výrobek.

Byly provedeny simulace tažení s použitím programu AutoForm. Výsledky simulace prokázaly, že stanovený postup výroby je vhodný.

Součástí práce je také posouzení ekonomické výhodnosti. Celkové náklady na výrobu jednoho kusu jsou 25,10 Kč. Při 15% zisku je cena jedné součásti 28,90 Kč. Z hlediska fixních nákladů 850 000 Kč za nástroj, je bod návratnosti při objemu výroby 225 464 ks.

Sestava výkresů navrženého nástroje je ve volné příloze.

## Seznam použité literatury

1. DVOŘÁK, M. a kolektiv. *Technologie II*. 3.vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 240 s. ISBN 80-214-2683-7.
2. FOREJT, Milan. *Ročníkový projekt I: Tváření, svařování*. Brno: VUT Brno, 2002, 2011. SYLABUS pro studium bakalářského studijního programu „STROJÍRENSTVÍ“.
3. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník* [online]. MAREČKOVÁ, Michaela. Brno: VUT Brno, 2006. Studijní opory. Dostupné z: [ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/technologie\\_tvareni/index.htm](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_tvareni/index.htm).
4. FOREJT, Milan: *Teorie tváření*. 2.vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 170 s. ISBN 80-214-2764-7.
5. ČSN 22 6015. *Lisovací nástroje: Stříhadla a střížné vřely*. Praha: Vydavatelství UNM, 1977. 28 s. EAN 8590963015323.
6. DOBROVOLNÝ, Bohumil. *Stříhání na lisech: Kurs techn. znalostí: Příruční učeb. texty – Svazek 70 Řada strojír. lit.* SNTL, 1964.
7. Substech: Deep drawing. 2013. KOPELIOVICH, Dmitri. *Substech: Deep drawing* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: [www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=deep\\_drawing](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=deep_drawing)
8. UNIVERSITÄT STUTTGART, Institut für Umformtechnik. *APMB: Scherschneiden*. [online]. s. 4, 17.10.2011 [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: [www.unistuttgart.de/ifu/lehre/downloadbereich/vorlesungsunterlagen/APMB/Scherschneiden.pdf](http://www.unistuttgart.de/ifu/lehre/downloadbereich/vorlesungsunterlagen/APMB/Scherschneiden.pdf)
9. FOREJT, M. *Teorie tváření*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7
10. SCHWEITZER, Michael. *Prozessspezifische Merkmale des Rotationsschneidens*. 1. vyd. München: Hieronymus Verlag, 2001. 162 s. ISBN 3-89791-214-7. Dissertation. TU München, Fakultät für Maschinenwesen.
11. KALPAKJIAN, Serope. *Manufacturing engineering and technology* [online]. 5th ed. Upper Saddle River, NJ: Pearson/Prentice Hall, c2006, 1295 s. [cit. 2015-04-17]. ISBN 01-314-8965-8. Dostupné z: [www.nd.edu/~manufact/MPem%20pdf\\_files/Ch07.pdf](http://www.nd.edu/~manufact/MPem%20pdf_files/Ch07.pdf)
12. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
13. *Technologie II.: Tváření kovů. Technická univerzita v Liberci 2000/2001: katedra strojírenské technologie* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001,

26.11.2008 [cit. 2012-04-18]. Dostupné z:  
[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)

14. ČSN 411305. *Ocel 11 305: Oceli třídy 11. Materiálové listy*. Praha: Vydavatelství UNMZ, 09/1988, 4 s. EAN 8590963273082.
15. KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie II.: Část svařování*. Brno: VUT Brno, 2006. Syllabus přednášek.
16. FOREJT, Milan. *Oborový projekt 2: Tváření, svařování*. Brno: VUT Brno, 2003. SYLABUS pro magisterský studijní program „SROJNÍ INŽENÝRSTVÍ“
17. BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. První. Praha: SNTL, 1971. 543 s.
18. BOLJANOVIC, Vukota. *V. Sheet Metal Forming Processer and Die Desingn*. 1st edition. New York : Industrial Press, 2004. 219 s. ISBN 0-8311- 3182-9.
19. PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do tváření*. [online]. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2001, s. 115  
Dostupné z: [www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod\\_TV2.pdf](http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf)
20. ČSN 22 7303. *Tažení dutých čtyřhranných výtažků: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
21. ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. *Příručka pro lisování za studena*. 2. vyd. Praha: SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986
22. ČSN 22 6272. *Lisovací nástroje: Strážné skříně*. Praha: Vydavatelství UNM, 1.4.1970, 8 s. EAN 8590963015491.
23. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: Návody do cvičení*. Brno: CERM Brno, 2005, 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
24. ČSN 22 7301. *Lisovací nástroje. Tažení dutých válcových výtažků: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
25. TIŠNOVSKÝ, Miroslav, MÁDLE, Luděk. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4.
26. MICHÁLEK, Jakub, Radek ČADA, Barbora Frodlová. *Simulace procesů plošného tváření v softwaru PAM-STAMP 2G*. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2012. Dostupné z:  
[www.projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2715-5.pdf](http://www.projekty.fs.vsb.cz/147/ucebniopory/978-80-248-2715-5.pdf)
27. KOTOUČ, Jiří, et al. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: VUT, 1993. s. 349. ISBN 80-01-01003-1.

28. Technologičnost konstrukce v návrhu výstřižku. In: TATÍČEK, František, Tomáš PILVOUSEK a Martin KUBELKA. *MM Průmyslové spektrum: Akademie tváření* [online]. 19.12.2011 [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: [www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technolognost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html](http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technolognost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html)
29. Technologie vodního paprsku. FLOW INTERNATIONAL CORPORATION. *Flow* [online]. © 2011 [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: [www.flowwaterjet.com/cs-CZ/waterjet-technology.aspx](http://www.flowwaterjet.com/cs-CZ/waterjet-technology.aspx)
30. Schinkmann: Řezání plasmou. 1991. *Schinkmann: Řezání plasmou* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: [www.schinkmann.cz/plazma](http://www.schinkmann.cz/plazma)
31. Tribotechnika: Možnosti zvýšení životnosti nástrojů pro plošné tváření. 2008. SUCHÁNEK, Jan. *Tribotechnika: Možnosti zvýšení životnosti nástrojů* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: [www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32012/moznosti-zvyseni-zivotnosti-nastroju-pro-plosne-tvareni.html](http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32012/moznosti-zvyseni-zivotnosti-nastroju-pro-plosne-tvareni.html)
32. Šmeral: Klikové lisy. *Šmeral Brno* [online]. 2012 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: [http://muse.smeral.eu/klikove\\_lisy.html](http://muse.smeral.eu/klikove_lisy.html)
33. ATTL: Rovnání pásů. *ATTL aspol. s.r.o. Továrna na stroje* [online]. 2006 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: [http://www.attl.cz/dokumenty/ostatni\\_produkty-rovnani\\_pasu.pdf](http://www.attl.cz/dokumenty/ostatni_produkty-rovnani_pasu.pdf)

## Seznam použitých symbolů

Symbol	Popis	Jednotka
$A_s$	střížná práce	[J]
$A_t$	tažná práce	[J]
$B_z$	bod zvratu	[ks]
$C_1$	koeficient	[-]
$C_2$	koeficient	[-]
$C_m$	cena materiálu ve svitku	[Kč]
$C_{zo}$	cena celkového odpadu	[Kč]
$c$	koeficient	[-]
$c_1$	součinitel stírání	[-]
$c_2$	součinitel protlačování	[-]
$c_u$	součinitel vyjadřující vliv tření s ohledem na délku ramene	[-]
$\Delta c$	přídavek materiálu pro ostříhnutí	[mm]
$d$	průměr výtažku	[mm]
$d_1$	průměr výtažku po prvním tahu	[mm]
$d_s$	vnitřní průměr svitku	[m]
$d_n$	průměr výtažku po n-tém tahu	[mm]
$d_v$	vnitřní průměr výtažku	[mm]
$D_0$	průměr přístřihu	[mm]
$D_m$	cena dopravy na kg materiálu	[Kč]
$D_s$	vnější průměr svitku	[m]
$E$	modul pružnosti v tahu	[-]
$E_2$	šířka můstku	[mm]
$F_2$	velikost okraje pásu	[N]
$F_c$	celková síla	[N]
$F_{krit}$	kritická síla k utržení dna výtažku	[N]
$F_{oc}$	celková ohýbací síla	[N]
$F_p$	přidržovací síla	[N]
$F_{pr}$	protlačovací síla	[N]
$F_{prolis}$	síla na vylisování prolisu	[N]
$F_s$	střížná síla	[N]
$F_{st}$	stírací síla	[N]
$F_t$	tažná síla	[N]
$H$	rozměr pro přístřih obdélníkového výtažku	[mm]
$H_s$	minimální tloušťka střížnice	[mm]
$H_{sa}$	rozměr pro přístřih obdélníkového výtažku	[mm]
$H_{sb}$	rozměr pro přístřih obdélníkového výtažku	[mm]
$h$	součinitel hospodárnosti využití materiálu	[-]
$h_v$	výška výtažku	[mm]
$h_{v0}$	hloubka konečného výtažku	[mm]

I	moment setrvačnosti	[mm <sup>4</sup> ]
K	délka kroku	[mm]
K <sub>t</sub>	stupeň tažení	[-]
k <sub>0</sub>	opravný součinitel	[-]
k <sub>b</sub>	koeficient bezpečnosti	[-]
k <sub>p</sub>	součinitel použití přidržovače	[-]
L	součet délek přímých částí stěn výtažku	[mm]
L <sub>s</sub>	rozvinutá délka svitku	[mm]
L <sub>p</sub>	délka pásu	[mm]
l <sub>k</sub>	kritická délka	[mm]
m	součinitel tažení	[-]
m <sub>c</sub>	celková hmotnost materiálu	[kg]
m <sub>co</sub>	celková hmotnost odpadu	[kg]
m <sub>o</sub>	hmotnost odpadu	[kg]
m <sub>sv</sub>	hmotnost svitku	[kg]
m <sub>svc</sub>	celková hmotnost svitků	[kg]
m <sub>vc</sub>	hmotnost uvažovaného množství	[kg]
m <sub>v</sub>	hmotnost výrobku	[kg]
N <sub>e</sub>	náklady na spotřebovanou el. energii pro vyráběné množství	[Kč]
N <sub>e1</sub>	náklady na spotřebovanou el. energii na jeden kus	[Kč]
N <sub>mč</sub>	čisté náklady na materiál	[Kč]
N <sub>mč1</sub>	čisté náklady na materiál jednoho kusu	[Kč]
N <sub>přm</sub>	celkové přímé mzdové náklady	[Kč]
N <sub>sv</sub>	náklady na materiál	[Kč]
N <sub>v1</sub>	cena jednoho kusu výrobku	[Kč]
N <sub>VR</sub>	výrobní režie	[Kč]
N <sub>SR</sub>	správní režie	[Kč]
N <sub>OR</sub>	odbytová režie	[Kč]
n	počet výstřížků ze svitku	[ks]
n <sub>kssm</sub>	počet vyrobených ks za směnu	[ks]
n <sub>nsvsm</sub>	počet použitých svitků za směnu	[ks]
P <sub>v</sub>	počet výstřížků	[ks]
P <sub>vsm</sub>	přímé mzdy na výrobu za jednu směnu	[Kč]
R	rádus přístříhu	[mm]
R <sub>0</sub>	redukovaný poloměr přístříhu	[mm]
R <sub>b</sub>	poloměr zaoblení v rohu výtažku	[mm]
R <sub>m</sub>	mez pevnosti v tahu	[MPa]
r <sub>0</sub>	poloměr zaoblení	[mm]
r <sub>tc</sub>	zaoblení tažné hrany	[mm]
S	střížná plocha	[mm <sup>2</sup> ]
S <sub>o</sub>	celková plocha výstřížků	[mm <sup>2</sup> ]
S <sub>p</sub>	plocha pásu plechu	[mm <sup>2</sup> ]
S <sub>s</sub>	Plocha průřezu střížníku	[mm <sup>2</sup> ]
S <sub>v</sub>	plocha výstřížku	[mm <sup>2</sup> ]

$S_{vc}$	celková plocha výstřižku z pásu plechu	[mm <sup>2</sup> ]
$\check{S}_p$	šířka pásu plechu	[mm]
$t$	tloušťka materiálu	[mm]
$t_{LE}$	náklady na spotřebovanou energii	[Kč]
$t_m$	tažná mezera	[mm]
$t_{pc}$	čas přípravy svitků za směnu	[h]
$V(\%)$	procentuální využití plechu	[%]
$VN$	variabilní náklady	[Kč]
$v$	střižná vůle	[mm]
$Z$	uvažovaný zisk	[Kč]
$Z_s$	střižná mezera	[mm]
$\varepsilon$	poměrná deformace	[-]
$\varepsilon_{max}$	maximální poměrné přetvoření	[mm]
$\varphi$	logaritmičká deformace	[-]
$\lambda$	je součinitel plnosti v závislosti na tloušťce stříhaného materiálu	[-]
$\sigma_k$	okamžitá hodnota meze kluzu	[Nmm <sup>-2</sup> ]
$\sigma_l$	namáhání v tlaku	[MPa]
$\sigma_{dov}$	dovolené namáhání v tlaku	[MPa]
$\tau_s$	střižný odpor materiálu	[MPa]



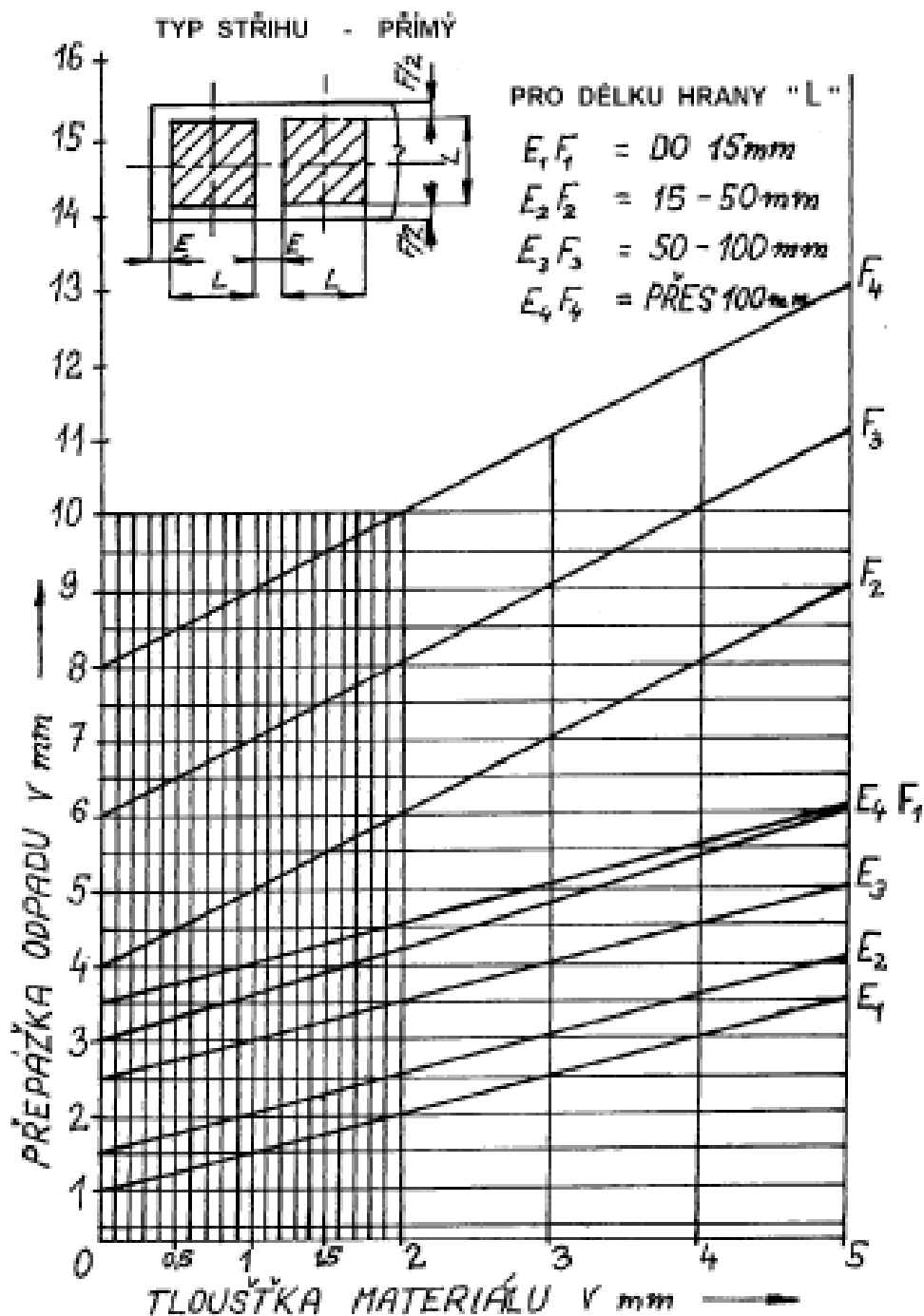
## Seznam příloh

- Příloha 1 – Tabulka k určení můstků a přepážek
- Příloha 2 – Katalogový list klikového lisu Šmeral LDC 400
- Příloha 3 – Linky na rovnání pásů ze svitků ATTL
- Příloha 4 – Výkres sestavy nástroje (volná příloha)

## Seznam obrázků a tabulek

Obr. 1. Příklady krytů brzdových kotoučů.....	9
Obr. 1.1 Vyráběná součást .....	10
Obr. 1.2 Řezání laserem .....	10
Obr. 1.3 Řezání vodním paprskem.....	11
Obr. 1.4 Řezání plazmou.....	12
Obr. 1.5 Schematický proces klasického tažení.....	13
Obr. 1.6 Schematický proces tažení Metaform.....	14
Obr. 1.7 Schematický proces tažení Hydroform.....	14
Obr. 1.8 Schematický proces Hydromechanického tažení.....	15
Obr. 2.1 Schematický proces stříhání .....	16
Obr. 2.2 Uzavřené stříhání a volné stříhání.....	16
Obr. 2.3 Průběh stříhání s normální střížnou vůlí .....	17
Obr. 2.4 Schéma napjatosti a přetvoření při stříhání.....	17
Obr. 2.5 Charakteristický průběh střížného procesu a střížné síly.....	18
Obr. 2.6 Diagram závislosti součinitele plnosti .....	20
Obr. 2.7 Střížná mezera.....	20
Obr. 2.8 Tvar a kvalita střížné plochy .....	23
Obr. 2.9 Příklad postupového střížného nástroje .....	25
Obr. 3.1 Technologické způsoby tažení .....	27
Obr. 3.2 Princip tažení .....	28
Obr. 3.3 Vady výtažku .....	29
Obr. 3.4 Schémata napjatosti a deformace při hlubokém tažení .....	29
Obr. 3.5 Průběh tažné síly při různých poloměrech zaoblení tažných hran .....	32
Obr. 3.6 Podíl hlavních složek tažné síly na celkové tažné síle .....	34
Obr. 3.7 Podíl hlavních složek tažné síly na celkové tažné síle .....	34
Obr. 3.8 Rozložená rohová zaoblení včetně rovné části .....	35
Obr. 3.9 Upravený přístřih obdélníkového výtažku .....	36
Obr. 3.10 Příklady reliéfního přetváření .....	39
Obr. 3.11 Příklad tažného nástroje .....	40
Obr. 3.12 Schéma působení třecích sil při tažení .....	42
Obr. 4.1 Vyráběný díl se základními rozměry .....	43
Obr. 5.1 Velikost přístřihu .....	44
Obr. 4.2 Uspořádání výlisku na pásu – varianta 1 .....	45
Obr. 4.3 Uspořádání výlisku na pásu – varianta 2 .....	46
Obr. 5.1 Simulace – neoptimalizovaný přístřih .....	52
Obr. 5.2 Simulace – průběh tváření středové části.....	52
Obr. 5.3 Simulace – dokončené tváření středové části .....	53
Obr. 5.4 Simulace – tváření prolisů .....	53
Obr. 5.5 Simulace – průběh tváření prolisů .....	54

Obr. 5.6 Simulace – ostřížení finální kontury .....	54
Obr. 5.7 Simulace – lemování vnějšího okraje součásti .....	55
Obr. 5.8 Simulace – průběh procesu lemování vnějšího okraje součásti.....	55
Obr. 5.9 Simulace – odpružení po lemování.....	56
Obr. 5.10 Simulace – oblast ztenčení stěny a přechování materiálu .....	56
Obr. 5.11 Simulace – oblast ztenčení stěny a přechování materiálu .....	57
Obr. 5.12 Simulace – FLD diagram .....	57
Obr. 6.1 Lis Šmeral LDC 400 [31] .....	58
Obr. 6.3 Odvíjecí zařízení OZ40 a rovnací zařízení ROA580 .....	59
Obr. 6.2 Schéma podávací a rovnací linky .....	59
Obr. 7.1 Tvářecí nástroj – spodní část.....	60
Obr. 7.2 Tvářecí nástroj – horní část.....	61
Obr. 7.3 Detail tvářecího nástroje – spodní část 1 .....	61
Obr. 7.4 Detail tvářecího nástroje – spodní část 2 .....	62
Obr. 7.5 Detail tvářecího nástroje – horní část 1.....	62
Obr. 7.6 Detail tvářecího nástroje – horní část 2.....	63
Obr. 7.7 Tvářecí nástroj – přehled technologických operací .....	64
Obr. 8.1 Bod zvratu .....	69
Tab. 1.1 Chemické a mechanické vlastnosti oceli 11 305 .....	10
Tab. 2.1 Součinitel stírání .....	19
Tab. 2.2 Součinitel protlačování .....	19
Tab. 3.1 Hodnoty součinitele c .....	33
Tab. 3.2 Hodnoty přídatku na ostřížení – $\Delta c$ .....	35
Tab. 3.3 Závislost maximální výšky nerotačního výtažku.....	37
na velikosti zaoblení výtažku v rozích	
Tab. 3.4 Závislost maximální výšky nerotačního výtažku dosažitelné.....	39



## KLIKOVÉ LISY

Klikové lisy jsou mechanické dvoubodové tažné lisy o jmenovité tvářecí síle 2,5 MN, se stojany tvaru "O" (LKT) nebo tvaru "C" (LDC) s rozměrnými stoly a berany. Lisy je možno vybavit tažnými pneumatickými nebo hydraulickými přidržovači. Jsou určeny pro veškeré operace tváření plechových pásů, plechových tabulí či svitků (přesné stříhání, ohýbání, prostorové tažení - např. výroba dřezů, skříní plynoměrů, sporáků, ledniček, radiátorů) a taktéž pro postupové tváření malých součástí.

Technické parametry:

		LKT 250 A	LDC 160	LDC 250	LDC 400
<b>Lisovací síla</b>	<b>kN</b>	2500	1600	2500	4000
<b>Sevření</b>	<b>mm</b>	760	500	550	420
<b>Průchod</b>	<b>mm</b>	1600	1600	2000	2000
<b>Upínací plocha stolu</b>	<b>mm</b>	1600 x 1200	2000 x 780	2450 x 880	2450 x 880
<b>Upínací plocha beranu</b>	<b>mm</b>	1560 x 990	1550 x 630	1990 x 700	2200 x 700
<b>Přestavování beranu</b>	<b>mm</b>	125	100	120	90
<b>Zdvih/počet zdvihů</b>	<b>mm/min<sup>-1</sup></b>	250/25	160/45	200/38	200/32
<b>Celkový instalovaný výkon</b>	<b>kW</b>	36	17,5	35	45
<b>Rozměry stroje v x š x h</b>	<b>m</b>	3,3*1,4*2,5	3,6*2,4*2,3	4*2,9*2,7	4*3*3
<b>LKT - "O" stojan, LDC - "C" stojan</b>					



**LDC 250**



# LINKY NA ROVNÁNÍ PÁSŮ ZE SVITKŮ

Linky slouží k podávání pásu ze svitku do nástrojů umístěných v tvářecích strojích (převážně lisech) zajišťujících operace děrování, lisování, ohýbání a podobně.

Součástí linek jsou odvíjíky svitků, rovnačky pásů a programovatelné podavače PAL, které je možno dodávat ve dvou modifikačních přesnostech podle potřeby:  $\pm 0,1$  mm/1000 mm nebo  $\pm 0,5$  mm/1000 mm.

Odvíjíky svitků  
**AOZ 0,8–100**

Rovnačky pásů  
**ROA 100–500/0,4–3,0**

Válečkové programovatelné podavače do lisu  
**PAL 100–500/0,4–3,0**

▼ Odvíják svitku / Strip uncoiler AOZ 08

▼ Rovnačka pásu / Straightener ROA 580/1,2

▼ Podavač / Feeder PAL 500



# COIL STRIP STRAIGHTENING SET-UP

Set-up is designed to feed strip of material into tools positioned in shaping machines, (mostly presses) for punching, pressing, bending and similar.

The machines in question are Strip Uncoiler AOZ, Strip Straightener ROA and programmable Strip Feeders PAL available in two tolerance modifications:  $\pm 0,1$  mm/1000 mm or  $\pm 0,5$  mm/1000 mm.

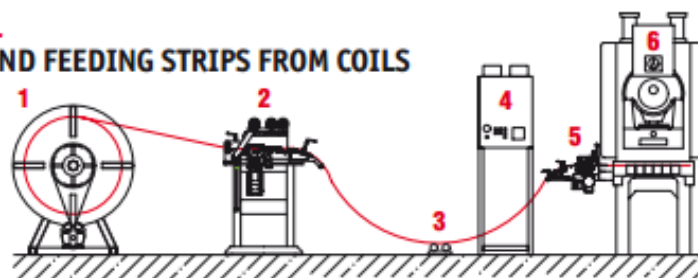
Strip uncoilers  
**AOZ 0,8–100**

Straighteners  
**ROA 100–500/0,4–3,0**

Strip feeders  
**PAL 100–500/0,4–3,0**

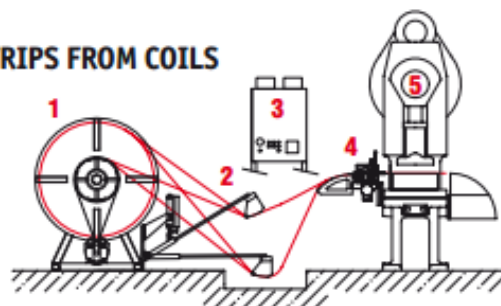
## ROVNACÍ A PODÁVACÍ LINKA ARPL LINE ARPL FOR STRAIGHTENING AND FEEDING STRIPS FROM COILS

- 1 - Odvíják / Uncoiler AOZ
- 2 - Rovnačka / Straightener ROA
- 3 - Sledování smyčky / Strip position sensor
- 4 - Ovládací panel / Control panel
- 5 - Podavač / Feeder PAL
- 6 - Lis / Press



## PODÁVACÍ LINKA APL / LINE APL FOR FEEDING STRIPS FROM COILS

- 1 - Odvíják / Uncoiler AOZ
- 2 - Kompenzátor / Compensator
- 3 - Ovládací panel / Control panel
- 4 - Podavač / Feeder PAL
- 5 - Lis / Press



## TECHNICKÉ PARAMETRY / TECHNICAL PARAMETERS

### Řada odvíjáků AOZ / Uncoilers AOZ

Typ/Type	Nosnost Capacity (kN)	Vnitřní ø svitku Coil inner ø (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost odvíjení Uncoiling speed max. (m/min)	Pohon elektromot. Electric drive	Příkon Power input (kW)
A02 03	3 ÷ 8	480 ÷ 620	120	0,15 ÷ 1,2	80	ne / no	—
A02 08	8 ÷ 15	480 ÷ 620	250	0,3 ÷ 2,0	180	ano-ne / yes-no	1,5 ÷ 3,0
A02 15	15 ÷ 25	480 ÷ 620	350	0,3 ÷ 3,0	160	ano-ne / yes-no	2,2 ÷ 7,5
A02 25	15 ÷ 40	480 ÷ 620	350	0,3 ÷ 4,0	160	ano-ne / yes-no	7,5 ÷ 15,0
A02 40	40 ÷ 100	480 ÷ 620	580	0,5 ÷ 4,5	160	ano-ne / yes-no	11,0 ÷ 22,0

### Řada rovnaček ROA / Strip flatteners ROA

Typ/Type	Počet válců Number of rollers	Průměr válců Diameter of rollers (mm)	Max. šířka pásu Strip width max. (mm)	Tloušťka pásu Strip thickness (mm)	Max. rychlost odvíjení Uncoiling speed max. (m/min)	Pohon elektromot. Electric drive	Příkon Power input (kW)
ROA 160	5	40	160	0,3 - 1,8	280	ne / no	7,5
ROA 250	5	60	250	0,3 - 2,5	320	ano-ne / yes-no	7,5
ROA 350	5	80	350	0,3 - 4,0	260	ano-ne / yes-no	11,0
ROA 580	5	100	580	1,0 - 4,5	260	ano-ne / yes-no	18,5

### Řada podavačů PAL / Feeders PAL

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

### Řada podávacích a rovnačích linek ARPL / Coil straightening and feeding lines ARPL

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