



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# INOVATIVNÍ VÝROBA BRZDOVÉHO SEGMENTU PLOŠNÝM TVÁŘENÍM ZA STUDENA

INNOVATIVE PRODUCTION OF THE BRAKE SEGMENT

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Vágner

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Miroslav Jopek, Ph.D.

BRNO 2021

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Lukáš Vágner</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Miroslav Jopek, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2020/21

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

## **Inovativní výroba brzdového segmentu plošným tvářením za studena**

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

Jedná se o inovativní návrh technologie výroby brzdového segmentu technologií plošného tváření za studena.

### **Cíle bakalářské práce:**

- Vypracovat literární studii se zaměřením na technologii plošného tváření za studena.
- Zhodnotit současný stav výroby součásti obdobného tvaru.
- Navrhnout vlastní technologii výroby brzdového segmentu včetně posouzení jednotlivých variant.
- Zpracovat technické a ekonomické hodnocení navržené technologie.
- Vypracovat výkresovou dokumentaci nástroje včetně nezbytných výpočtů.
- Doporučení pro průmyslovou praxi.

### **Seznam doporučené literatury:**

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 3. Brno: CERM, 2013. ISBN 978-80-214-3425-7.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-00452-8.

TSCHAETSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. 1. Springer Berlin Heidelberg, New York, 2006. ISBN 3-540-33216-2.



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

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

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

## **ABSTRAKT**

VÁGNER Lukáš: Inovativní výroba brzdového segmentu plošným tvářením za studena

Práce předkládá návrh nové technologie výroby rozvinutého tvaru dílce bubnové brzdy. Materiálem součásti je konstrukční ocel S355J2C. Vyráběná roční série činí 100 000 kusů. Z možných výrobních variant byla jako nejvhodnější zvolena výroba postupovým stříháním. Na základě literární studie problematiky byl navrhnout optimální způsob výroby. Svitkový polotovar je odvíjecím a rovnacím zařízením veden do zkonstruovaného nástroje. Ten je upnut ve zvoleném lisu LDO 800 A/S se jmenovitou tvářecí silou 8 MN. Ekonomickým zhodnocením byla prodejní cena jednoho zhotoveného dílce stanovena na 195 Kč. Výroba se stává ziskovou po zhotovení 55 283 dílců.

Klíčová slova: bubnová brzda, ocel S355J2C, stříhání, postupový střížný nástroj, LDO 800 A/S

## **ABSTRACT**

VÁGNER Lukáš: Innovative production of the brake segment by flat cold forming.

The project elaborates the design of the new technology production of the developed shape of the component, which is part of the drum brake. The material of the component is structural steel S355J2C. The annual series produced is 100,000 pieces. From the possible production variants, the production by progressive cutting was chosen as the most suitable. Based on a literature study of the issue, an optimal method of production was proposed. The coil blank is fed to the designed tool by an unwinding and straightening device. The tool is clamped in the selected press LDO 800 A/S with the nominal forming force 8 MN. According to the economic calculations, the selling price of one manufactured part was set at 195 Kč. Production becomes profitable after making 55 283 parts.

Keywords: drum brake, steel S355J2C, shearing, progressive shearing tool, LDO 800 A/S

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

VÁGNER, Lukáš. *Inovativní výroba brzdového segmentu plošným tvářením za studena* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132163>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Miroslav Jopek.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně dne 19. 5. 2021

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Miroslavu Jopkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

## **OBSAH**

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
<b>ÚVOD</b> .....	9
<b>1 ROZBOR ZADÁNÍ</b> .....	10
1.1 Variantní řešení výroby .....	11
<b>2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ</b> .....	13
2.1 Průběh střížného procesu.....	13
2.2 Střížná plocha.....	14
2.3 Střížná vůle.....	15
2.4 Střížná síla .....	16
2.5 Střížná práce .....	17
2.6 Způsoby stříhání.....	18
2.7 Stroje pro stříhání.....	19
2.8 Střížné nástroje.....	21
2.9 Funkční části nástroje .....	23
2.10 Technologičnost výstřížků .....	25
2.11 Nástřihové plány .....	26
<b>3 NÁVRH ŘEŠENÍ</b> .....	27
3.1 Rozmístění výstřížků .....	28
3.2 Volba polotovaru.....	29
3.3 Nástřihový plán.....	32
3.4 Střížná síla .....	33
3.5 Těžiště střížné síly.....	34
3.6 Střížná práce .....	35
3.7 Kontrolní výpočty funkčních částí nástroje.....	36
3.8 Funkční rozměry střížníku a střížnice.....	37
3.9 Volba stroje .....	38
3.10 Popis nástroje .....	39
<b>4 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ</b> .....	41
<b>5 ZÁVĚRY</b> .....	45
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratek	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	

## ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5]

V současném moderním světě nalézá technologie tváření stále větší uplatnění. S rostoucí snahou co nejvíce zefektivňovat výrobu se často projevují její přednosti. Jedná se například o dobrou hospodárnost materiálu, zpravidla kratší výrobní časy a možnosti snadné automatizace. Tyto výhody se uplatňují zejména při výrobě sérií o velkých počtech kusů.

Při tváření se požadované trvalé změny tvaru a vlastností tělesa dosahuje až na výjimky bez porušení soudržnosti materiálu. Je nutno překročit mez pružnosti, ale nepřesáhnout mez pevnosti. Tváření lze dělit na objemové a plošné.

U objemového tváření probíhá tvářecí proces ve všech směrech objemu materiálu. Jedná se například o technologie kování, válcování, protlačování, tažení atd.

Při plošném tváření probíhá tvářecí proces pouze ve dvou směrech objemu polotovaru. Nedochozí tedy ke změně tloušťky materiálu. Řadí se sem například technologie ohýbání, stříhání, tažení bez ztenčení stěny, lisování plechu atd. Na obrázku 1 je znázorněn příklad součástí, které byly zhotoveny plošným tvářením.



Obr. 1 Příklad součástí zhotovených plošným tvářením [1], [2], [3]

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ [6], [7], [8]

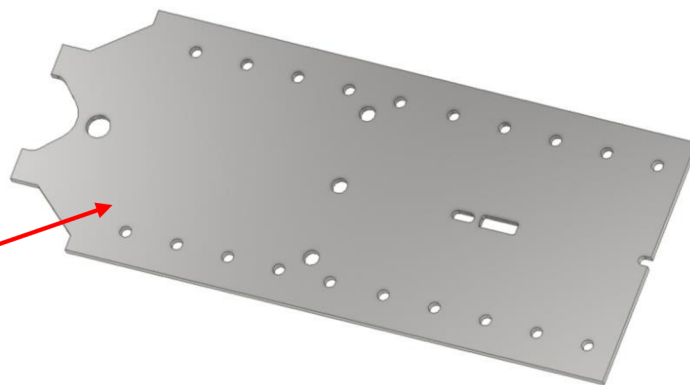
Součástí, kterou se bude tato práce zabývat, je díl brzdového segmentu. Jedná se o část bubnové brzdy, která se užívá u nákladních vozidel. Bubnové brzdy jsou nyní často nahrazovány brzdami kotoučovými. Důvodem je především riziko přehřívání, které má velmi nežádoucí vliv na samotný brzdný proces. Avšak u takto rozměrných brzd, jež jsou tvořeny robustními kovovými částmi, je toto riziko podstatně menší a bubnové brzdy stále nalézají své uplatnění.

Na obrázku 2 lze vidět plně zhotovený díl, snýtovaný s brzdovým obložení a navařenými dalšími částmi. Práce se zaměří na optimální způsob zhotovení rozvinutého tvaru dílce, který je znázorněn na obrázku 3. Následný ohyb je prováděn dle potřeby odběratelem na vlastních zakružovacích zařízeních. Rozvinutý tvar byl doposud zhotovován laserovým řezáním, přičemž cena jednoho takto vyřezaného dílce byla po poptání u tří firem, zabývajících se touto technologií, stanovena zprůměrováním poskytnutých nabídek na 210 Kč. Se zadanou sérií o velikosti 100 000 ks.rok<sup>-1</sup> je cílem tuto cenu snížit, a tudíž navrhnout výrobní variantu novou.

Jmenovité rozměry rozvinutého dílce jsou 488,5 x 200 x 5 mm. Na součásti se nenachází žádné předepsané tolerované rozměry, celá součást je tolerována dle všeobecné normy ISO 2768 – mK.



Obr. 2 Zkompletovaná část brzdy [6]



Obr. 3 Rozvinutý tvar dílce

Jako materiál součásti byla navržena ocel S355J2C, dříve značena 11 503 dle ČSN, případně St 52-3 N dle DIN 17100. Jedná se o nelegovanou jemnozrnnou konstrukční jakostní ocel, která je vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby. Písmeno C v označení udává, že je ocel určena pro tváření za studena. J2 značí vrubovou houževnatost 27 J při zkušební teplotě  $-20^{\circ}\text{C}$ . Ocel je vhodná pro namáhané části ocelových konstrukcí, komponenty stojů, vozidel atd. Chemické složení a základní mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulkách 1 a 2.

Tab. 1 Chemické složení oceli S355J2C [8].

C [%]	Mn [%]	Si [%]	P [%]	S [%]	N [%]
Max. 0,20	Max. 1,60	Max. 0,55	Max. 0,03	Max. 0,03	-

Tab. 2 Základní mechanické vlastnosti oceli S355J2C [8].

Pevnost v tahu $R_m$ [MPa]	Dolní mez kluzu $R_e$ [MPa]	Tažnost A [%]
630	355	22



## 1.1 Variantní řešení výroby [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [27], [30]

Vhodně zvolená technologie, která poslouží k dosažení požadovaného tvaru dílce, je klíčová pro splnění hlavního úkolu této práce, a to minimalizovat výrobní náklady. Technologie, kterými by bylo možno požadovaného tvaru dosáhnout, lze rozdělit na třískové a beztřískové. Vzhledem k velikosti série a typu součásti lze třískové obrábění zavrhnout prakticky hned v počátku. Obtížná automatizace, dlouhé obráběcí časy a nutnost vhodných strojů a nástrojů, které by vyžadovaly stálou údržbu a obsluhu, vedou k zavrnutí třískových technologií. Dále budou podrobněji uvedeny konkrétní beztřískové technologie, z nichž bude následně vybrána nejvíce vyhovující.

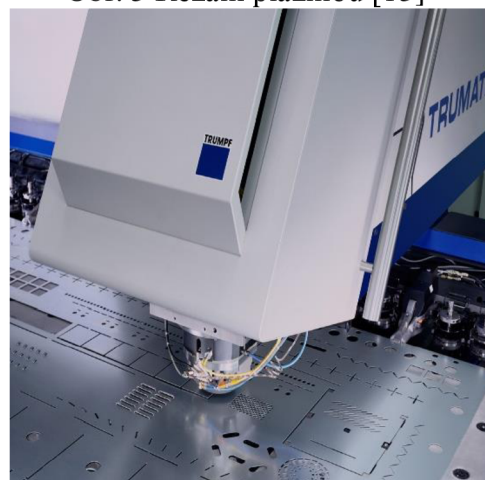
- Řezání vodním paprskem – touto technologií (obr. 4) je řez proveden pomocí vysoce natlakované vody, která je vedena vysokotlakým potrubím do řezací hlavy. Z té následně voda skrz tryšku dopadá s velkou kinetickou energií na řezaný materiál. Výhodou této technologie je její ekologičnost, kvalitní řez, tepelně neovlivněná oblast a možnost řezat materiály o různých vlastnostech. Nevýhodou je styk řezaného materiálu s vodou, proto je nutné výrobky vhodně ošetřit, aby se zabránilo korozi. To je spolu s nižší produktivitou, která se nehodí pro výrobu série dané velikosti důvodem zavrnutí této technologie.
- Řezání plazmou – základem této metody (obr. 5) je vytvoření elektrického oblouku, který hoří mezi tryškou a řezaným materiálem. Do něj je vháněn přehřátý ionizovaný plyn. To jsou vhodné podmínky pro vznik plazmy, která může dosahovat teploty až 30 000 °C. Výhodou řezání plazmou jsou vyšší řezné rychlosti, malá tepelně ovlivněná oblast a možnost řezání široké škály materiálů. Jelikož se však tato technologie z hlediska produktivity také nehodí pro velikost dané výrobní série, pořizovací náklady na zařízení jsou vysoké, provoz hlučný, během řezání vznikají škodlivé zplodiny, není tato varianta vhodnou výrobní metodou.
- Vysekávání – zde se využívá programově řízeného lisu (obr. 6), který postupně vysekává dané tvary pomocí malých jednoduchých nástrojů. Plech je připevněn na pohyblivém stole, který je do správné pracovní pozice polohován daným programem. Nástroj běžně provádí až 400 zdvihů za minutu, přičemž je možno zhotovit až několik metrů proseku za minutu. Také nevzniká žádná tepelně ovlivněná oblast. Přesto tato metoda není vhodná pro zhotovování jednoho výrobku o takto velké sérii, ale upřednostňuje se ve výrobě širšího spektra výrobků o menších počtech kusů. Proto ani tato metoda není uvažována jako výrobní.



Obr. 4 Řezání vodním paprskem [10]



Obr. 5 Řezání plazmou [13]



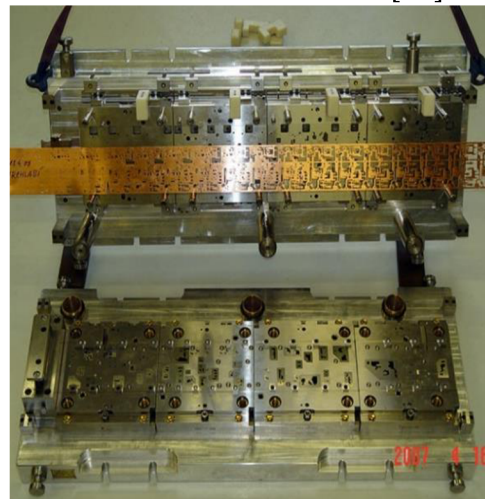
Obr. 6 Vysekávání na lisu [30]

- Řezání laserem – v této metodě (obr. 7) je rovnoběžný laserový paprsek zaměřen do místa řezu, kterému se také říká ohnisko. Zde vlivem vysokého nárustu energie dochází k zahřívání materiálu a jeho následnému spalování nebo tavení. U spalovací metody je řezaný materiál ohříván na požadovanou teplotu pomocí laseru, následný řez je proveden proudem kyslíku, v němž materiál shoří. Tavná metoda využívá vyfukování roztaveného materiálu z místa řezu inertním plynem, kterým bývá většinou dusík. Výhodou řezání laserem je relativně vysoká řezná rychlost, přesnost a kvalita řezných ploch. Tepelně ovlivněná oblast je také velmi malá. Vzhledem k velikosti dané série však tato metoda stále není dostatečně efektivní. To je důvodem pro zamítnutí stávající výroby za pomoci laserového řezání.



Obr. 7 Řezání laserem [15]

- Postupové stříhání – oddělení materiálu nastává působením dvou protichůdných nožů, v tomto případě střížníku a střížnice. Výstřížek je vystříhován ve více operacích. V prvních operacích se zpravidla děrují otvory uvnitř výstřížku a následně je vystříhován finální obrys součásti. Oproti výše uvedeným technologiím, kde je dráha řezu řízena programem, se zde pohybuje část střížného nástroje pouze v jedné ose, přičemž je v závislosti na daném střížníku pevně stanovený tvar, který bude vystříhnut. Je tedy nutné vymezit polohu polotovaru (plechu) v nástroji. Výhodou postupového stříhání je velmi vysoká produktivita a snadná automatizace. V závislosti na konstrukci střížného nástroje lze dosahovat vysokých rozměrových přesností a kvalitních střížných ploch. Také nedochází k tepelnému ovlivnění materiálu. Hlavní nevýhodou je nutnost značné prvotní investice do samotného střížného nástroje (obr. 8) a jeho průběžné údržby. Dále potřeba strojů, které jsou schopny vyvinout dostatečnou střížnou sílu a práci. V neposlední řadě také možnost zhotovení pouze jednoho výrobku, pro který byl nástroj navrhnout. Všechny tyto nevýhody lze však v porovnání s hlavní výhodou této technologie, kterou je její vysoká produktivita, při výrobě takto objemné série zanedbat a navrhnout tuto metodu jako výrobní.



Obr. 8 Postupový střížný nástroj [16]

Požadovaný tvar by byly schopny zhotovit všechny výše uvedené technologie. Avšak po zvážení výhod a nevýhod uvedených variant byla pro výrobu součásti zvolena technologie postupového stříhání, která je nejvhodnější pro daný objem výroby. Problematikou stříhání se bude práce dále zabývat ve své teoretické části.

## 2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [4], [17]

Stříháním se rozumí současné nebo postupné oddělení části materiálu, na který působí střížná síla. Ta je vyvozena pohybem dvou protichůdných břitů. Střih probíhá podle střížné čáry, kterou může být jak přímka, tak uzavřená i otevřená křivka.

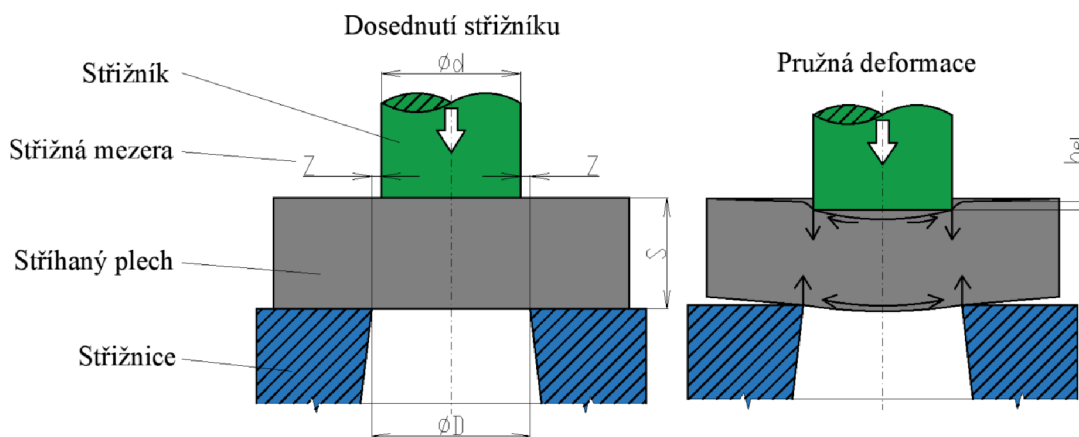
Technologie stříhání patří k nejvíce používaným způsobům plošného tváření. Uplatňuje se například při přípravách polotovarů jako je stříhání plechových tabulí, svitků apod. Dále se vystřihují již hotové součástky a také výstřižky, které jsou určeny pro další technologické procesy. Může se jednat např. o ohýbání, tažení atd. Stříhání je možno použít také jako dokončovací operaci.

Svou podstatou však stříhání tvoří mezi tvářecími technologiemi výjimku, jelikož při něm dochází k trvalému porušení stříhaného materiálu. Avšak z důvodu použití strojů, které jsou shodné i pro ostatní tvářecí technologie, se stříhání řadí mezi tvářecí procesy.

### 2.1 Průběh střížného procesu [4], [17], [18]

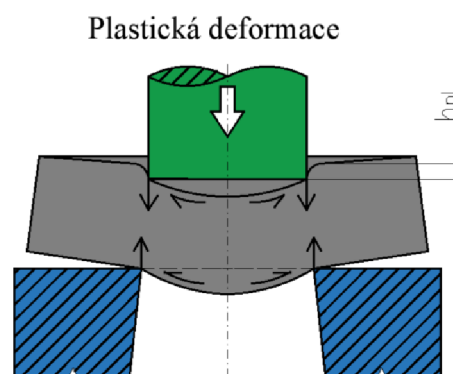
Během průběhu střížného procesu, který začíná dosednutím střížníku na stříhaný materiál a končí oddělením materiálu, se rozlišují tři hlavní fáze stříhu.

První fáze začíná dosednutím střížníku na polotovar. Ten následně vniká do materiálu, ale protože vzniklé napětí nepřesahuje mez kluzu, nedochází k plastickým deformacím. Materiál je vtlačován a ohýbán směrem do střížnice. V této oblasti pružných deformací střížník vniká přibližně do 5 až 8 procent tloušťky stříhaného materiálu, v závislosti na jeho mechanických vlastnostech. Hloubka tohoto vniknutí je označena na obrázku 9, který znázorňuje první fázi stříhu, jako  $h_{el}$ .



Obr. 9 První fáze stříhu [18]

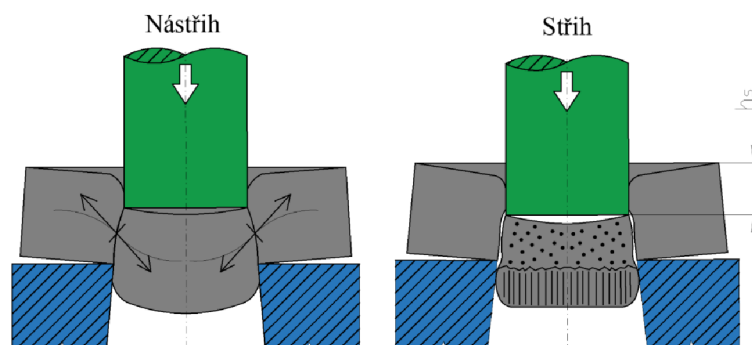
Během druhé fáze, která je znázorněna na obrázku 10, již napětí ve stříhaném materiálu přesáhlo mez kluzu a nastávají trvalé plastické deformace. Největší napětí, které vzniká na hranách střížníku a střížnice, dosahuje téměř meze pevnosti. Střížník vniká během této fáze do hloubky zhruba 10 až 25 procent tloušťky stříhaného materiálu. Na obrázku je tato vzdálenost znázorněna jako  $h_{pl}$ . Tato hloubka je opět závislá na daném materiálu a jeho mechanických vlastnostech.



Obr. 10 Druhá fáze stříhu [18]



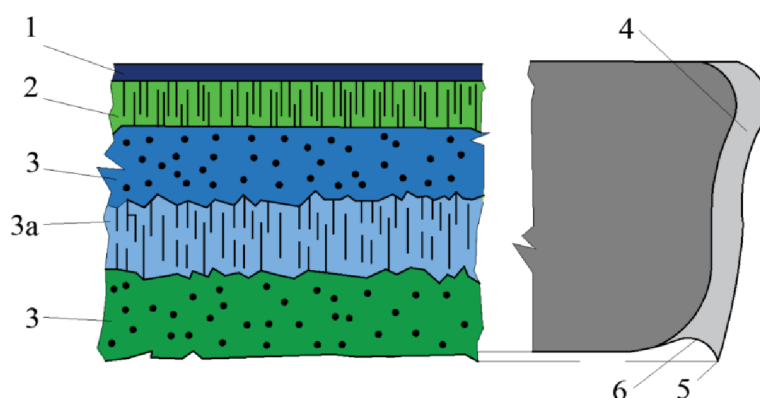
Nárůst napětí pokračuje i během třetí fáze. Po překročení meze pevnosti ve stříhu se začínají objevovat první trhliny, takzvaný nástřih. Tyto trhliny vznikají za působení tahového normálového napětí, které probíhá ve směru vláken materiálu. Následným šířením těchto trhlin dojde k úplnému ustřížení materiálu. Rychlost, kterou se trhliny šíří, je závislá na mechanických vlastnostech materiálu a na střížné vůli mezi střížníkem a střížnicí. Střih tvrdého a křehkého materiálu nastává rychle, přičemž střížníku stačí vniknout zhruba do 10 procent tloušťky stříhaného materiálu. Naopak houževnatý a měkký materiál se stříhá pomaleji a střížník vniká někdy až do 60 procent tloušťky stříhaného materiálu. Tato vzdálenost je na obrázku 11, který znázorňuje třetí střížnou fázi, označena jako  $h_s$ .



Obr. 11 Třetí fáze stříhu [18]

## 2.2 Střížná plocha [17], [19]

Na výslednou kvalitu a tvar střížné plochy má vliv několik faktorů. Jedná se o velikost střížné mezery (vůle), vlastnosti stříhaného materiálu, tvar střížných hran, stav napjatosti a rychlost stříhu. Jak je patrné, střížná plocha se skládá z více oblastí. Důvodem je odstříhnutí materiálu před průchodem střížníku jeho celou tloušťkou. Materiál je od určitého okamžiku pouze vytlačován. Z toho důvodu nejsou střížné plochy ideálně rovinné a drsnost povrchu není všude stejná. Oblasti, kde vznikly trhliny dříve, mají větší drsnost povrchu. Na obrázku 12 lze vidět střížnou plochu při normální střížné vůli. Znázorněné oblasti jsou následně blíže popsány:



Obr. 12 Střížná plocha při normální střížné vůli [19]

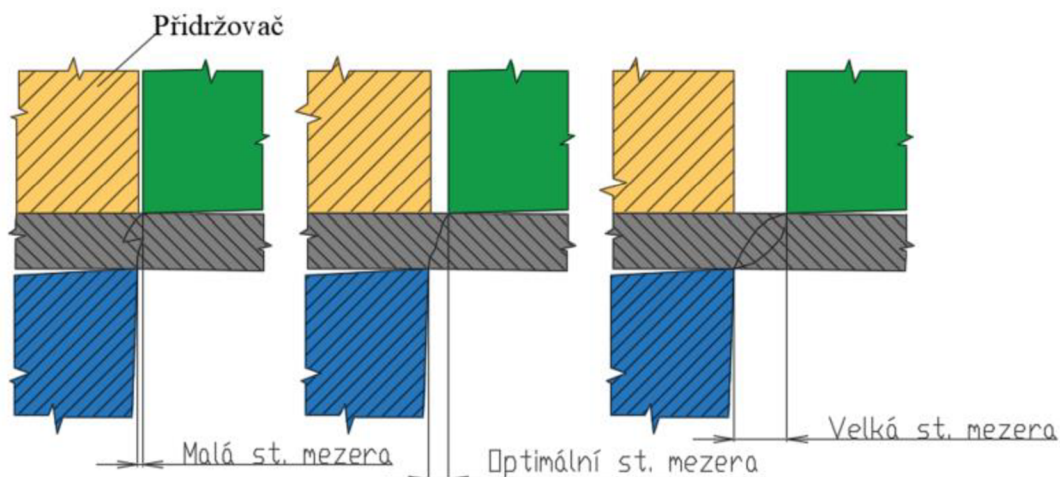
- Oblast zeslabení tloušťky (1): vzniká vlivem prvotního stlačení materiálu střížníkem
- Oblast plastického stříhu (2): vzniká plastickým zatlačením materiálu střížníkem, tato oblast je nejhladší a nejpřesnější
- Lomová oblast (3): v této oblasti dochází k lomu, její tvar ovlivňuje velikost střížné vůle
- Oblast otěru (3a): vzniká vlivem tření, když je výstřížek vytlačován střížnicí
- Zpevněná oblast (4): její velikost roste s tvárností materiálu a otupením břitů
- Otřep (5): nachází se na spodu střížné plochy a narůstá s otupením spodního břitů a tvárností materiálu
- Vtisk spodního nože (6): pravděpodobnost vzniku vtisku roste s velikostí úhlu čela spodního nože

## 2.3 Střížná vůle [4], [19], [20], [21]

Střížná vůle je dána jako součet velikostí střížných mezer, které se nachází po obou stranách mezi hranami střížníku a střížnice. Její navrhovaná velikost je závislá na pevnosti a tloušťce stříhaného materiálu, tvaru výstřížku a materiálu střížných hran.

Střížná vůle neovlivňuje pouze kvalitu střížné plochy, jak již bylo uvedeno, ale má také vliv na velikost střížné síly a tím pádem i na namáhání a životnost nástroje. Vhodně navržená střížná vůle podporuje správné setkání trhlin, které během stříhání vznikají. To má za důsledek dobré oddělení stříhaných ploch. V opačném případě, když je střížná vůle příliš malá nebo velká, mohou nastat následující problémy.

S malou střížnou vůlí roste střížná síla a střížná práce. Dochází k tzv. dvojnásobnému až vícenásobnému stříhu, kterým je snižována kvalita střížné plochy. Naopak je výhodou menší ořep a snižování ohybu během první fáze stříhu. S velkou střížnou vůlí je materiál snadněji vtahován do střížných mezer, tím narůstá velikost střížné síly. Výsledkem je nekvalitní střížná plocha, velké ořepy a více namáhané střížné hrany. Jednotlivé střížné mezery jsou znázorněny na obrázku 13.



Obr. 13 Znárodnění střížných mezer [19]

Velikost optimální střížné vůle lze stanovit na základě výpočtu, který je níže uveden, nebo dle již vypracovaných a časem ověřených tabulek, které udávají procentuální velikost střížné vůle vzhledem k tloušťce stříhaného materiálu o známých vlastnostech.

Pro stříhané materiály tloušťky  $\leq 3$  mm lze střížná vůle vypočítat jako:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (2.1)$$

kde:  $v$  – střížná vůle [mm]

$z$  – střížná mezera [mm]

$c$  – koeficient  $c$  je volen v rozmezí 0,005 až 0,035 [-]. Pokud je cílem dosažení kvalitní střížné plochy, jsou voleny nižší hodnoty. Vyšší hodnoty se volí za účelem snížení střížné síly.

$s$  – tloušťka stříhaného materiálu [mm]

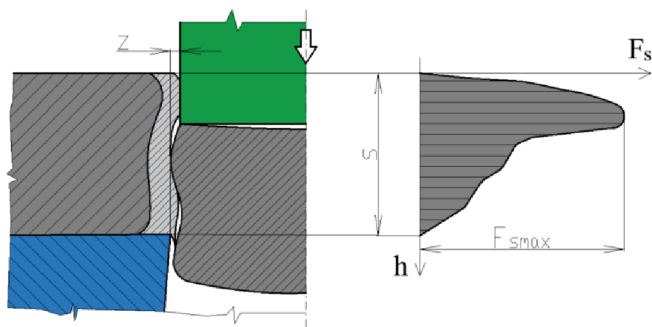
$\tau_s$  – pevnost materiálu ve stříhu [MPa]

Pro stříhané materiály tloušťky  $> 3$  mm lze střížná vůle vypočítat jako:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s} \quad (2.2)$$

## 2.4 Střížná síla [17], [18], [22], [23], [26]

Typický průběh střížné síly, který je dán v závislosti na vniknuté vzdálenosti střížníku do materiálu, lze vidět na obrázku 14. Prvotní nárůst síly je způsoben pružným vniknutím břitu do materiálu. Síla dále roste i při vznikajících plastických deformacích. Přestože se střížná plocha zmenšuje, z důvodu lokálního zpevnění střížná síla stále roste. Nárůst pokračuje do objevení prvních trhlinek, kdy střížná síla začíná mírně klesat. Ve vzdálenosti, kde dojde k úplnému lomu, nastává značný pokles síly. Následné zmírnění poklesu je dáno vlivem otěru vzniklé tvarové S plochy. Velikost střížné síly se zjišťuje zpravidla výpočtem.



Obr. 14 Znáornění průběhu střížné síly [16]

Výpočet střížné síly pro rovnoběžné nože je dán vztahem:

$$F_s = s \cdot l \cdot n \cdot \tau_s \quad (2.3)$$

kde:  $s$  – tloušťka stříhaného materiálu [mm]  
 $l$  – střížná délka [mm]  
 $n$  – součinitel otupení nástroje [-] (1,1 až 1,3)  
 $\tau_s$  – pevnost materiálu ve stříhu [MPa]  
 $F_s$  – střížná síla [N]

Hodnota pevnosti oceli ve stříhu  $\tau_s$  lze zjistit jako:

$$\tau_s = 0.8 \cdot R_m \quad (2.4)$$

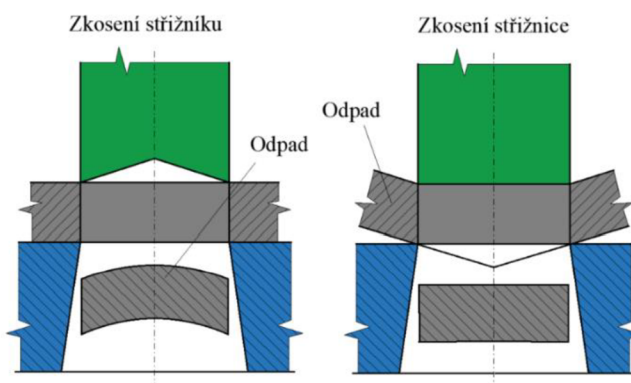
kde:  $R_m$  – mez pevnosti [MPa]

Pokud by se jednalo o stříh nerovnoběžnými noži, je výchozí vzorec analogicky upraven podle dané střížné geometrie. Např. střížná síla pro šikmé nože lze určit vztahem:

$$F_s = s^2 \cdot n \cdot \tau_s \cdot (2 \cdot \tan \alpha)^{-1} \quad (2.5)$$

kde:  $\alpha$  – úhel sklonu nožů [°]

V případě, že by byla shledána střížná síla příliš velká, je možno dosáhnout jejího snížení. Jedním z možných způsobů je zkosit střížník pro děrovací operace a střížnici pro vystřihovací operace. U této varianty (obr. 15) je nevýhodou riziko vzniku bočních sil. Proto se zkosení často provádí po obou stranách souměrně.



Obr. 15 Úprava střížníku a střížnice [22]

U stříhadel s více střížníky je také možno odstupňovat jejich délky. Odstupňování bývá zpravidla o jednu třetinu až celou tloušťku stříhaného materiálu. V okamžiku, kdy neodstupňovaný střížník již dosáhl maximální střížné síly a její velikost prudce klesá, dochází k nárůstu střížné síly na zkráceném střížníku. Nevýhodou je zde nutná větší velikost zdvihu oproti variantě, kdy by byly všechny střížníky stejně dlouhé.

Ke střížné síle se také váže zjištění polohy jejího těžiště, obzvláště jedná-li se o nástroj s více střížníky. Určení polohy těžiště střížných sil na nástroji je důležité pro správné umístění stopky pokud je za ni nástroj upínán, nebo pro umístění středícího čepu pokud je nástroj upínán pomocí upínek. V opačném případě, kdy by byla stopka (středící čep) umístěna mimo těžiště střížných sil, dochází k nežádoucím jevům. Těmito jevy jsou takzvané klopné momenty, které snižují životnost nástroje, nadměrně zatěžují tvářecí stroj a zhoršují přesnost a kvalitu výstřížku. Těžiště střížných sil lze zjistit početně nebo grafickým řešením.

## 2.5 Střížná práce [18], [19], [24]

Práci, která je potřebná k ustříhnutí materiálu lze stanovit jako plochu pod křivkou průběhu střížné síly, která závisí na střížné dráze. Pro výpočet střížné práce existuje více používaných vzorců.

V tomto případě je střížná křivka pro zjednodušení nahrazena polovinou elipsy. Výsledná střížná práce lze snadno spočítat jako polovina obsahu této elipsy. Tímto způsobem lze dosáhnout dostatečně přesných výsledků. Vzorec je následující:

$$A = \frac{\pi}{2} \cdot F_s \cdot \frac{h}{2} = \frac{\pi}{4} \cdot F_s \cdot u \cdot s \quad (2.6)$$

kde: A – střížná práce [J]

$F_s$  – střížná síla [N]

h – hloubka vniknutí střížné hrany do materiálu do okamžiku porušení [m]

u – koeficient poměrné hloubky vniknutí, uvedeno v tab. 3 [-]

s – tloušťka stříhaného materiálu [m]

Tab. 3 Koeficient poměrné hloubky vniknutí u [24].

Materiál	Tloušťka materiálu [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
Ocel o pevnosti 250 až 350 MPa	0,75 až 0,70	0,70 až 0,65	0,65 až 0,55	0,50 až 0,40
Ocel o pevnosti 350 až 500 MPa	0,65 až 0,60	0,60 až 0,55	0,55 až 0,48	0,45 až 0,35
Ocel o pevnosti 500 až 700 MPa	0,50 až 0,47	0,47 až 0,45	0,44 až 0,38	0,35 až 0,25
Al, Cu žíhané	0,80 až 0,75	0,75 až 0,70	0,70 až 0,60	0,65 až 0,50

Tabulka platí pro normální střížné vřely. S malými vřely se hloubka vniknutí zvětšuje.

Jiná varianta výpočtu, ve které je užito tzv. součinitele plnosti:

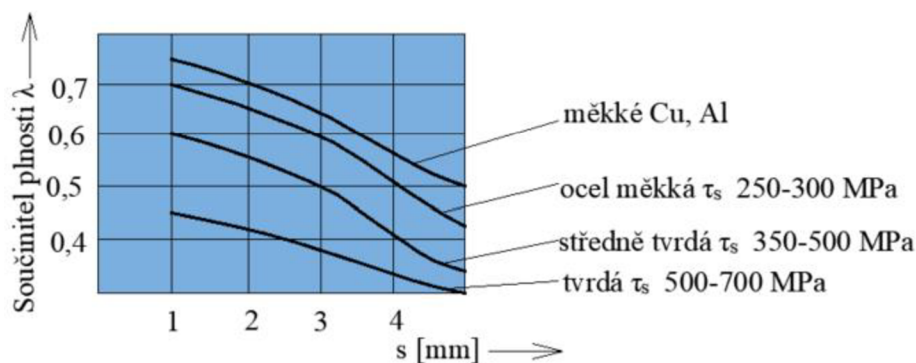
$$A = \lambda \cdot F_s \cdot s \quad (2.7)$$

kde:  $A$  – střížná práce [J]

$\lambda$  – součinitel plnosti viz obr. 16 [-]

$F_s$  – střížná síla [N]

$s$  – tloušťka stříhaného materiálu [m]



Obr. 16 Znázornění součinitele plnosti [18]

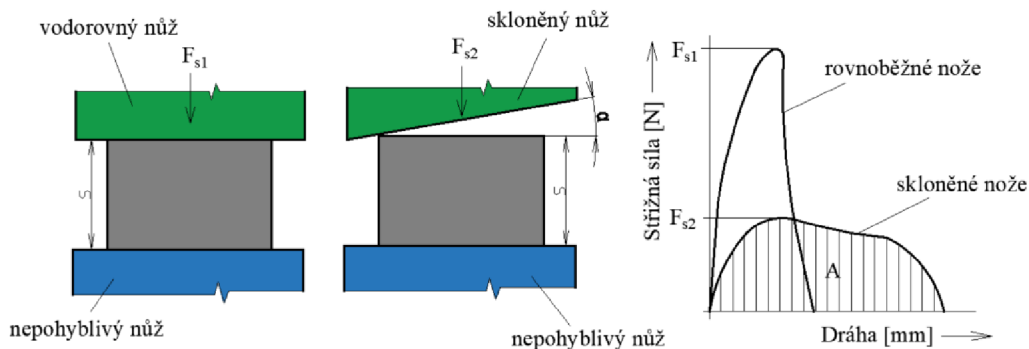
## 2.6 Způsoby stříhání [17], [25]

Vzhledem ke geometrii střížných hran se rozlišuje:

- Stříhání rovnoběžnými noži
- Stříhání skloněnými noži
- Stříhání kotoučovými noži
- Stříhání noži na profily a tyče

Stříhání rovnoběžnými noži – ostří na střížníku a střížnici jsou vůči sobě rovnoběžná. Mezi nimi se nachází střížná mezera. Jelikož střížné síly nepůsobí v ideální rovině, tak je důležité u běžného stříhání zachovat určitou střížnou mezera, aby se zabránilo případné kolizi. Nevýhodou této metody je vysoká nárazová střížná síla. Výhodou je méně složitá konstrukce nožů.

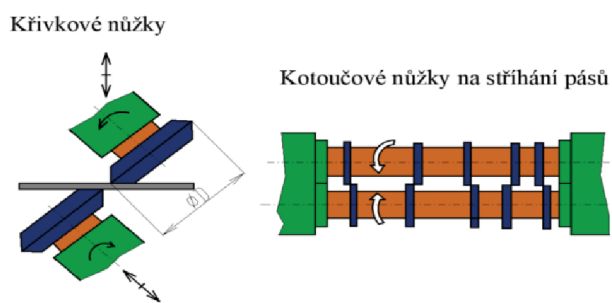
Stříhání skloněnými noži – v tomto případě je vůči sobě ostří na střížníku a střížnici vychýleno o určitý úhel. Střížník proniká do materiálu postupně, proto je ve srovnání s rovnoběžnými noži v daném okamžiku menší stříhaná plocha, tudíž i menší výsledná střížná síla. Nevýhodou je mírné ohnutí ústřížku, ke kterému dochází při vnikání šikmého nože do materiálu. Znázornění rovnoběžných a šikmých nožů s jejich vzájemným porovnáním průběhu střížné síly a práce je znázorněno na obrázku 17.



Obr. 17 Znázornění rovnoběžných a skloněných nožů [25]

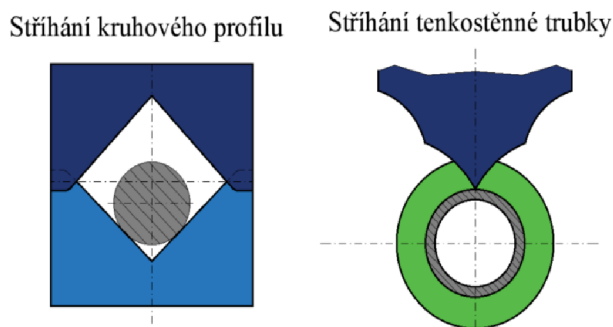


Stříhání kotoučovými noži – uvedený způsob stříhání využívá kotoučové neboli rotační nože. Tento způsob je vhodný pro přímočarý stříh dlouhých pásů. Při malém průměru kotoučových nožů lze vést stříh i po křivkové dráze. Stříh má plynulý průběh bez nežádoucích rázů. Nevýhodou jsou vyšší střížné časy a omezení tloušťky stříhaného materiálu zhruba do 10 mm. Na obrázku 18 jsou znázorněny některé varianty stříhání kotoučovými noži.



Obr. 18 Příklady kotoučových nožů [17]

Stříhání noži na profily a tyče – při stříhání materiálů, které nejsou plechy, ať už se jedná o kruhové, čtvercové, nebo různé profilové průřezy, je používána zásada, aby se v průběhu stříhu téměř neměnila tloušťka stříhaného materiálu. Podle toho se navrhuje tvar pohyblivého nože. U stříhu trubek je riziko deformace stěny. Z toho důvodu se používá obloukový nůž zakončený špičkou, která stěnu nejprve propíchne a obloukové boky následně trubku dostříhnou. Nože na stříh profilů a trubek jsou znázorněny na obrázku 19.



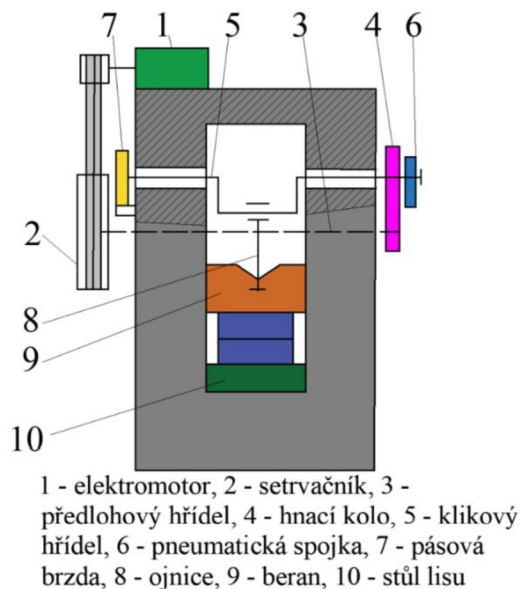
Obr. 19 Příklad stříhu kruhového profilu a tenkostěnné trubky [25]

## 2.7 Stroje pro stříhání [19], [26], [27], [28]

Stroje, které se používají pro střížné operace lze dělit do dvou skupin. Jedná se o univerzální tvářecí stroje vybavené střížnými nástroji a o jednoúčelové stříhací stroje.

Nejpoužívanější univerzální tvářecí stroje jsou mechanické a hydraulické lisy, přičemž z mechanických lisů to jsou lisы klikové a lisы výstředníkové.

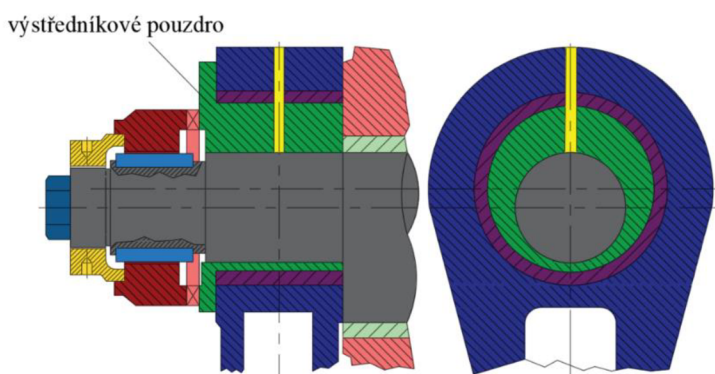
Mechanické klikové lisы pracují s energií, která vzniká rotací setrvačnicku. Energie je následně přenesena klikovým mechanismem na tvářecí polotovary. Spodní část tvářecího nástroje je upnuta na stůl lisu a nekoná pohyb. Horní část tvářecího nástroje se upíná do beranu lisu, který koná přímočarý vratný pohyb. Ten probíhá mezi horní a dolní úvratí. Tato vzdálenost je zdvih lisu. Sevření je u klikových lisů možno měnit přenastavením výšky beranu. Jmenovité tvářecí síly je dosahováno pouze na krátké vzdálenosti před spodní úvratí. Klikové lisы jsou převážně ve svislém provedení, jak je znázorněno na obrázku 20, ale mohou být i vodorovné. Slouží pro střížné operace jako např. ostříhování výkovek, výlisků, vystříhování polotovarů a hotových výrobků.



1 - elektromotor, 2 - setrvačnick, 3 - předlokový hřídel, 4 - hnací kolo, 5 - klikový hřídel, 6 - pneumatická spojka, 7 - pásová brzda, 8 - ojnice, 9 - beran, 10 - stůl lisu

Obr. 20 Schéma svislého klikového lisu [27]

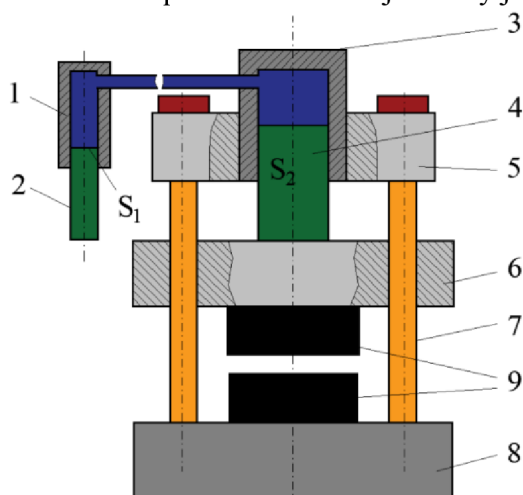
Mechanické výstředníkové lisy pracují na obdobném principu jako lisy klikové. Je zde však možno nastavit velikost zdvihu změnou excentricity na hlavním hřídeli. Toho je docíleno použitím výstředníkového pouzdra, které se nachází mezi klikovým hřídelem a okem ojnice, jak je vidět na obrázku 21. Podle požadované změny zdvihu je pouzdrem natáčeno. Oproti klikovým lisům



Obr. 21 Změna zdvihu výstředníkovým pouzdrům [28]

mají výstředníkové lisy otevřený pracovní prostor. Stejně jako u lisů klikových lze jejich chod nastavit na jednotlivé zdvihy nebo na chod trvalý. Počet zdvihů se může pohybovat v řádu desítek až nízkých stovek za minutu. Lisy mohou být jednostojanové nebo dvoustojanové, přičemž stojan má charakteristický tvar písmene C. Nevýhodou výstředníkových lisů je jejich nižší tuhost, při které se beran může pod velkým zatížením naklonit a nevhodně zatěžovat střižný nástroj. Tyto lisy se používají pro ostříhování, vystříhování a děrování.

Hydraulické lisy využívají rovnoměrného šíření tlaku v kapalině. Z tlakové jednotky je mezi hydraulické válce, které tvoří propojenou tlakovou komoru, přiváděna tekutina. V hydraulických válcích se pohybují písty, přičemž platí, že po vyvinutí síly na píst o menší styčné ploše s kapalinou je vzniklý tlak převeden i na píst o větší styčné ploše. Jelikož tlak na oba písty musí být stejný, je síla, která působí na plochu většího pístu v daném poměru větší než síla, která děj vyvolala. Hydraulické lisy mohou být vertikální i horizontální. Nástroj se upíná mezi horní pohyblivý příčnick a spodní nepohyblivý příčnick. Výhodou těchto lisů je možnost vyšších tvářecích sil a konstantní velikost tvářecí síly oproti lisům mechanickým. Naopak jsou nákladnější a nedosahují takové produktivity práce. Schéma hydraulického lisu je znázorněno na obrázku 22.



$S_1, S_2$  - činné plochy pístů, 1,3 - hydraulický válec, 2,4 - píst, 5 - horní příčnick, 6 - pohyblivý příčnick, 7 - sloup, 8 - dolní příčnick, 9 - tvářecí nástroj

Obr. 22 Schéma hydraulického lisu [27]

Oproti univerzálním tvářecím strojům, které se dají použít i pro jiné tvářecí technologie, lze jednoúčelové stříhací stroje použít pouze pro konkrétní střižné operace. Jedná se o různé druhy nůžek, vysekávací lisy a děrovací lisy.

Nůžky mohou být například:

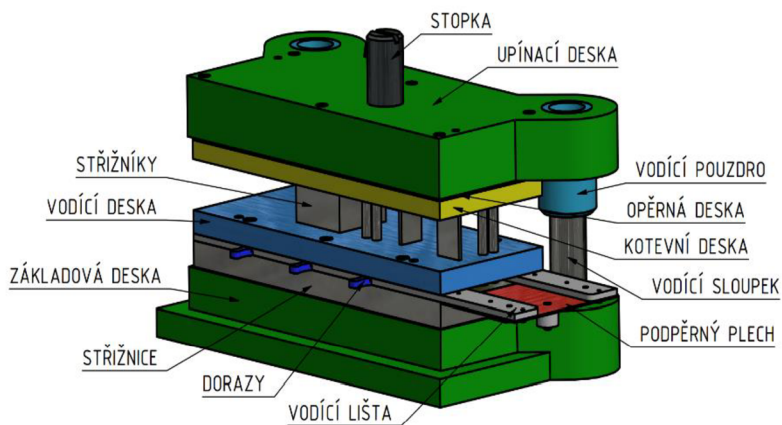
- Pákové: stříh probíhá postupně, ústřížek je mírně ohýbán
- Vibrační: pro tenké plechy, nůž kmitá 10 až 35 Hz
- Tabulové: pro stříhání tabulí plechu
- Kotoučové: pásové nůžky, okružní nůžky, křivkové nůžky
- Na profily: slouží pro dělení profilů a tyčí
- Letmé: slouží pro dělení vývalků v hutích

Vysekávací lisy se používají převážně na zhotovení menších součástek. Lisy mohou vykonat zhruba 50 až 600 zdvihů za minutu a dosahovat lisovací síly kolem 3 MN. Obvykle je k lisu připojeno odvíjecí a rovnací zařízení. Tyto lisy jsou vhodné pro malé tloušťky stříhaných materiálů (do 1,6 mm).

Děrovací lisy se používají pro děrování a vystříhování rozměrných plechových výstřížků převážně v malosériové výrobě. Mohou být řízeny ručně nebo pomocí programu. Obvykle se používají pro tloušťky materiálu do 6 mm. Plech se upíná na pohyblivý stůl, díky kterému je docíleno správné polohy pro vystřížení otvoru. Děrovací lisy využívají více střížných nástrojů, které jsou uloženy v revolverové hlavě a dle potřeby natáčeny do pracovní pozice.

## 2.8 Střížné nástroje [4], [17], [22], [29]

Střížné operace jsou na univerzálních tvářecích strojích zhotovovány pomocí střížných nástrojů. Obecně se střížný nástroj dělí na horní pohyblivou část a spodní nepohyblivou část. Horní část bývá do tvářecího stroje upnuta pomocí stopky, která je našroubována v těžišti střížných sil do upínací desky nástroje, nebo pomocí upínek. Upínací deska je pomocí kolíků, které vymezují polohu, a šroubů spojena s opěrnou a kotevní deskou. Opěrná deska nemusí být vždy součástí nástroje. V kotevní desce je upnut střížník. Spodní část je tvořena základovou deskou, která se pomocí upínek připevňuje ke stroji. Střížnice je k základové desce opět připevněna pomocí šroubů a kolíků. Mimo tyto hlavní díly nástroj často obsahuje dle dané konstrukce i další části. Jedná se například o prvky, které slouží k vedení obou částí nástroje vůči sobě (vodící desky, sloupky, pouzdra), nebo o prvky, které vymezují polohu polotovaru v nástroji (dorazy, vodící lišty, hledáčky). Příklad střížného nástroje, který obsahuje tyto prvky je uveden na obrázku 23.



Obr. 23 Příklad střížného nástroje

Při návrhu střížného nástroje by měly být brány v potaz následující hlediska:

- Vyrobiteľnosť nástroje, ktorou ovplyvňuje napr. druh použitých materiálov a jejich mechanické vlastnosti, způsoby tepelného zpracování, rozměry, drsnost a požadovaná přesnost vyráběných dílců, vybavení výrobního strojového parku, nebo také dosavadní zkušenosti s výrobou střížných nástrojů.
- Smontovatelnost a vyměnitelnost dílců, která závisí na správném konstrukčním návrhu nástroje, způsobu uložení a lícování součástí, použití typizovaných a normalizovaných dílců, přesnosti výroby, úrovni dostupných montážních prací atd.
- Životnost nástroje a trvanlivost funkčních částí, které ovplyvňuje napr. tuhost stroje i nástroje, použití vodících prvků, působící silové namáhání, pracovní prostředí, údržba, dodržování technologických postupů atd.
- Cena nástroje, která se odvíjí od nákladů na materiál a výrobních nákladů, by měla být v rámci zachování požadovaných funkcí a vlastností nástroje co nejmenší. S narůstající velikostí výrobní série a marží na vyráběném kusu se investice do nástroje rozmělnuje.

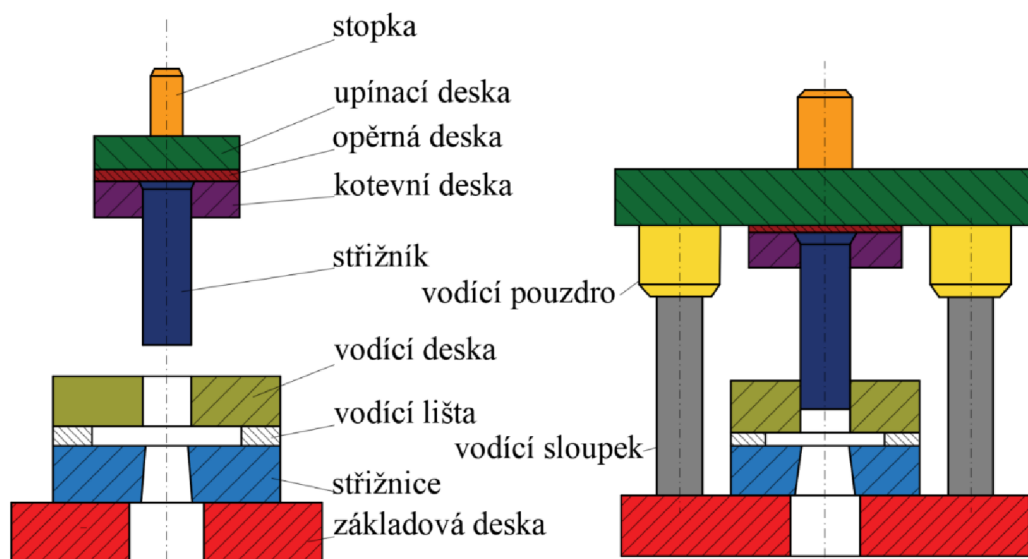
- Bezpečnost konstrukce má být taková, aby se zabránilo jakémukoli vzniku úrazu obsluhy a aby byl zajištěn bezporuchový provoz nástroje po celou dobu jeho životnosti.

Podle druhu a počtu operací se střížné nástroje dělí na jednoduché, vícenásobné, postupové, sloučené a sdružené.

- Jednoduché střížné nástroje zhotovují výstřížek na jednom místě během jednoho zdvihu. Pás je posouván o vzdálenost jednoho kroku.
- Vícenásobné nástroje pracují na stejném principu jako nástroje jednoduché, akorát je během jednoho zdvihu vystříženo více stejných výstřížků na více místech.
- Postupové nástroje nezhotoví výstřížek v jednom zdvihu, ale postupně ve více operacích. V prvním zdvihu je např. vyděrován otvor, a až v následujícím zdvihu vystříhnut výstřížek. U postupového nástroje nestačí pouze jeden doraz, ale je nutný také doraz načínací, který se použije při prvním zasunutí plechu do nástroje.
- Sloučený nástroj vykonává během jednoho zdvihu na jednom pracovním místě více střížných operací zároveň (např. vystřihování i děrování).
- Sdružený střížný nástroj umožňuje provést více tvářecích operací na jeden zdvih. V prvních krocích může být např. výlisek střížníky téměř vystříhnut při ponechání spojovacího můstku, v následující operaci zhotoven ohybníkem ohyb a ve finálním kroku provedeno odstřížení můstku.

Dalším rozlišovacím znakem střížných nástrojů je způsob jejich vedení. Jedná se o nástroje s vedením a bez vedení.

- Střížné nástroje bez vedení se používají při výrobě jednoduchých výstřížků o malých sériích, na které není požadována velká rozměrová přesnost a kvalita střížné plochy. Vzájemnou polohu částí stříhadla zaručuje pouze stojan a beran lisu. Tyto nástroje jsou jednoduché a poměrně snadno vyrobitelné.
- Střížné nástroje s vedením jsou použity při výrobě přesnějších dílů, kde by samotné vedení beranu nebylo schopno dostát požadované přesnosti. Vedení nástroje je provedeno přidáním vodící desky a pro dosažení co nejvyšší přesnosti také užitím vodících sloupků viz obr. 24.

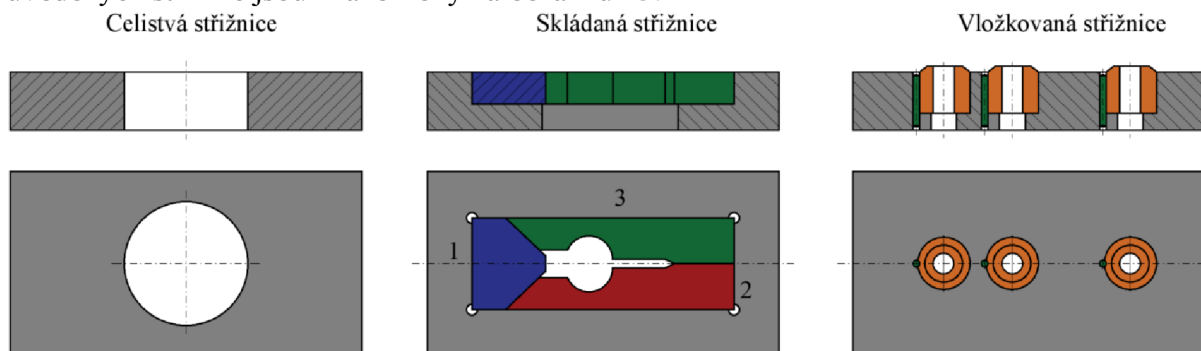


Obr. 24 Vedení nástroje pomocí vodící desky a vodící desky s vodícími sloupky [29]



## 2.9 Funkční části nástroje [22], [26], [29]

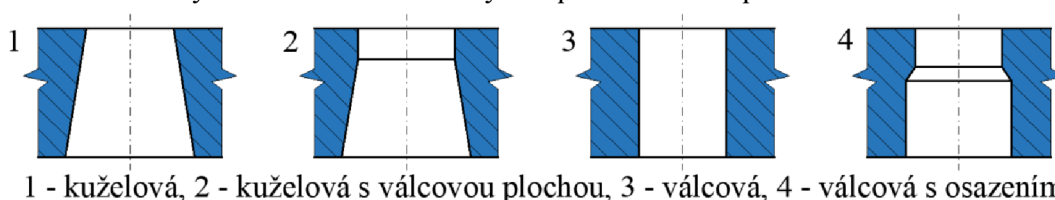
Jednou z hlavních funkčních částí nástroje, která je během střížné operace v přímém kontaktu s polotovarem je střížnice. Střížnice se dělí na celistvé, skládané a vložkované. To je dáno přihlédnutím k jejich konstrukci, rozměrům, tvarům a výrobním možnostem. Příklady uvedených střížnic jsou znázorněny na obrázku 25.



Obr. 25 Příklady střížnic [29]

- Celistvé střížnice jsou vyrobeny z jednoho polotovaru. Nejčastěji se jedná o nástrojovou ocel. Používají se k výrobě menších, tvarem nenáročných dílů. Pro tvarově složité dílce je výroba celistvé střížnice obtížná, často nemožná.
- Skládané střížnice jsou používány pro výrobu větších a tvarem složitějších dílů. Jsou složeny z několika menších dílů, které po složení vytvoří požadovaný tvar. Tyto menší díly jsou snadněji vyrobitelné a více přesné. Také během tepleného zpracování jsou méně deformovány. Případné deformace jsou většinou odstranitelné broušením. Kalené díly bývají do nekalené desky nebo objímky nalisovány, u větších střížnic navíc přišroubovány a zajištěny kolíky. Tyto střížnice se používají v sériové i hromadné výrobě, protože dosahují větší přesnosti, delší životnosti a jsou snadněji udržovány.
- Vložkované střížnice se používají pro výrobu velkých výstřížků v sériových a hromadných výrobních. Ve skládaných střížnicích vznikne složitý otvor po složení jednotlivých částí střížnice. Oproti tomu vložkované střížnice obsahují jednotlivé vložky, ve kterých jsou požadované otvory, které zpravidla nebyvají příliš složité. Výhodou je velká úspora nástrojové oceli, která je určena pouze na vložky. Deska nebo objímka, ve které jsou vložky uleženy, je z běžných konstrukčních ocelí. Při opotřebení je vložka snadně vyměněna. Aby mohla být vložka přebroušována, přečnívá obvykle 3 až 5 mm nad objímku. Při zpětném pohybu střížníku se vložka nesmí vysouvat.

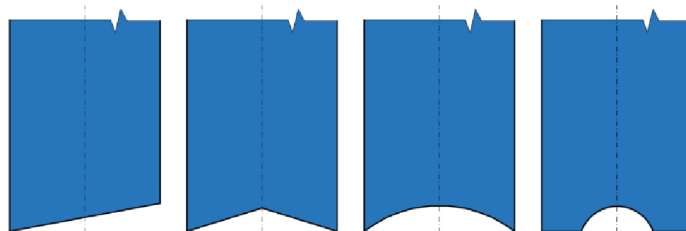
Otvory ve střížnici mohou být navrhovány několika způsoby, jak je znázorněno na obrázku 26. Pro menší součásti o nevelkých výrobních sériích, kde je požadovaná běžná přesnost, bývají použity střížnice s kuželovým otvorem. Pro velké série a vyšší požadovanou přesnost jsou konstruovány střížnice kuželové s válcovou částí, kterou lze při zachování požadovaných rozměrů přebroušovat. Čistě válcový tvar se používá pro rozměrné výstřížky nebo při použití vyhazovačů. Válcový tvar s osazením lze využít pro děrovací operace.



Obr. 26 Příklady tvarů střížných otvorů [29]

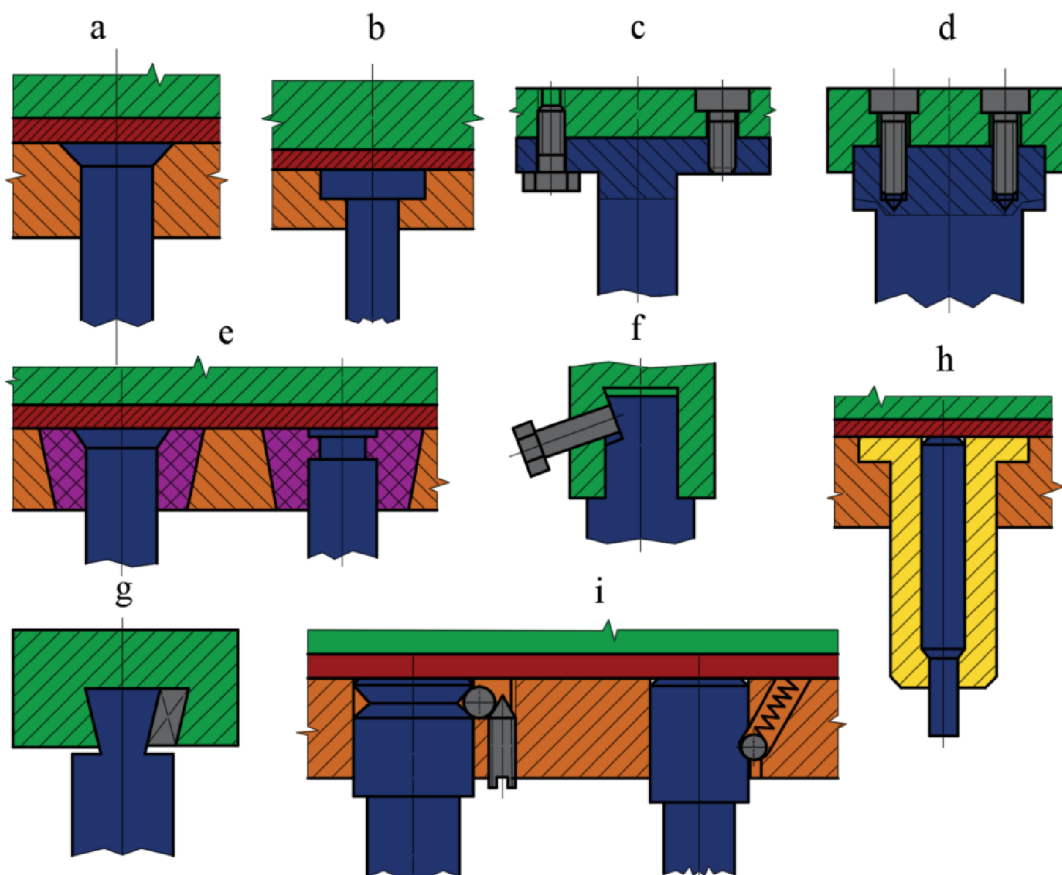
Druhou hlavní funkční částí nástroje, díky které dochází ke stříhu polotovaru, je střížník. Má stejný tvar jako otvor ve střížnici, upravený o danou vůli. Střížníky se dělí podle tvaru průřezu a způsobů upínání v kotevní desce.

Nejvýhodnější je návrh střížníků jednoduchých tvarů (kruhové, obdélníkové, čtvercové), které jsou snadno vyrobitelné. Plocha čela bývá obvykle kolmá na osu střížníku. Pokud je cílem snížit střížnou sílu, je možno čelo zkosit nebo tvarově upravit, viz obrázek 27. Tyto střížníky jsou však obtížněji vyrobitelné a více náročné na následnou údržbu jako je např. broušení. Malé střížníky se vyrábí z jednoho kusu nástrojové oceli. Pro velké střížníky je často vyrobena pouze funkční břitová část z nástrojové oceli a nosná část z oceli konstrukční. Tyto dvě části musí být vůči sobě náležitě vystředěny a spojeny. Střížníky o malém průřezu, na které působí velké střížné síly, je nutno kontrolovat na vzpěr a otláčení.



Obr. 27 Příklady úprav čel střížníků [29]

Upínání střížníku lze provést mnoha způsoby. Nejsnadnější je roznýtovat jeho horní část (obr. 28 a), nebo jej upnout za připravené osazení (obr. 28 b). Pokud jsou střížníky od sebe dostatečně vzdáleny, je možno upnutí provést pomocí příruby (obr. 28 c). Jsou-li dostatečně velké, mohou být šrouby zapuštěny přímo do těla střížníku (obr. 28 d). Také je možno střížníky zalít pryskyřicí (obr. 28 e). Dále je možno střížník upnout šroubem (obr. 28 f) či klínem (obr. 28 g). Při děrování malých otvorů lze vsadit střížník do pouzdra (obr. 28 h). Pokud je střížník často měněn, je možno použít rychloupínání za pomoci kuličky, které je znázorněno na obr. 28 i.

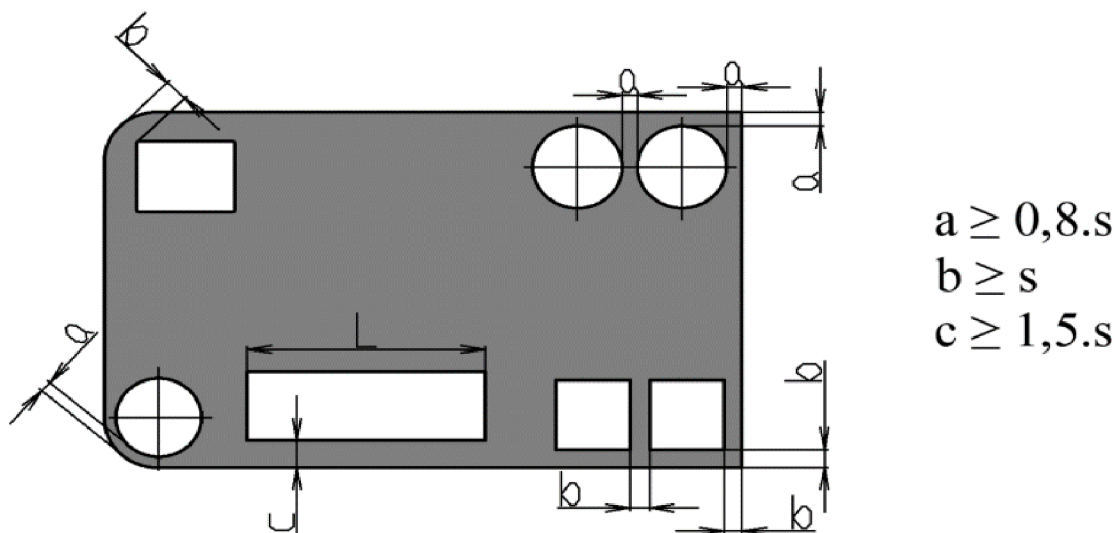


Obr. 28 Příklady upnutí střížníků [29]

## 2.10 Technologičnost výstřížků [4], [21]

Pro správné zhotovení stříhané součásti a zajištění bezproblémové výroby je třeba posoudit, zda daná součást nepodléhá jednotlivým omezením, které se k technologii stříhání vážou. Obecně by se měla brát v potaz následující hlediska:

- Mez pevnosti běžně stříhaného materiálu by neměla překročit 1200 MPa.
- Dosahovaná tvarová a rozměrová přesnost výstřížků je IT14 až IT12. Pokud střížný nástroj obsahuje prvky jako vodící sloupky a hledáčky, lze dosahovat přesnosti IT11 až IT9. Takovýto nástroj je však konstrukčně složitější a tím pádem i nákladnější. Další možností je použití technologie přesného stříhání, pomocí které lze docílit přesnosti IT8 až IT6.
- Drsnost střížné plochy se u běžného stříhání pohybuje od  $Ra=3,2 \mu\text{m}$  po  $Ra=6,3 \mu\text{m}$ . Není vhodné předepisovat nižší drsnosti.
- Vyhýbat se tolerancím rovinnosti a kolmosti na výstřížku.
- Mezi otvory vůči sobě a také jejich vzdálenostmi od krajů je nutno zachovat určité minimální vzdálenosti, které jsou znázorněny na obrázku 29.
- Pokud je to možné, rohy na výstřížku volit zkosené nebo zaoblené.
- Jestliže výstřížek obsahuje výrazně vystupující části, měly by být tyto útvary široké alespoň 1,5násobku tloušťky stříhaného materiálu.
- V děrovacích operacích upřednostňovat kruhové otvory, přičemž minimální velikost průměru by měla být alespoň 1,5 x tloušťka polotovaru u tvrdých a 1 x tloušťka polotovaru u měkkých ocelí.
- Při vystřihování nejsou z hlediska využití materiálu výhodné kruhové a členité tvary.



Obr. 29 Znázornění jednotlivých minimálních vzdáleností [4]

## 2.11 Nástřihové plány [17], [19], [22]

Jelikož náklady na materiál mohou u technologie stříhání tvořit zhruba až 75 % všech nákladů, je důležité, aby byl výstřížek na pásu plechu vhodně rozmístěn. Pokud není výhodné polohování zřejmé, je nutno navrhnout několik možných variant rozmístění, ze kterých je posléze vybrána nejvhodnější. Pro tu je poté vypracován nástřihový plán, který dopodrobna znázorňuje jednotlivé střížné kroky. Vhodně vypracovaný nástřihový plán by tedy měl zajistit minimální podíl odpadu společně s optimálně navrženými střížnými operacemi a znázorněným směrem, kudy se polotovar zavádí do nástroje. Příklady schémat nástřihových plánů jsou znázorněny na obrázku 30.




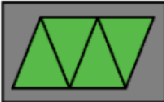
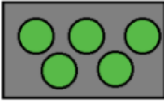
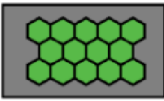






Odpad lze dělit na technologický a konstrukční. Technologickým odpadem se rozumí veškerá plocha polotovaru, která leží vně obrysu výstřížků. Naopak konstrukčním odpadem jsou například vyděrované otvory, které leží na ploše výstřížku. Konstrukční odpad tedy nemá vliv na využití materiálu, které je dáno vztahem:

$$\eta = \frac{S_{vs}}{S_p} \cdot 100 [\%] \quad (2.8)$$

kde:  $\eta$  – využití materiálu [%]

$S_{vs}$  – celková plocha (plných) výstřížků [mm<sup>2</sup>]

$S_p$  – plocha polotovaru [mm<sup>2</sup>]

Typ stříhu	Nástřihový plán	
	s přepážkou	bez přepážky
přímý		
jednořadý		
víceřadý		
šikmý		
vstřícný přímý		
vstřícný šikmý		

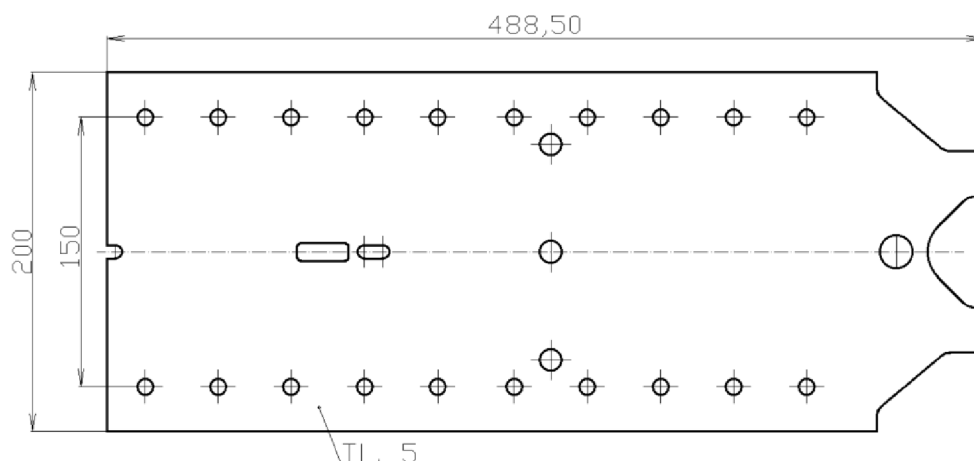
Obr. 30 Varianty nástřihových plánů [19]

Při návrhu rozmístění a orientace výstřížků se bere ohled na tvar a rozměry výstřížku, směr vláken materiálu, způsob podávání, tloušťku a kvalitu materiálu. Podle toho je také volena přepážka mezi výstřížky a boční odpad od okrajů polotovaru. Pokud je obvod součásti zhotovován více stříhy, je možno přepážku a boční odpad vynechat. Toho je často využíváno při produkci velkých sérií výstřížků, jelikož je tímto způsobem dosaženo značného snížení nákladů na materiál.



### 3 NÁVRH ŘEŠENÍ

Jak bylo zmíněno v úvodní kapitole, vyráběnou součástí je dílec brzdového segmentu. Jedná se o jeho rozvinutý tvar, který byl doposud zhotovován laserovým řezáním. Následný ohyb je proveden zákazníkem na zakružovacích zařízeních. Po zvážení výhod a nevýhod možných výrobních technologií bylo navrženo postupové stříhání jako nová výrobní metoda. Materiálem součásti je ocel S355J2C a výrobní série činí 100 000 ks-rok<sup>-1</sup>. Dílec s hlavními kótami je zobrazen na obrázku 31. Kompletní výkres je uveden v příloze práce.

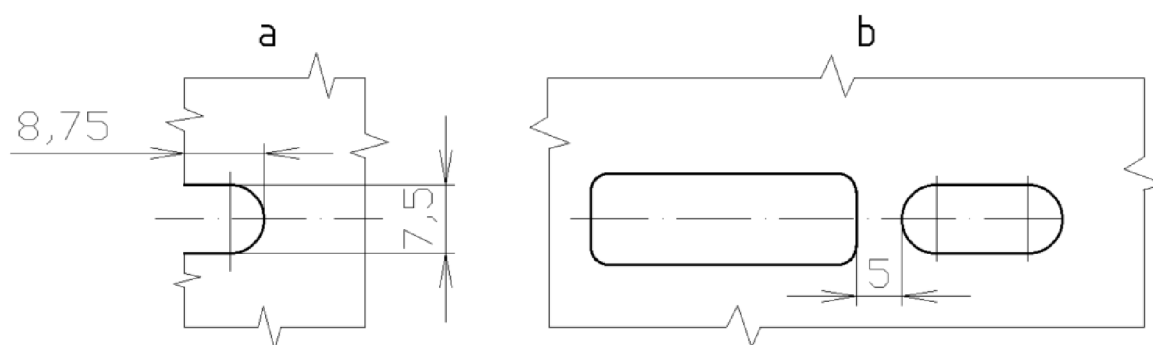


Obr. 31 Znárodnění dílce s hlavními rozměry

Vzhledem ke konstrukci dílce je zapotřebí ověřit, zda bude za použití technologie stříhání možná jeho bezproblémová výroba.

Zvolená ocel S355J2C dosahuje meze pevnosti až 630 MPa. Řadí se tedy mezi tvrdé oceli, přesto je stále vhodná pro střížné operace. Jelikož součást neobsahuje žádné tolerované rozměry, je z hlediska dodržení tolerancí plně vyrobiteľná. Na kvalitu střížných ploch také nejsou kladeny žádné speciální požadavky. Nejmenší vystřihovaný prvek je drážka na konci součásti o šířce 7,5 mm (obr. 32 a). Ta je dostatečně velká pro bezproblémové vystřihnutí. Nejmenší vzdálenost mezi vystřihovanými otvory (obr. 32 b) je mezi dvěma drážkami, které leží na ose výstřihu. Tato vzdálenost je rovna tloušťce plechu a splňuje podmínku zachování minimální vzdálenosti mezi otvory. Vzdálenost otvorů od okrajů je ve všech místech v pořádku. Dílec neobsahuje žádné štíhlé vystupující nebo obtížně vystřihitelné části.

Součást je tedy bez problému vyrobiteľná za využití technologie postupového stříhání.



Obr. 32 Detail nejmenšího prvku a nejmenší vzdálenosti mezi otvory na součásti

### 3.1 Rozmístění výstřížků

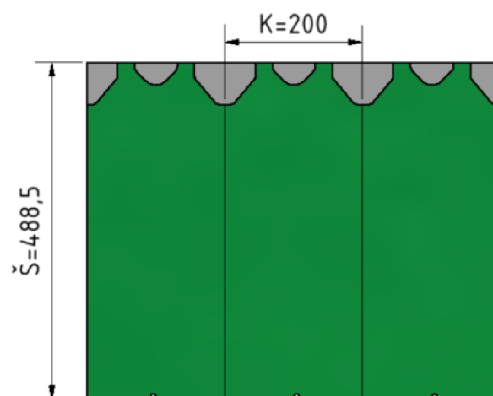
Vzhledem k obdélníkovému tvaru součásti lze usoudit, že jeho nejvýhodnější rozmístění na polotovaru bude buď jednořadé příčné nebo podélné. Jiná orientace a uspořádání se nejeví z žádného hlediska jakkoliv výhodná.

Dále bude znázorněno několik variant možných rozmístění výstřížků a zohledněny jejich výhody a nevýhody. Z nich bude vybrána nejvhodnější a pro ni poté navrhnout polotovar a zhotoven nástřihový plán.

Ve všech níže uvedených variantách rozmístění není navrhnout boční odpad. Jednak z důvodu lepšího využití materiálu a také pro celkově výhodnější a jednodušší konstrukci nástroje.

#### Varianta č. 1

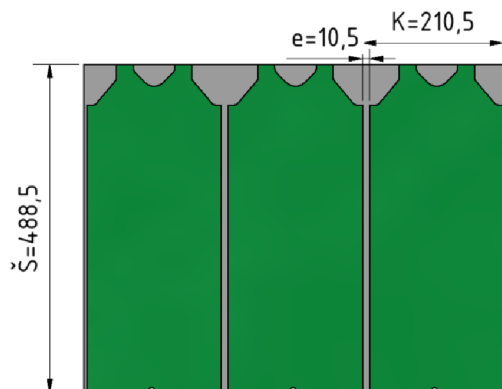
V první variantě rozložení, která je znázorněna na obrázku 33, jsou díly umístěny napříč polotovaru. Mezi jednotlivými díly není ponechán žádný můstek. Tím je maximalizováno využití materiálu. Finální odstříhnutí probíhá podle svislé střižné čáry, kde výstřížek v místě stříhu propadá střižnicí.



Obr. 33 Varianta č. 1

#### Varianta č. 2

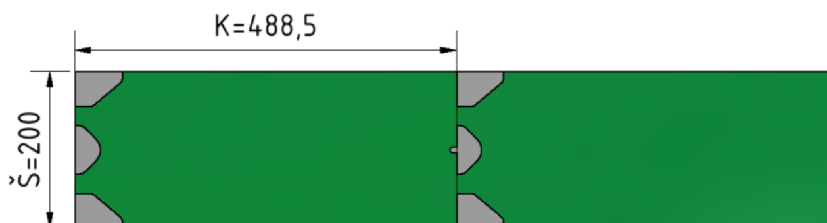
Druhá varianta rozložení (obr. 34) také počítá s díly položenými napříč polotovaru. Mezi jednotlivými výstřížky je však zachován můstek o velikosti  $e=10,5$  mm, který byl navrhnout na základě tabulky uvedené v příloze 1. Pro finální oddělení je nutné tento můstek vystřihnout, přičemž nyní je zhotovený výstřížek posouván polotovarem do požadovaného místa výstupu.



Obr. 34 Varianta č. 2

#### Varianta č. 3

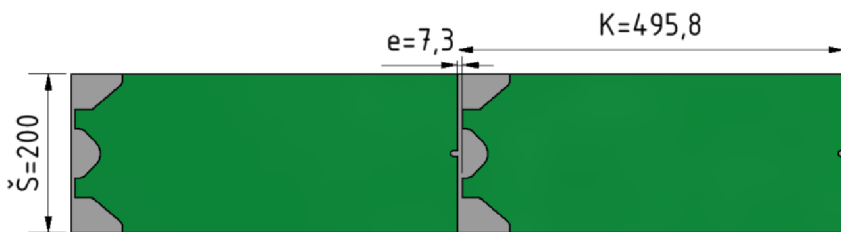
Třetí varianta (obr. 35) uvažuje s díly položenými v podélném směru s polotovarem. Vzhledem k výslednému tvaru nástroje, rozmístění a podobě střižníků se tato varianta nejeví jako vhodná. Jediná zanedbatelná výhoda je symetrie nástroje podle jedné osy a tím pádem snazší výpočet polohy těžiště střižných sil na nástroji.



Obr. 35 Varianta č. 3

#### Varianta č. 4

Čtvrtá varianta (obr. 36) má stejné rozmístění jako varianta č. 3, pouze je mezi výstřižky ponechán můstek o velikosti 7,3 mm, opět viz příloha 1. Tato varianta má stejné nevýhody jako varianta č. 3. Liší se horším využitím materiálu a rozdílným provedením střižníků, kde by k finálnímu odstříhnutí postačil pouze menší střižník o tloušťce, která by se rovnala šířce můstku e.



Obr. 36 Varianta č. 4

Jak je z výše uvedených variant patrné, nejlépe by byl polotovár využit ve variantě č. 1 a 3. V obou případech by bylo využití stejné. Podle celkové konstrukce a tvaru nástroje však lze variantu č. 3 a č. 4 z výběru vyřadit. Vzhledem ke svému nejlepšímu využití materiálu a nejoptimálnější konstrukci a rozmístění střižníků byla jako výsledná varianta zvolena varianta č.1.

### 3.2 Volba polotovaru [31]

Polotovarem pro výrobu dané součásti by mohla být buď plechová tabule nastříhaná tabulovými nůžkami na požadovaně široké pásy, nebo svitek plechu, který by byl dodán přímo v požadované šířce.

Dále bude proveden vzorový výpočet využití materiálu pro danou tabuli plechu a svitek, porovnány jednotlivé výhody a nevýhody obou variant a poté zvolen nejvhodnější polotovár.

Při výběru plechových tabulí jsou brány v potaz tabule z nabídky firmy Ferona a.s. Příklad výpočtu využití materiálu bude proveden pro tabuli o rozměrech 5x1000x2000 mm.

Výpočet využití materiálu z tabule 5x1000x2000 mm (pásy stříhány podélně):

- Počet pásů z jedné tabule:

$$n_p = \frac{\check{s}_{tab}}{\check{s}} = \frac{1000}{488,5} = 2,05 \dots \text{zaokrouhloveno dolů na 2 pásy} \quad (3.1)$$

kde:  $n_p$  – počet pásů [-]

$\check{s}_{tab}$  – šířka dané tabule [mm]

$\check{s}$  – šířka pásu [mm]

- Počet dílů na pás:

$$n_d = \frac{l_{pás}}{K} = \frac{2000}{200} = 10 \text{ dílů} \quad (3.2)$$

kde:  $n_d$  – počet dílů na pásu [-]

$l_{pás}$  – délka pásu [mm]

$K$  – velikost kroku [mm]

- Počet dílů z jedné tabule:

$$n_t = n_p \cdot n_d = 2 \cdot 10 = 20 \text{ dílů} \quad (3.3)$$

kde:  $n_t$  – počet dílů z tabule [-]

- Plocha tabule:

$$S_{tab} = \check{S}_{tab} \cdot l_{pás} = 1000 \cdot 2000 = 2000000 \text{ mm}^2 \quad (3.4)$$

kde:  $S_{tab}$  – plocha jedné tabule [ $\text{mm}^2$ ]

- Plocha všech dílů na tabuli:

$$S_{dtab} = S_D \cdot n_t = 92136,98 \cdot 20 = 1842739,6 \text{ mm}^2 \quad (3.5)$$

kde:  $S_{dtab}$  – celková plocha výstřižků na tabuli [ $\text{mm}^2$ ]

$S_D$  – plocha jednoho (plného) výstřižku [ $\text{mm}^2$ ] ... změřeno programem Autodesk Inventor 2021

- Využití materiálu z jedné tabule:

$$\eta = \frac{S_{dtab}}{S_{tab}} \cdot 100 = \frac{1842739,6}{2000000} \cdot 100 = 92,137 \text{ [%]} \quad (3.6)$$

kde:  $\eta$  – využití materiálu [%]

Využití materiálu z plechové tabule 5x1000x2000 mm, když by byly pásy stříhány podélně, vyšlo 92,137 %. Pro porovnání i ostatních nabízených velikostí tabulí byla v programu Microsoft Excel 2020 vytvořena tabulka 4, která porovnává jednotlivé využití materiálu. Jak je patrné, bez ohledu na rozměr tabule a směru stříhu pásů vychází nejvyšší využití materiálu u více variant shodně.

Tab. 4 Porovnání využití materiálu pro jednotlivé tabule.

Porovnání tabulí							
	Rozměr tabule [mm]	počet pásů [-]	počet dílů na pás [-]	počet dílů z tabule [-]	plocha všech dílů na tabuli [ $\text{mm}^2$ ]	plocha tabule [ $\text{mm}^2$ ]	Využití materiálu [%]
Pásy stříhány podélně	5x1000x2000	2	10	20	1842739,6	2000000	92,137
	5x1500x3000	3	15	45	4146164,1	4500000	92,137
	5x1250x2500	2	12	24	2211287,52	3125000	70,761
	5x2000x4000	4	20	80	7370958,4	8000000	92,137
	5x2000x6000	4	30	120	11056437,6	12000000	92,137
Pásy stříhány příčně	5x1000x2000	4	5	20	1842739,6	2000000	92,137
	5x1500x3000	6	7	42	3869753,16	4500000	85,995
	5x1250x2500	5	6	30	2764109,4	3125000	88,452
	5x2000x4000	8	10	80	7370958,4	8000000	92,137
	5x2000x6000	12	10	120	11056437,6	12000000	92,137

Při variantě, ve které je uvažovaným polotovarem svitek plechu, je navrhnout vnější průměr svitku 1600 mm, vnitřní průměr 500 mm a šířka svitku 488,5 mm. Ze zvolených údajů je nutné zjistit rozvinutou délku svitku:

- Rozvinutá délka svitku o vnějším průměru 1600 mm:

$$l_{svit} = \pi \cdot \frac{D_{vněj}^2 - D_{vnitř}^2}{4 \cdot s} = \pi \cdot \frac{1600^2 - 500^2}{4 \cdot 5} = 362853,95 \text{ mm} \quad (3.7)$$

kde:  $D_{vněj}$  – vnější průměr svitku [mm]

$D_{vnitř}$  – vnitřní průměr svitku [mm]

$l_{svit}$  – rozvinutá délka svitku o vnějším průměru 1600 mm [mm]

Poté je již výpočet obdobný jako výpočet využití tabulového polotovaru.

- Počet dílů na svitek o vnějším průměru 1600 mm:

$$n_{kus} = \frac{l_{svit}}{K} = \frac{362853,95}{200} = 1814 \text{ dílů} \quad (3.8)$$

kde:  $n_{kus}$  – počet dílů na svitku o vnějším průměru 1600 mm [-]

- Plocha svitku o vnějším průměru 1600 mm:

$$S_{svit} = l_{svit} \cdot \check{s}_s = 362853,95 \cdot 488,5 = 177254154,6 \text{ mm}^2 \quad (3.9)$$

kde:  $\check{s}_s$  – šířka svitku [mm]

$S_{svit}$  – plocha svitku o vnějším průměru 1600 mm [mm<sup>2</sup>]

- Plocha všech dílů na svitku o vnějším průměru 1600 mm:

$$S_v = S_D \cdot n_{kus} = 92136,98 \cdot 1814 = 167136481,7 \text{ mm}^2 \quad (3.10)$$

kde:  $S_v$  – Plocha všech dílů na svitku o vnějším průměru 1600 mm [mm<sup>2</sup>]

- Využití materiálu z jednoho svitku o vnějším průměru 1600 mm:

$$\eta_1 = \frac{S_v}{S_{svit}} \cdot 100 = \frac{167136481,7}{177254154,6} \cdot 100 = 94,29 \text{ [%]} \quad (3.11)$$

kde:  $\eta_1$  – využití materiálu u svitku o vnějším průměru 1600 mm [%]

Využití materiálu z daného svitku je tedy nepatrně vyšší než už všech uvažovaných tabulových plechů. Nevýhodou tabulového polotovaru je nutnost jeho nastříhání na jednotlivé pásy a velmi častá manipulace, jelikož i z nejdelšího uvažovaného pásu by bylo možné vystříhnout pouze 30 dílů. Zakládání pásů do nástroje by vyžadovalo neustálou lidskou, vzhledem k velikosti a hmotnosti jednotlivých pásů také částečně mechanizovanou, případně plně automatizovanou obsluhu. Oproti tomu při použití svitkového polotovaru by bylo snadno docíleno plynulé výroby bez nutnosti stálé obsluhy. Nevýhodou této varianty je nutnost vhodného odvíjecího a rovnacího zařízení. Jelikož je uvažováno, že výrobní podnik těmito stroji disponuje, je pro veškeré výhody zvolen svitkový polotovar. Celkový počet svitků o vnějším průměru 1600 mm a vnitřním průměru 500 mm potřebných pro výrobu 100 000 výstřižků lze stanovit jako:

$$n_{sv} = \frac{n_{sér}}{n_{kus}} = \frac{100000}{1814} = 55,127... \text{ zaokrouhлено na 55 svitků} \quad (3.12)$$

kde:  $n_{sv}$  – počet svitků o vnějším průměru 1600 mm [-]

$n_{sér}$  – počet vyráběných kusů v sérii [-]

$n_{kus}$  – počet kusů na svitku o vnějším průměru 1600 mm [-]

Počet svitků byl zaokrouhlen směrem dolů z důvodu velkého podílu nevyužitého materiálu na posledním svitku. Proto bude poslední svitek navrhnut zvlášť, o menším vnějším průměru, který bude přizpůsoben zbývajícím potřebným délkám. Výpočet vnějšího průměru je následující:

$$D_{vněj1} = \sqrt{0,127 \cdot (D_{vněj}^2 - D_{vnitř}^2) + D_{vnitř}^2} \quad (3.13)$$

kde:  $D_{vněj1}$  – vnější průměr posledního svitku [mm]

$$D_{vněj1} = \sqrt{0,127 \cdot (1600^2 - 500^2) + 500^2} = 737... \text{ zaokrouhлено na 750 mm}$$

- Rozvinutá délka svitku o vnějším průměru 750 mm (dle rovnice 3.7):

$$l_{svit1} = \pi \cdot \frac{D_{vněj1}^2 - D_{vnitř}^2}{4 \cdot s} = \pi \cdot \frac{750^2 - 500^2}{4 \cdot 5} = 49087,4 \text{ mm}$$

kde:  $l_{svit1}$  – rozvinutá délka svitku o vnějším průměru 750 mm [mm]

- Počet dílů na svitek o vnějším průměru 750 mm (dle rovnice 3.8):

$$n_{kus1} = \frac{l_{svit1}}{K} = \frac{49087,4}{200} = 245 \text{ dílů}$$

kde:  $n_{kus1}$  – počet dílů na svitku o vnějším průměru 750 mm [-]

- Plocha svitku o vnějším průměru 750 mm (dle rovnice 3.9):

$$S_{svit1} = l_{svit1} \cdot \check{s}_s = 49087,4 \cdot 488,5 = 23979194,9 \text{ mm}^2$$

kde:  $S_{svit1}$  – plocha svitku o vnějším průměru 750 mm [mm<sup>2</sup>]

- Plocha všech dílů na svitku o vnějším průměru 750 mm (dle rovnice 3.10):

$$S_{v1} = S_D \cdot n_{kus1} = 92136,98 \cdot 245 = 22573560,1 \text{ mm}^2$$

kde:  $S_{v1}$  – Plocha všech dílů na svitku o vnějším průměru 750 mm [mm<sup>2</sup>]

- Využití materiálu z jednoho svitku o vnějším průměru 750 mm (dle rovnice 3.11):

$$\eta_2 = \frac{S_{v1}}{S_{svit1}} \cdot 100 = \frac{22573560,1}{23979194,9} \cdot 100 = 94,14 \text{ [%]}$$

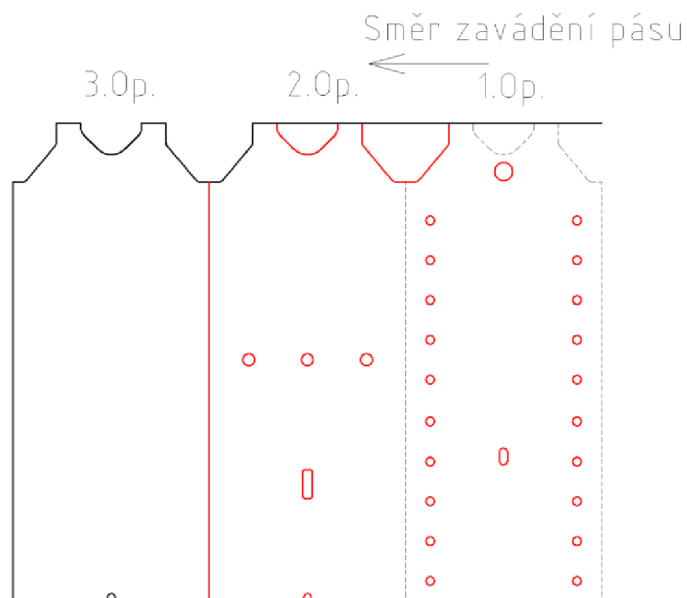
kde:  $\eta_2$  – využití materiálu u svitku o vnějším průměru 750 mm [%]

Pro výrobu zadané série o velikosti 100 000 kusů tedy bude nutné zajistit 56 svitků. Z toho 55 svitků o vnějším průměru 1600 mm, vnitřním průměru 500 mm a šířce 488,5 mm. Jeden svitek byl vzhledem ke snaze maximalizovat využití materiálu navrhnut o vnějším průměru pouze 750 mm. Ostatní rozměry jsou stejné jako u předchozích svitků.

### 3.3 Nástřihový plán

Nástřihový plán bude zhotoven ze zvolené varianty rozmístění č. 1. Výstřížek bude vyroben ve třech operacích (krocích). Na obrázku 37, který znázorňuje nástřihový plán, jsou dané stříhané části zvýrazněny červenou barvou.

V prvním kroku bude děrován kruhový otvor Ø 18,3 mm, dvacet kruhových otvorů Ø 9 mm a menší z nekruhových otvorů uprostřed výstřížku. Také bude zhotoven útvar v horní části výstřížku, který se s výjimkou prvního stříhaného kusu promítne i na polotovar, který se bude nacházet na pozici druhého kroku. Ve své podstatě bude tento útvar vystřihnout společně v prvním i druhém kroku. Velkou výhodou tohoto návržení je nahrazení dvou střížníků, ze kterých by každý stříhal samostatně každou stranu dílce jedním, který v jednom místě vystřihne obě strany. Posunem pásu se tento útvar promítne po obou stranách výstřížku a tím bude docíleno požadovaného výsledku.



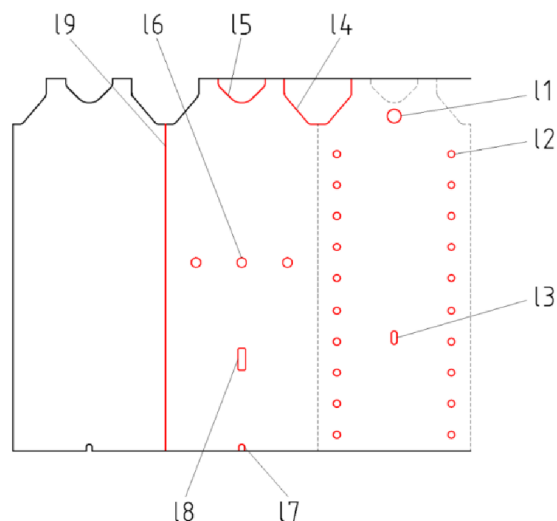
Obr. 37 Nástřihový plán

Ve druhém kroku bude výstřížek zahledán pomocí dvou kruhových otvorů Ø 9 mm. Poté budou děrovány zbývající tři kruhové otvory Ø 12,2 mm, větší z drážek uprostřed součásti a malá drážka na spodní části výstřížku. Také bude děrován zbývající horní tvarový prvek.

V posledním třetím kroku bude podle svislé střížné čáry výstřížek ustříhnout.

### 3.4 Střížná síla [21], [34]

Správné určení celkové střížné síly je podstatné při výběru tvářecího stroje, který musí být schopen tuto sílu vyvinout. Celková střížná síla je složena z jednotlivých dílčích střížných sil. Postup výpočtu střížné síly je dán dle rovnic 2.3 a 2.4. V níže uvedených výpočtech je počítáno s horní mezí pevnosti materiálu  $R_m=630$  MPa a součinitelem otupení  $n=1,2$ . Na obrázku 38 jsou v nástřihovém plánu červeně znázorněny a označeny jednotlivé střížné útvary, jejichž délky byly změřeny systémem AutoCad 2021. Pro ně budou vypočteny dílčí střížné síly. Po jejich sečtení obdržíme celkovou střížnou sílu.



Obr. 38 Znázornění střížných útvarů

➤ Dílčí střížné síly:

$$F_{s1} = s \cdot l_1 \cdot n \cdot \tau_s = 5 \cdot 57,49 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 630 = 173\,849,8 \text{ N}$$

$$F_{s2} = s \cdot l_2 \cdot n \cdot \tau_s = 5 \cdot 28,27 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 630 = 85\,488,5 \text{ N}$$

$$F_{s3} = s \cdot l_3 \cdot n \cdot \tau_s = 5 \cdot 43,56 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 630 = 131\,725,5 \text{ N}$$

$$F_{s4} = s \cdot l_4 \cdot n \cdot \tau_s = 5 \cdot 166,22 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 630 = 502\,649,3 \text{ N}$$

$$F_{s5} = s \cdot l_5 \cdot n \cdot \tau_s = 5 \cdot 86,52 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 630 = 261\,636,5 \text{ N}$$

$$F_{s6} = s \cdot l_6 \cdot n \cdot \tau_s = 5 \cdot 38,33 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 630 = 115\,909,9 \text{ N}$$

$$F_{s7} = s \cdot l_7 \cdot n \cdot \tau_s = 5 \cdot 21,78 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 630 = 65\,862,7 \text{ N}$$

$$F_{s8} = s \cdot l_8 \cdot n \cdot \tau_s = 5 \cdot 74,56 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 630 = 225\,469,5 \text{ N}$$

$$F_{s9} = s \cdot l_9 \cdot n \cdot \tau_s = 5 \cdot 428,5 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \cdot 630 = 1\,295\,784 \text{ N}$$

➤ Celková střížná síla:

$$F_{SC} = \sum F_{si} = F_{s1} + 20 \cdot F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} + F_{s5} + 3 \cdot F_{s6} + F_{s7} + F_{s8} + F_{s9} = 173849,8 + 20 \cdot 85488,5 + 131725,5 + 502649,3 + 261636,5 + 3 \cdot 115909,9 + 65862,7 + 225469,5 + 1295784 = 4\,714\,477 \text{ N} \quad (3.14)$$

kde:  $F_{SC}$  – celková střížná síla [N]

Výsledná střížná síla je 4 714 477 N. K ní se váže velikost stírací síly, kterou lze přibližně stanovit jako 10 % síly střížné. Uvažovaná stírací síla tedy bude 480 000 N. Stírání bude zajištěno pružinami ML 12000 od firmy Special Springs, jejichž počet lze stanovit jako:

$$n_{pruž} = \frac{F_{stir}}{F_p} = \frac{480\,000}{127\,200} = 3,8 \dots \text{ zaokrouhleno na 4 pružiny} \quad (3.15)$$

kde:  $n_{pruž}$  – potřebný počet pružin [-]

$F_{stir}$  – stírací síla [N]

$F_p$  – síla na jedné pružině [N]

Celkem tedy budou zapotřebí 4 uvedené pružiny, které jsou znázorněny v příloze 2.

### 3.5 Těžiště střížné síly

Výpočet těžiště střížných sil byl proveden pro zvolený nástřihový plán. Do výpočtu také vstupuje rozmístění a síly vyvozené plynovými pružinami. Na obrázku 39 je znázorněno schéma obsahující všechny vstupní hodnoty, které jsou odraženy ve výpočtu. Polohy těžišť jednotlivých střížných úseků a jejich vzdálenosti od zvoleného souřadného systému byly změřeny programem AutoCad 2021. Označení jednotlivých střížných sil je shodné jako v předchozí podkapitole. Celý výpočet s dosazením je uveden v příloze 3.

- Výpočet těžiště ve směru osy x:

$$X_T = \frac{\sum X_i \cdot F_{Si} + \sum X_{Pi} \cdot F_P}{\sum X_i + \sum X_{Pi}} \quad (3.16)$$

kde:  $X_T$  – výsledná poloha těžiště ve směru osy x [mm]

$F_{Si}$  – i-tá velikost střížné síly [N]

$X_i$  – i-tá poloha těžiště střížné síly ve směru osy x [mm]

$X_{Pi}$  – i-tá poloha těžiště síly pružiny ve směru osy x [mm]

$$X_T = \frac{\sum X_i \cdot F_{Si} + \sum X_{Pi} \cdot F_P}{\sum X_i + \sum X_{Pi}} = \frac{10 \cdot X_1 \cdot F_{S2} + X_2 \cdot (F_{S1} + F_{S3}) + 10 \cdot X_3 \cdot F_{S2} + X_4 \cdot F_{S4} + X_5 \cdot F_{S6}}{F_{S1} + 20 \cdot F_{S2} + F_{S3} + F_{S4} + F_{S5} + 3 \cdot F_{S6} + F_{S7} + F_{S8} + F_{S9} + 4 \cdot F_P} +$$

$$+ \frac{X_6 \cdot (F_{S5} + F_{S6} + F_{S7} + F_{S8}) + X_7 \cdot F_{S6} + X_8 \cdot F_{S9} + 2 \cdot (X_{P1} + X_{P2}) \cdot F_P}{F_{S1} + 20 \cdot F_{S2} + F_{S3} + F_{S4} + F_{S5} + 3 \cdot F_{S6} + F_{S7} + F_{S8} + F_{S9} + 4 \cdot F_P} = 358,6 \text{ mm}$$

- Výpočet těžiště ve směru osy y:

$$Y_T = \frac{\sum Y_i \cdot F_{Si} + \sum Y_{Pi} \cdot F_P}{\sum Y_i + \sum Y_{Pi}} \quad (3.17)$$

kde:  $Y_T$  – výsledná poloha těžiště ve směru osy y [mm]

$F_{Si}$  – i-tá velikost střížné síly [N]

$Y_i$  – i-tá poloha těžiště střížné síly ve směru osy y [mm]

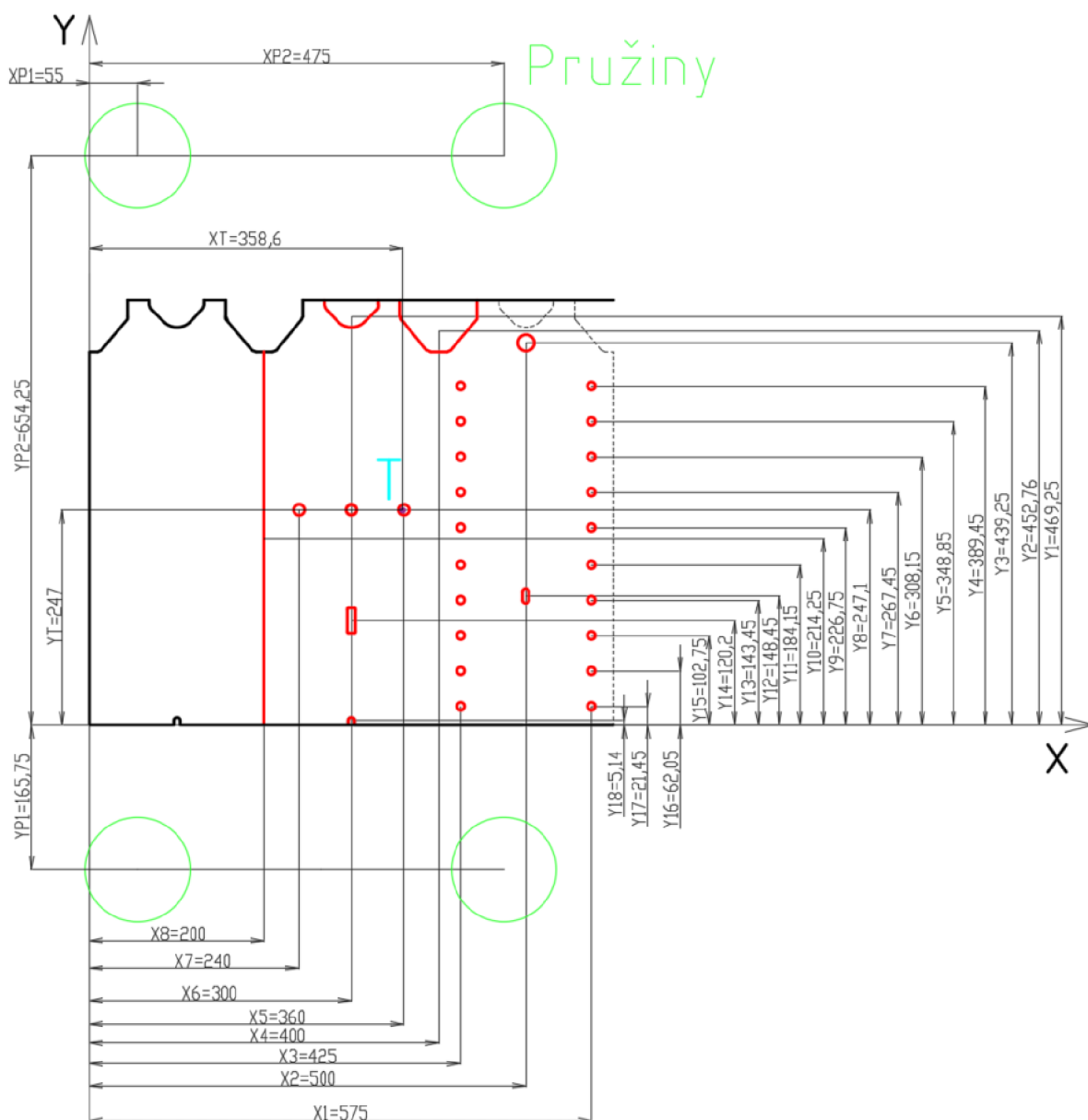
$Y_{Pi}$  – i-tá poloha těžiště síly pružiny ve směru osy y [mm]

$$Y_T = \frac{\sum Y_i \cdot F_{Si} + \sum Y_{Pi} \cdot F_P}{\sum Y_i + \sum Y_{Pi}} =$$

$$\frac{Y_1 \cdot F_{S5} + Y_2 \cdot F_{S4} + Y_3 \cdot F_{S1} + 2 \cdot Y_4 \cdot F_{S2} + 2 \cdot Y_5 \cdot F_{S2} + 2 \cdot Y_6 \cdot F_{S2} + 2 \cdot Y_7 \cdot F_{S2} + 3 \cdot Y_8 \cdot F_{S6} + 2 \cdot Y_9 \cdot F_{S2} + Y_{10} \cdot F_{S9} + 2 \cdot Y_{11} \cdot F_{S2}}{F_{S1} + 20 \cdot F_{S2} + F_{S3} + F_{S4} + F_{S5} + 3 \cdot F_{S6} + F_{S7} + F_{S8} + F_{S9} + 4 \cdot F_P} +$$

$$+ \frac{Y_{12} \cdot F_{S2} + 2 \cdot Y_{13} \cdot F_{S2} + Y_{14} \cdot F_{S8} + 2 \cdot Y_{15} \cdot F_{S2} + 2 \cdot Y_{16} \cdot F_{S2} + 2 \cdot Y_{17} \cdot F_{S2} + Y_{18} \cdot F_{S7} - 2 \cdot Y_{P1} \cdot F_P + 2 \cdot Y_{P2} \cdot F_P}{F_{S1} + 20 \cdot F_{S2} + F_{S3} + F_{S4} + F_{S5} + 3 \cdot F_{S6} + F_{S7} + F_{S8} + F_{S9} + 4 \cdot F_P} = 247 \text{ mm}$$





Obr. 39 Schéma pro výpočet těžiště

### 3.6 Střížná práce

Dalším parametrem, který je třeba při výběru tvářecího stroje zohlednit, je střížná práce. Zvláště u mechanických lisů může vyvstat riziko nedostatku energie při jejich nepřetržitém chodu. V takovém případě je nutno mezi zdvihy ponechat časový odstup, během kterého se potřebná energie opět nashromáždí. Výpočet střížné práce je dán dle vztahu 2.6. Pro výpočet byl zvolen koeficient  $u = 0,3$ , který odpovídá ocelím o mezích pevnosti nad 500 MPa a tloušťkám materiálu větším než 4 mm.

$$A = \frac{\pi}{2} \cdot F_s \cdot \frac{h}{2} = \frac{\pi}{4} \cdot F_s \cdot u \cdot s = \frac{\pi}{4} \cdot 4\,714\,477 \cdot 0,3 \cdot 0,005 = 5554,1 \text{ J} \quad (3.18)$$

Práce potřebná pro provedení stříhu dle daného nástřihového plánu je tedy rovna 5554,1 J.

### 3.7 Kontrolní výpočty funkčních částí nástroje [29]

Nyní bude proveden kontrolní výpočet střížníků na otláčení a vzpěr. Z hlediska otláčení se provádí kontrola střížníku na omačkání upínací desky, kde by napětí na dosedací ploše ocelové desky, jak uvádí autor [29], nemělo překročit dovolené napětí  $\sigma_{dov}=180$  MPa. Pokud by napětí překročilo tuto hodnotu, využije se opěrná kalená deska, u které nehrozí riziko omačkání. Dále je kontrolována samotná pevnost těla střížníku, kde by dovolené tlakové napětí s ohledem na bezpečnost nemělo u běžných nástrojových ocelí překročit  $\sigma_{dov}=1600$  MPa. Jako nejrizikovější se na otláčení jeví střížník pro vystřížení nejmenší drážky na spodu součásti, kde vzniká nejmenší styčná plocha mezi střížníkem a polotovarem. Napětí na střížníku lze spočítat dle vztahu:

$$\sigma = \frac{F_S}{S} = \frac{F_{S7}}{S_7} = \frac{65862,7}{59,6} = 1105 \text{ MPa} \quad (3.19)$$

kde:  $\sigma$  – napětí na průřezu střížníku [MPa]

$F_S$  – střížná síla [N]

$S$  – činná plocha střížníku [mm<sup>2</sup>] (měřeno systémem AutoCAD 2021)

Ve výpočtu bylo uvažováno pouze s průřezem funkční části střížníku. Z hlediska omačkání upínací desky bude střížník v kotevní desce upnut za jisté osazení. S ohledem na bezpečnost však bude opěrná kalená deska použita, tudíž není nutno toto osazení zvláště dimenzovat. Samotná činná plocha střížníku pak splňuje pevnostní podmínku (1105 MPa < 1600 MPa).

Kontrola na vzpěr bude provedena pro kruhový střížník Ø9 mm, který má nejmenší kvadratický moment průřezu. Je počítáno s vedenými střížníky, které lze uvažovat za vetknuté na obou koncích (obr. 40). Kritická délka mezi uvažovanými vetknutími lze spočítat jako:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \times \pi^2 \times E \times I}{\mu \times F_S}} = \sqrt{\frac{4 \times \pi^2 \times E \times I_2}{\mu \times F_{S2}}} = \sqrt{\frac{4 \times \pi^2 \times 2,1 \times 10^5 \times 322}{2 \times 85\,488,5}} = 125 \text{ mm} \quad (3.20)$$

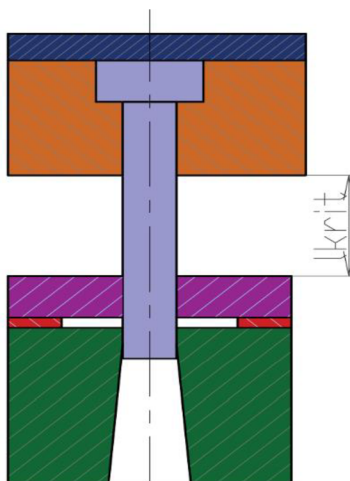
kde:  $E$  – Youngův modul pružnosti v tahu pro ocel [MPa]

$I$  – kvadratický moment průřezu [mm<sup>4</sup>] (měřeno systémem AutoCAD 2021)

$\mu$  – koeficient bezpečnosti pro vzpěr (1,5 ÷ 2) [-]

$l_{krit}$  – kritická délka střížníku [mm]

Jak je z výpočtu patrné, délka střížníku by s ohledem na bezpečnost neměla mezi uvažovanými vetknutími překročit 125 mm.



Obr. 40 Vetknutý střížník na obou koncích

### 3.8 Funkční rozměry střížníku a střížnice [32], [33]

Funkční rozměry na střížníku a střížnici jsou navrhovány s ohledem na to, zda se jedná o vystřihovací nebo děrovací operaci. Na navrženém nástřihovém plánu jsou všechny operace s výjimkou finálního odstřížení zhotovovány pomocí děrování, tudíž postup výpočtu funkčních rozměrů pro vystřihovací operace nebude uveden. Pro správné určení funkčních rozměrů je nutné v první řadě stanovit střížnou vůli dle vztahu 2.2. Koeficient  $c$  byl zvolen  $c = 0,01$ . Stanovení střížné vůle:

$$v = 2 \cdot 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s} =$$

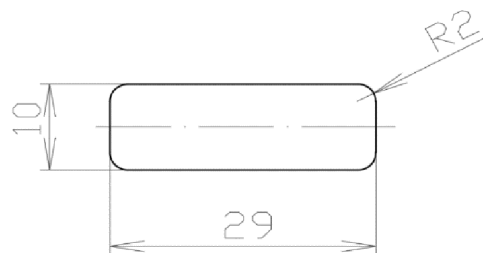
$$= 2 \cdot 0,32 \cdot (1,5 \cdot 0,01 \cdot 5 - 0,015) \cdot \sqrt{504} = 0,86 \text{ mm}$$

Navrhnutá střížná vůle je 0,86 mm. Poté je nutné zhodnotit jednotlivé rozměrové tolerance součástí. Jelikož se na součásti nenachází žádné tolerované rozměry, jsou všechny rozměry tolerovány dle normy ČSN ISO 2768-1. Délkové rozměry podléhají střední třídě přesnosti, která je značena písmenem  $m$  (viz tabulka 5).

Tab. 5 Úchylky netolerovaných rozměrů pro střední přesnost  $m$  [32].

Třída přesnosti		Mezní úchylky pro základní rozsah rozměrů [mm]					
Označení	Název	0,5 do 3	přes 3 do 6	přes 6 do 30	přes 30 do 120	přes 120 do 400	přes 400 do 1000
$m$	střední	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$	$\pm 0,8$

Následně je nutné v normě ČSN 22 6015 vyhledat pro příslušnou velikost tolerance danou přípustnou mírou opotřebení a výrobní tolerance střížníku a střížnice, viz příloha 4. Na obrázku 41 je znázorněna drážka, pro kterou bude příkladem vypočten příslušný funkční rozměr na střížníku a střížnici. Jak je patrné, všechny rozměry děrovaných otvorů se budou vlivem opotřebení zmenšovat, tudíž lze z uvedené normy, viz příloha 5, využít vztahů:



Obr. 41 Vzor pro určení funkčních rozměrů

- Pro střížník:

$$RAD = (JR + \frac{P}{2})_{-TA} = (10 + \frac{0,31}{2})_{-0,074} = 10,155_{-0,074} \quad (3.21)$$

kde:  $RAD$  – rozměr střížníku při děrování [mm]

$JR$  – jmenovitý rozměr [mm]

$P$  – přípustná míra opotřebení [mm]

$TA$  – výrobní tolerance střížníku [mm]

- Pro střížnici:

$$RED = (JR + \frac{P}{2} + v)^{+TE} = (10 + \frac{0,31}{2} + 0,86)^{+0,120} = 11,015^{+0,120} \quad (3.22)$$

kde:  $RED$  – rozměr střížnice při děrování [mm]

$TE$  – výrobní rozměr střížnice [mm]

Všechny zbylé neuvedené výpočty funkčních rozměrů byly vypočteny stejným způsobem.

### 3.9 Volba stroje [35], [36]

Tvářecí stroj musí disponovat dostatečnou silovou kapacitou, která s určitou bezpečností převyšuje celkovou vypočtenou tvářecí sílu. Výpočet požadované tvářecí síly stroje je dán jako:

$$F_{stroje} = (F_{SC} + 4 \cdot F_p) \cdot k \quad (3.23)$$

kde:  $k$  – součinitel bezpečnosti [-] .... zvolen 1,5

$F_{stroje}$  – požadovaná tvářecí síla stroje [N]

$$F_{stroje} = (4\,714\,477 + 4 \cdot 127\,200) \cdot 1,5 = 7\,834\,916\,N$$

Jako vhodný tvářecí stroj byl určen lis LDO 800 A/S (obr. 42) od firmy Šmeral, který je schopen vyvinout požadovanou tvářecí sílu a je dostatečně výkonný pro zajištění plynulého chodu. Také disponuje potřebně velkou upínací plochou a sevřením. Střížný nástroj je upnut za pomoci upínek, do těžiště vystředěn středícím čepem. Tento lis je vhodný pro střížné operace. Technické parametry lisu jsou uvedeny v tabulce 6.

Tab. 6 Technické parametry lisu LDO 800 A/S [35].

Tvářecí síla [kN]	8000
Sevření [mm]	1020
Průchod [mm]	1900
Upínací plocha stolu [mm]	1870x1300
Upínací plocha beranu [mm]	1860x1300
Tloušťka stolní desky [mm]	250
Přestavování beranu [mm]	180
Zdvih/Počet zdvihů [mm/min <sup>-1</sup> ]	320/32
Celkový výkon [kW]	62
Rozměry stroje VxŠxH [m]	6,5x3,5x3,3



Obr. 42 Lis LDO 800 A/S [35]

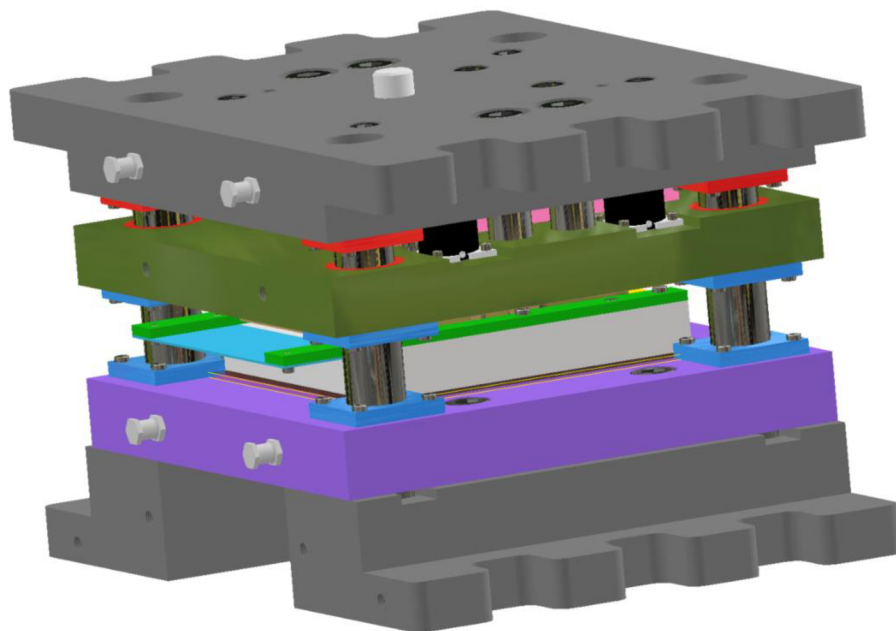
Jelikož je polotovarem svitek plechu, je nutné také užít příslušného odvíjecího a rovnacího zařízení. Proto byla zvolena linka Compact Line GLK4 - 1300 (obr. 43) od firmy HE-machine. Ta se skládá z hydraulického zvedáku, pomocí něž jsou svitky zvedány na odvíjecí zařízení, které má nosnost až 10 tun. Z toho je svitek odvíjen přes rovnací zařízení, které je schopné pracovat s materiály do tloušťek 6 mm. Narovnaný pás je plynule podáván do lisu, přičemž poloha pásu je kontrolována a ovládána s přesností  $\pm 0,1$  mm. Bližší specifikace jsou uvedeny v příloze 6.



Obr. 43 Linka GLK4 – 1300 [36]

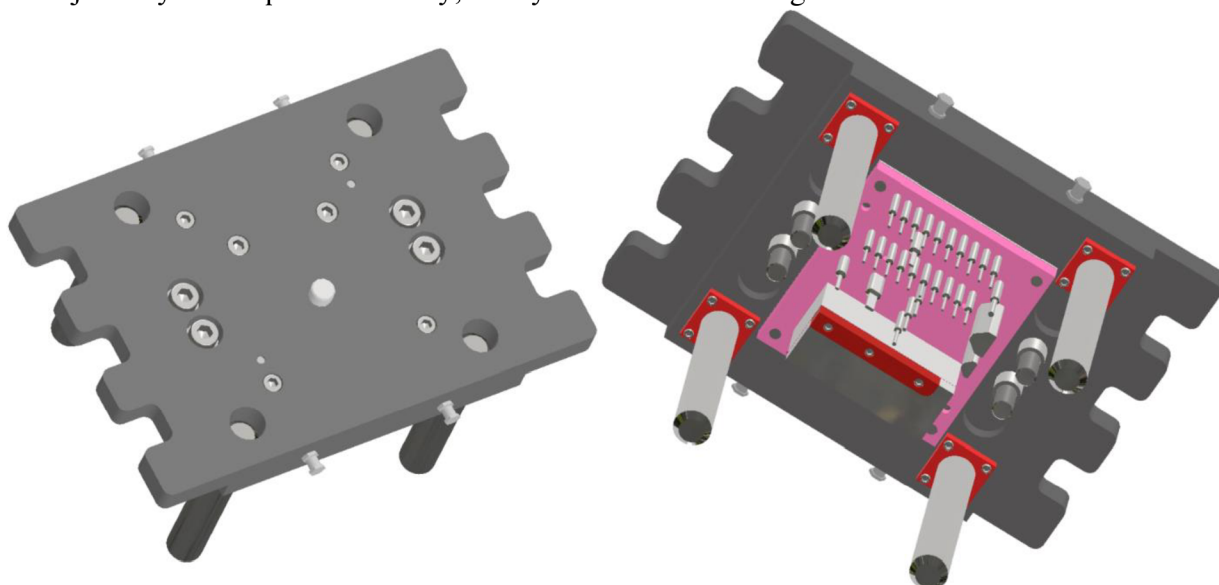
### 3.10 Popis nástroje

Střížný nástroj, který je znázorněn na obrázku 44 v sevřeném stavu, byl vymodelován v programu Autodesk Inventor 2021. Nástroj se skládá ze tří hlavních částí, které budou následně blíže popsány.



Obr. 44 Zkonstruovaný střížný nástroj

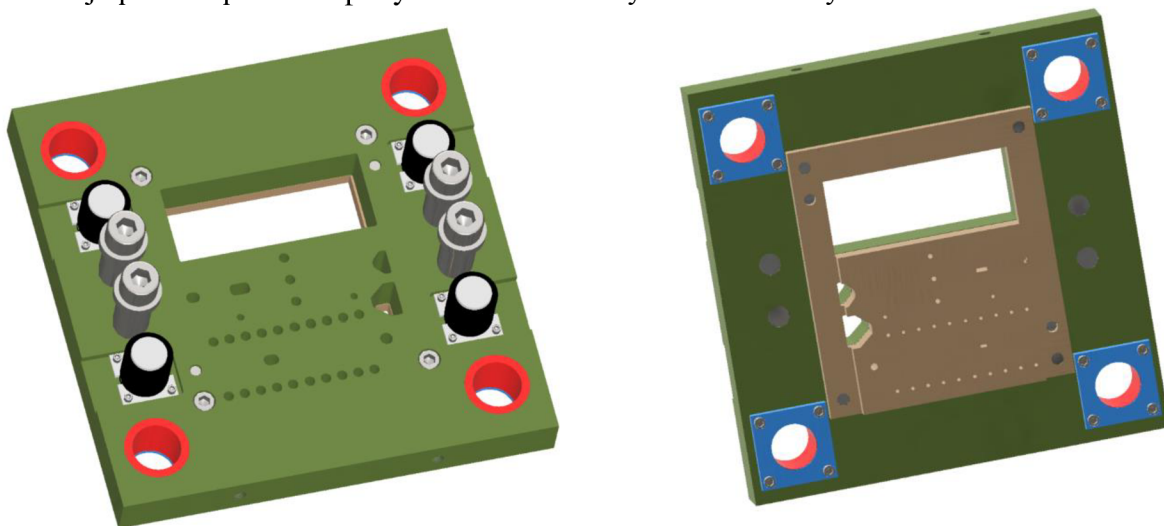
Vrchní část nástroje (obr. 45) se skládá z horní desky, která je pomocí upínek upnuta v beranu lisu. Z desky vystupuje středící čep, který vymezuje polohu pro upnutí nástroje v lisu. K desce jsou za osazení pomocí objímek upnuty čtyři vodící sloupky. Dále je k desce přišroubována opěrná deska společně s deskou kotevní, ve které jsou za osazení upnuty střížníky a hledáčky. Pouze velký poslední střížník s vložkou je upnut za dva šrouby M48. Vzájemná poloha těchto tří desek je vymezena za pomoci kolíků. V horní desce jsou také čtyři otvory pro nosné šrouby M64 a čtyři kruhové kapsy pro umístění plynových pružin. Poslední částí jsou čtyři manipulační šrouby, každý o nosnosti 2 500 kg.



Obr. 45 Vrchní část nástroje

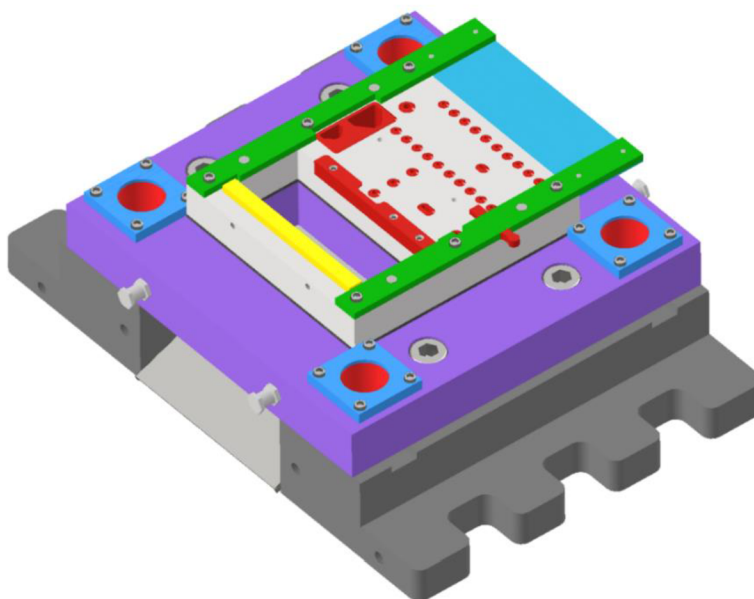


Prostřední část nástroje (obr. 46) se skládá ze střední desky, ve které jsou s vůlí zhotoveny otvory pro střížníky, které jsou poté přesně vedeny přídržovačem, jenž je přišroubovaný a zkolíkován se střední deskou. Dále jsou ve střední desce umístěna vodící pouzdra, vybrání pro plynové pružiny a díry pro nosné šrouby M64, které spojují střední část nástroje s jeho horní částí. Při pohybu nástroje směrem dolů přijdou do kontaktu s plechem v první fázi dva hledáky, které zahledají polotovar, poté dosedne přídržovač, skrz který posléze vyjedou střížníky a zhotoví dané otvory. Z této spodní polohy pomáhají s prvotním zdvihem plynové pružiny. Zdvih je posléze přenesen pohybem beranu na čtyři nosné šrouby.



Obr. 46 Střední část nástroje

Na obrázku 47 je vidět spodní část nástroje, která se skládá z vložkové střížnice, na níž jsou připevněny vodící lišty a pevný doraz. Pod střížnicí se nachází opěrná deska, která je společně se střížnicí připevněna ke spodní desce, v níž jsou uložena vodící pouzdra a zhotoveny otvory pro šrouby, které ji spojují s podloženími. Ve spodní desce se také nachází manipulační šrouby. Výška podložení je navrhována vzhledem k parametrům zvoleného lisu, stejně jako části, za které je podložení pomocí upínek upnuté ve stolní desce lisu. Mezi podloženími je instalován plech, který slouží pro odvod zhotoveného výstřížku mimo nástroj. Odvod odpadu lze vyřešit instalací malého vibračního dopravníku, nebo zásuvnou bedýnkou, která by musela být pravidelně vysypána.



Obr. 47 Spodní část nástroje

#### 4 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [37]

Z technického hlediska je zadáný materiál vhodný pro operace plošného tváření a samotný výstřížek splňuje všechny podmínky technologičnosti. Tudíž je možná bezproblémová výroba plošným stříháním za dodržení všech požadavků na přesnost a jakost dílce.

V návaznosti na výkonnostní požadavky a stanovené přibližné rozměry nástroje byl zvolen jako vhodný lis LDO 800 A/S, ke kterému je připojena automatizovaná linka GLK4 – 1300.

Samotný nástroj byl zkonstruován v souladu se zajištěním požadované funkčnosti a zároveň s ohledem na jeho vyrobiteľnosť, smontovateľnosť, životnosť a cenu.

Z ekonomického hlediska je podstatné zistiť, zda a v jakém okamžiku se nově navržená výroba stává ziskovou. Jedná se o takzvaný bod zvratu. Výpočet tohoto okamžiku, který zahrnuje mnoho vstupních parametrů bude následně blíže rozveden. V první řadě je nutné zmínit, že uvažovaný výrobní závod disponuje daným lisem i automatizovanou linkou. V opačném případě by toto byly jedny z hlavních položek mezi nutnými investicemi.

Další z největších výdajů jsou náklady na polotovary. Jak již bylo navrženo, polotovarem je svitek o šířce  $\check{s}_s = 488,5$  mm, přičemž pro zhotovení 100 000 kusů výstřížků bude zapotřebí 55 sviteků o vnějším průměru  $D_{vněj} = 1600$  mm a jeden svitek o vnějším průměru  $D_{vněj1} = 750$  mm. Vnitřní průměr je shodných  $D_{vnitř} = 500$  mm. Z těchto údajů je nutné zjistit celkovou hmotnost zakoupených sviteků:

$$m_{svitc} = \left[ \left( n_{svit} \cdot \pi \cdot \frac{D_{vněj}^2 - D_{vnitř}^2}{4} \right) + \left( \pi \cdot \frac{D_{vněj1}^2 - D_{vnitř}^2}{4} \right) \right] \cdot \check{s}_s \cdot \rho_{ocel} \quad (4.1)$$

kde:  $m_{svitc}$  – hmotnost všech zakoupených sviteků [kg]

$\check{s}_s$  – šířka svitku [mm]

$\rho_{ocel}$  – hustota oceli ...  $7850 \cdot 10^{-9}$  [kg·mm<sup>-3</sup>]

$n_{svit}$  – počet sviteků o vnějším průměru 1600 mm [-]

$$m_{svitc} = \left[ \left( 55 \cdot \pi \cdot \frac{1600^2 - 500^2}{4} \right) + \left( \pi \cdot \frac{750^2 - 500^2}{4} \right) \right] \cdot 488,5 \cdot 7850 \cdot 10^{-9} =$$

$$= 383\,589 \text{ kg}$$

Celková hmotnost zakoupeného svitkového polotovaru je tedy 383 589 kg. Cena za 1 kg materiálu byla po poptání u obchodního oddělení firmy Kovintrade [38] stanovena na  $C_{svit} = 31$  Kč·kg<sup>-1</sup>. Výkupní cena odpadu pak byla stanovena  $C_{odpad} = 3,50$  Kč·kg<sup>-1</sup>. Z těchto údajů je možné dopočítat celkovou cenu nakupovaného polotovaru:

$$C_{svitc} = m_{svitc} \cdot C_{svit} = 383\,589 \cdot 31 = 11\,891\,259 \text{ Kč} \quad (4.2)$$

kde:  $C_{svitc}$  – celková cena zakoupených sviteků [Kč]

$C_{svit}$  – cena za 1 kg svitkového materiálu [Kč]

Jak již bylo zjištěno, svitek o vnějším průměru 1600 mm je využit na  $\eta_1 = 94,29\%$ , přičemž je z něj možné vystříhnout 1814 výstřížků. Stejným způsobem bylo vypočteno využití i posledního menšího svitku, které vyšlo  $\eta_2 = 94,14\%$ , přičemž je z něj vystříženo 245 výstřížků. Celkový počet výstřížků je tedy:

$$N_{kusc} = n_{svit} \cdot n_{kus} + n_{kus1} = 55 \cdot 1814 + 245 = 100\,015 \text{ ks} \quad (4.3)$$

kde:  $N_{kusc}$  – celkový počet výstřížků [-]

Ze zakoupených svitků bude vystříhnuo 100 015 výstřížků. Těchto 15 kusů nad rámec zadané série poslouží jako náhrada v případě vadných kusů. Nebude však s nimi dále počítáno jako s kusy, na kterých vzniká zisk. Dále je možné vypočítat cenu výkupního odpadového materiálu:

$$C_{odpad1} = [55 \cdot 0,01 \cdot (100 - \eta_1) \cdot S_{svit} + 0,01 \cdot (100 - \eta_2) \cdot S_{svit1}] \cdot s \cdot \rho_{ocel} \cdot C_{odpad}$$

kde:  $C_{odpad}$  – cena vykupovaného odpadového materiálu za 1 kg [Kč] (4.4)

$C_{odpad1}$  – cena odpadu první složky [Kč]

$$C_{odpad1} = [55 \cdot 0,01 \cdot (100 - 94,29) \cdot 177254154,6 + 0,01 \cdot (100 - 94,14) \cdot 23979194,9] \cdot 5 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} \cdot 3,5 = 76\,665 \text{ Kč}$$

Vypočtená cena odpadu vyšla na 76 665 Kč. Je však třeba brát v potaz, že v dosazených procentuálních využitích byla promítnuta plocha plného dílce. Tudíž je nutné zjistit hmotnost materiálu vyděrovaných otvorů nacházejících se uvnitř všech dílců. Tato hodnota poté bude sečtena s  $C_{odpad1}$ .

$$C_{odpad2} = N_{kusc} \cdot (S_D - S_{D1}) \cdot s \cdot \rho_{ocel} \cdot C_{odpad} \quad (4.5)$$

kde:  $S_{D1}$  – plocha výstřížku zohledňující vnitřní otvory [mm<sup>2</sup>]...měřeno programem Autodesk Inventor 2021

$C_{odpad2}$  – cena odpadu druhé složky [Kč]

$$C_{odpad2} = 100\,015 \cdot (92136,98 - 89842,5) \cdot 5 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} \cdot 3,5 = 31\,525 \text{ Kč}$$

Nyní zbývá tyto dvě položky sečíst a obdržíme výslednou cenu za odpadní materiál.

$$C_{odpadc} = C_{odpad1} + C_{odpad2} = 76\,665 + 31\,525 = 108\,190 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

kde:  $C_{odpadc}$  – Celková cena odpadního materiálu [Kč]

Za veškerý vykoupený odpad výrobní podnik zpátky obdrží 108 190 Kč. Nyní je možné zjistit celkové náklady na materiál:

$$C_{matc} = C_{svitc} - C_{odpadc} = 11\,891\,259 - 108\,190 = 11\,783\,069 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

kde:  $C_{matc}$  – Celkové náklady na materiál [Kč]

Cena materiálu vztahující se na jeden prodávaný výstřížek je pak:

$$C_{matv} = \frac{C_{matc}}{n_{ser}} = \frac{11\,783\,069}{100\,000} = 117,83 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

kde:  $C_{matv}$  – náklady na materiál jednoho prodávaného kusu [Kč]

Náklady na materiál jednoho výstřížku jsou 117,83 Kč. Nyní je třeba stanovit cenu navrhnutého nástroje. V ní je zahrnuté zpracování detailní výkresové dokumentace, zhotovení technologických postupů výroby jednotlivých částí, vlastní výroba, cena polotovarů, cena nakupovaných součástí, náklady na zušlechtnění, montáž, zkoušky a roční údržba. Po zohlednění všech těchto parametrů byla cena nástroje stanovena na  $C_{nástr} = 4\,100\,000$  Kč.

Pro další výpočet je s ohledem na automatizaci a sladění jednotlivých pohybů uvažováno, že stroj bude pracovat s počtem zdvihů  $N_{zdvih} = 8 \text{ min}^{-1}$ . Režimem výroby jsou ranní osmihodinové směny, kde byl čistý pracovní čas stříhání po odečtení všech neplacených přestávek (0,5 h) a výměn svitků stanoven na  $t_{střih} = 6,75 \text{ h}$ . Z těchto údajů je možné dopočítat následující hodnoty:



- Množství zhotovených součástí za směnu:

$$N_s = t_{střih} \cdot 60 \cdot N_{zdvih} = 6,75 \cdot 60 \cdot 8 = 3\,240 \text{ ks} \quad (4.9)$$

kde:  $N_s$  – počet zhotovených součástí za směnu [-]

- Celkový počet směn pro zhotovení všech výstřížků:

$$N_{směn} = \frac{N_{kusc}}{N_s} = \frac{100\,015}{3240} = 30,87... \text{ zaokrouhleno na 31 směn} \quad (4.10)$$

kde:  $N_{směn}$  – celkový počet směn pro zhotovení všech výstřížků [-]

Nyní lze spočítat náklady na elektrickou energii. Cena jedné kilowatthodiny  $C_{kWh} = 4,7 \text{ Kč} \cdot h^{-1}$  byla určena na základě průměrné ceny elektrické energie v roce 2020. Celkový výkon zařízení podílejících se na výrobě byl stanoven na základě tab. 5 a přílohy 6 jako  $P_c = 80,5 \text{ kW}$ .

$$C_{energie} = P_c \cdot N_{směn} \cdot t_{střih} \cdot C_{kWh} = 80,5 \cdot 31 \cdot 6,75 \cdot 4,7 = 79\,170 \text{ Kč} \quad (4.11)$$

kde:  $C_{energie}$  – celková cena energie [Kč]

$C_{kWh}$  - cena jedné kilowatthodiny [Kč]

$P_c$  – celkový výkon všech zařízení [kW]

Dále je možné zjistit náklady na obsluhu, která bude zajišťovat výměnu svitků a kontrolovat chod výroby. Hodinová mzda obsluhy byla stanovena na  $C_{obs} = 150 \text{ Kč} \cdot h^{-1}$ . Do výpočtu je nutné zahrnout také zdravotní a sociální pojištění, které je hrazené zaměstnavatelem.

$$C_{obsc} = C_{obs} \cdot N_{směn} \cdot 7,5 \cdot 1,34 = 150 \cdot 31 \cdot 7,5 \cdot 1,34 = 46\,733 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

kde:  $C_{obsc}$  – celkové náklady na obsluhu [Kč]

$C_{obs}$  – hodinová mzda obsluhy [Kč]

Celkové mzdové náklady zahrnující také výrobní režii  $V_{rež} = 300\%$  a správní režii  $S_{rež} = 100\%$  lze stanovit jako:

$$C_{rež} = C_{obsc} \cdot (3 + 1) = 46\,733 \cdot (3 + 1) = 186\,932 \text{ Kč} \quad (4.13)$$

kde:  $C_{rež}$  – celkové mzdové náklady zahrnující výrobní režii [Kč]

Nyní je možné stanovit cenu jednoho výstřížku:

$$C_{výstř} = \frac{C_{matc} + C_{nástr} + C_{energie} + C_{rež}}{n_{sér}} \quad (4.14)$$

kde:  $C_{výstř}$  – cena jednoho výstřížku [Kč]

$$C_{výstř} = \frac{11\,783\,069 + 4\,100\,000 + 79\,170 + 186\,932}{100\,000} = 161,5 \text{ Kč}$$

Výrobní cena jednoho výstřížku je tedy 161,5 Kč. Pro zajištění zisku je cena výstřížku navýšena o 20 %:

$$C_{zisk} = C_{výstř} \cdot 1,2 = 161,5 \cdot 1,2 = 193,8 \text{ Kč} \dots \text{zaokrouhleno na 195 Kč} \quad (4.15)$$

kde:  $C_{zisk}$  – cena výstřížku navýšená o zisk [Kč]

Výstřížek se bude prodávat za 195 Kč. Pro určení bodu zvratu je ještě nutné stanovit fixní a variabilní náklady:

- Stanovení fixních nákladů:

$$N_{fix} = C_{nástr} + C_{rež} - C_{obsc} = 4\,100\,000 + 186\,932 - 46\,733 = 4\,240\,199 \text{ Kč} \quad (4.16)$$

kde:  $N_{fix}$  – výše fixních nákladů [Kč]

- Stanovení variabilních nákladů:

$$N_{var} = C_{matv} + \frac{C_{obsc}}{n_{ser}} = 117,83 + \frac{46\,733}{100\,000} = 118,3 \text{ Kč} \quad (4.17)$$

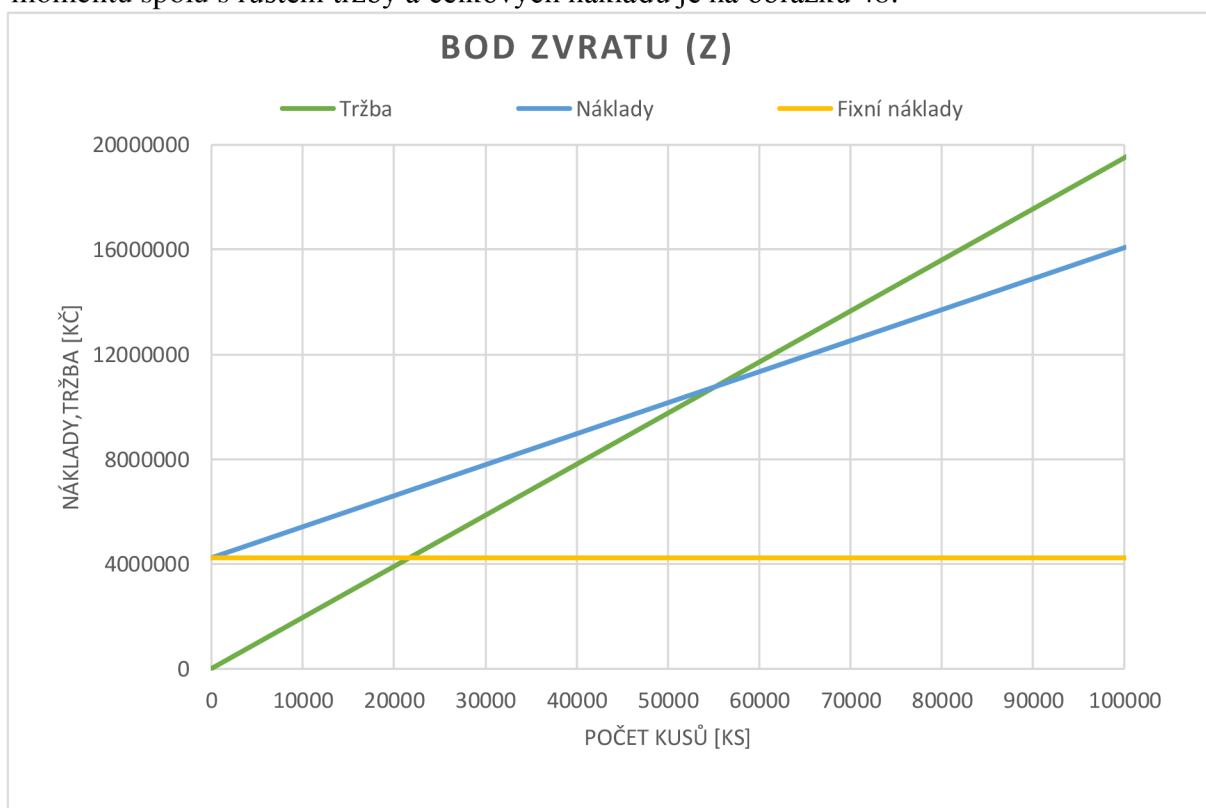
kde:  $N_{var}$  – výše variabilních nákladů [Kč]

- Zjištění bodu zvratu:

$$Z = \frac{N_{fix}}{C_{zisk} - N_{var}} = \frac{4\,240\,199}{195 - 118,3} = 55\,282,9 \dots \text{ zaokrouhлено na } 55\,283 \text{ kusů} \quad (4.18)$$

kde:  $Z$  – bod zvratu [-]

Výroba se začne stávat ziskovou po zhotovení 55 283 výstřížků. Znázornění tohoto momentu spolu s růstem tržby a celkových nákladů je na obrázku 48.



Obr. 48 Znázornění bodu zvratu

## 5 ZÁVĚRY

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem optimálního způsobu výroby dílce bubnové brzdy, konkrétně jeho rozvinutého stavu. Ten byl doposud zhotovován za pomoci laserového řezání. Cena takto zpracovaného dílce byla 210 Kč, přičemž s nárůstem velikosti série na 100 000 ks·rok<sup>-1</sup> vyvstal požadavek tuto cenu snížit, a tím pádem navrhnout výrobní technologii novou. Součást je vyráběna z oceli S355J2C.

Výběr vhodné výrobní technologie ovlivnila nejvíce právě velikost zadané série. Jako nejvhodnější varianta se ukázala výroba postupovým stříháním, která je nejvíce produktivní a zároveň je schopna dostát všem požadavkům na přesnost a kvalitu dílce.

Polotovarem byl zvolen svitek o šířce rovnající se šířce výstřižku a tloušťce pásu 5 mm. Do nástroje budou svitky odvíjeny a rovnány přes automatizovanou linku Compact Line GLK4 - 1300.

Poté byl vypracován nástřihový plán a provedeny výpočty pro určení celkové střižné síly, zjištění polohy středícího čepu na nástroji, kontrolu střižníků a stanovení funkčních rozměrů střižníku a střižnice.

Na základě silových požadavků a dalších parametrů, jako je dostatečně velká upínací plocha a velikost sevření, byl výrobním strojem zvolen klikový lis LDO 800 A/S od firmy Šmeral. Dále byl navrhnout a zkonstruován střižný nástroj spolu se zhotovením příslušné výkresové dokumentace.

Ve finální části práce byl návrh výroby technicko-ekonomicky zhodnocen. Výsledná prodejní cena nově navrhnutého dílu byla stanovena na 195 Kč. Bod zvratu byl vypočten na 55 283. zhotovený kus. V tomto momentu se výroba stává ziskovou. Oproti původní variantě výroby je možné cenu jednoho kusu při zachování 20% zisku snížit až o 15 Kč. Nově navržený způsob výroby je tedy výrazně konkurenceschopnější, nehledě na podstatně kratší výrobní čas. S předpokládaným meziročním nárůstem objednávané série lze nově navrhovanou výrobní metodu doporučit pro průmyslovou praxi.

## Seznam použitých zdrojů [39]

1. Plechové výlisky. In: *Rostra* [online]. Brno: ImperialMedia, 2017 [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <https://www.rostra.cz/reference/plechove-vylisky/>
2. Radlička, SIDERMAN, šíře 175 mm/2 díry/materiál 5 mm... *Ama Czech* [online]. Batňovice [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <https://www.ama-zahrada.cz/radlicka-siderman-sire-175-mm-2-diry-material-5-mm-49859>
3. HLUBOKÉ TAHY. *BELIS* [online]. České Budějovice, 2016 [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <http://automotive.belis.eu/hlubo-ke-tahy/>
4. BAČA, Jozef. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2000. Edícia skript. ISBN 80-227-1339-2.
5. Tváření. *Oneindustry* [online]. Brno: INFOCUBE, 2020 [cit. 2020-11-01]. Dostupné z: <https://www.oneindustry.one/lexikon/tvareni/>
6. BPW- New Brake Shoe with Roller. In: *Montracon: parts division* [online]. 2017 [cit. 2020-11-29]. Dostupné z: <https://parts.montracon.com/product/bpw-brake-shoes/>
7. Ocel a ušlechtilá ocel jakosti. *THE STEEL. COM* [online]. [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://www.thesteel.com/cz/o-materialech>
8. Přehled vlastností oceli S355J2. *Bolzano* [online]. Kladno, 2020 [cit. 2020-12-01]. Dostupné z: <https://bbolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/nelegovane-konstrukcni-oceli-podle-en-10025/prehled-vlastnosti-oceli-s355j2drive-s355j2g3>
9. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2.* 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-718-3244-8.
10. Řezání – vodní paprsek. In: *LIKO-S* [online]. xproduction.cz, 2020 [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://www.liko-welding.cz/cs/rezani-vodni-paprsek>
11. Co je to řezání vodním paprskem? *Řežeme vodou.cz* [online]. Top Digital Group, 2011 [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <http://www.rezeme-vodou.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>
12. Plazmové řezání, řezání plazmou, plazmové zdroje, plasma. *Schinkmann* [online]. maxon. [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/plazma>
13. Několik slov k plazmovému řezání - pálení plazmou. In: *HONKYS: CNC Thermal cutting machines - export* [online]. JIROUT REKLAMNÍ AGENTURA, 2018 [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://www.honkys-export.cz/nekolik-slov-k-plazmovemu-rezani-neboli-paleni-plazmou-a-15-ag-5/>
14. Pálení laserem. *SSAB* [online]. [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://www.ssab.cz/services/processing-services/laser-cutting>

15. Laserové řezání a výseky. In: *Vypalto s.r.o.* [online]. Brno [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://vypalto.cz/laserove-rezani/>
16. Postupové nástroje. In: *NAF: výrobce postupových nástrojů, forem a vylisků* [online]. [cit. 2020-12-22]. Dostupné z: <https://www.nastrojarna-naf.cz/cz/vyroby>
17. LENFELD, Petr. *Technologie II*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN ISBN978-80-7372-466-5.
18. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
19. ČADA, Radek. *Technologie I: zákony plastické deformace kovů, dělení materiálu, slévání*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. ISBN ISBN978-80-248-1274-8.
20. DVOŘÁK, Milan, Karel NOVOTNÝ a František GAJDOŠ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2340-4.
21. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2881-3.
22. ŘASA, Jaroslav, Jindřich KAFKA a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel : zásady montáže*. Vyd. 1. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003. ISBN 80-718-3284-7.
23. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
24. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I: Plošné a objemové tváření*. Vyd. 2. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0404-3.
25. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
26. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Vyd. 1. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980.
27. LIDMILA, Zdeněk a Emil SVOBODA. *Strojírenská technologie*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2006 [i.e. 2007]. ISBN ISBN978-80-7231-220-7.
28. RUDOLF, Bedřich. *Tvářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce : vysokoškolská učebnice*. Vyd.2. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1982.
29. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Vyd. 1. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.

30. Děrování a vysekávání plechů. *PROSTOR DESIGN* [online]. WEBOVARESENI.CZ, 2015 [cit. 2021-02-23]. Dostupné z: <https://www.prostor-design.cz/derovani-sekani-plechu/>
31. Ocelové plechy ZTV. *Ferona* [online]. Praha [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/detail/22327/plech-valcovany-za-tepla-en-10051-rozmer-5x1000x2000>
32. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
33. ČSN 22 6015. *Lisovací nástroje: Stříhadla a střížné vřle*. Praha: Vydavatelství ÚNM, 1977.
34. Series ML. *SPECIAL SPRINGS* [online]. [cit. 2021-03-08]. Dostupné z: <https://www.specialsprings.com/en/products/gas-springs/products/series-ml>
35. OSTŘIHOVACÍ LISY LDO 800 A/S. *ŠMERAL* [online]. Brno [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/38/ldo-800-a-s>
36. Compact Line GLK4 Series(0.6-6.0mm). *HE - machine* [online]. [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.he-machine.com/complete-line/decoiler-straightener-feeder-gl4/>
37. SYNEK, Miloslav. *Podniková ekonomika*. 4., přeprac. a dopl. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2006. Beckovy ekonomické učebnice. ISBN 80-717-9892-4.
38. Kovintrade. *Kovintrade* [online]. Praha [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: <http://www.kovintrade.cz/>
39. Citace PRO [online]. 2021 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>

## SEZNAM ZNAČEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	střížná práce	[J]
c	koeficient závislý na stupni stříhu	[-]
$C_{\text{energie}}$	celková cena energie	[Kč]
$C_{\text{kWh}}$	cena jedné kilowathodiny	[Kč]
$C_{\text{matc}}$	celkové náklady na materiál	[Kč]
$C_{\text{matv}}$	náklady na materiál jednoho prodáváného kusu	[Kč]
$C_{\text{obs}}$	hodinová mzda obsluhy	[Kč]
$C_{\text{obsc}}$	celkové náklady na obsluhu	[Kč]
$C_{\text{odpad}}$	cena vykupovaného odpadového materiálu za 1 kg	[Kč]
$C_{\text{odpad1}}$	cena odpadu první složky	[Kč]
$C_{\text{odpad2}}$	cena odpadu druhé složky	[Kč]
$C_{\text{odpadc}}$	Celková cena odpadního materiálu	[Kč]
$C_{\text{rež}}$	celkové mzdové náklady zahrnující výrobní režii	[Kč]
$C_{\text{svit}}$	cena za 1 kg svitkového materiálu	[Kč]
$C_{\text{svitc}}$	celková cena zakoupených svitků	[Kč]
$C_{\text{výstř}}$	cena jednoho výstřížku	[Kč]
$C_{\text{zisk}}$	cena výstřížku navýšená o zisk	[Kč]
$D_{\text{vněj}}$	vnější průměr svitku	[mm]
$D_{\text{vněj1}}$	vnější průměr posledního svitku	[mm]
$D_{\text{vnitř}}$	vnitřní průměr svitku	[mm]
E	Youngův modul pružnosti v tahu pro ocel	[MPa]
$F_p$	síla na jedné pružině	[N]
$F_s$	střížná síla	[N]
$F_{\text{Sc}}$	celková střížná síla	[N]
$F_{\text{si}}$	i-tá velikost střížné síly	[N]
$F_{\text{stír}}$	stírací síla	[N]
$F_{\text{stroje}}$	požadovaná tvářecí síla stroje	[N]
h	hloubka vniknutí střížné hrany do okamžiku porušení	[mm]
I	kvadratický moment průřezu	[mm <sup>4</sup> ]
JR	jmenovitý rozměr	[mm]
K	velikost kroku	[mm]
k	součinitel bezpečnosti	[-]
l	střížná délka	[mm]
$l_{\text{krit}}$	kritická délka střížníku	[mm]
$l_{\text{pás}}$	délka pásu	[mm]
$l_{\text{svit}}$	rozvinutá délka svitku o vnějším průměru 1600 mm	[mm]
$l_{\text{svit1}}$	rozvinutá délka svitku o vnějším průměru 750 mm	[mm]
$m_{\text{svitc}}$	hmotnost všech zakoupených svitků	[kg]
n	součinitel otupení nástroje	[-]
$n_d$	počet dílů na pás	[-]
$N_{\text{fix}}$	výše fixních nákladů	[Kč]
$n_{\text{kus}}$	počet kusů na svitku o vnějším průměru 1600 mm	[-]

$n_{kus1}$	počet dílů na svitku o vnějším průměru 750 mm	[-]
$N_{kusc}$	celkový počet výstřižků	[-]
$n_p$	počet pásů	[-]
$n_{pruž}$	potřebný počet pružin	[-]
$N_s$	počet zhotovených součástí za směnu	[-]
$n_{sér}$	počet vyráběných kusů v sérii	[-]
$N_{směn}$	celkový počet směn pro zhotovení všech výstřižků	[-]
$n_{sv}$	počet svitků o vnějším průměru 1600 mm	[-]
$n_t$	počet dílů z tabule	[-]
$N_{var}$	výše variabilních nákladů	[Kč]
$N_{zdvihu}$	počet zdvihů za minutu	[min <sup>-1</sup> ]
$P$	přípustná míra opotřebení	[mm]
$P_c$	celkový výkon všech zařízení	[kW]
$RAD$	rozměr střížníku při děrování	[mm]
$RED$	rozměr střížnice při děrování	[mm]
$R_m$	mez pevnosti	[MPa]
$s$	tloušťka stříhaného materiálu	[mm]
$S$	činná plocha střížníku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_D$	plocha jednoho (plného) výstřižku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{dtab}$	celková plocha výstřižků na tabuli	[mm <sup>2</sup> ]
$S_p$	plocha polotovaru	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{svit}$	plocha svitku o vnějším průměru 1600	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{svit}$	plocha svitku o vnějším průměru 1600 mm	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{svit1}$	plocha svitku o vnějším průměru 750 mm	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{tab}$	plocha tabule	[mm <sup>2</sup> ]
$S_v$	plocha všech dílů na svitku o vnějším průměru 1600 mm	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{v1}$	Plocha všech dílů na svitku o vnějším průměru 750 mm	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{vs}$	celková plocha (plných) výstřižků	[mm <sup>2</sup> ]
$\check{S}$	šířka pásu	[mm]
$\check{S}_s$	šířka svitku	[mm]
$\check{S}_{tab}$	Šířka tabule	[mm]
$TA$	výrobní tolerance střížníku	[mm]
$TE$	výrobní rozměr střížnice	[mm]
$t_{střih}$	pracovní čas stříhání	[h]
$u$	koeficient poměrné hloubky vniknutí	[-]
$v$	střížná vůle	[mm]
$X_i$	i-tá poloha těžiště střížné síly ve směru osy x	[mm]
$X_{pi}$	i-tá poloha těžiště síly pružiny ve směru osy x	[mm]
$X_T$	výsledná poloha těžiště ve směru osy x	[mm]
$Y_i$	i-tá poloha těžiště střížné síly ve směru osy y	[mm]
$Y_{pi}$	i-tá poloha těžiště síly pružiny ve směru osy y	[mm]
$Y_T$	výsledná poloha těžiště ve směru osy y	[mm]
$z$	střížná mezera	[mm]
$Z$	bod zvratu	[-]



$\alpha$	úhel sklonu nožů	[°]
$\eta$	využití materiálu	[%]
$\eta_1$	využití materiálu u svitku o vnějším průměru 1600 mm	[%]
$\eta_2$	využití materiálu u svitku o vnějším průměru 750 mm	[%]
$\lambda$	součinitel plnosti	[-]
$\mu$	koeficient bezpečnosti pro vzpěr	[-]
$\rho_{\text{ocel}}$	hustota oceli	[kg·mm <sup>-3</sup> ]
$\sigma$	napětí na průřezu střižníku	[MPa]
$\sigma_{\text{dov}}$	dovolené napětí	[MPa]
$\tau_s$	pevnost materiálu ve stříhu	[MPa]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklad součástí zhotovených plošným tvářením [1], [2], [3].....	9
Obr. 2 Zkompleťovaná část brzdy [6].....	10
Obr. 3 Rozvinutý tvar dílce.....	10
Obr. 4 Řezání vodním paprskem [10].....	11
Obr. 5 Řezání plazmou [13] .....	11
Obr. 6 Vysekávání na lisu [30].....	11
Obr. 7 Řezání laserem [15].....	12
Obr. 8 Postupový střížný nástroj [16].....	12
Obr. 9 První fáze stříhu [18].....	13
Obr. 10 Druhá fáze stříhu [18].....	13
Obr. 11 Třetí fáze stříhu [18].....	14
Obr. 12 Střížná plocha při normální střížné vůli [19].....	14
Obr. 13 Znázornění střížných mezer [19].....	15
Obr. 14 Znázornění průběhu střížné síly [16].....	16
Obr. 15 Úprava střížníku a střížnice [22].....	16
Obr. 16 Znázornění součinitele plnosti [18].....	18
Obr. 17 Znázornění rovnoběžných a skloněných nožů [25].....	18
Obr. 18 Příklady kotoučových nožů [17].....	19
Obr. 19 Příklad stříhu kruhového profilu a tenkostěnné trubky [25].....	19
Obr. 20 Schéma svislého klikového lisu [27].....	19
Obr. 21 Změna zdvihu výstředníkovým pouzdrům [28].....	20
Obr. 22 Schéma hydraulického lisu [27].....	20
Obr. 23 Příklad střížného nástroje.....	21
Obr. 24 Vedení nástroje pomocí vodící desky a vodící desky s vodícími sloupky [29].....	22
Obr. 25 Příklady střížnic [29].....	23
Obr. 26 Příklady tvarů střížných otvorů [29].....	23
Obr. 27 Příklady úprav čel střížníků [29].....	24
Obr. 28 Příklady upnutí střížníků [29].....	24
Obr. 29 Znázornění jednotlivých minimálních vzdáleností [4].....	25
Obr. 30 Varianty nástříhových plánů [19].....	26
Obr. 31 Znázornění dílce s hlavními rozměry.....	27
Obr. 32 Detail nejmenšího prvku a nejmenší vzdálenosti mezi otvory na součásti.....	27
Obr. 33 Varianta č. 1.....	28
Obr. 34 Varianta č. 2.....	28
Obr. 35 Varianta č. 3.....	28
Obr. 36 Varianta č. 4.....	29
Obr. 37 Nástříhový plán.....	32
Obr. 38 Znázornění střížných útvarů.....	33
Obr. 39 Schéma pro výpočet těžiště.....	35
Obr. 40 Vetknutý střížník na obou koncích.....	36
Obr. 41 Vzor pro určení funkčních rozměrů.....	37
Obr. 42 Lis LDO 800 A/S [35].....	38
Obr. 43 Linka GLK4 – 1300 [36].....	38
Obr. 44 Zkonstruovaný střížný nástroj.....	39
Obr. 45 Vrchní část nástroje.....	39
Obr. 46 Střední část nástroje.....	40
Obr. 47 Spodní část nástroje.....	40
Obr. 48 Znázornění bodu zvratu.....	44

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení oceli S355J2C [8].....	10
Tab. 2 Základní mechanické vlastnosti oceli S355J2C [8].....	10
Tab. 3 Koeficient poměrné hloubky vniknutí k [24].....	17
Tab. 4 Porovnání využití materiálu pro jednotlivé tabule .....	30
Tab. 5 Úchyly netolerovaných rozměrů pro střední přesnost m [32].....	37
Tab. 6 Technické parametry lisu LDO 800 A/S [35].....	38

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Velikost můstku [19]
Příloha 2	Pružina ML 12000 [34]
Příloha 3	Kompletní výpočet těžiště
Příloha 4	Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel [33]
Příloha 5	Vzorce pro výpočet rozměrů střížníku a střížnice při děrování [33]
Příloha 6	Linka GLK4- 1300 [36]

## SEZNAM VÝKRESŮ

Výkres součásti	BP_209254_100
Výkres sestavy	BP_209254_00
Výkres střížníku	BP_209254_28
Výkres střížné vložky	BP_209254_35
Seznam položek	BP_209254_SEZ. POL.

Příloha 1 Velikost můstku [19]

Tab. 15 Parametry postupového stříhání – čtvercový tvar

Tloušťka materiálu	Šířka pásu											
	do 15		15 – 50		50 – 100		100 – 200		200 – 300		300 – 400	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
0,1 – 0,9	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8	2,2	2,5	3,1				
1	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5	3	3,7	4	4,8	4,8	6
1,3	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	4,2	5,2	5,3	6,5
1,5	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	4,5	5,4	5,6	6,8
1,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	3,5	4,3	4,7	5,6	5,8	7
2	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4	5	5	6	6	7
2,2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,2	6,2	7,2
2,5	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,3	7,2
2,8	2,8	3,5	3	3,7	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,5	7,3
3	3	3,7	3,2	4	3,5	4,3	4,5	5,5	5,5	6,5	6,6	7,5
3,5			3,5	4,3	4	5	5	6	6	7	7	8,5
4			3,8	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6,7	8	8	9,3
4,5			4,0	4,8	4,5	5,7	5,5	6,8	7	8,3	8,3	9,8
5			4,5	5	5	6	6	7	7,3	8,5	8,7	10

Výpočet délky kroku:  $k = l_v + e$  [mm]

Šířka pásu:  $P = š_v + 2f + g$  [mm]

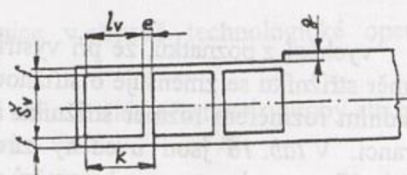
$l_v$  – délka výstřížku

$š_v$  – šířka výstřížku

$e$  – můstek

$f$  – šířka okraje plechu

$g$  – okraj po ostřížení ostříhovacím nožem



🏠 ← 🖼️ **ML12000-025-D-N-FS2120**  
Special Springs > Nitrogen gas Cylinders > ML

Available products: 1 🗑️ Odstranit všechny filtry

<b>Company</b>	Special Springs		🔒
<b>Description</b>	ML 12000 - Maximum force, rod sealed		🔒
<b>Bill of material</b>	ML12000-025-D-N-FS2120		🔒
<b>CODE</b>	ML12000-025-D-N		📅
<b>CU</b> Stroke	25	mm	🔒
<b>L</b> Total length	155	mm	📅
<b>LMIN</b> Minimum length	130	mm	📅
<b>RC</b> Reserves stroke	3	mm	🔒
<b>D</b> Diametro	120	mm	🔒
<b>P</b> Pressione	200	bar	🔒
<b>PMIN</b> Pressure min.	20	bar	🔒
<b>CX</b> Working stroke	0 <span style="float: right;">20</span> 25	mm	📅
<b>FIS</b> Fixing	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> <p style="font-size: 8px;">FS2 120</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p style="font-size: 8px;">FS2A 120</p> </div> </div> <p style="text-align: center; font-size: 10px;">1/3</p>		
<b>F0</b> Nominal initial force	12720	daN	🔒
<b>F11</b> Isothermal end force	20211	daN	🔒
<b>F1P</b> Polytrophic end force	23346	daN	🔒
<b>V</b> Volume	534.0	cm <sup>3</sup>	🔒
<b>S</b> Surface	63.62	mm	🔒
<b>W</b> Weight	8.31	Kg	📅

📄 Generate CAD
📄 Generovat PDF dokument

👁️ Náhled
📄 Formáty
📁 Files

3D
Dimenze
2D

SPECIAL SPRINGS

@2021 powered by CADENAS

👤 vagnerluky@centrum.cz
✉️ 0
🛠️ Edit CAD Formats

### Příloha 3 Kompletní výpočet těžiště

#### Výpočet těžiště ve směru osy x:

$$\begin{aligned}
 X_T &= \frac{\sum X_i \cdot F_{Si} + \sum X_{Pi} \cdot F_P}{\sum X_i + \sum X_{Pi}} = \frac{10 \cdot X_1 \cdot F_{S2} + X_2 \cdot (F_{S1} + F_{S3}) + 10 \cdot X_3 \cdot F_{S2} + X_4 \cdot F_{S4} + X_5 \cdot F_{S6}}{F_{S1} + 20 \cdot F_{S2} + F_{S3} + F_{S4} + F_{S5} + 3 \cdot F_{S6} + F_{S7} + F_{S8} + F_{S9} + 4 \cdot F_P} + \\
 &+ \frac{X_6 \cdot (F_{S5} + F_{S6} + F_{S7} + F_{S8}) + X_7 \cdot F_{S6} + X_8 \cdot F_{S9} + 2 \cdot (X_{P1} + X_{P2}) \cdot F_P}{F_{S1} + 20 \cdot F_{S2} + F_{S3} + F_{S4} + F_{S5} + 3 \cdot F_{S6} + F_{S7} + F_{S8} + F_{S9} + 4 \cdot F_P} = \\
 &= \frac{10 \cdot 575,85 \cdot 488,5 + 500 \cdot (173 \cdot 849,8 + 131 \cdot 725,5) + 10 \cdot 425 \cdot 85 \cdot 488,5 + 400 \cdot 502 \cdot 649,3 + 360 \cdot 115 \cdot 909,9}{173 \cdot 849,8 + 20 \cdot 85 \cdot 488,5 + 131 \cdot 725,5 + 502 \cdot 649,3 + 261 \cdot 636,5 + 3 \cdot 115 \cdot 909,9 + 65 \cdot 862,7 + 225 \cdot 469,5 + 1 \cdot 295 \cdot 784 + 4 \cdot 127 \cdot 200} + \\
 &+ \frac{300 \cdot (261 \cdot 636,5 + 115 \cdot 909,9 + 65 \cdot 862,7 + 225 \cdot 469,5) + 240 \cdot 115 \cdot 909,9 + 200 \cdot 1 \cdot 295 \cdot 784 + 2 \cdot (55 + 475) \cdot 127 \cdot 200}{173 \cdot 849,8 + 20 \cdot 85 \cdot 488,5 + 131 \cdot 725,5 + 502 \cdot 649,3 + 261 \cdot 636,5 + 3 \cdot 115 \cdot 909,9 + 65 \cdot 862,7 + 225 \cdot 469,5 + 1 \cdot 295 \cdot 784 + 4 \cdot 127 \cdot 200} = \\
 &= \frac{1872930690}{5223277} = 358,6 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### Výpočet těžiště ve směru osy y:

$$\begin{aligned}
 Y_T &= \frac{\sum Y_i \cdot F_{Si} + \sum Y_{Pi} \cdot F_P}{\sum Y_i + \sum Y_{Pi}} = \\
 &= \frac{Y_1 \cdot F_{S5} + Y_2 \cdot F_{S4} + Y_3 \cdot F_{S1} + 2 \cdot Y_4 \cdot F_{S2} + 2 \cdot Y_5 \cdot F_{S2} + 2 \cdot Y_6 \cdot F_{S2} + 2 \cdot Y_7 \cdot F_{S2} + 3 \cdot Y_8 \cdot F_{S6} + 2 \cdot Y_9 \cdot F_{S2} + Y_{10} \cdot F_{S9} + 2 \cdot Y_{11} \cdot F_{S2}}{F_{S1} + 20 \cdot F_{S2} + F_{S3} + F_{S4} + F_{S5} + 3 \cdot F_{S6} + F_{S7} + F_{S8} + F_{S9} + 4 \cdot F_P} + \\
 &+ \frac{Y_{12} \cdot F_{S2} + 2 \cdot Y_{13} \cdot F_{S2} + Y_{14} \cdot F_{S8} + 2 \cdot Y_{15} \cdot F_{S2} + 2 \cdot Y_{16} \cdot F_{S2} + 2 \cdot Y_{17} \cdot F_{S2} + Y_{18} \cdot F_{S7} - 2 \cdot Y_{P1} \cdot F_P + 2 \cdot Y_{P2} \cdot F_P}{F_{S1} + 20 \cdot F_{S2} + F_{S3} + F_{S4} + F_{S5} + 3 \cdot F_{S6} + F_{S7} + F_{S8} + F_{S9} + 4 \cdot F_P} = \\
 &= \frac{469,25 \cdot 261 \cdot 636,5 + 452,76 \cdot 502 \cdot 649,3 + 439,25 \cdot 173 \cdot 849,8 + 2 \cdot 389,45 \cdot 85 \cdot 488,5 + 2 \cdot 348,85 \cdot 85 \cdot 488,5}{173 \cdot 849,8 + 20 \cdot 85 \cdot 488,5 + 131 \cdot 725,5 + 502 \cdot 649,3 + 261 \cdot 636,5 + 3 \cdot 115 \cdot 909,9 + 65 \cdot 862,7 + 225 \cdot 469,5 + 1 \cdot 295 \cdot 784 + 4 \cdot 127 \cdot 200} + \\
 &+ \frac{2 \cdot 308,15 \cdot 85 \cdot 488,5 + 2 \cdot 267,45 \cdot 85 \cdot 488,5 + 3 \cdot 247,1 \cdot 115 \cdot 909,9 + 2 \cdot 226,75 \cdot 85 \cdot 488,5 + 214,25 \cdot 1 \cdot 295 \cdot 784}{173 \cdot 849,8 + 20 \cdot 85 \cdot 488,5 + 131 \cdot 725,5 + 502 \cdot 649,3 + 261 \cdot 636,5 + 3 \cdot 115 \cdot 909,9 + 65 \cdot 862,7 + 225 \cdot 469,5 + 1 \cdot 295 \cdot 784 + 4 \cdot 127 \cdot 200} + \\
 &+ \frac{2 \cdot 184,15 \cdot 85 \cdot 488,5 + 148,45 \cdot 85 \cdot 488,5 + 2 \cdot 143,45 \cdot 85 \cdot 488,5 + 120,2 \cdot 225 \cdot 469,5 + 2 \cdot 102,75 \cdot 85 \cdot 488,5}{173 \cdot 849,8 + 20 \cdot 85 \cdot 488,5 + 131 \cdot 725,5 + 502 \cdot 649,3 + 261 \cdot 636,5 + 3 \cdot 115 \cdot 909,9 + 65 \cdot 862,7 + 225 \cdot 469,5 + 1 \cdot 295 \cdot 784 + 4 \cdot 127 \cdot 200} + \\
 &+ \frac{2 \cdot 62,05 \cdot 85 \cdot 488,5 + 2 \cdot 21,45 \cdot 85 \cdot 488,5 + 5,14 \cdot 65 \cdot 862,7 - 2 \cdot 165,75 \cdot 127 \cdot 200 + 2 \cdot 654,25 \cdot 127 \cdot 200}{173 \cdot 849,8 + 20 \cdot 85 \cdot 488,5 + 131 \cdot 725,5 + 502 \cdot 649,3 + 261 \cdot 636,5 + 3 \cdot 115 \cdot 909,9 + 65 \cdot 862,7 + 225 \cdot 469,5 + 1 \cdot 295 \cdot 784 + 4 \cdot 127 \cdot 200} = \\
 &= \frac{1290127889}{5223277} = 247 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



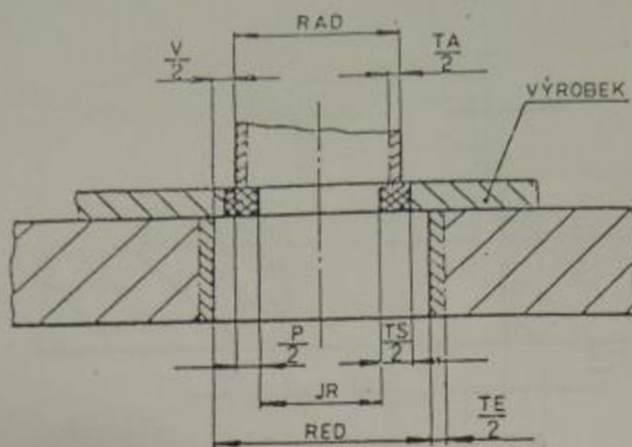
Příloha 4 Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel [33]

Rozměry v mm

Tolerance součástky TS		Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance	
od	do		Střížnice - TE	Střížnisku - TA
0,020	0,025	0,020	0,007	0,004
0,025	0,030	0,025	0,008	0,005
0,030	0,035	0,030	0,009	0,006
0,035	0,040	0,035	0,011	0,008
0,040	0,045	0,040	0,013	0,009
0,045	0,050	0,045	0,016	0,011
0,050	0,060	0,050	0,019	0,013
0,060	0,070	0,060	0,022	0,015
0,070	0,080	0,070	0,025	0,018
0,080	0,090	0,080	0,029	0,020
0,090	0,100	0,090	0,032	0,023
0,100	0,120	0,100	0,036	0,025
0,120	0,140	0,110	0,036	0,025
0,140	0,160	0,120	0,040	0,027
0,160	0,180	0,140	0,043	0,030
0,180	0,200	0,160	0,054	0,035
0,200	0,220	0,170	0,063	0,040
0,220	0,240	0,180	0,072	0,046
0,240	0,260	0,200	0,081	0,052
0,260	0,280	0,220	0,089	0,057
0,280	0,300	0,230	0,089	0,057
0,300	0,320	0,250	0,100	0,062
0,320	0,350	0,270	0,100	0,062
0,350	0,370	0,290	0,120	0,074
0,370	0,400	0,310	0,120	0,074
0,400	0,430	0,330	0,140	0,087
0,430	0,460	0,350	0,140	0,087
0,460	0,500	0,360	0,160	0,100
0,500	0,530	0,410	0,160	0,100
0,530	0,560	0,430	0,160	0,120
0,560	0,600	0,460	0,190	0,120
0,600	0,650	0,500	0,190	0,140
0,650	0,700	0,540	0,220	0,140
0,700	0,750	0,580	0,220	0,160
0,750	0,800	0,620	0,250	0,160
0,800	0,900	0,680	0,250	0,185
0,900	1,000	0,760	0,290	0,210
1,000	1,200	0,830	0,320	0,230
1,200	1,400	1,000	0,360	0,250
1,400	více	1,200	0,400	

Príloha 5 Vzorce pro výpočet rozměrů střížníku a střížnice při děrování [33]

ČSN 22 6015



Obr. 7. Děrování

Tab. 8. Vzorce pro výpočet základních rozměrů střížníku a střížnice při děrování

Opořebením rozměry:	Orientace odchylek TS	Technologicky základní část			
		Střížník	*)	Střížnice	**)
Zvětšuje (např.: D <sub>2</sub> obr. 4)	+	$RAD = (JR) + TA$	$RED = (RAD + V + TE) - TE$	$RED = (JR - V + TE) - TE$	$RAD = (RED + V + TA) + TA$
	-	$RAD = (JR - P) + TA$		$RED = (JR - P - V + TE) - TE$	
	±	$RAD = (JR - \frac{P}{2}) + TA$		$RED = (JR - \frac{P}{2} - V + TE) - TE$	
Zmenšuje (např.: A <sub>2</sub> , B <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> , E <sub>2</sub> , J, K obr. 4 a 5)	+	$RAD = (JR + P) - TA$	$RED = (RAD + V + TE) + TE$	$RED = (JR + P + V) + TE$	$RAD = (RED + V + TA) - TA$
	-	$RAD = (JR) - TA$		$RED = (JR + V) + TE$	
	±	$RAD = (JR + \frac{P}{2}) - TA$		$RED = (JR + \frac{P}{2} + V) + TE$	
Nemění (např.: F <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , L obr. 4 a 5)	+	$RAD = (JR + \frac{P}{2}) \pm TA$	$RED = (RAD) \pm TE$	$RED = (JR + \frac{P}{2}) \pm TE$	$RAD = (RED) \pm TA$
	-	$RAD = (JR - \frac{P}{2}) \pm TA$		$RED = (JR - \frac{P}{2}) \pm TE$	
	±	$RAD = (JR) \pm TA$		$RED = (JR) \pm TE$	
*) Odvozené vzorce pro střížnici			Tlustě zarámované vzorce se používají nejčastěji		
**) Odvozené vzorce pro střížník					

Vysvětlivky:

RED — rozměr střížnice při děrování  
 RAD — rozměr střížníku při děrování  
 JR — jmenovitý rozměr součásti  
 V — střížná vůle (tab. 9 až 13 uvedené v příloze této normy)

TS — tolerance jmenovitého rozměru  
 P — přípustná míra opořebením  
 TE — výrobní tolerance střížnice  
 TA — výrobní tolerance střížníku (tab. 8 uvedená v příloze této normy)

Příloha 6 Linka GLK4- 1300 [36]



Model	GLK4-400	GLK4-600	GLK4-800	GLK4-1000	GLK4-1300
Mandrel Expansion	475-530 mm	475-530 mm	475-530 mm	475-530 mm	475-530 mm
Material Thickness	0.6-6.0 mm	0.6-6.0 mm	0.6-6.0 mm	0.6-6.0 mm	0.6-6.0 mm
Loading Capacity	5 ton	5 ton	7 ton	7 ton	10 ton
Straightener Rollers	Φ68 mm * 7	Φ68 mm * 7	Φ68 mm * 7	Φ68 mm * 7	Φ68 mm * 7
Feeding Rollers	Φ88 mm * 2	Φ88 mm * 2	Φ88 mm * 2	Φ88 mm * 2	Φ88 mm * 2
Back-up Rollers	1 group	1 group	2 groups	2 groups	3 groups
Straighten Precision	±1.5 mm/m <sup>2</sup>	±1.5 mm/m <sup>2</sup>	±1.5 mm/m <sup>2</sup>	±1.5 mm/m <sup>2</sup>	±1.5 mm/m <sup>2</sup>
Decoiler Motor	2.2 Kw	2.2 Kw	3.7 Kw	3.7 Kw	7.5 Kw
Servo Motor	5.5 Kw	7.5 Kw	7.5 Kw	11 Kw	11 Kw