



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA VÝZTUŽE DVEŘNÍHO ZAMYKÁNÍ SDRUŽENÝM NÁSTROJEM

THE REINFORCEMENT DOOR LOCKING MANUFACTURING BY COMPOUND TOOL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MIROSLAV DRÁPALA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. EVA PETERKOVÁ, Ph.D.

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Miroslav Drápala

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

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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

### **Výroba výztuže dveřního zamykání sdruženým nástrojem**

v anglickém jazyce:

#### **The reinforcement door locking manufacturing by compound tool**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby výztuže dveřního zamykání. Dílec je podélného tvaru opatřený otvory. Výchozím polotovarem je plech o tloušťce 3 mm. Zadaná součást bude vyráběna kombinací postupového stříhání a ohýbání ve sdruženém postupovém nástroji.

Cíle diplomové práce:

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

Seznam odborné literatury:

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

SCHULER GmbH. Handbuch der Umformtechnik. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1996. ISBN 3-540-61099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of Die Design. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1998. ISBN 0-07-146271-6.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření I. 1. vyd. Brno: Vydavatelské oddělení UO, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: Plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.

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

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 20.11.2013

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

DRÁPALA Miroslav: Výroba výztuže dveřního zamykání sruženým nástrojem.

Předložený projekt vypracovaný v rámci magisterského studia M-STG Strojírenská technologie je zaměřen na problematiku výroby výztuže dveřního zamykání. Součást bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání ze slitiny hliníku EN AW-3103. Polotovarem pro výrobu je svitek plechu o tloušťce 3 mm. Výrobní série je 400 000 kusů za rok. Na zmíněné technologie byla vypracována literární studie. Po provedení kontrolních výpočtů byl navržen sružený postupový nástroj. Jako pracovní stroj byl zvolen výstředníkový lis ŠMERAL LE 250/40, ve kterém bude nástroj upnut.

Klíčová slova: tváření, stříhání, ohýbání, součást, střížník

## **ABSTRACT**

DRÁPALA Miroslav: The reinforcement door locking manufacturing by compound tool

The submitted project was created in the engineering studies of M-STG Machinery technologies and it is focused on problematics of production of reinforcement door locking. Component will be manufactured by cutting and bending technologies and used material is aluminium alloy EN AW-3103. As a manufacturing stock is used roll of sheet. Manufacturing series is 400 000 pieces a year. Literary study was created according to the mentioned technologies. After the control calculation was processed, the compound tool was designed. As a working machine was selected eccentric press SMERAL LE 250/40, where the compound tool will be clamped.

Keywords: forming, cutting, bending, component, punch

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

DRÁPALA, Miroslav. *Výroba výztuže dveřního zamykání sdruženým nástrojem*. Brno, 2014. 63s, 5 výkresů, 5 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Eva Peterková, Ph.D.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

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

V Brně dne 28. 5. 2014

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych rád poděkoval paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

# OBSAH

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU</b> .....	<b>11</b>
1.1 Materiál součásti .....	11
1.2 Varianty výroby .....	12
1.2.1 Výroba rozvinutého tvaru nekonvenčními způsoby řezání + ohyb .....	12
1.2.2 Vysekávání rozvinutého tvaru + ohyb .....	13
1.2.3 Stříhání a ohýbání ve dvou samostatných nástrojích .....	13
1.2.4 Sdružený postupový nástroj .....	13
1.2.5 Zhodnocení jednotlivých variant výroby .....	13
<b>2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ</b> .....	<b>14</b>
2.1 Průběh stříhání v nástroji .....	14
2.1.1 Rozbor stavu napjatosti .....	15
2.1.2 Střížný odpor .....	16
2.1.3 Střížná vůle .....	16
2.1.4 Střížná síla .....	18
2.1.5 Stírací a protlačovací síla .....	19
2.1.6 Střížná práce .....	20
2.1.7 Přesnost a jakost výstřížků .....	21
2.1.8 Technologičnost konstrukce výstřížků .....	21
2.1.9 Střížné nástroje .....	23
2.1.10 Používané materiály funkčních částí nástroje .....	25
<b>3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ</b> .....	<b>26</b>
3.1 Průběh ohýbání v nástroji .....	26
3.1.1 Rozbor stavu napjatosti .....	27
3.1.2 Neutrální vrstva .....	27
3.1.3 Odpružení při ohybu .....	29
3.1.4 Minimální a maximální poloměr ohybu .....	31
3.1.5 Ohýbací síly .....	31
3.1.6 Ohýbací práce .....	32
3.1.7 Vůle mezi činnými částmi nástroje .....	33



3.1.8	Přesnost při ohýbání .....	33
3.1.9	Konstrukčně technologické zásady při ohýbání .....	33
3.1.10	Konstrukce ohýbacích nástrojů .....	35
3.1.11	Používané materiály funkčních částí ohýbacího nástroje.....	36
3.2	Tvářecí stroje .....	36
3.2.1	Hydraulické lisy .....	36
3.2.2	Mechanické lisy.....	37
<b>4</b>	<b>NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY .....</b>	<b>38</b>
4.1	Rozvinutý tvar součástí.....	38
4.2	Varianty uspořádání výstřižků na pásu plechu .....	39
4.3	Varianty řešení postupového nástroje.....	42
<b>5</b>	<b>TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY .....</b>	<b>47</b>
5.1	Výpočty pro technologii stříhání .....	47
5.1.1	Výpočet střížné vůle, střížné síly a střížné práce .....	47
5.1.2	Kontrola střížníků na otláčení .....	48
5.1.3	Kontrola střížníků na vzpěr .....	49
5.1.4	Výpočet výšky střížnice .....	50
5.2	Výpočty pro technologii ohýbání .....	50
5.2.1	Výpočet odpružení, síly přidržovače, ohýbací síly, práce a vůle .....	50
5.2.2	Výpočet minimálního a maximálního poloměru ohybu.....	51
5.3	Umístění stopky .....	51
5.4	Výrobní tolerance funkčních částí nástroje .....	53
<b>6</b>	<b>NÁVRH TVÁŘECÍHO STROJE .....</b>	<b>54</b>
<b>7</b>	<b>POPIS A FUNKCE NÁSTROJE .....</b>	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....</b>	<b>57</b>
8.1	Přímé náklady .....	57
8.2	Nepřímé náklady.....	60
8.3	Celkové náklady .....	61
8.4	Cena součásti a celkový zisk .....	61
8.5	Bod zvratu.....	62
<b>9</b>	<b>ZÁVĚRY .....</b>	<b>63</b>

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

## ÚVOD

Strojírenská technologie se zabývá zpracováním materiálu, jeho výrobou a výrobními postupy. Jednou z nejvýhodnějších metod využití materiálů ve strojírenství s ohledem na vysokou kvalitu jakosti, efektivnost práce a úsporu materiálu je plošné tváření.

Lisování za studena je druh strojního zpracování kovů a jiných materiálů. Plošné tváření je způsob výroby součástí, které by jinou technologií bylo obtížné, nákladné nebo i nemožné vyrobit. Tvářením se zpracovává materiál bez porušení soudržnosti, jen při stříhání se porušení materiálu vyžaduje.

Pro plošné tvářecí operace se jako polotovar používá převážně plech, který mění tvar bez podstatné změny tloušťky materiálu. Samotný proces je prováděn vnější silou, ta je vyvinuta pracovním nástrojem, který způsobuje plastickou deformaci materiálu.

Nástroje pro plošné tváření se konstruují tak, aby se dosáhlo maximálního využití materiálu a zároveň se snížilo množství odpadu. Při této metodě výroby často odpadají složité dokončovací operace a tím dochází i ke snížení výrobních nákladů a výrobních časů na jednu součást. Tvářené součásti mají nízkou hmotnost a dobrou tuhost, která se dá ještě zvýšit počtem prulisů, lemy nebo žebry.

Nevýhodou plošného tváření jsou vysoké pořizovací náklady na výrobu nástrojů. Proto se výrobek vyplatí při velkých sériích, čímž se sníží náklady na výrobu jedné součásti.

Náročnější výrobky složitějších tvarů se mohou vyrábět kombinací více technologií. Tyto technologie se mohou provádět zvláště na více strojích či nástrojích nebo mohou být sdružené, tzn. v několika jdoucích krocích po sobě prováděné na jednom stroji či jednom nástroji. Příklady výrobků zhotovených plošným tvářením jsou uvedeny na obr. 1.

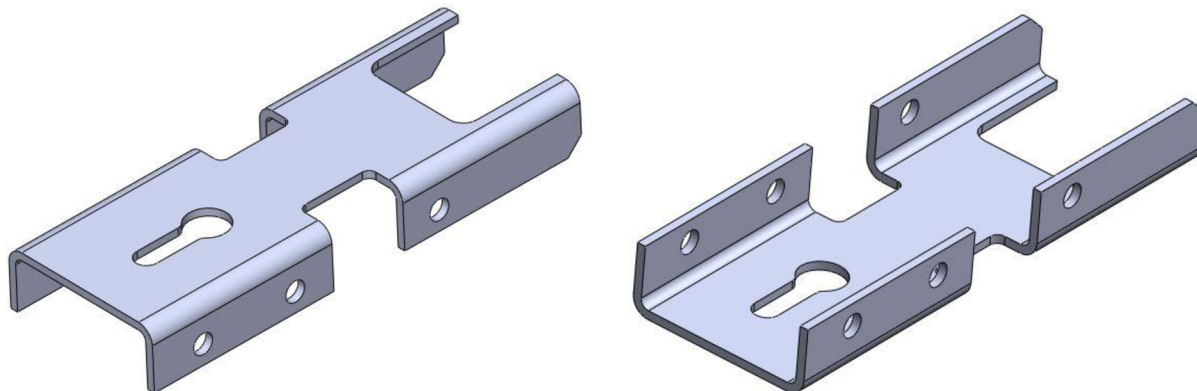


Obr. 1 Příklady výrobků zhotovených plošným tvářením [49], [50], [51]

# 1 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU

Řešenou součástí je výztuha dveřního zamykání bezpečnostních nerezových dveří, které se používají v čistých prostorech nemocničních zařízení. Její funkcí je zamezit vylomení zámku.

Součást je podélného tvaru, jejímž výchozím polotovarem je plech o tloušťce 3 mm. Je opatřena několika otvory různých tvarů, na které se nevztahují výrobní tolerance, a podélné okraje jsou ohnuty do pravého úhlu. Součást bude vyráběna v roční sérii 400 000 kusů. Tvar dílce je zobrazen na obr. 2.



Obr. 2 Model vyráběné součásti

## 1.1 Materiál součásti [22], [23]

Jako materiál pro zhotovení součásti byla zvolena slitina hliníku Al Mn, neboť nepodléhá korozi a pro svou funkci dostatečně splňuje pevnostní požadavky. Značení materiálu je uvedeno v tab. 1.

Tab. 1 Značení slitiny hliníku Al Mn [22]

Označení slitiny podle ČSN EN 573-3		Označení slitiny podle ČSN	
číselné značení	chemické značení	číselné značení	chemické značení
EN AW-3103	EN AW-Al Mn1	42 4432	AlMn1

Jedná se o slitinu hliníku s manganem. Přítomnost manganu se projevuje zvýšením pevnosti hliníku při zachování vysoké tvárnosti. Materiál se vyznačuje dobrou odolností vůči korozi a velmi dobrou svařitelností všemi způsoby. Tento materiál je vhodný zejména pro méně namáhané výrobky zhotovené hlubokým tažením, ohýbáním či svařováním. Využívá se v chemickém průmyslu, v elektrotechnice a obecně v zámečnických pracích. Bližší specifikace materiálu je uvedena v tab. 2 a tab. 3.

Tab. 2 Chemické složení [hm %] [22]

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Zr+Ti	Al
0,50	0,7	0,10	0,9÷1,5	0,30	0,10	0,20	0,10	zbytek

Tab. 3 Mechanické a fyzikální vlastnosti [26], [27]

stav	$R_{p0,2}$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	$A_5$ [%]	E [GPa]	$\rho_1$ [kg.m <sup>-3</sup> ]
H14 - polotvrdý	120	140÷180	2	69,5	2730

( $R_{p0,2}$  – mez kluzu;  $R_m$  – mez pevnosti;  $A_5$  – tažnost; E – modul pružnosti v tahu;  $\rho_1$  – hustota)

## 1.2 Varianty výroby

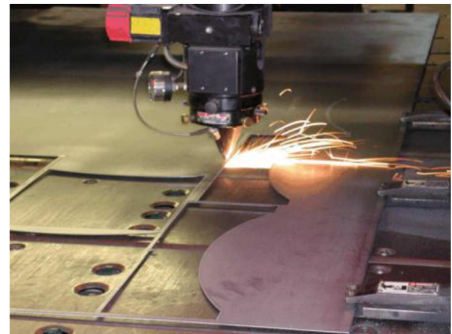
Pro výrobu zadané součásti je možné využít různých metod:

### 1.2.1 Výroba rozvinutého tvaru nekonvenčními způsoby řezání + ohyb

Rozvinutý tvar součásti je možné zhotovit několika nekonvenčními způsoby výroby jako řezání laserem, řezání vodním paprskem nebo řezáním za použití plazmy. Řezné procesy se u všech zmíněných metod provádí na CNC stroji. Vyřezanou součást je poté nutné přemístit do ohýbacího nástroje, což podstatně snižuje produktivitu výroby a zvyšuje výrobní náklady.

#### ➤ Řezání laserem [24], [25], [37]

Řezání materiálu za pomoci CO<sub>2</sub> laseru (obr. 3) je prospěšné zejména díky vysoké řezné rychlosti, která při optimálních podmínkách dosahuje až 12 m·min<sup>-1</sup>. Další výhodou je vynikající kvalita řezu u nelegovaných ocelí, nerezových ocelí i hliníku. Úzká řezná spára (0,2÷0,5 mm) umožňuje řezat i velice detailní díly s využitím mikromůstků, což zvyšuje využití materiálu. Na druhou stranu dochází k výraznému přenosu tepla, který může mít za následek lehkou deformaci řezaného dílce. Další nevýhodou je tloušťka řezaného materiálu, která je omezena asi na 25 mm u nízkolegovaných ocelí a na 15 mm u ocelí nerezových a slitin hliníku.



Obr. 3 Řezání laserem [21]

#### ➤ Řezání vodním paprskem [38], [41]

K vytvoření řezné spáry v tomto případě dochází obrušováním materiálu tlakem vodního paprsku o hodnotě 2000 až 6200 Bar, viz obr. 4.

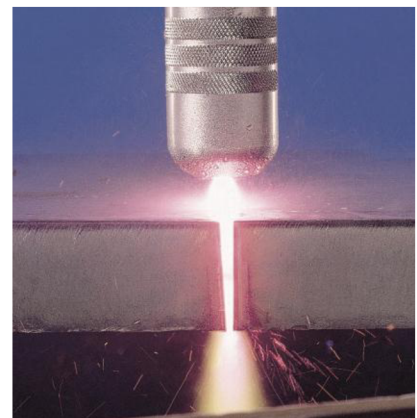
Výhodou této metody je absence tepelného zdroje, čímž nedochází k tepelnému ovlivnění součásti, ani k vnitřnímu pnutí. Další výhodou jsou kvalitní řezy o vysoké přesnosti, které je možné provádět v těsné blízkosti a minimalizovat tak odpad. Vodním paprskem také nevznikají žádné škodlivé plyny nebo páry. Nevýhodou je delší vysoušení u nasákových materiálů a nutné vhodné ošetření u kovových materiálů.



Obr. 4 Řezání vodním paprskem [40]

#### ➤ Řezání plazmou [37]

Plazmové řezání je vhodné především pro středně silné materiály. U nelegovaných ocelí je možné řezat plazmou do tloušťky 50 mm, vysokolegované oceli a hliník maximálně do 30 mm. Nejvyšší možná rychlost řezu je při optimálních podmínkách 6 m·min<sup>-1</sup>, což je zhruba o polovinu méně než u řezání laserem. Další nevýhodou u řezání plazmou je tzv. podkosení, které snižuje kvalitu vzniklého řezu. Příčinou podkosení klesající kinetická energie plazmatu v závislosti na tloušťce materiálu. Při řezání také vzniká velké množství emisí při poměrně hlučném chodu. Ukázka řezání plazmou je na obr. 5.



Obr. 5 Řezání plazmou [39]

### 1.2.2 Vysekávání rozvinutého tvaru + ohyb [42], [43]

Vysekávání probíhá zpravidla na CNC vysekávacích lisech. Tato technologie je založena na principu děrování a prorážení daných otvorů a tvarů pomocí speciálních nástrojů (obr. 6).

Zhotovení součásti vysekáváním vyjde v určitých případech levněji než řezáním za pomoci laseru, plazmy či vodního paprsku. Při zpracování plechu také nedochází k přenosu tepla, což je vhodné zejména v odvětvích, kde jsou tepelné změny nepřijatelné. Nevýhodou této metody je tloušťka zhotovovaného plechu, která činí max. 4 mm. Vyseknutá součást potom musí být přemístěna z CNC stroje do ohýbacího nástroje, což opět představuje velkou časovou ztrátu a nárůst výrobní ceny součásti.



Obr. 6 Vysekávání [44]

### 1.2.3 Stříhání a ohýbání ve dvou samostatných nástrojích

Polotovar je zde ve formě pásů, které jsou nastříhány z tabulí plechu. Tento polotovar nejdříve putuje do postupového stříhadla, kde dojde k vystřížení rozvinutého tvaru včetně všech otvorů. Výstřížek je následně nutné přemístit do ohýbadla, ve kterém se zhotoví konečný tvar. Tato varianta se jeví jako nevýhodná zejména z hlediska nutnosti výroby dvou nástrojů – střížného a ohýbacího. Samotná výroba je provázána dlouhými vedlejšími časy, které jsou zapříčiněny nadměrnou manipulací materiálu mezi pracovišti, a mají za následek růst výrobních nákladů.

### 1.2.4 Sdružený postupový nástroj

Touto variantou je součást vyráběna na automatizované lince, kde se materiál odvíjí ze svitku, a skrze rovnací a podávací zařízení postupuje dále do nástroje. Ve sdruženém nástroji se nejdříve zhotoví veškeré otvory a částečný obstříh součásti, poté bude proveden ohyb součástí směrem nahoru z důvodu lepšího vedení materiálu v nástroji na odpružených zvedácích. V posledním kroku dojde k odstřížení dílce. U této metody je dosaženo vysoké produktivity díky provedení veškerých pracovních úkonů v jednom nástroji, což podstatně snižuje výrobní čas dílce a také náklady na jeho výrobu.

### 1.2.5 Zhodnocení jednotlivých variant výroby

Z výše popsanych variant výroby je z ekonomického hlediska a nejmenších vedlejších časů při výrobě nejvýhodnější čtvrtá varianta, tj. výroba pomocí sdruženého postupového nástroje. Přestože výroba sdruženého nástroje je poněkud dražší, pro danou sérii 400 000 kusů, což je typická velkosériová výroba, je tato metoda nejvýhodnější z důvodu mnohem vyšší produktivity, které je docíleno především zhotovením součástky v jednom nástroji. Tím nám odpadá veškerá manipulace s materiálem mezi jednotlivými pracovišti. Tomu se však výrobou nekonvenčními způsoby, vysekáváním nebo stříháním v samostatném stříhadle, po nichž následuje ohnutí v ohýbadle, nelze vyhnout. Také cena svitku materiálu je nižší než cena tabule plechu, kterou by bylo nutné u metody 3 ještě nastříhat na požadované pásy, což by zároveň s nadměrnou manipulací mezi pracovišti u takovýchto sérií podstatně zvyšovalo výrobní časy a počet dělníků pro obsluhu nástrojů. Z těchto důvodů byla pro výrobu dané součásti zvolena varianta 4, tedy výroba kombinací stříhání a ohýbání ve sdruženém nástroji. Proto je na výše jmenované technologie tváření zaměřena i následující literární rešerše.

## 2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ [2], [3], [17]

Stříhání je technologický proces, při němž dochází k oddělování materiálu smykovým namáháním. To vede k postupnému nebo současnému oddělování částí materiálu střížnými nástroji podél křivky stříhu, kterou tvoří obvod výstřížku, střížníku či střížnice.

Stříhání patří mezi základní operace dělení materiálu, jež je u kovů zakončena porušením v ohnisku deformace. Je to jediná operace tváření, u které je porušení materiálu považováno za žádoucí jev. Nedodržení podmínek při stříhání může nést následky v podobě nekvalitní střížné plochy, vylomení břitů nožů nebo dokonce zničení celého strojního zařízení.

Technologie stříhání se dělí dle následujících hledisek:

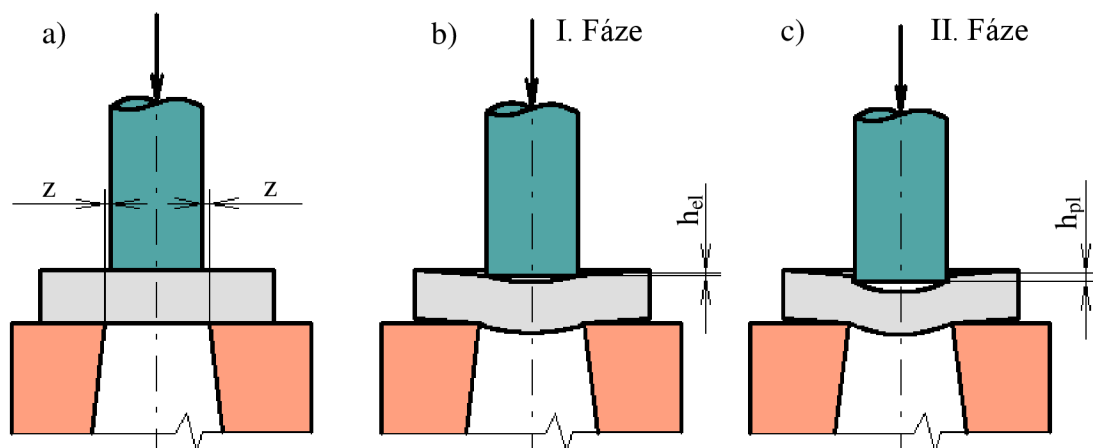
- dle technologie: objemové stříhání (stříhání např. tyčí a trubek) a stříhání plošné (stříhání především plechů)
- dle teploty procesu: za tepla a za studena
- dle použité konstrukce střížníku a střížnice: stříhání rovnoběžnými noži, skloněnými noži, kotoučovými noži a další

### 2.1 Průběh stříhání v nástroji [1], [2], [3], [4], [8], [15]

Stříhání a děrování začíná dosednutím střížníku na stříhaný plech a končí oddělením od materiálu. Celý střížný proces probíhá ve třech základních fázích:

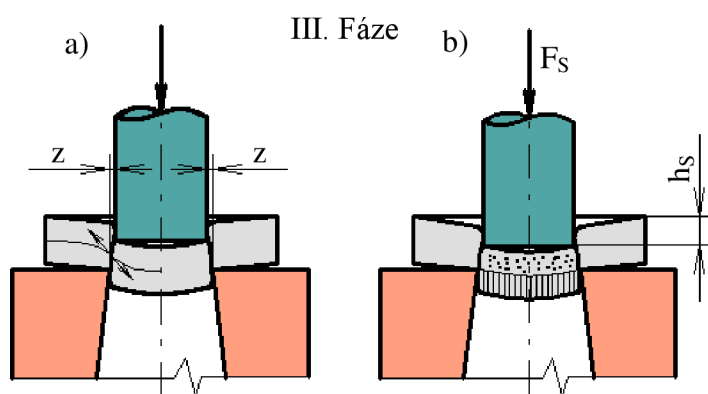
Během první fáze, po dosednutí střížníku na stříhaný plech (obr. 7a), se začne materiál pružně stlačovat a ohýbat, při čemž se vtlačuje do otvoru střížnice (obr. 7b). Napětí v něm je přitom menší než mez pružnosti. Hloubka vniku střížníku do materiálu bývá 5 až 8 % jeho tloušťky. Vlivem namáhání silou působící v ploše mezi obvodem střížníku a střížnice dochází v rovinách kolmých ke střížným plochám ke vzniku silových dvojic, jež stříhaný materiál deformují ohybem. Tato deformace zaobluje stříhaný materiál na straně střížníku i střížnice.

V druhé fázi je napětí větší než mez kluzu stříhaného materiálu a dochází k jeho trvalé deformaci (obr. 7c). Hloubka vniku střížníku je v této fázi závislá na jeho mechanických vlastnostech a bývá 10 až 25 % tloušťky plechu.

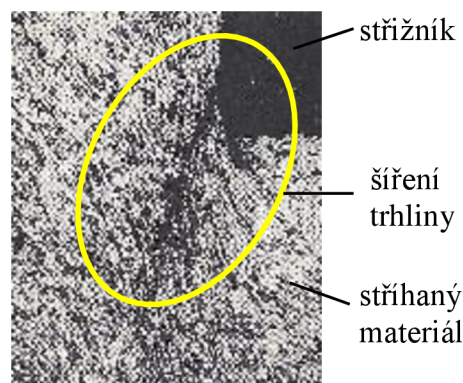


Obr. 7 a) Dosednutí střížníku, b) Pružná deformace, c) Plastická deformace [2]

Ve třetí fázi je materiál namáhán nad mez pevnosti ve stříhu. Nejdříve vznikne tzv. nástřih (obr. 8a), tj. vytvoření mikrotrhlin a následně makroskopických trhlin (obr. 9), jejichž tvorbu podporuje tahové normálové napětí ve směru vláken. Vzniklé trhliny se rychle prodlužují, až dojde k oddělení materiálu (obr. 8b). Rychlost vzniku a postupu trhlinek je závislá na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu a průběhu stříhání na velikosti střížné vůle. Proces oddělení křehkého a tvrdého materiálu je téměř okamžitý. U měkkých a houževnatých materiálů dochází ke vzniku nástřihu a iniciaci trhlinek pomaleji. Hloubka vniku střížníku v okamžiku oddělení materiálu činí podle jeho vlastností 10 až 60 % jeho tloušťky.

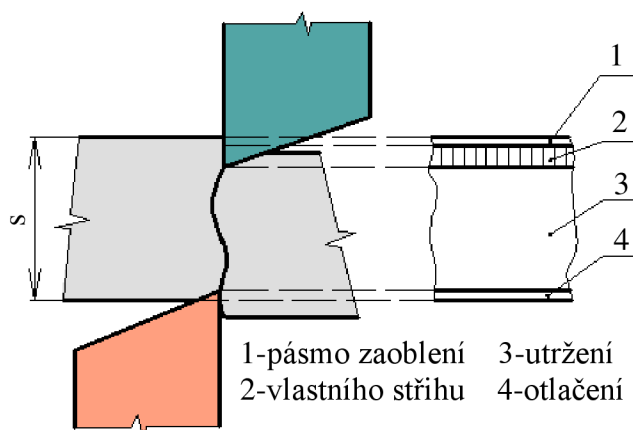


Obr. 8 Ustříhnutí materiálu [2]



Obr. 9 Ustříhnutí materiálu [13]

Oddělení výstřížku od materiálu tedy nastává dříve, než střížník projde celou jeho tloušťkou. To má za následek, že střížná plocha není zcela rovinná, ale připomíná tvar písmene “S”. Tato střížná plocha je složena ze čtyř pásem – pásma zaoblení, vlastního stříhu, utržení a otláčení. Tyto pásma jsou znázorněna na obr. 10.



Obr. 10 Pásma na střížné ploše [1]

### 2.1.1 Rozbor stavu napjatosti [2], [17]

Při stříhání se vlákna materiálu prodlužují a mění se jejich zakřivení, a také dochází ke zmenšení tloušťky materiálu mezi břity. V bodech A a C (obr. 11), které se vyskytují těsně u střížných hran, je tahové napětí  $\sigma_1$  největší a jeho velikost je definována vztahem (2.11). Velikost tlakového napětí  $\sigma_3$  tvoří asi polovinu  $\sigma_1$ . Od střížných hran směrem ke středu materiálu dochází ke změně orientace hlavních napětí, viz bod B na obr. 11, což zapříčiňuje změna orientace křivostí vláken.

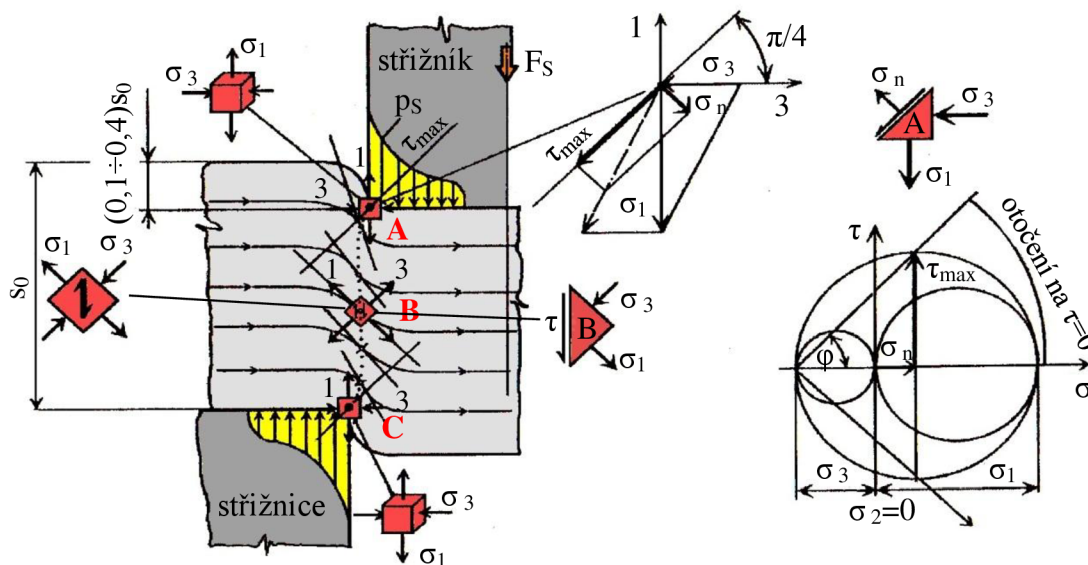
Velikost a směr smykového napětí zjistíme z vektorového součtu hlavních normálových napětí a Mohrových kružnic napětí, z kterých je patrné, že normálová složka  $\sigma_n$  působí kolmo na směr  $\tau_{max}$ .

$$\tau_s = \sigma_1 = 0,77 \cdot R_m \quad [\text{MPa}] \quad (2.11)$$

$\tau_s$  – pevnost ve stříhu [MPa]

$\sigma_1$  – tahové napětí [MPa]

$R_m$  – mez pevnosti v tahu [MPa]



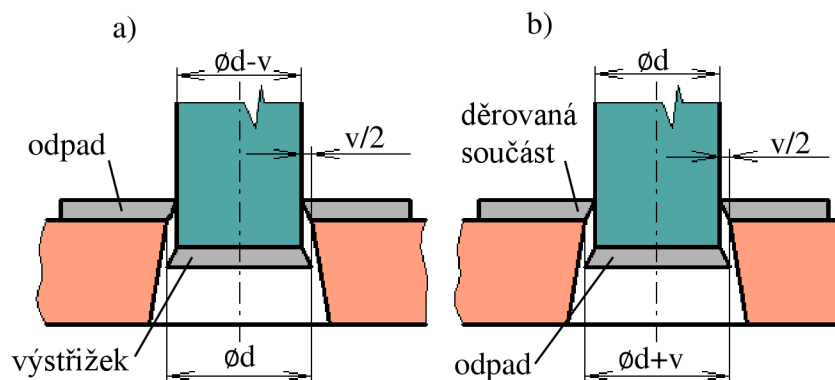
Obr. 11 Rozbor stavu napjatosti [2]

### 2.1.2 Střížný odpor [14], [16]

Střížným odporem se rozumí odpor stříhaného materiálu vůči přetvoření s následným oddělením. Velikost střížného odporu je především závislá na mechanických vlastnostech materiálu a roste s klesající tvárností a zvyšující se pevností materiálu. Vhodným ukazatelem tvárnosti materiálu je hloubka vniku střížníku do materiálu do vytvoření nástřihu  $h_s$  (obr. 8). U tvrdých materiálů je hodnota  $h_s$  nižší než u materiálů měkkých. S rostoucí tloušťkou materiálu se však jeho odpor zmenšuje, neboť tlustší materiály vykazují větší tvárnost a menší zpevnění. Dále má na hodnotu velikosti odporu velký vliv střížná vůle, kde nejmenšího odporu je dosaženo při vůli optimální.

### 2.1.3 Střížná vůle [3], [6], [8]

Střížná vůle je rozdíl rozměrů pracovních částí střížníku a střížnice. Jednostranný rozdíl vytváří střížnou mezeru „z“, na jejíž velikosti závisí kvalita a jakost stříhu, životnost nástroje, spotřeba energie apod. Střížná mezeru musí být naprosto stejná a rovnoměrná na všech místech střížné křivky stříhu. Kdyby tomu tak nebylo, po obvodě by vznikly povrchové vady, ostřiny a střížná plocha by byla nekvalitní. Tyto problémy mohou nastat rovněž při otupených střížných hranách střížníku nebo střížnice.

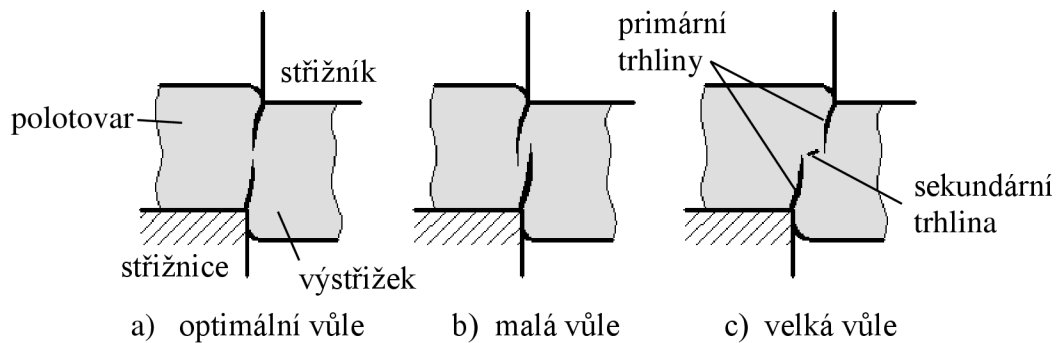


Obr. 12 Schéma přenosu střížné vůle na nástroj [17]

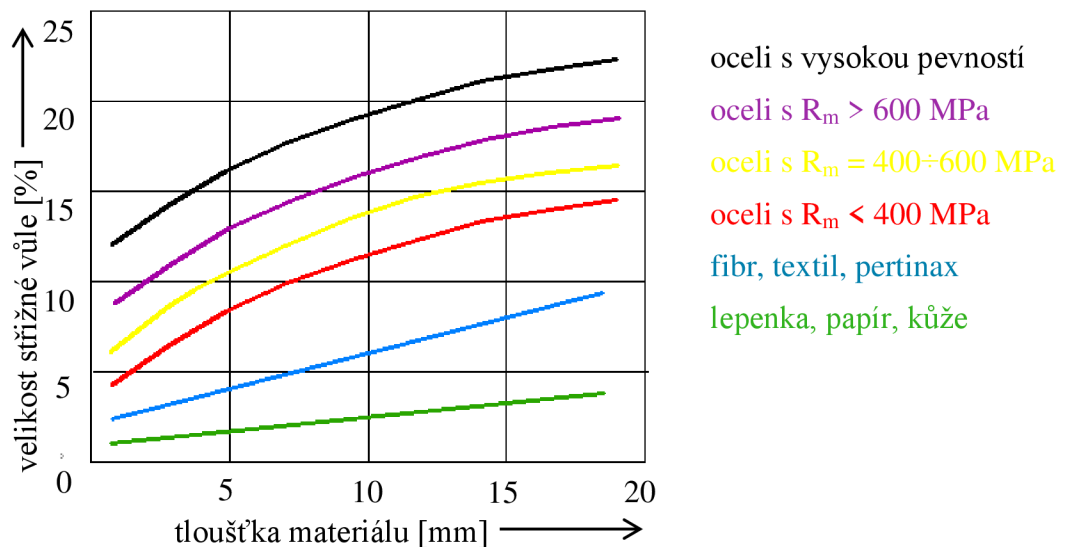


Při stříhání přesného vnějšího obvodu odpovídá jeho rozměr rozměru střížnice a střížník je menší o střížnou vůli (obr. 12a). Při děrování, kde výrobkem je otvor, odpovídá tento rozměr otvoru rozměru střížníku a rozměr střížnice se volí větší o střížnou vůli (obr. 12b).

Druh a tloušťka stříhaného materiálu jsou rozhodující faktory pro určení střížné vůle. Jejich závislost je znázorněna na obr. 14. Velikost střížné vůle obvykle představuje 3 až 20 % tloušťky stříhaného materiálu. Při optimální vůli (obr. 13a) se trhliny od obou střížných hran setkají a vytvoří ve stříhaném průřezu jednu plochu bez otřepu. Při malé nebo velké vůli (obr. 13b, c) se trhliny míjejí a vytvoří tzv. otřepy.



Obr. 13 Vliv střížné vůle na tvorbu střížné plochy [6]



Obr. 14 Znárodnění velikosti střížné vůle v závislosti na tloušťce stříhaného materiálu [3]

- Výpočet střížné vůle:

$$v = 2 \cdot z \quad [\text{mm}] \quad (2.12)$$

$v$  – střížná vůle [mm]

$z$  – střížná mezera [mm]

Pro plechy tloušťky  $s < 3$  mm platí:

$$v = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}] \quad (2.13)$$

Pro plechy tloušťky  $s > 3$  mm platí:

$$v = 0,32 \cdot (1,5 \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}] \quad (2.14)$$

$\tau_s$  – pevnost ve stříhu [MPa]

$s$  – tloušťka plechu [mm]

$c$  – součinitel závislý na druhu stříhání (0,005 ÷ 0,035) [-]

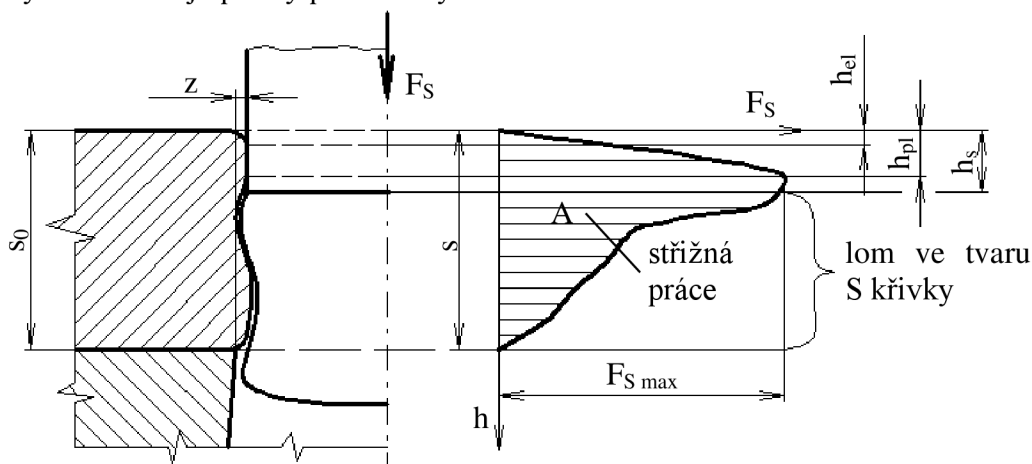
#### 2.1.4 Střížná síla [3], [8], [17]

Pro správné určení tonáže lisu je nutná znalost stříhacích sil vzniklých působením střížných dvojic. Při stříhání se nesmí překročit jmenovitá síla lisu, neboť by mohlo dojít k poškození stroje. Při reálných střížných podmínkách nedochází k čistému smyku, ale ke kombinovanému namáhání. Z tohoto důvodu se síla uvažuje o 20 až 50 % větší.

Její velikost je závislá na těchto faktorech:

- střížná vůle,
- naostření a úhel sklonu střížných hran,
- smyková pevnost stříhaného materiálu,
- hloubka vniknutí střížníku do materiálu.

S průběhem pracovního zdvihu se střížná síla mění. U houževnatých materiálů v průběhu vnikání střížníku do materiálu dochází ke zpevnování, což má za následek prudký nárůst střížné síly během elastické deformace na dráze  $h_{el}$  i během následné deformace plastické na dráze  $h_{pl}$ . Jakmile dojde k prvnímu porušení trhlinami (nástřih), síla začne klesat až na hloubku vniknutí  $h_s$ . Teprve s úplným porušením ve tvaru křivky „S“ nastane znatelný pokles síly. Z obr. 15 je patrný průběh síly v závislosti na dráze střížníku.



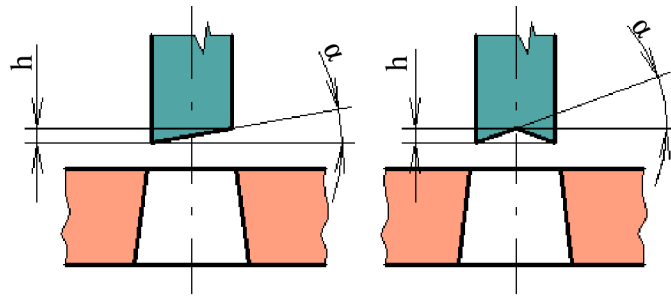
Obr. 15 Závislost průběhu střížné síly na poloze střížníku [2]

#### ➤ Opatření ke snížení střížné síly [8], [17]

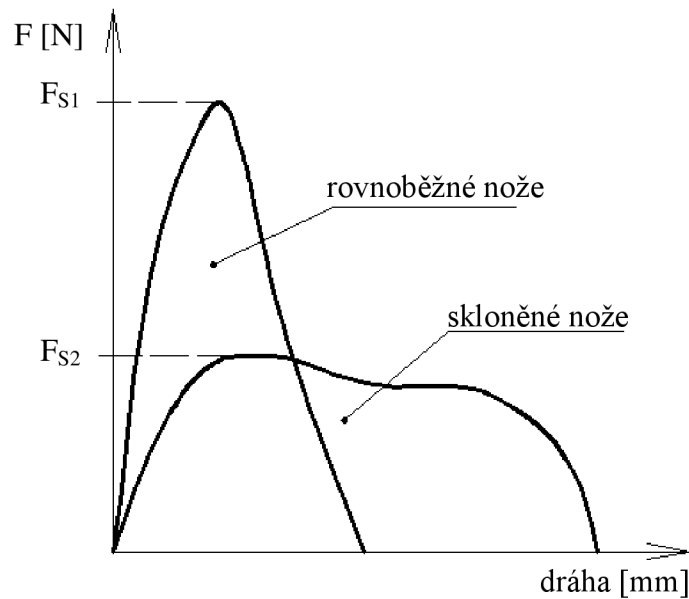
Střížnou sílu je mnohdy nutné snížit, např. při stříhání tlustých materiálů nebo u nástrojů s větším počtem střížníků. Toho je možné docílit zešikmením střížných hran pod určitým úhlem, viz obr. 16. Doporučené hodnoty zkosení jsou uvedeny v tab. 4. Tato tvarová úprava nástroje nám sníží střížnou sílu o 30 až 40 %, jak je patrné z grafu na obr. 17. Při děrování se provádí úkos na střížníku, u vystřihování součástí se naopak zkosí hrana střížnice. Další možnosti docílení nižší střížné síly je různá délka jednotlivých střížníků.

Tab. 4 Hodnoty zkosení střížných hran [17]

Tloušťka plechu	$h$ [mm]	$\alpha$ [°]
$s \leq 3$	$\leq 2s$	$\leq 5$
$s > 3$	$h = s$	$\leq 8$



Obr. 16 Příklady úprav střížníků ke snížení střížné síly [17]



Obr. 17 Graf průběhu síly v závislosti na dráze při stříhání [1]

- Výpočet střížné síly: [2], [12]

Hodnota střížné síly je důležitá zejména při volbě lisu, tuhosti pružin stěračce a určení protlačovací síly. Dále také slouží při kontrole střížníků na otláčení či na vzpěr.

$$F_s = s \cdot n \cdot L \cdot \tau_s \quad [N] \quad (2.15)$$

$F_s$  – střížná síla [N]

$s$  – tloušťka stříhaného materiálu [mm]

$n$  – koeficient zahrnující opotřebení nástroje (1,2÷1,55) [-]

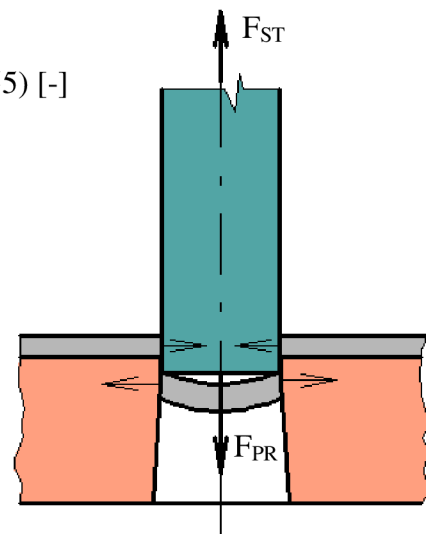
$L$  – délka křivky stříhu [mm]

$\tau_s$  – pevnost ve stříhu [MPa]

$R_m$  – mez pevnosti [MPa]

### 2.1.5 Stírací a protlačovací síla [8], [16]

Střížná síla není jedinou silou, která figuruje ve střížném procesu. Po oddělení výstřížku od základního materiálu, může materiál ulpívat na střížníku vlivem své elasticity. K jeho setření je zapotřebí síla stírací  $F_{ST}$ , která je závislá na druhu materiálu, jeho tloušťce, složitosti stříhu, střížné vůli a na mazání.



Obr. 18 Stírací a protlačovací síla [16]

U běžných ocelí se určuje velikost stírací síly odhadem, což činí asi 10 % střížné síly. Bylo také zjištěno, že podíl stírací síly tvoří asi 3 až 20 % střížné síly a při vystřihování má zpravidla nižší hodnotu než u děrování.

Další silou, jež je potřebná k protlačení výstřížku střížnicí, je síla protlačovací  $F_{PR}$ . Je podobného charakteru jako síla stírací a také je závislá na stejných činitelích. Obě zmíněné síly jsou znázorněny na obr. 18.

K výpočtu těchto sil je nutné znát střížnou sílu a součinitele stírání a protlačování (tab. 5).

- Síla potřebná k setření výstřížku ze střížníku: [17]

$$F_{ST} = k_1 \cdot F_S \text{ [N]} \quad (2.16)$$

$F_{ST}$  – stírací síla [N]

$k_1$  – koeficient stírání (tab. 5) [-]

$F_S$  – střížná síla [N]

- Síla potřebná k protlačení výstřížku střížnicí: [17]

$$F_{PR} = k_2 \cdot F_S \text{ [N]} \quad (2.17)$$

$F_{PR}$  – protlačovací síla [N]

$k_2$  – koeficient protlačování (tab. 5) [-]

Tab. 5 Hodnoty součinitelů stírání a protlačování [16]

Tloušťka materiálu	$k_1$	$k_2$
<b>Ocel</b>	do 1 mm	0,02 ÷ 0,12
	1 ÷ 5 mm	0,06 ÷ 0,16
	nad 5 mm	0,08 ÷ 0,20
<b>Mosaz</b>	0,06 ÷ 0,07	0,04
<b>Slitiny Al</b>	0,09	0,02 ÷ 0,04

- Stanovení celkové střížné síly: [17]

$$F_{CS} = F_S + F_{ST} + F_{PR} \text{ [N]} \quad (2.18)$$

$F_{CS}$  – celková střížná síla [N]

$F_S$  – střížná síla [N]

$F_{ST}$  – stírací síla [N]

$F_{PR}$  – protlačovací síla [N]

### 2.1.6 Střížná práce [13], [16], [17]

Znalost střížné práce je nutná k určení typu lisu pro danou operaci. Velikost střížné práce udává plocha vytčená pod silovou křivkou (obr. 15). Je přímo úměrná střížné síle a hloubce vtlačení střížníku do materiálu.

- Výpočet střížné práce pro stříh rovnoběžnými noži: [17]

$$A = \frac{\lambda \cdot F_{S_{\max}} \cdot s}{1000} \text{ [J]} \quad (2.19)$$

$A$  – střížná práce [J]

$\lambda$  – součinitel plnosti [-]

$F_{S_{\max}}$  – maximální střížná síla [N]

$s$  – tloušťka materiálu [mm]

### 2.1.7 Přesnost a jakost výstřížků [3], [6]

Procesem stříhání se získá nerovný, mírně zkosený a drsný povrch stříhu. Přesnost a jakost součástí vyrobených technologií stříhání záleží na řadě činitelů, jako jsou:

- druh a stav nástroje,
- velikost a rovnoměrnost střížné vůle,
- přesnost zhotovení střížníku a střížnice (tab. 6),
- vlastnosti stříhaného materiálu,
- tloušťka a přesnost stříhaného materiálu,
- takt stroje a ustavení polotovaru v nástroji,
- mechanické vlastnosti stříhaného materiálu.

Tab. 6 Závislost přesnosti vystříhovaného výrobku na přesnosti nástroje [3]

<b>Výrobní tolerance IT vystříhovaného výrobku</b>	8 - 9	10	11	12	13	14	15
<b>Výrobní tolerance IT střížníku a střížnice</b>	5 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	10	11	12

U stříhaných součástí o tloušťce do 4 mm o rozměrech menších než 200 mm lze dosáhnout přesnosti splňující průměrné ekonomické podmínky v rozmezí základní tolerance IT 12 až IT 14. V nástrojích se zvýšenou přesností stříhu, s vodicími stojánky a se zařízením k přidržení polotovaru při stříhání je možné dosáhnout přesnosti IT 9 až IT 11. Ve speciálních nástrojích pro přesné stříhání lze dosáhnout přesnosti IT 6 až IT 8.

### 2.1.8 Technologičnost konstrukce výstřížků [3], [16]

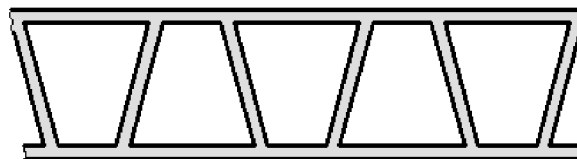
Správná volba technologičnosti konstrukce výstřížků je základním předpokladem správného technologického postupu a maximální hospodárnosti výroby. Tvar výstřížku by měl být účelný, estetický, výrobně jednoduchý s minimálním odpadem. Technologičnost je značně ovlivněna velikostí série. Tvar součástí vhodný pro malosériovou výrobu nemusí vyhovovat pro hromadnou výrobu a naopak. Je třeba brát zřetel např. na nedokonalost procesu stříhání, tloušťku a mechanické vlastnosti stříhaného materiálu, mechanicko-fyzikální vlastnosti funkčních ploch nástroje, výrobní možnosti strojů a nástrojů.

Prioritně je důležité se zabývat spotřebou materiálu, jelikož tvoří většinou 80÷90 % z celkových nákladů. Proto je nutné se věnovat optimalizaci nástřihového plánu, jehož účelem je uspořádání, popř. změna konstrukce výstřížku vedoucí k minimalizaci odpadu.

#### ➤ **Základní zásady technologičnosti konstrukce výstřížků:** [3], [14], [16]

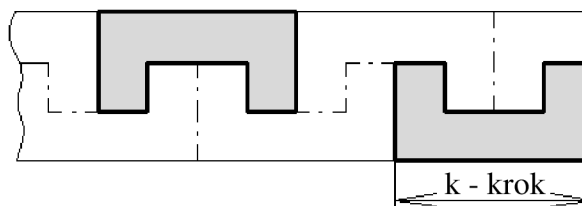
- Optimálně navrhovat nástřihové plány, kde by využití materiálu nemělo být menší než 70 %.
- Vhodně volit rozměrové tolerance, viz tab. 6.
- Rovinnost výstřížků se předepisuje jen v nezbytně nutných případech (podložky apod.), jelikož vlivem ohybového momentu ji lze jen stěží dodržet.
- V případě konstrukčního požadavku na kolmost střížné plochy je nezbytné zvolit technologii přesného vystřihování, neboť běžným stříháním nelze dosáhnout.
- Nepředepisovat drsnost střížné plochy. Ustřižená část plochy mívá drsnost  $R_a = 3,2 \div 6,3$ . Přesným stříháním a děrováním lze dosáhnout  $R_a = 0,2 \div 0,8$ .

- Dávat přednost kruhovým otvorům před nekruhovými, jelikož jejich výroba je levnější. Plynulé přechody oblouků do přímkové části výstřižků zvyšují cenu nástroje.
- Kruhový tvar výstřižku není vhodný z důvodu velkého množství odpadu asi 30 %. Nejvhodnější tvar, co se úspory materiálu týče, je tvar rovnoramenného trojúhelníku nebo rovnoběžníku, jehož jedna strana je negativem druhé (obr. 19).



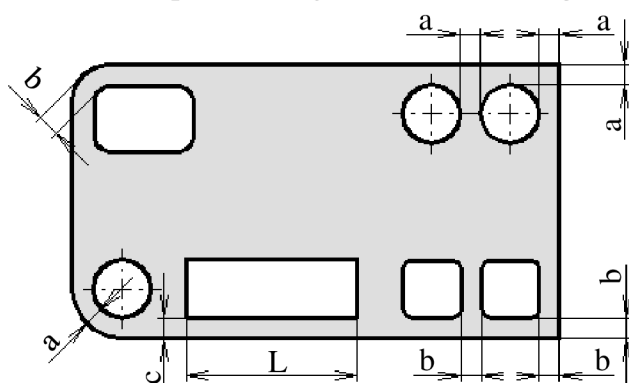
Obr. 19 Rovnoběžníkový tvar výstřižku

- Je možné také stříhat bez odpadu, což je uskutečnitelné u tvarů zrcadlově symetrických k ose základní obrysové čáry, nebo i jinak symetrických. Plocha výstupku se rovná ploše vybrání, jak můžeme vidět na obr. 20.



Obr. 20 Stříhání bez odpadu

- Vzdálenost otvorů od okraje výstřižku nebo mezi otvory zobrazuje obr. 21. Údaje jsou určeny pro polotvrký plech. U měkkých materiálů je nutné vzdálenosti zvětšit o 20÷25 % pro tloušťky  $s \leq 1,5$  mm, u silnějších plechů potom o 10÷15 %.



$$a \geq 0,8s$$

$$b \geq s$$

$$c \geq 1,5s$$

Obr. 21 Vzdálenost otvorů od kraje výstřižku a mezi otvory [16]

- Minimální velikost stříhaných otvorů závisí na tloušťce a druhu materiálu (tab. 7)

Tab. 7 Nejmenší velikost otvorů [14]

Materiál	Obvyklé děrování		Děrování vedeným střižníkem a s přídržovačem	
	A	B	A	B
textgumoid, pertinax	0,40	0,35	0,30	0,25
hliník, měkká ocel	0,80	0,60	0,30	0,25
mosaz	1,00	0,80	0,35	0,30
tvrdá ocel	1,50	1,20	0,50	0,40

Rozměry jsou uvedeny v násobku tloušťky:

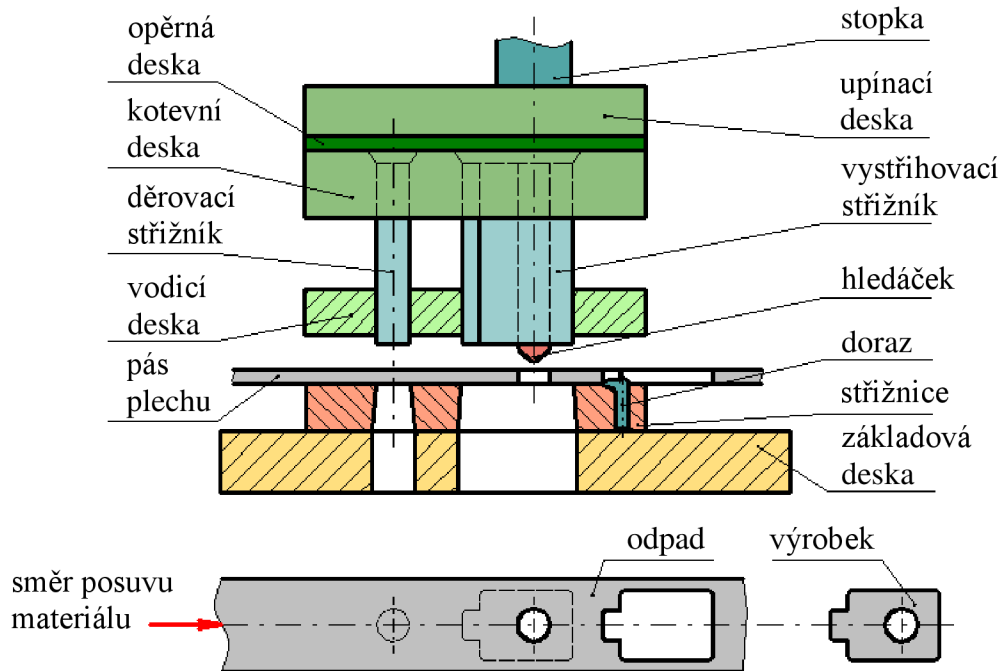
A – průměr kruhového otvoru

B – šířka obdélníkového otvoru

## 2.1.9 Střížné nástroje [18]

Střížné nástroje mohou být nejrůznější konstrukce, dělí se na tři základní skupiny:

- Jednoduché - Výrobek je zhotoven na jeden zdvih (jednoduché tvary).
- Postupové - Výrobek je zhotoven v několika krocích, jelikož pouze malé množství výrobků lze zhotovit jedním stříhem, je tento typ stříhadel užíván nejčastěji (obr. 22).
- Sdružené - Střížné nástroje jsou rozšířeny o přídavné prvky, které umožňují daný výrobek současně i ohýbat, razit apod.



Obr. 22 Postupový střížný nástroj [20]

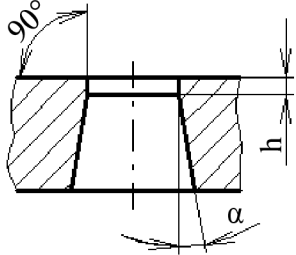
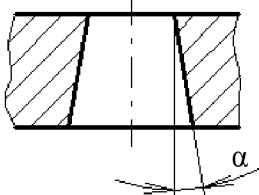
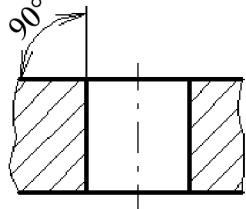
Mezi součásti, tvořící funkční postupový střížný nástroj patří zejména:

### ➤ Střížnice [12], [18], [19]

Jedná se o činnou část nástroje, která je rovněž jeho nejdražší položkou, jelikož střížný otvor vyžaduje přesné vypracování. Může být vyráběna z jednoho kusu nástrojové oceli, což je vhodné pro jednoduché tvary a menší rozměry výstřížků. Střížnice složitějších tvarů a větších rozměrů se konstruují jako střížnice skládané. Jsou sestaveny z několika menších dílů, jejichž výroba je snadnější a přesnější. Obvod střížnice je tak rozdělen na několik segmentů, které jsou upevněny v nekalené desce. Další možností je opatřit střížnici na funkčních místech vložkami z nástrojové oceli, jež jsou zalisovány ve střížnici vyrobené z konstrukční oceli. Břity střížnice musí být správně zakalené a ostré. Provozem u břitů dochází k opotřebení v podobě zaoblování, důsledkem toho je horší kvalita střížné plochy a rostoucí střížná síla.

Střížný otvor kuželový s fazetkou je vhodný zejména pro výstřížky s menší dovolenou úchytkou, členitého tvaru a menších rozměrů vyráběných z tenkých plechů. Otvor kuželový, který není opatřen fazetkou, má pracovní část skloněnou pod úhlem  $\alpha$  a užívá se u výlisků větší tloušťky, na jejichž vnějším průměru jsou dovoleny větší úchytky. Válcový otvor je užíván při použití vyhazovače a pro přesné stříhání s nátláčnou hranou. Všechny zmíněné tvary střížných otvorů jsou uvedeny v tab. 8.

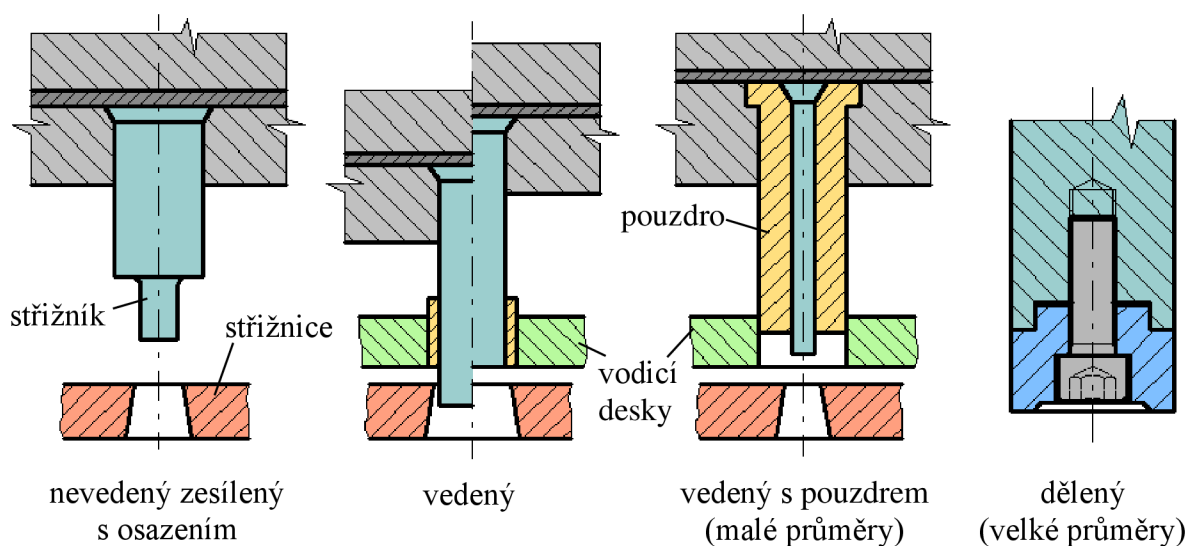
Tab. 8 Tvary střížných otvorů ve střížnici [6]

<p><b>Kuželový s válcovou fazetkou</b></p>		<p> <math>h = 3 \div 5 \text{ mm}</math> pro <math>s = 0,5 \text{ mm}</math>  <math>h = 5 \div 10 \text{ mm}</math> pro <math>s = 0,5 \div 5 \text{ mm}</math>  <math>h = 10 \div 15 \text{ mm}</math> pro <math>s = 5 \div 10 \text{ mm}</math>  <math>\alpha = 3 \div 5^\circ</math> </p>
<p><b>Kuželový</b></p>		<p> <math>\alpha = 10 \div 15'</math> pro <math>s = 0,1 \div 0,5 \text{ mm}</math>  <math>\alpha = 15 \div 20'</math> pro <math>s = 0,5 \div 1,0 \text{ mm}</math>  <math>\alpha = 20 \div 30'</math> pro <math>s = 1 \div 2 \text{ mm}</math>  <math>\alpha = 30 \div 45'</math> pro <math>s = 2 \div 4 \text{ mm}</math>  <math>\alpha = 45' \div 1^\circ</math> pro <math>s = 4 \div 6 \text{ mm}</math> </p>
<p><b>Válcový</b></p>		

➤ **Střížníky** [12], [19]

Střížníky (obr. 23) tvoří tzv. protikus střížnice, jejich břity jsou většinou kolmé k ose střížníku. Menší střížníky se vyrábějí z jednoho kusu, střížníky větších rozměrů se zhotovují jako dělené. Kotvená část je vyrobena z konstrukční oceli a funkční část z oceli nástrojové. Obě části jsou spojeny šrouby s vnitřním šestihranem a středěny válcovým osazením.

Střížníky bez vedení jsou konstruovány jako válcové nebo mohou být osazené v jeho činné části. Vedení snižuje volnou délku střížníku, čímž je omezena náchylnost ke zlomení důsledkem vychýlení z osy. Jako vodící prvky se používají vodící desky nebo pouzdra.



Obr. 23 Střížníky [6]



### 2.1.10 Používané materiály funkčních částí nástroje [12], [19], [13]

Pro výrobu činných částí nástrojů jsou nejčastěji používány nástrojové materiály (třída 19). Je nutné, aby tyto materiály byly opatřeny dostatečnou tvrdostí, odolností proti otěru a houževnatostí proti vylomení ostří. Nástrojové oceli se dělí na:

➤ Nástrojové oceli uhlíkové

Tento typ nástrojových ocelí se dobře kalí na vysokou povrchovou tvrdost. Je ovšem omezená pouze pro menší nástroje, jelikož prokalitelnost je nízká. U větších nástrojů by se tedy zakalila pouze do určité hloubky.

➤ Nástrojové oceli slitinové

Tyto oceli obsahují přísadové prvky zvyšující prokalitelnost a odolnost proti otěru. Vyznačují se především odolností proti opotřebení, která je vyšší než u uhlíkových ocelí.

Kromě nástrojových ocelí se používají také slinuté karbidy (SK), jež obsahují 15 až 30 % kobaltu. Slinuté karbidy s vysokým obsahem kobaltu dosahují vyšších výkonů a mají několikanásobně větší životnost oproti nástrojům z oceli. Z ekonomického hlediska je výhodná výroba funkčních částí nástroje ze SK při sérii 700 000 kusů ročně. Pro střížnice se doporučuje SK G 3 nebo G 4. Pro střížníky potom G 3, G 4 nebo G 5.

Volbu správného materiálu pro funkční části nástroje je třeba dobře zvážit s ohledem na funkci nástroje a zvolit tak vhodné použití. Některé nástrojové oceli pro funkční části stříhadel včetně jejich využití jsou uvedeny v tab. 9.

Tab. 9 Nástrojové materiály pro střížné nástroje [19]

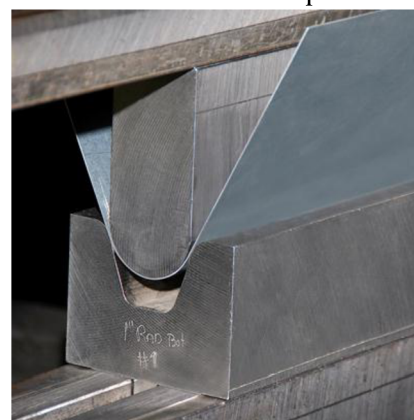
Materiál	Použití
19 191	Pro menší namáhání
19 221	Pro menší namáhání
19 312	Pro složitější střížné obvody
19 313	Pro složitější střížné obvody, větší průřezy
19 314	Složitější střížné obvody, větší průřezy, střední tloušťky plechu, vyšší pevnosti
19 436	Střížné nástroje pro složitější střížné obvody
19 437	Jako 19 436, ale větší tloušťky činných částí a vyšší namáhání
19 550	Pro práci za studena i za tepla
19 559	Střížné nástroje pracující za studena i za tepla s vysokou houževnatostí
19 569	Pro práci za studena, vysoká houževnatost, nejvyšší namáhání
19 665	Pro práci za studena i za tepla, odolnost proti tepelné únavě
19 820	Vysoce namáhané nástroje

### 3 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ [1], [2], [5]

Ohýbání je technologie, při které dochází k trvalé deformaci materiálu vlivem působení lokálních sil nebo ohybových momentů. Princip ohýbání spočívá ve zmenšování se poloměru zakřivení až na hranici mezní hodnoty deformace (obr. 24). Může také nastat opačný případ, kde se poloměr zakřivení zvětšuje, tímto úkonem dochází k rovnání materiálu.

Ohýbání provází pružně-plastická deformace materiálu, na jejíž velikost mají vliv:

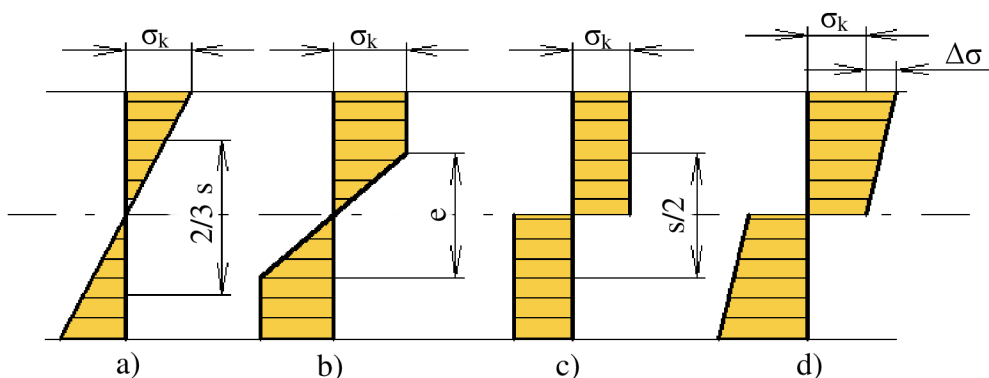
- kvalita materiálu,
- tloušťka materiálu v místě ohybu,
- poloměr ohybu,
- velikost ohybových momentů.



Obr. 24 Příklad ohýbání [45]

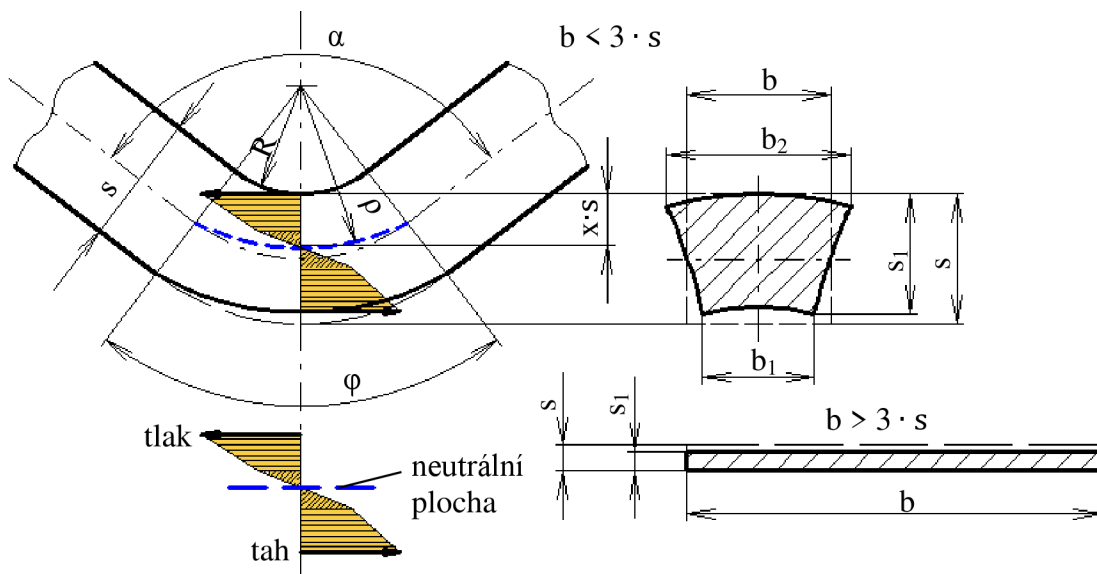
#### 3.1 Průběh ohýbání v nástroji [1], [7], [8], [14], [15]

Při ohýbání plechu se vrstvy kovu na vnitřní straně ohybu stlačují a zkracují v podélném směru a roztahují ve směru příčném. Vnější vrstvy se roztahují a prodlužují v podélném směru a stlačují v příčném směru. Prodloužení vnějších vláken při ohybu závisí především na tažnosti materiálu. Dokud napětí v materiálu nepřesáhne hodnotu  $\sigma_k$ , průběh ohybového napětí v průřezu odpovídá Hookovu zákonu, tj. dochází pouze k pružné deformaci (obr. 25a). Se zvyšujícím se ohybovým momentem dojde k překročení  $\sigma_k$ , čímž začnou vznikat plastické deformace ve vnějších vláknech (obr. 25b). V pásmu  $e$ , které se nachází uvnitř průřezu materiálu, zatím napětí nepřekročilo hodnotu meze kluzu  $\sigma_k$ . Se zvětšujícím ohybovým momentem se oblast  $e$  zmenšuje, dokud nedosáhne nuly, tím pružné pásmo definitivně zanikne a velikost napětí se již nemění (obr. 25c). Pokud se uvažuje zpevnění materiálu, zvětší se velikost napětí o  $\Delta\sigma$  (obr. 25d).



Obr. 25 Deformační charakteristika ohýbané součásti [14]

V místě ohybu dochází k deformaci průřezu materiálu. Při plošném ohýbání se rozlišuje ohýbání úzkých polotovarů, u kterých je šířka polotovaru menší než trojnásobek jeho tloušťky, od polotovarů širokých, jež mají naopak šířku větší než trojnásobek jeho tloušťky. Ohýbáním úzkých polotovarů deformujeme příčný průřez více než u polotovarů širokých. Při ohýbání širokých tenkých plechů se deformace průřezu v příčném směru neprojevuje, nastává pouze ztenčení v místě ohybu. Průběh napětí při ohýbání je znázorněn na obr. 26.

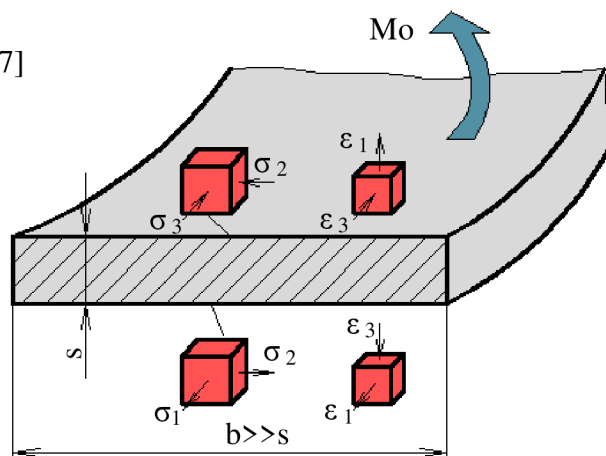


Obr. 26 Průběh napětí a deformace při ohýbání [1]

- $\rho$  – poloměr neutrální plochy [mm]
- $R$  – poloměr ohybu [mm]
- $x$  – součinitel posunutí neutrální plochy (tab. 10) [mm]
- $s$  – tloušťka ohýbaného materiálu [mm]
- $\alpha$  – úhel ohybu [°]
- $\varphi$  – úhel ohnutého úseku [°]
- $b$  – šířka ohýbaného materiálu [mm]

### 3.1.1 Rozbor stavu napjatosti [2], [17]

Napjatost při ohýbání širokých plechů je znázorněna na obr. 27. Deformaci v příčném směru je zde zabráněno,  $\varepsilon_2=0$  a z rovinného stavu deformace potom plyne  $\varepsilon_1= -\varepsilon_3$  na tahové straně a  $-\varepsilon_1= \varepsilon_3$  na tlakové straně. Z toho je zřejmé, že v krajních vláknech působí rovinná napjatost.



Obr. 27 Schéma napjatosti a deformace při ohýbání širokých pásů [2]

### 3.1.2 Neutrální vrstva [1], [7], [8]

V okolí střední části průřezu ohýbaného materiálu, mezi stlačovanými a natahovanými vrstvami, se nachází neutrální vrstva. U této vrstvy nedochází k natažení, ani ke stlačení, z čehož vyplývá, že délka neutrální vrstvy zůstává v průběhu celého procesu konstantní. U velkých poloměrů ohybu se poloha neutrální vrstvy uvažuje ve středu tloušťky  $s$ . Při zmenšujícím se poloměru ohybu je neutrální vrstva vlivem ztenčení materiálu a deformace tvaru příčného průřezu posunuta směrem k vnitřnímu poloměru ohybu.

Poloměr a tedy i poloha neutrální vrstvy je závislá na relativním poloměru ohybu  $R/s$  a na součiniteli posunutí neutrální osy  $x$  (tab. 10). Tato neutrální vrstva je důležitá při navrhování výchozího polotovaru ohýbané součásti.

➤ **Určení poloměru neutrální vrstvy** [1], [12]

- velký poloměr ohybu, kde  $\frac{R}{s} \geq 12$

$$\rho = R + \frac{s}{2} \text{ [mm]} \quad (3.11)$$

- malý poloměr ohybu

$$\rho = R + x \cdot s \text{ [mm]} \quad (3.12)$$

$R$  – poloměr ohybu [mm]

$\rho$  – poloměr neutrální plochy [mm]

$x$  – součinitel posunutí neutrální plochy (tab. 10) [mm]

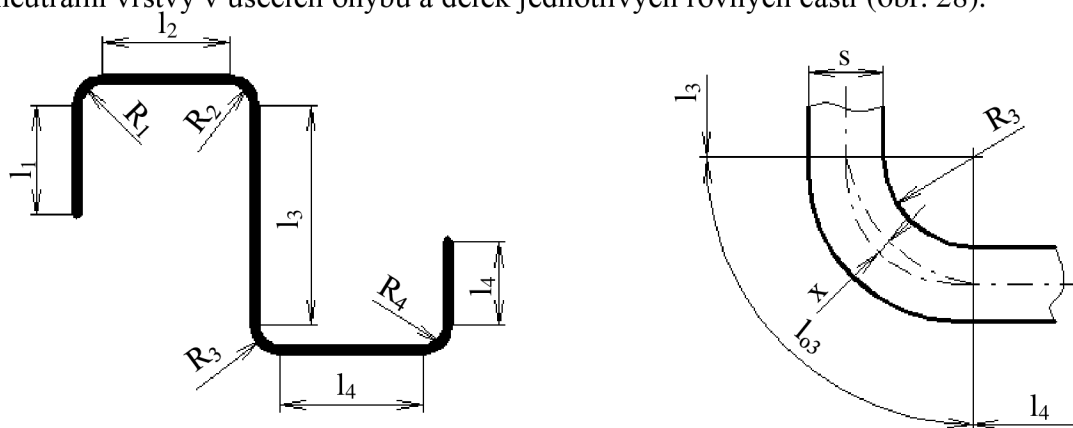
$s$  – tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

Tab. 10 Závislost součinitele ztenčení na poměrném rádiu ohybu  $R/s$  [5]

$R/s$	0,1	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	15,0	20,0
$x$	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486	0,49	0,498

➤ **Určení výchozí délky polotovaru** [1], [8], [9]

Rozvinutá délka výchozího polotovaru je rovna součtu délek jednotlivých oblouků neutrální vrstvy v úsecích ohybu a délek jednotlivých rovných částí (obr. 28).



Obr. 28 Schéma ohnuté součásti [11]

- Úhel ohnutého úseku  $\varphi$  je roven úhlu ohybu  $\alpha$  při  $\varphi=90^\circ$ , v ostatních případech platí:

$$\varphi = 180^\circ - \alpha \text{ [}^\circ\text{]} \quad (3.13)$$

- Délka ohnutého úseku:

$$l_0 = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot (R + x \cdot s) \text{ [mm]} \quad (3.14)$$

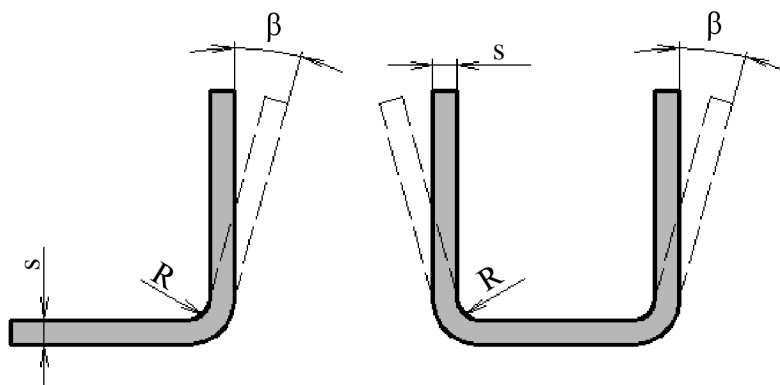
- Celková rozvinutá délka polotovaru:

$$L_c = l_1 + l_{01} + l_2 + l_{02} \dots l_n \text{ [mm]} \quad (3.15)$$

### 3.1.3 Odpružení při ohybu [1], [7], [8], [9], [14]

Odpružení je považováno za nežádoucí dodatečnou deformaci výlisku vznikající po relaxaci napětí způsobené odlehčením tvářecích nástrojů, což má za následek změnu rozměrů výrobku, které neodpovídají tvaru nástroje.

Odpružení u ohybu se projevuje jako úhlová odchylka  $\beta$  (obr. 29). Jeho velikost ovlivňují především mechanické vlastnosti ohýbaného materiálu, velikost úhlu ohybu, tloušťka materiálu, poměr  $R/s$  a konstrukce ohýbadla. S rostoucí tloušťkou materiálu a zmenšujícím se poměrem ohybu se odpružení snižuje.

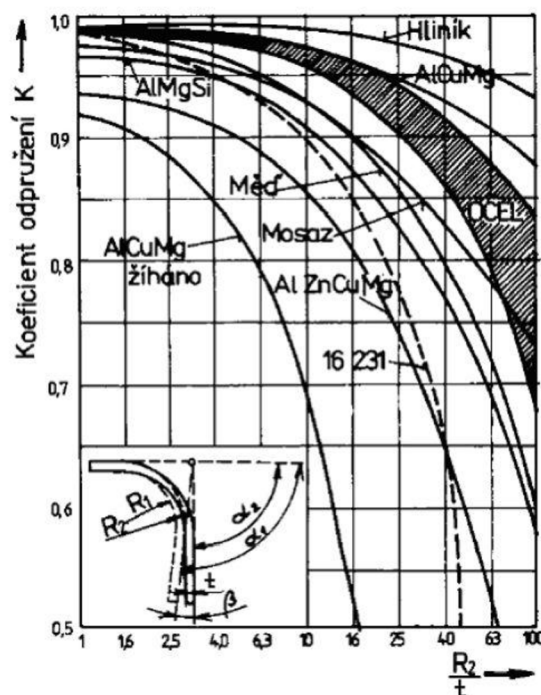


Obr. 29 Odpružení při ohýbání do tvaru V a U [1]

Odpružení lze orientačně stanovit z tab. 11, nebo z diagramů sestavených na základě praktických zkoušek pro různé druhy kovů (obr. 30) a samozřejmě také výpočtem. V oblastech, kde jsou malé poměry  $R/s$ , je velmi obtížné zjistit hodnotu odpružení výpočtem, vlivem napjatosti a nesnadným seřízením ohýbadla, určuje se tedy místo výpočtu za pomoci experimentálních zkoušek.

Tab. 11 Hodnoty odpružení pro dané materiály [7]

Materiál	R/s	
	0,8 až 2	>2
Ocel	$R_m=320$ MPa	1° 3°
	$R_m= 320 \div 400$ MPa	3° 5°
	$R_m= 400$ MPa	5° 7°
Mosaz měkká	1°	3°
Mosaz tvrdá	3°	5°
Hliník	1°	3°



Obr. 30 Diagram stanovení koeficientu odpružení k [2]

- Výpočet úhlu odpružení pro ohyb tvaru V (obr. 31): [5]

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k_o \cdot s} \cdot \frac{\sigma_k}{E} \rightarrow \beta [^\circ]$$

$\beta$  – úhel odpružení [°]

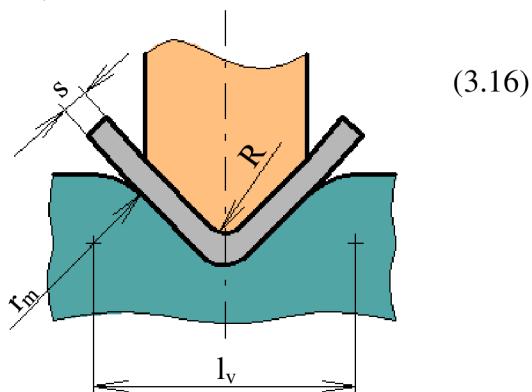
$l_v$  – vzdálenost mezi opěrami [mm]

$k_o$  – součinitel úhlu odpružení (příloha 3) [-]

$\sigma_k$  – mez kluzu ohýbaného materiálu [MPa]

$s$  – tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

$E$  – modul pružnosti v tahu [MPa]



Obr. 31 Schéma odpružení pro ohyb V [5]

- Výpočet úhlu odpružení pro ohyb tvaru U (obr. 32): [5], [15]

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k_o \cdot s} \cdot \frac{\sigma_k}{E} \rightarrow \beta [^\circ]$$

$$l_m = r_m + r_p + 1,2 \cdot s \text{ [mm]}$$

$$r_m = (2 \div 6) \cdot s \text{ [mm]}$$

$l_m$  – vzdálenost mezi opěrami [mm]

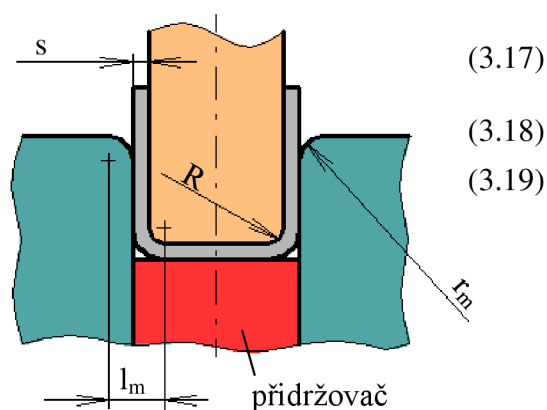
$r_m$  – poloměr zaoblení pevné čelisti [mm]

$k_o$  – součinitel úhlu odpružení (příloha 3) [-]

$\sigma_k$  – mez kluzu ohýbaného materiálu [MPa]

$E$  – modul pružnosti v tahu [MPa]

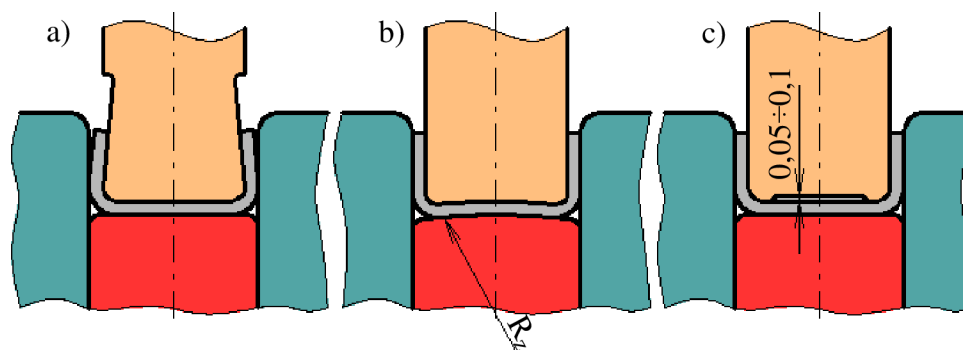
$r_p$  – poloměr zaoblení pohyblivé čelisti [mm]



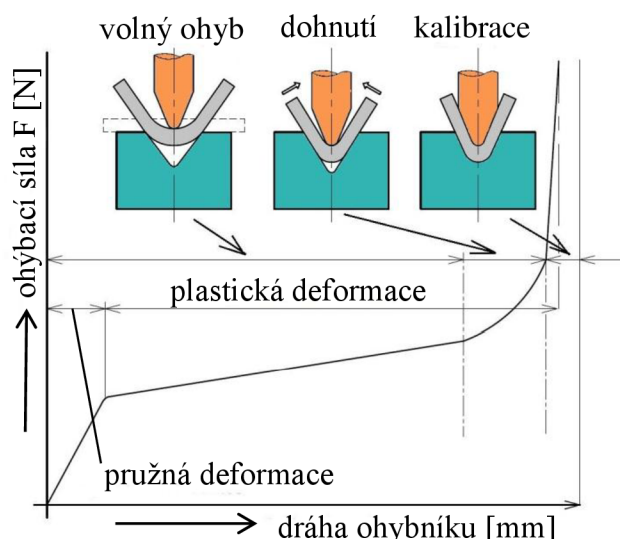
Obr. 32 Schéma odpružení pro ohyb U [5]

### ➤ Omezení odpružení: [7], [9]

- U ohýbacích čelistí je třeba provést korekci o určitý úhel (obr. 33a). Materiál se tak ohne více o hodnotu odpružení, čímž bude dosaženo požadovaného úhlu. Další možností je zaoblení dolní strany pohyblivé čelisti a přidržovače (obr. 33b). Také je možné zpevnit materiál v rozích kalibrační oblasti ohybu (obr. 33c).
- Kalibrací, tj. na konci lisovacího cyklu se lisovací síla zvětší, tím dojde k místní plastické deformaci v místě ohybu, čímž se hodnota odpružení sníží, popř. úplně vymizí (obr. 34).
- Na výlisku se vytvoří prolisy, které odpružení zamezí téměř úplně (obr. 35).



Obr. 33 Konstrukční úpravy snižující úhel odpružení [2]



Obr. 34 Průběh ohýbací síly včetně kalibrace [7]



Obr. 35 Prolisy [10]

### 3.1.4 Minimální a maximální poloměr ohybu [2], [11]

Minimální poloměr ohybu je poloměr, po jehož překročení dojde k porušení na vnější tahové straně. Tečné tahové napětí v krajních vláknech je rozhodující pro ohýbání. Po dosažení meze pevnosti v tahu  $R_m$  na vnější tahové straně nastane lom.

$$R_{1min} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_{tmax}} - 1 \right) = c \cdot s \text{ [mm]} \quad (3.20)$$

- $R_{1min}$  – minimální poloměr ohybu [mm]
- $s$  – tloušťka ohýbaného materiálu [mm]
- $\varepsilon_{tmax}$  – poměrná deformace [mm]
- $c$  – součinitel (tab. 12) [-]

Tab. 12 Součinitel  $c$

Materiál	$c$
měkká ocel	0,5 – 0,6
měkká mosaz	0,3 – 0,4
hliník	0,35
dural	3 – 6
měkká měď	0,25

Maximální poloměr ohybu je poloměr, při jehož dosažení dochází k počátku trvalé plastické deformace.

$$R_{1max} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{E}{\sigma_k} - 1 \right) \text{ [mm]} \quad (3.21)$$

- $R_{1max}$  – maximální poloměr ohybu [mm]
- $E$  – modul pružnosti v tahu [MPa]
- $\sigma_k$  – mez kluzu ohýbaného materiálu [MPa]
- $s$  – tloušťka ohýbaného materiálu [mm]

### 3.1.5 Ohýbací síly [2], [15]

Ohýbací sílu ovlivňuje:

- druh materiálu a jeho vlastnosti,
- tvar, úhel, poloměr a počet ohybů,
- tloušťka a šířka polotovaru.

- Ohyb tvaru V (obr. 36):

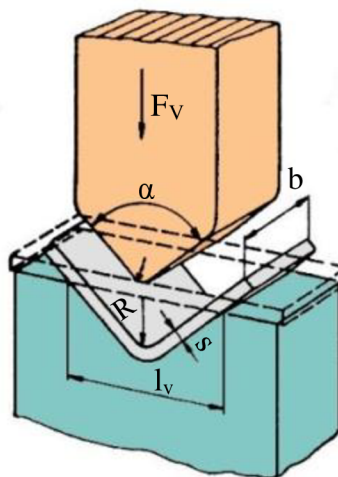
$$F_V = \frac{b \cdot s^2 \cdot \sigma_k \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{2 \cdot R} \text{ [N]} \quad (3.22)$$

- $b$  – šířka polotovaru [mm]
- $R_m$  – mez pevnosti v tahu [MPa]
- $l_m$  – vzdálenost mezi opěrami [mm]

Potřebná kalibrační síla se vypočítá ze vzorce:

$$F_{KV} = S \cdot p \text{ [N]} \quad (3.23)$$

- $S$  – vyrovnávaná plocha [mm<sup>2</sup>]
- $p$  – měrný tlak [MPa]



Obr. 36 Ohyb do tvaru V [14]

- Ohyb tvaru U (obr. 37):

$$F_U = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot b \cdot s^2}{l_m} \text{ [N]} \quad (3.24)$$

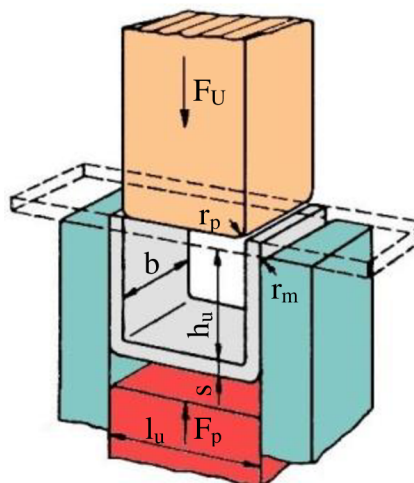
- $b$  – šířka polotovaru [mm]
- $R_m$  – mez pevnosti v tahu [MPa]
- $l_m$  – vzdálenost mezi opěrami [mm]

Je-li použit přídržovač, ohýbací síla bude zvětšena o sílu přídržovače: [15]

$$F_p = (0,25 \div 0,30) \cdot F_U \text{ [N]} \quad (3.25)$$

Je-li polotovar současně kalibrován, počítá se s celkovou silou: [15]

$$F_{CU} = 3 \cdot (F_U + F_p) \text{ [N]} \quad (3.26)$$



Obr. 37 Ohyb do tvaru U

### 3.1.6 Ohýbací práce [12], [15]

- Výpočet práce potřebné k ohýbání do tvaru V včetně kalibrace (obr. 36):

$$A_V = m \cdot F_V \cdot h_v \text{ [J]} \quad (3.27)$$

- $A_V$  – ohýbací práce pro ohyb do V [J]
- $F_V$  – síla potřebná k ohybu do V [N]
- $m$  – koeficient zaplnění diagramu;  $m=0,33$  [-]
- $h_v$  – pracovní zdvih [mm]

- Výpočet práce potřebné k ohýbání do tvaru U včetně kalibrace (obr. 37):

$$A_U = m \cdot (F_U + F_p) \cdot h_u \text{ [J]} \quad (3.28)$$

- $A_U$  – ohýbací práce pro ohyb do U [J]
- $F_U$  – síla potřebná k ohybu do U [N]
- $F_p$  – síla přídržovače [N]
- $m$  – koeficient zaplnění diagramu;  $m=0,66$  [-]
- $h_u$  – pracovní zdvih;  $h_u = l_u + r_p + r_m + s$  [mm]



### 3.1.7 Vůle mezi činnými částmi nástroje [2], [9], [12]

Vůle představuje vzdálenost mezi pevnou a pohyblivou částí nástroje (obr. 38). Ohýbání do tvaru V probíhá ohnutím stěn součásti pod určitým úhlem nebo poloměrem, kde mezera mezi ohybníkem a ohybnicí odpovídá tloušťce ohýbaného materiálu ( $v=s$ ) a docílíme jí seřízením sevření lisu. K dosažení tvaru U se stěny součásti ohýbají rovnoběžně se směrem pohybu pohyblivé čelisti. Velikost vůle v tomto případě může mít několik různých významů a hodnot  $v$  závislosti na tloušťce materiálu a její výrobní toleranci a také na délce ohýbaného ramene.

- Ohyb tvaru U:

$$v = (s \div s_{\max}) + c_t \cdot s \text{ [mm]} \quad (3.29)$$

$v$  – vůle [mm]

$s$  – tloušťka plechu [mm]

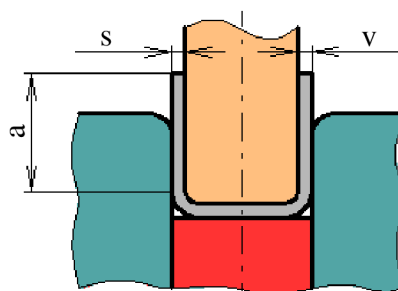
$s_{\max}$  – maximální tloušťka plechu (jmenovitá tloušťka + horní úchylka) [mm]

$c_t$  – součinitel vyjadřující vliv tření mezi ohýbanou součástí a ohybnicí (tab. 13) [-]

Přibližné určení vůle:      oceli –                       $v = (1,05 \text{ až } 1,15) \cdot s$   
    barevné kovy –               $v = (1,0 \text{ až } 1,1) \cdot s$

Tab. 13 Hodnoty koeficientu  $c_t$  [12]

Délka ramene $a$	Tloušťka materiálu $s$			
	do 0,5	0,5 ÷ 2	2 ÷ 4	4 ÷ 7
10	0,1	0,1	0,08	-
20	0,1	0,1	0,08	0,06
35	0,15	0,1	0,08	0,06
50	0,2	0,15	0,1	0,08
75	0,2	0,15	0,1	0,1
100	-	0,15	0,1	0,1
150	-	0,2	0,15	0,1
200	-	0,2	0,15	0,15



Obr. 38 Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí [8]

### 3.1.8 Přesnost při ohýbání [8], [9]

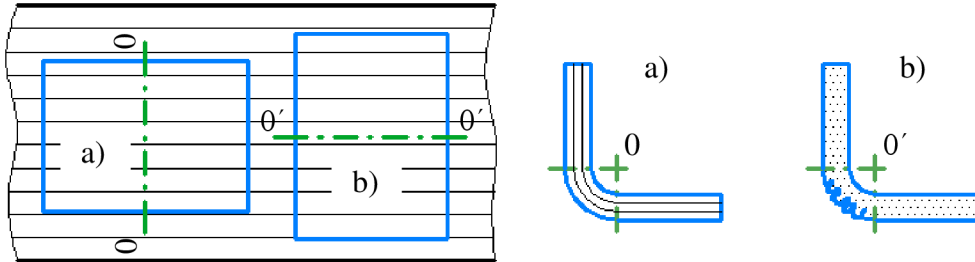
Přesnost při ohýbání je závislá na mnoha faktorech. Nejdůležitější z nich jsou tvar a rozměry ohýbaného výlisku, stejnorodost mechanických vlastností a tloušťky ohýbaného materiálu, počet ohybů, druh ohýbacího nástroje a jeho přesnost, přesnost ustavení nástroje v tvářecím stroji, použití kalibrační operace. Jakost povrchu výlisku při ohýbání je závislá na jakosti povrchu materiálu, drsnosti funkčních částí nástroje, velikosti vůle, geometrii ohýbací čelisti, způsobu mazání.

### 3.1.9 Konstrukčně technologické zásady při ohýbání [12], [14]

Technologičnost součástí ohýbaných z plechu je z velké míry závislá na tvárnosti materiálu, které se často plně využívá, a také na respektování nedokonalostí technologického procesu při konstrukci součásti. Ty je možno podstatně zmenšit (rovnáním, ražením, kalibrováním apod.), tím však dojde ke zdražení nástroje, čímž se zvýší celkové náklady.

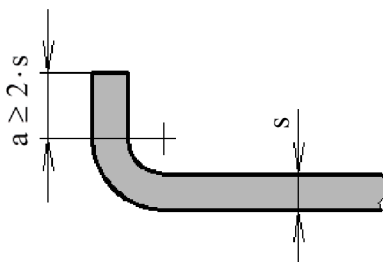
➤ **Zásady, jež je nutné dodržet:**

- Poloměr ohybu volit co nejmenší, aby se co nejvíce zmírnilo odpružení, zároveň však brát zřetel na minimální úhel ohybu.
- Okraje polotovaru musí být kolmé k čáře ohybu, kdyby se tak neučinilo, změnil by se poloměr ohybu.
- Nezmenšovat tolerance výlisků pod hranici, které lze dosáhnout běžným způsobem.
- Brát v potaz průběh vláken, aby osa ohybu byla kolmá k vláknům. Pokud tomu tak není, na vnější straně výlisku může dojít k praskání (obr. 39).

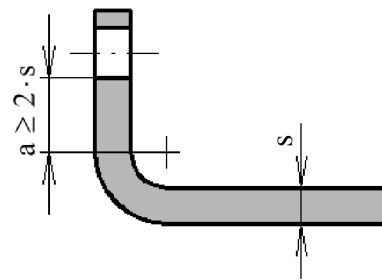


Obr. 39 Vliv směru vláken a) ve směru vláken, b) napříč směru vláken [14]

- Nejmenší délka ohýbaného ramene musí mít určitou délku, viz obr. 40. Ohyb nesmí být umístěn na kraji polotovaru. Pokud je vyžadována menší délka ramene než je povolena, rameno se nejprve ohne a přebytek je poté odstřižen.
- K zamezení deformace otvorů ležících v blízkosti ohybu, je nutné, aby byla vzdálenost  $a \geq 2 \cdot s$  (obr. 41). Nelze-li této podmínce vyhovět, otvor se zhotoví až po ohnutí materiálu.

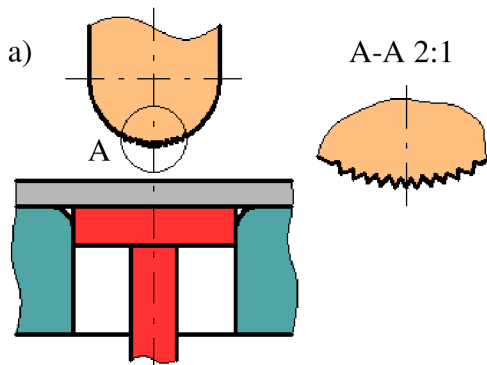


Obr. 40 Minimální délka ramene [12]

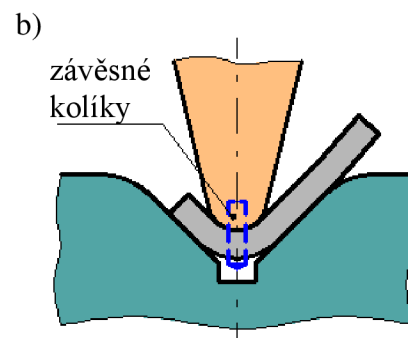


Obr. 41 Vzdálenost otvoru od ohybu [12]

- Během ohýbání nesymetrických výlisků může dojít k posuvu materiálu na jednu stranu, čemuž je možno předejít silným tlakem přidržovače, zdrsněním přidržovače, popř. ohybníku (obr. 42), nebo zřídit v oblasti ohybu otvory pro závěsné kolíky (obr. 43).



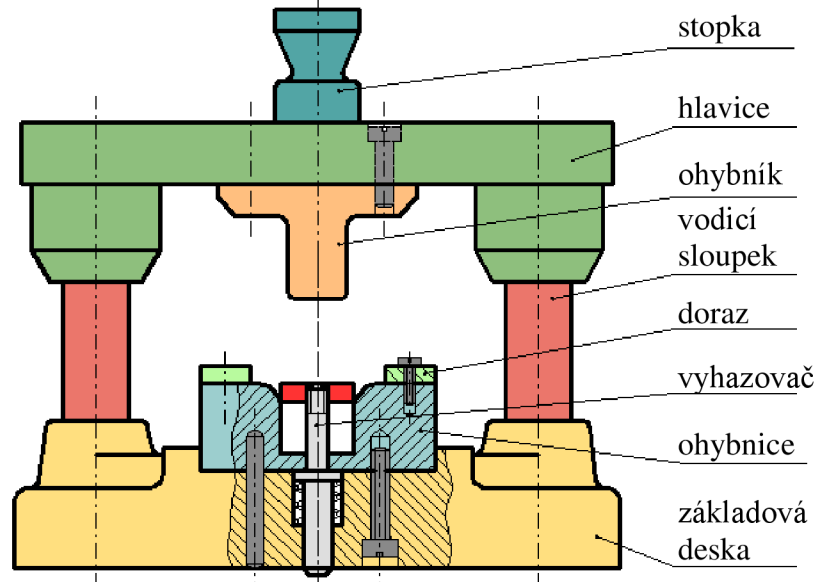
Obr. 42 Zdrsnění ohybníku [12]



Obr. 43 Užití závěsných kolíků [14]

### 3.1.10 Konstrukce ohýbacích nástrojů [7], [12]

Ohýbadla se podle způsobu a technologie ohýbání dělí pro ohýbání do tvaru V a U. Vzor jednoduchého ohýbacího nástroje s vedením je na obr. 44. Vedení slouží k vymezení polohy mezi ohybníkem a ohybnicí a rovněž také k zajištění pásu plechu v nástroji. Tyto nástroje se většinou nekonstruují samostatně, ale jako nástroje sdružené.



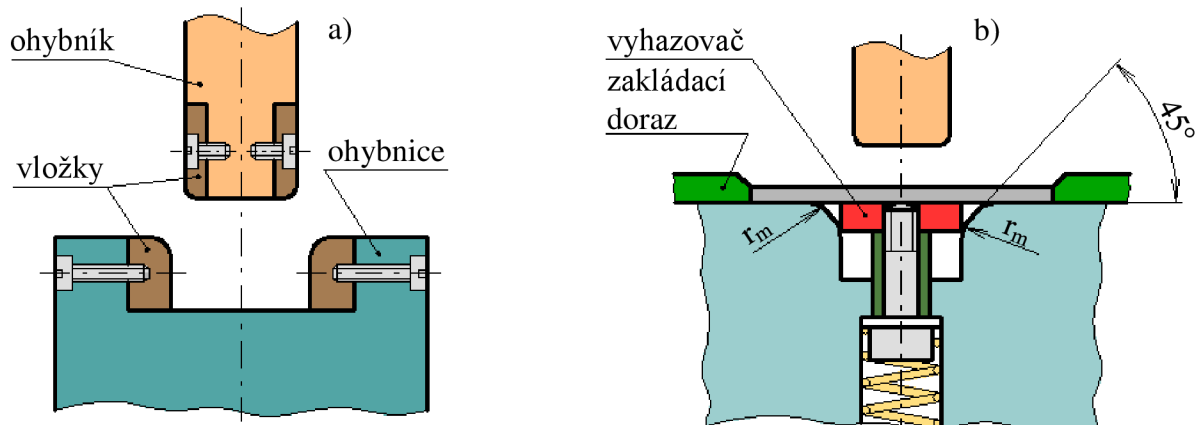
Obr. 44 Ohýbací nástroj [7]

#### ➤ Pohyblivá ohýbací čelist (ohybník) [12], [15]

Ohybník bývá opatřen stopkou, jež je zaopatřena proti pootočení. Šířka ohybníku musí být minimálně stejná, jako je šířka ohýbaného polotovaru. Hrany, jimiž je ohyb konán, jsou kaleny a leštěny. Poloměr zaoblení ohybníku  $r_p$  je většinou totožný s poloměrem ohýbaného polotovaru. V případě vysokých nároků na přesnost poloměru  $R$  je upraven se zřetel na odpružení. K úspoře legovaných ocelí je možno použít buď vložek kalených nebo ze slinutých karbidů (obr. 45a).

#### ➤ Pevná ohýbací čelist (ohybnice) [12], [15]

Pojmem ohybnice se označuje většinou spodní část ohýbacího nástroje, jejíž zaoblení  $r_m$  ovlivňuje velikost ohýbací síly a jakost ohybu. Pro tloušťky plechů  $s < 3$  mm se volí zaoblení  $r_m = (2-6)s$ . U plechů tloušťky  $s > 3$  mm, se zhotovuje ohýbací hrana sražená pod úhlem  $45^\circ$ , jejíž přechody jsou zaobleny poloměrem  $r_m$  (obr. 45b).



Obr. 45 Funkční části ohýbadel [12]

### 3.1.11 Používané materiály funkčních částí ohýbacího nástroje [2], [12]

Ohybníky i ohybnice těchto částí nástroje jsou vyráběny z ušlechtilých nástrojových ocelí. Nejčastěji jsou užívány oceli 19 191.3 nebo 19 312.3, které jsou kaleny a poté popuštěny na HRC 58 až 60. Pro úsporu drahého materiálu je možné použít vložek ze slinutých karbidů.

## 3.2 Tvářecí stroje [29], [30], [31]

Jedná se o výrobní stroje, které vytváří z polotovarů výrobky, aniž by došlo ke změně objemu polotovaru. K dosažení přetvoření materiálu je nutno působit takovou silou, která v části nebo celém objemu materiálu přesahuje mez kluzu. Mezi tvářecí stroje se řadí i stroje ke stříhání materiálu, což je z technologického hlediska přechod mezi obráběním a tvářením.

Tvářecí stroje ve srovnání se stroji obráběcími:

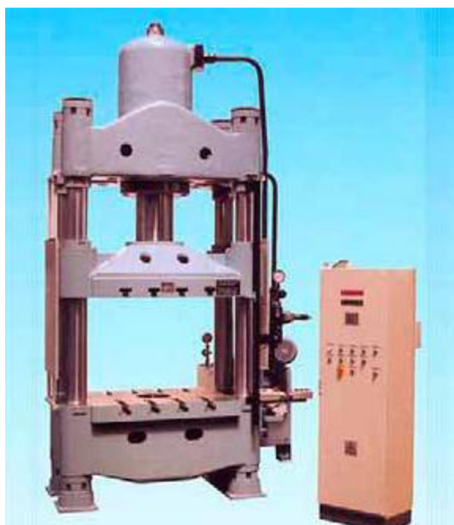
- menší odpad,
- robustnější a tužší konstrukce,
- horší přestavitelnost a univerzálnost,
- určeny pro hromadnou výrobu.

Nejvíce rozšířené jsou stroje s přímočarým pohybem nástroje, mezi které se řadí stroje silové, energetické a zdvihové. Tvářecí stroje silové a zdvihové, které působí na materiál klidnou silou, se nazývají lisí. Pro technologie stříhání a ohýbání je nejčastěji využíváno lisů mechanických nebo hydraulických.

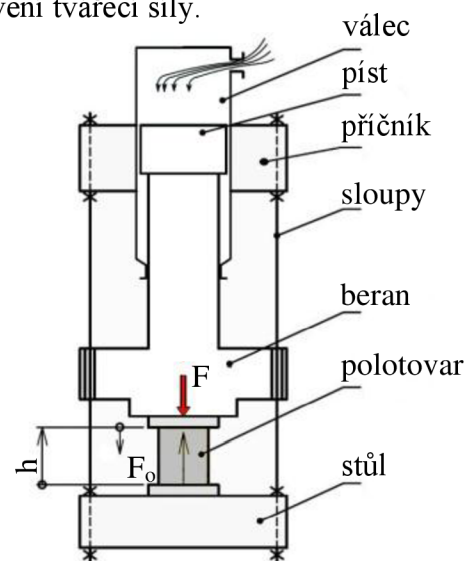
### 3.2.1 Hydraulické lisí [30], [31]

Hydraulické lisí (obr. 46) pracují na principu Pascalova zákona, kde se lisovací tlak šíří rovnoměrně všemi směry. Jako tlakové médium je užíváno vodní emulze nebo olej. Hydraulické lisí se vyznačují svou bezpečností, vysokou přesností, tuhostí a pohodlnou obsluhou, na niž je zapotřebí jeden pracovník. Schéma stroje je zobrazeno na obr. 47.

Mezi výhody těchto lisů se řadí rychlost beranu ( $v=0\div 0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), možnost průběžného měření tvářecí síly, klidný chod stroje bez hluku a otřesů a možnost sledování tvářecího procesu. Nevýhodou je potom nižší výkon, z čehož plyne nižší produktivita výroby. Dále fakt, že lisí nemají pevnou úvrat' a také nutné přesné stanovení tvářecí síly.



Obr. 46 Poloautomatický hydraulický lisí [33]



Obr. 47 Schéma hydraulického lisí [32]

### 3.2.2 Mechanické lisy [31], [35]

Jsou to nejpoužívanější tvářecí stroje pro různé tvářecí operace. K přenosu mechanické energie se využívá mechanických převodových systémů, podle čehož se dělí na klikové, výstředníkové, vačkové, kolenové, šroubové apod.

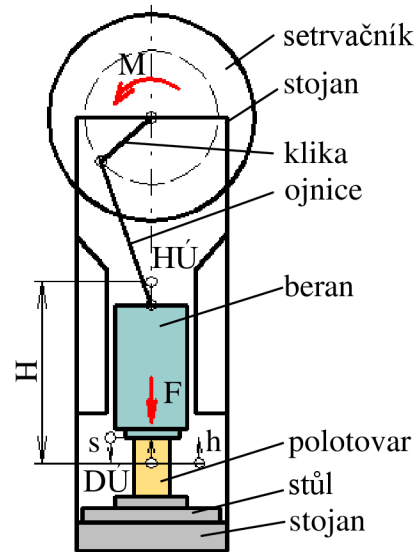
Lis může být zatížen jen takovou silou, která nepřevyšuje sílu jmenovitou, čímž se předchází porušení stroje přetížením. Nevýhodou těchto lisů je, že maximální tvářecí sílu je možné odebrat až těsně před dolní úvratí.

#### ➤ Klikový lis

Klikový mechanismus je nejpoužívanější u tvářecích strojů. Pro pracovní zdvih je možné využít pouze jednu čtvrtinu otáčky klikového hřídele. Jsou určeny především pro plošné tváření plechu. Příklad klikového lisu lze vidět na obr. 48 a kinematické schéma na obr. 49.



Obr. 48 Klikový lis [36]



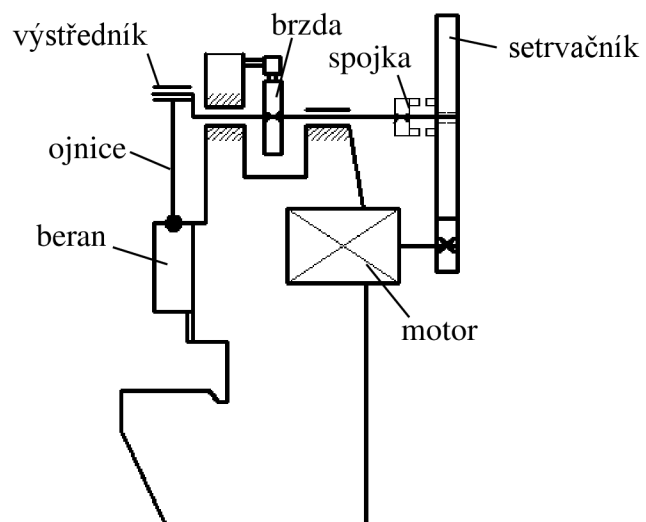
Obr. 49 Schéma klikového lisu [32]

#### ➤ Výstředníkový lis

Určen převážně ke zpracování plechu. Tyto lisy jsou vybaveny výstředníkovým mechanismem, kterým je možno regulovat velikost zdvihu beranu. Mohou být jednostojanové nebo dvoustojanové. U jednostojanových je letný výstředník, dvoustojanové mají výstředník mezi ložisky výstředníkového hřídele. Výstředníkový lis je uveden na obr. 50 a obr. 51.



Obr. 50 Výstředníkový lis [34]



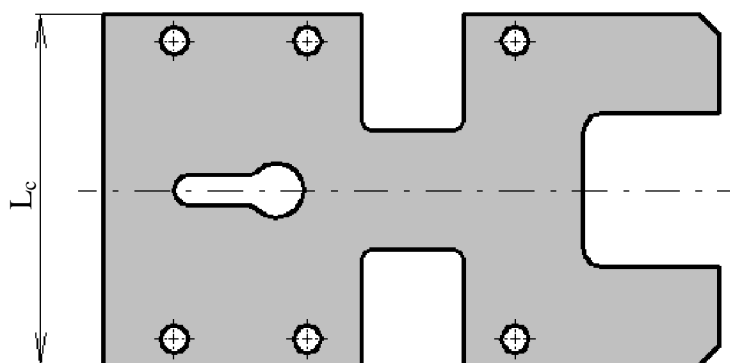
Obr. 51 Schéma výstředníkového lisu [35]

## 4 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Před samotným zahájením výroby je třeba zajistit správný technologický postup, tj. vhodně zvolit nástřihový plán rozvinutého tvaru součásti, aby využití stříhaného pásu plechu bylo pokud možno co nejekonomičtější. Využitelnost ovšem není jediným kritériem, na které je třeba brát zřetel. Důležitý je především postup výroby ve sruženém nástroji a jednoduchost jeho provedení.

### 4.1 Rozvinutý tvar součásti

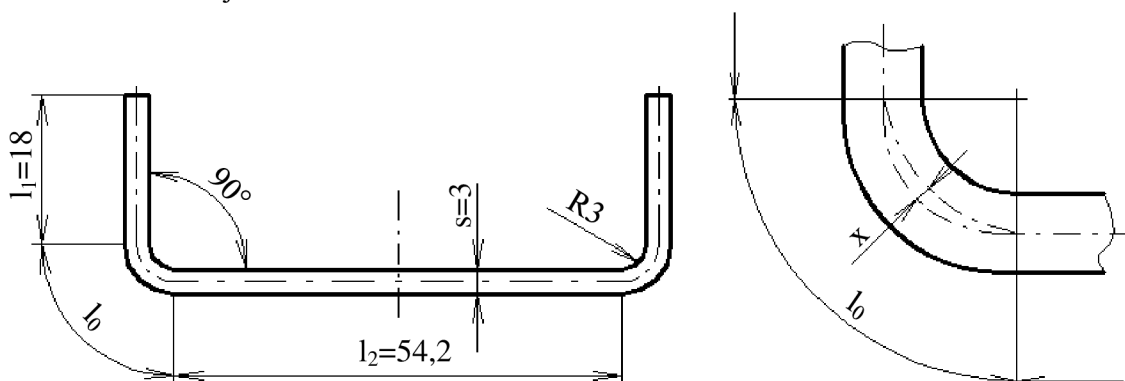
Při výrobě výztuže dveřního zamykání ve sruženém nástroji dochází v jednom kroku k ohybu součásti. Je tedy nutno vypočítat délku rozvinuté součásti (obr. 52), která je potřebná pro zhotovení nástřihového plánu.



Obr. 52 Rozvinutý tvar součásti

#### ➤ Výpočet rozvinuté délky:

Pro výpočet rozvinuté délky součásti je výchozí obr. 53. Jelikož je součást symetrická, nebylo nutné kótovat druhou stranu dílce, neboť délka ohnutého ramene i délka oblouku jsou na obou stranách stejné.



Obr. 53 Označení rovných částí a oblouků

- Délka oblouku:

Při výpočtu vycházíme ze vztahů (3.13), (3.14) z kap. 3.1.2.

$$\varphi = 180^\circ - \alpha = 180^\circ - 90^\circ = 90^\circ$$

$$\frac{R}{s} = \frac{3}{3} = 1 \rightarrow x = 0,42$$

hodnota  $x=0,42$  byla určena z tab. 10, viz kap. 3.1.2

$$l_0 = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot (R + x \cdot s) = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot (3 + 0,42 \cdot 3) = 6,69 \text{ mm}$$

- Celková rozvinutá délka polotovaru:

Je dána součtem délek jednotlivých rovných úseků a oblouků, viz vztah (3.15) z kap. 3.1.2. Tyto délky jsou zakótovány na obr. 53.

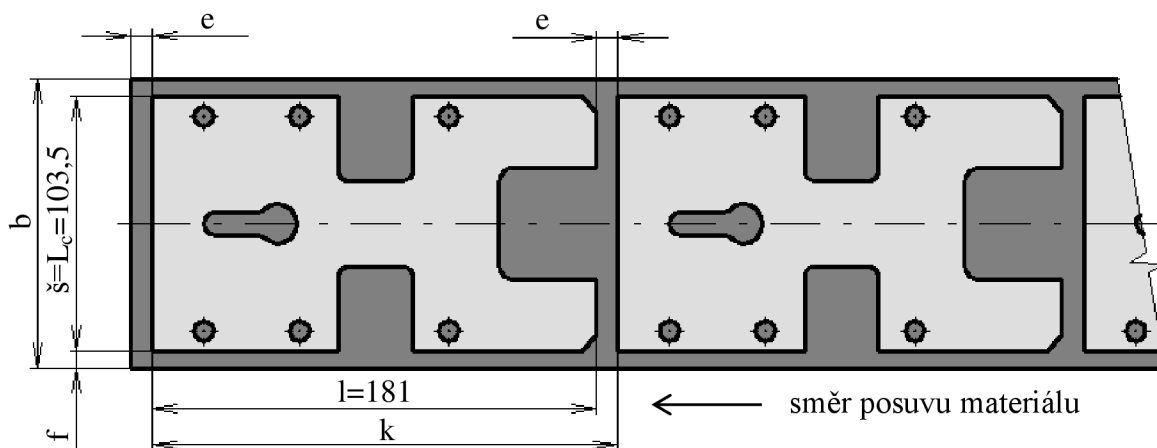
$$L_c = 2 \cdot l_0 + 2 \cdot l_1 + l_2 = 2 \cdot 6,69 + 2 \cdot 18 + 54,1 = 103,48 \text{ mm}$$

## 4.2 Varianty uspořádání výstřižků na pásu plechu

Polotovarem pro výrobu zadané součásti je svitek plechu o šířce  $b$ . Jelikož je součástí obdélníkového tvaru, jako možné varianty uspořádání výstřižků na pásu se nám nabízí dvě možnosti, a to buď podélné uspořádání, nebo příčné uspořádání.

### Varianta 1:

Na obr. 54 je zobrazena varianta podélného řazení výstřižků na svitku plechu.



Obr. 54 Podélné uspořádání výstřižků

### ➤ Využití svitku plechu:

- Výpočet můstku  $e$ :

$$e = 5 \text{ mm}$$

*Velikost můstku byla odečtena z tabulky, viz příloha č. 1, a navýšena o 10 % z důvodu měkkého materiálu.*

- Výpočet okraje  $f$ :

$$f = 1,5 \cdot s = 1,5 \cdot 3 = 4,5 \text{ mm} \quad (4.11)$$

- Výpočet šířky pásu  $b$ :

$$b = 2 \cdot f + \check{s} = 2 \cdot 4,5 + 103,5 = 112,5 \text{ mm} \quad (4.12)$$

- Výpočet kroku  $k$ :

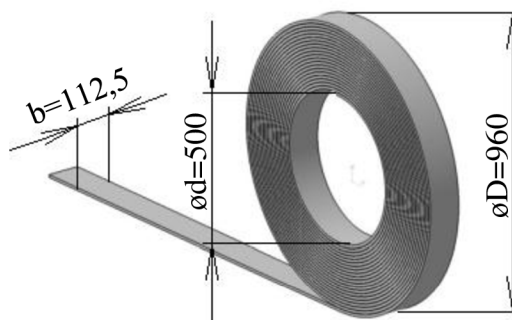
$$k = l + e = 181 + 5 = 186 \text{ mm} \quad (4.13)$$

- Výpočet rozvinuté délky jednoho svitku:

Přibližnou rozvinutou délku jednoho svitku je možné vypočítat z jeho vnitřního a vnějšího průměru, které byly zjištěny na webových stránkách výrobce. Rozměry svitku jsou uvedeny v tab. 14 a znázorněny na obr. 55.

Tab. 14 Rozměry svitku [28]

Vnější průměr	øD	960 mm
Vnitřní průměr	ød	500 mm
Šířka	b	112,5 mm
Tloušťka	s	3 mm



Obr. 55 Svitek plechu

$$V_{sv} = V_1 - V_2 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot b - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot b = \frac{\pi \cdot b}{4} \cdot (D^2 - d^2) = \frac{\pi \cdot 112,5}{4} \cdot (960^2 - 500^2) = 59340758,24 \text{ mm}^3 = 0,05934 \text{ m}^3 \quad (4.14)$$

$$L_{sv} = \frac{V_{sv}}{b \cdot s} = \frac{59340758,24}{112,5 \cdot 3} = 175\,824,5 \text{ mm} \quad (4.15)$$

- Počet výstřižků na jeden svitek plechu:

$$n_v = \frac{L_{sv}}{k} = \frac{175824,5}{186} = 945,3 \cong 945 \text{ kusů} \quad (4.16)$$

- Plocha výstřižku:

$$S_v = 15029,06 \text{ mm}^2 \quad (4.17)$$

*plocha výstřižku byla zjištěna pomocí programu SolidWorks*

- Plocha svitku:

$$S_{sv} = L_{sv} \cdot b = 175824,5 \cdot 112,5 = 19\,780\,256,25 \text{ mm}^2 \quad (4.18)$$

- Celkové využití svitku plechu:

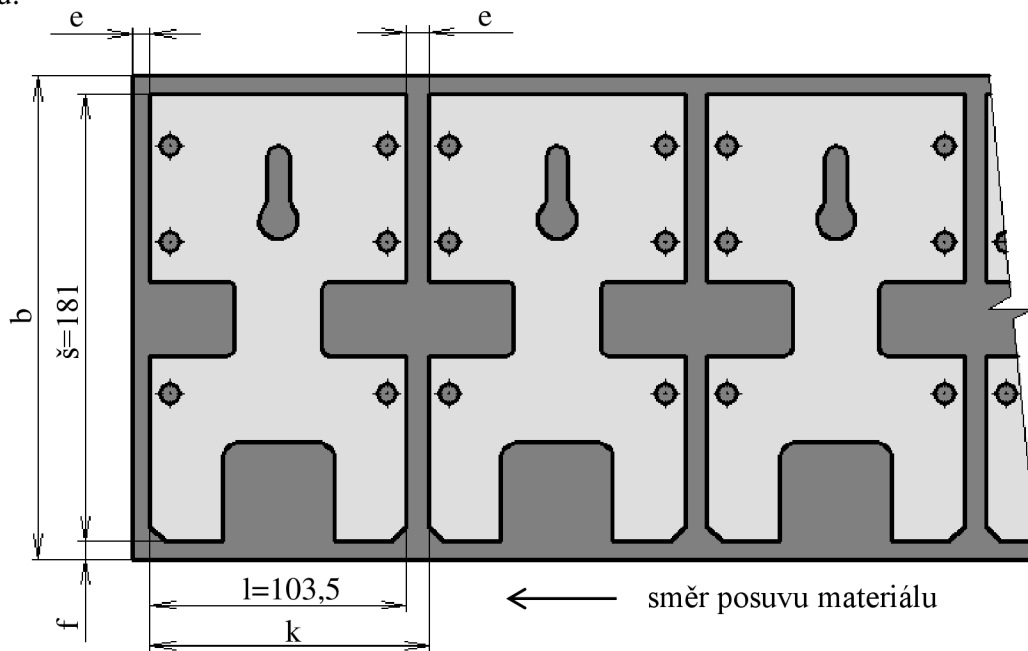
$$\eta_{sv} = \frac{S_v \cdot n_v}{S_{sv}} \cdot 100\% = \frac{15029,06 \cdot 945}{19780256,25} \cdot 100\% = 72\% \quad (4.19)$$

Varianta výroby dané součásti ve směru podélném s ohybem bočnic dolů se z hlediska konstrukce nástroje jeví jako nejjednodušší volba. Velkou nevýhodou je vzhledem k délce součásti a počtu kroků celková délka nástroje, díky které se náklady na výrobu výrazně zvýší. Za další nevýhodu je možné považovat nevhodnou orientaci osy ohybu, jež je rovnoběžná se směrem vláken materiálu. To může nést následky v podobě tvorby prasklin na vnější straně ohybu.



### Varianta 2:

Na obr. 56 je zobrazena varianta nástřihu s příčným uspořádáním výstřížků na svitku plechu.



Obr. 56 Příčné uspořádání výstřížků

#### ➤ Využití svitku plechu:

- Výpočet můstku e:

$$e = 5 \text{ mm}$$

Velikost můstku byla odečtena z tabulky, viz příloha č. 1, a navýšena o 10 % z důvodu měkčího materiálu.

- Výpočet okraje f:

$$f = 1,5 \cdot s = 1,5 \cdot 3 = 4,5 \text{ mm}$$

- Výpočet šířky pásu b:

$$b = 2 \cdot f + \text{š} = 2 \cdot 4,5 + 181 = 190 \text{ mm}$$

- Výpočet kroku k:

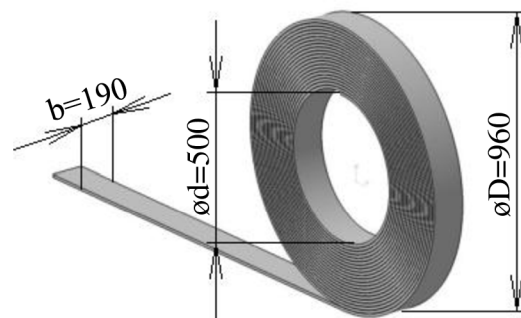
$$k = l + e = 103,48 + 5 = 108,5 \text{ mm}$$

- Výpočet rozvinuté délky jednoho svitku:

Rozvinutá délka svitku bude stanovena stejně jako u varianty 1. Rozměry svitku jsou uvedeny v tab. 15 a znázorněny na obr. 57.

Tab. 15 Rozměry svitku [28]

Vnější průměr	$\varnothing D$	960 mm
Vnitřní průměr	$\varnothing d$	500 mm
Šířka	b	190 mm
Tloušťka	s	3 mm



Obr. 57 Svitok plechu

$$V_{sv} = \frac{\pi \cdot 190}{4} \cdot (960^2 - 500^2) = 100\,219\,947,2 \text{ mm}^3$$

$$L_{sv} = \frac{V_{sv}}{b \cdot s} = \frac{100\,219\,947,2}{190 \cdot 3} = 175\,824,5 \text{ mm}$$

- Počet výstřižků na jeden svitek plechu:

$$n_v = \frac{L_{sv}}{k} = \frac{175\,824,5}{108,5} = 1620,5 \cong 1620 \text{ kusů}$$

- Plocha výstřižku:

$$S_v = 15\,029,06 \text{ mm}^2$$

*plocha výstřižku byla zjištěna pomocí programu SolidWorks*

- Plocha svitku:

$$S_{sv} = L_{sv} \cdot b = 175\,824,5 \cdot 190 = 33\,406\,655 \text{ mm}^2$$

- Celkové využití svitku plechu:

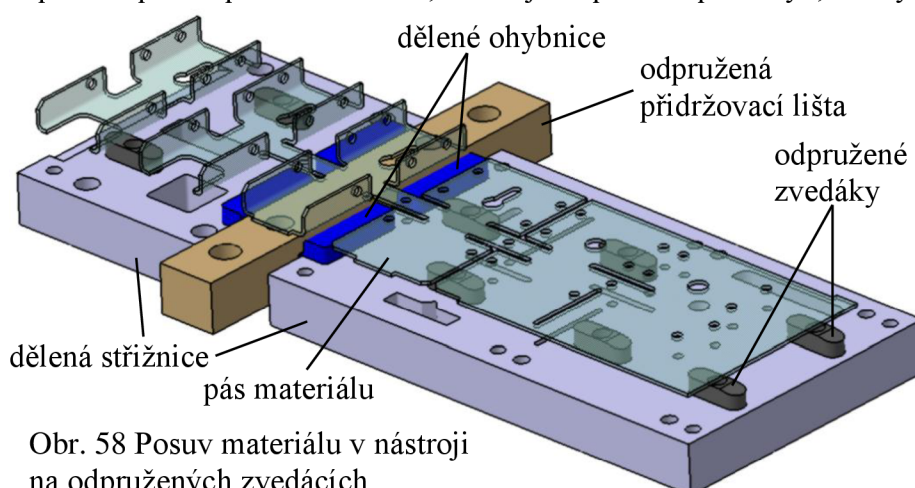
$$\eta_{sv} = \frac{S_v \cdot n_v}{S_{sv}} \cdot 100\% = \frac{15\,029,06 \cdot 1620}{33\,406\,655} \cdot 100\% = 73\%$$

Uspořádáním výstřižků ve svislém směru se výrazně zkrátí délka nástroje oproti podélnému řazení (o cca 500 mm), z čehož jsou patrné podstatně nižší náklady na jeho výrobu. Příčným uspořádáním se také nepatrně zvýší využití svitku. U této varianty je také dosaženo kolmosti osy ohybu na směr vláken ohýbaného materiálu, čehož u předchozí metody nebylo docíleno. Z těchto důvodů byla ke zhotovení součásti zvolena druhá varianta.

### 4.3 Varianty řešení postupového nástroje

Před samotným vypracováním variant řešení postupového nástroje bylo důležité určit, zda bude výhodnější provést ohyb nahoru či dolů. Za konstrukčně jednodušší se považuje ohyb směrem dolů. V tomto případě ovšem nastává problém s posuvem pásu v nástroji. Na zvednutí pásu z ohybnice jsou zapotřebí zvedáky, které následně brání v posunu materiálu.

Optimální variantou je ohyb bočnic směrem nahoru. Zde problém s posuvem materiálu odpadá. Spodní přídržovací síla, která je zapotřebí pro ohyb, se využije pro zvedání pásu



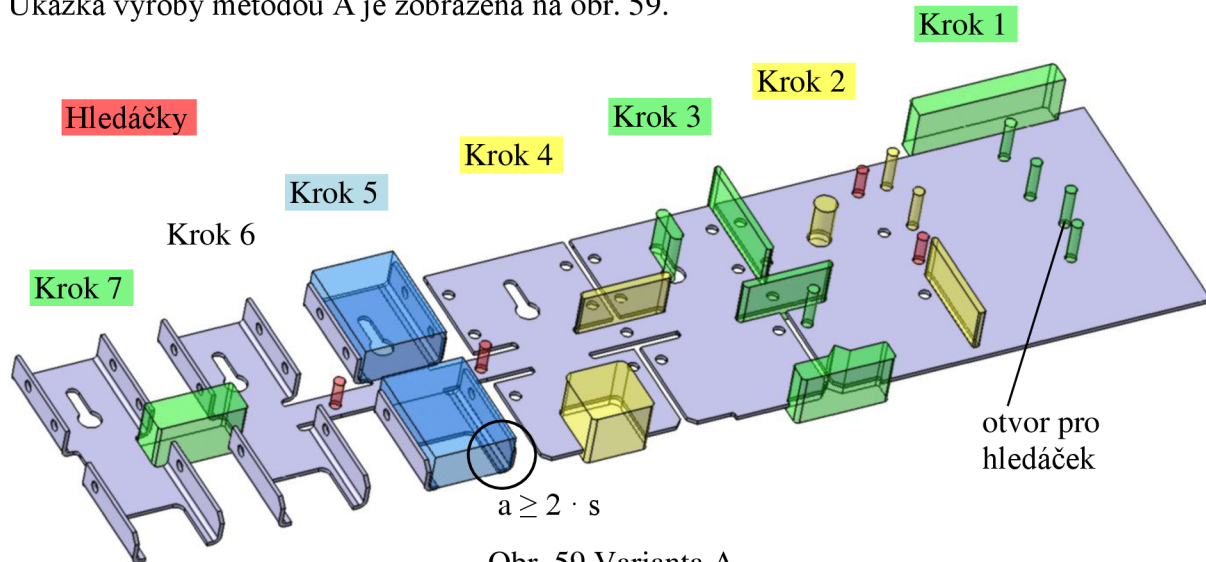
z ohybnice až na úroveň odpružených zvedáků, po kterých se materiál v nástroji posouvá. Tento způsob posuvu materiálu je znázorněn na obr. 58 a poté více rozveden v kap. 7.

Obr. 58 Posuv materiálu v nástroji na odpružených zvedácích

Zde je uvedeno několik variant technologického postupu výroby dané součásti v postupovém nástroji. Jednotlivé možnosti řešení vychází z druhé varianty uspořádání výstřížků na pásu, tj. s příčným uspořádáním.

➤ **Varianta A:**

Ukázka výroby metodou A je zobrazena na obr. 59.



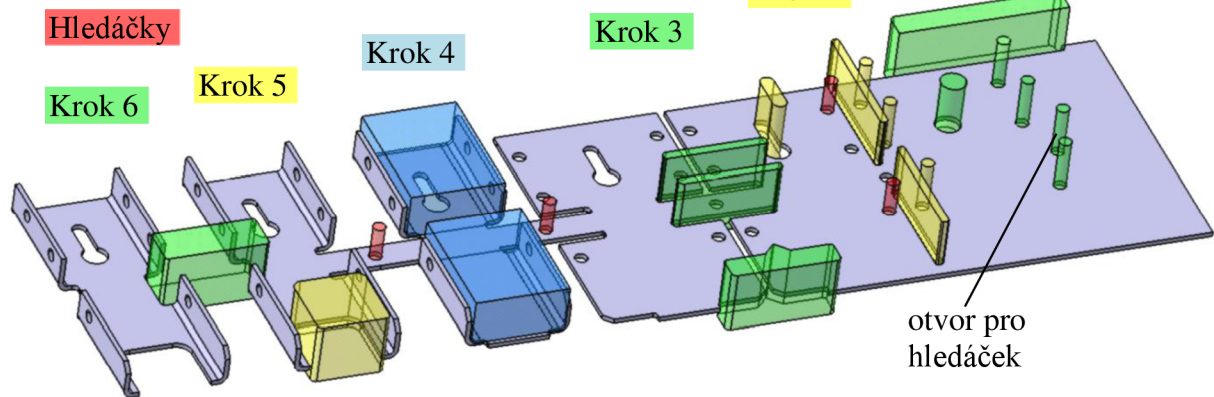
Obr. 59 Varianta A

V následujících několika krocích bylo dosaženo:

- Krok 1: - vystřížení tří funkčních a jednoho technologického otvoru  $\varnothing 8$  mm  
- ostřížení horního okraje v délce jednoho kroku
- Krok 2: - zahledání  
- vystřížení dvou funkčních otvorů  $\varnothing 8$  mm  
- vystřížení klíčové dírky kruhovým střížníkem  
- ostřížení rozvinuté délky ve spodní části
- Krok 3: - vystřížení funkčního otvoru  $\varnothing 8$  mm  
- ostřížení rozvinuté délky v horní části  
- stříh pro zhotovení můstku mezi dvěma výstřížky  
- ostřížení tvarovým střížníkem ve spodní části  
- vystřížení klíčové dírky oválným střížníkem
- Krok 4: - vystřížení funkčního otvoru obdélníkového tvaru  
- zhotovení můstku mezi dvěma výstřížky
- Krok 5: - zahledání  
- ohnutí součásti ohybníkem
- Krok 6: - volný krok kvůli nedostatku místa, pouze zahledání
- Krok 7: - ustřížení můstku spojující dva dílce → součást jde na skluz

### ➤ Varianta B

Ukázka výroby metodou B je zobrazena na obr. 60.



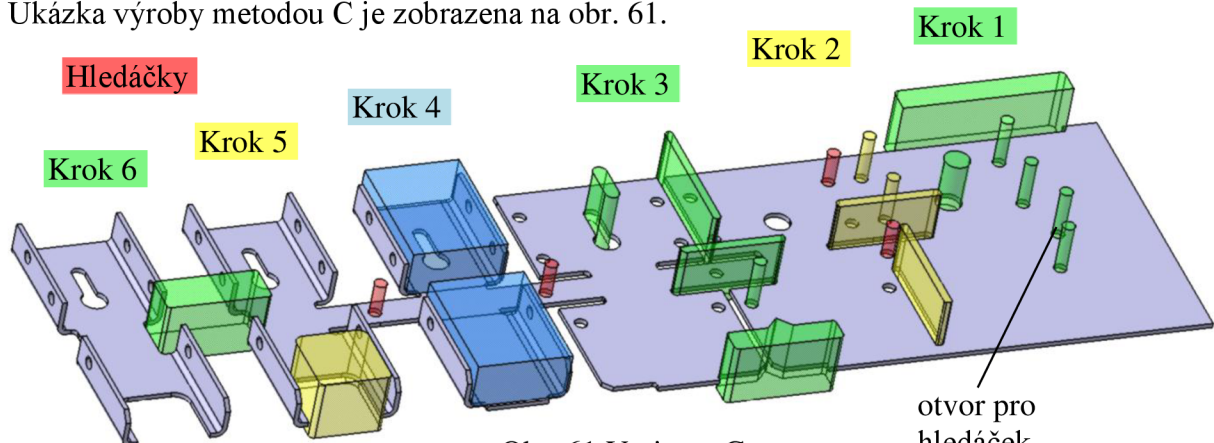
Obr. 60 Varianta B

V následujících několika krocích bylo dosaženo:

- Krok 1: - vystřížení tří funkčních a jednoho technologického otvoru  $\varnothing 8$  mm  
- ostřížení horního okraje v délce jednoho kroku  
- vystřížení klíčové dírky kruhovým střížníkem
- Krok 2: - zahledání  
- vystřížení tří funkčních otvorů  $\varnothing 8$  mm  
- ostřížení rozvinuté délky  
- vystřížení klíčové dírky oválným střížníkem
- Krok 3: - zhotovení můstku mezi dvěma výstřižky  
- ostřížení tvarovým střížníkem ve spodní části
- Krok 4: - zahledání  
- ohnutí součásti ohybníkem
- Krok 5: - zahledání  
- vystřížení funkčního otvoru obdélníkového tvaru
- Krok 6: - ustřížení můstku spojující dva dílce → součást jde na skluz

### ➤ Varianta C

Ukázka výroby metodou C je zobrazena na obr. 61.



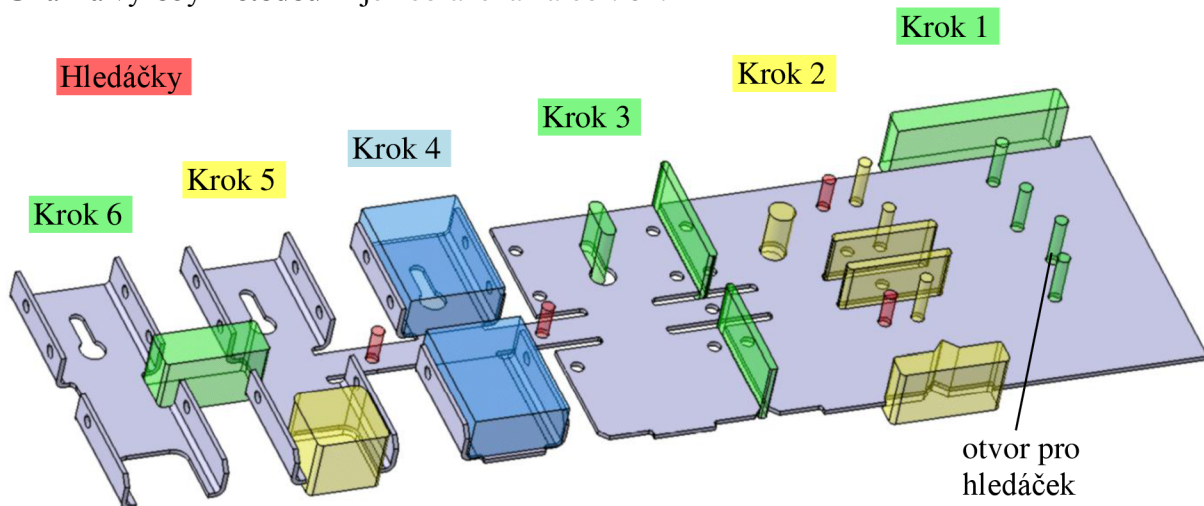
Obr. 61 Varianta C

V následujících několika krocích bylo dosaženo:

- Krok 1: - vystřížení tří funkčních a jednoho technologického otvoru  $\varnothing 8$  mm  
- ostřížení horního okraje v délce jednoho kroku  
- vystřížení klíčové dírky kruhovým střížníkem
- Krok 2: - zahledání  
- vystřížení dvou funkčních otvorů  $\varnothing 8$  mm  
- ostřížení rozvinuté délky ve spodní části  
- stříh pro zhotovení můstku mezi dvěma výstřížky
- Krok 3: - ostřížení tvarovým střížníkem ve spodní části  
- zhotovení můstku mezi dvěma výstřížky  
- ostřížení rozvinuté délky v horní části  
- vystřížení funkčního otvoru  $\varnothing 8$  mm  
- vystřížení klíčové dírky oválným střížníkem
- Krok 4: - zahledání  
- ohnutí součásti ohybníkem
- Krok 5: - zahledání  
- vystřížení funkčního otvoru obdélníkového tvaru
- Krok 6: - ustřížení můstku spojující dva dílce → součást jde na skluz

#### ➤ Varianta D

Ukázka výroby metodou D je zobrazena na obr. 62.



Obr. 62 Varianta D

V následujících několika krocích bylo dosaženo:

- Krok 1: - vystřížení tří funkčních a jednoho technologického otvoru  $\varnothing 8$  mm  
- ostřížení horního okraje v délce jednoho kroku

- Krok 2:     - zahledání  
               - vystřížení tří funkčních otvorů  $\varnothing 8$  mm  
               - zhotovení můstku mezi dvěma výstřížky  
               - ostřížení tvarovým střížníkem ve spodní části  
               - vystřížení klíčové dírky kruhovým střížníkem
- Krok 3:     - ostřížení rozvinuté délky  
               - vystřížení klíčové dírky oválným střížníkem
- Krok 4:     - zahledání  
               - ohnutí součásti ohybníkem
- Krok 5:     - zahledání  
               - vystřížení funkčního otvoru obdélníkového tvaru
- Krok 6:     - ustřížení můstku spojující dva dílce → součást jde na skluz

### **Zhodnocení variant řešení postupového nástroje:**

Ve všech čtyřech variantách výroby je v prvním kroku zhotoven technologický otvor  $\varnothing 8$  mm. Tento otvor slouží pouze pro zahledávání pásu plechu tam, kde nelze zahledat pomocí funkčních otvorů  $\varnothing 8$  mm. Tím je zajištěno správné vymezení polohy materiálu vůči nástroji při zhotovování lisovacích operací v jednotlivých krocích.

První varianta výroby (obr. 59) má konstruovaný nástroj pro výrobu součásti v sedmi krocích, jelikož šestý krok je prázdný z důvodu nedostatku místa mezi nástroji. To je oproti jiným variantám o jeden krok více a zákazník s ní pravděpodobně nebude spokojen, neboť by musel být zhotoven příliš rozměrný nástroj, což z ekonomického hlediska není výhodné. Ve čtvrtém kroku dochází k vystřížení otvoru obdélníkového tvaru, což pro následující ohyb v dalším kroku není vhodné, protože délky ohýbaných ramen nespĺňují předepsané technologické požadavky, viz obr. 40 v kap. 3.1.9. Z tohoto důvodu musí být nejdříve zhotoven ohyb, teprve poté může být vystřížen otvor obdélníkového tvaru.

V druhé variantě (obr. 60) je již problém s ohybem vyřešen a sdružený nástroj je kratší o jeden krok, z čehož plynou nižší náklady na jeho zhotovení. V druhém kroku jsou střížníky pro zhotovení kulatých otvorů v příliš těsné blízkosti se střížníky, které vystřihují rozvinutý tvar součásti. To může způsobit problémy s jejich ukotvením v kotevní desce, nebo může dojít k prasknutí střížnice vlivem velkého namáhání v těsné blízkosti.

Třetí varianta (obr. 61) je opět navržena pro výrobu součásti v šesti krocích. Střížníky jsou od sebe v dostatečné vzdálenosti, tudíž nehrozí prasknutí střížnice ani problém s ukotvením zde není potřeba řešit. Rozmístění střížníků v jednotlivých krocích je také navrženo tak, aby lisovací síla byla v celém nástroji co nejlépe rozložena.

Čtvrtá varianta (obr. 62) je podobná variantě třetí, je také navržena na výrobu součásti v šesti krocích a lisovací síla je zde rovněž rozložena rovnoměrně po celém nástroji. Jedinou nevýhodou je přesun spodního střížníku o krok zpět, čímž by délka vodící lišty na jedné straně byla příliš krátká a materiál by nebyl správně vedený.

Jako nejvhodnější volbou pro výrobu dané součásti byla shledána varianta C, která nejlépe splňuje veškeré technologické i ekonomické požadavky pro výrobu ve sdruženém postupovém nástroji.

## 5 TECHNOLOGICKÉ VÝPOČTY

Technologické výpočty jsou důležité pro správnou volbu lisovacího stroje a také pro kontrolu funkčních částí nástroje.

### 5.1 Výpočty pro technologii stříhání

V nástroji dochází procesem stříhání ke zhotovení několika funkčních otvorů a k vystřížení obrysu součásti. Pro tyto části nástroje je nezbytné provést kontrolní výpočty, aby zhotovení součásti proběhlo v pořádku a nedošlo tak k havárii nástroje.

#### 5.1.1 Výpočet střížné vůle, střížné síly a střížné práce

- Mez pevnosti ve stříhu:

K výpočtu je použit vztah (2.11) z kapitoly 2.1.1.

$$\tau_s = 0,77 \cdot R_m = 0,77 \cdot 180 = 138,6 \text{ MPa}$$

- Střížná vůle:

K výpočtu střížné vůle je použit vztah (2.13) z kap. 2.1.3.

$$v = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 0,015 \cdot 3 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{138,6} = 0,17 \text{ mm}$$

*součinitel  $c=0,015$  byl zvolen z rozmezí  $(0,005 \div 0,035)$*

Jelikož je součást vyráběna z materiálu, který má nízkou mez ve stříhu, není nutné použití zešikmených střížníků. Střížná síla tedy bude počítána pro střížníky kolmé.

- Délka stříhaných hran:

$$L = 1197,92 \text{ mm}$$

*celkový obvod součásti včetně všech otvorů byl zjištěn pomocí programu SolidWorks.*

- Střížná síla:

K výpočtu střížné síly je použit vztah (2.15) z kap. 2.1.4.

$$F_s = L \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = 1197,92 \cdot 3 \cdot 138,6 \cdot 1,3 = 647\,523,7 \text{ N}$$

*koeficient  $n=1,3$  byl zvolen z rozmezí  $1,2 \div 1,55$ , viz kap. 2.1.4.*

- Síla nutná k setření materiálu ze střížníku:

K výpočtu stírací síly je použit vztah (2.16) z kap. 2.1.5.

$$F_{ST} = k_1 \cdot F_s = 0,09 \cdot 647\,523,7 = 58\,277,1 \text{ N}$$

*koeficient  $k_1=0,09$  byl určen z tab. 20, viz kap. 2.1.5*

- Síla nutná k protlačení materiálu střížnicí:

K výpočtu protlačovací síly je použit vztah (2.17) z kap. 2.1.5.

$$F_{PR} = k_2 \cdot F_s = 0,04 \cdot 647\,523,7 \text{ N} = 25\,900,9 \text{ N}$$

*koeficient  $k_2=0,04$  byl určen z tab. 20, viz kap. 2.1.5*

- Celková střížná síla:

K výpočtu celkové střížné síly je použit vztah (2.18) z kap. 2.1.5.

$$F_{CS} = F_S + F_{ST} + F_{PR} = 647523,7 + 58277,1 + 25900,9 = 731\,701,7 \text{ N}$$

- Střížná práce:

K výpočtu střížné práce je použit vztah (2.19) z kap. 2.1.6.

$$A = \frac{\lambda \cdot F_{S_{\max}} \cdot s}{1000} = \frac{0,65 \cdot 647523,7 \cdot 3}{1000} = 1\,262,7 \text{ J}$$

*součinitel plnosti  $\lambda=0,65$  byl odečten z diagramu, viz příloha 2*

### 5.1.2 Kontrola střížníků na otláčení [12]

U jednotlivých střížníků je nutné provést kontrolu na otláčení, tzn. spočítat napětí na dosedací ploše střížníku  $\sigma_S$  v upínací hlavici. Pokud toto napětí přesáhne hodnotu 180 MPa u oceli, použije se v upínací hlavici kalená podložka, aby se zabránilo otláčení.

Napětí na dosedacích plochách střížníků se určí dle vztahu (5.11).

- Střížník  $\varnothing 8$  mm (obr. 63):

$$F_{S1} = \pi \cdot d \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = \pi \cdot 8 \cdot 3 \cdot 138,6 \cdot 1,3 = 13\,585,3 \text{ N}$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50,3 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S} = \frac{13\,585,3}{50,3} = 270 \text{ MPa} \Rightarrow \text{kalená deska nutná}$$



Obr. 63 Střížník  $\varnothing 8$  mm

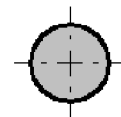
(5.11)

- Střížník  $\varnothing 16$  mm (obr. 64):

$$F_{S2} = \pi \cdot d \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = \pi \cdot 16 \cdot 3 \cdot 138,6 \cdot 1,3 = 27\,170,5 \text{ N}$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 16^2}{4} = 201,1 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S} = \frac{27\,170,5}{201,1} = 135,1 \text{ MPa}$$



Obr. 64 Střížník  $\varnothing 16$  mm

*V následujících výpočtech byly jednotlivé plochy střížníků  $S$  a obvody střížných hran  $L$  zjištěny pomocí programu SolidWorks.*

- Střížník na ostřížení můstku (obr. 65):

$$F_{S3} = L \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = 141,77 \cdot 3 \cdot 138,6 \cdot 1,3 = 76\,632,4 \text{ N}$$

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S} = \frac{76\,632,4}{391,71} = 195,6 \text{ MPa} \Rightarrow \text{kalená deska nutná}$$



Obr. 65 Střížník na ostřížení můstku

- Střížník na ostřížení rozvinuté délky 1 (obr. 66):

$$F_{S4} = L \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = 150,04 \cdot 3 \cdot 138,6 \cdot 1,3 = 81\,102,6 \text{ N}$$

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S} = \frac{81\,102,6}{406,57} = 199,5 \text{ MPa} \Rightarrow \text{kalená deska nutná}$$



Obr. 66 Střížník na ostřížení rozvinuté délky 1



- Střížník na ostřížení rozvinuté délky 2 (obr. 67):  
 $F_{S5} = L \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = 155,42 \cdot 3 \cdot 138,6 \cdot 1,3 = 84\,010,7 \text{ N}$   
 $\sigma_s = \frac{F_s}{S} = \frac{84\,010,7}{367,85} = 228,4 \text{ MPa} \Rightarrow \text{kalená deska nutná}$



Obr. 67 Střížník na ostřížení rozvinuté délky 2

- Střížník krokovací (obr. 68):  
 $F_{S6} = L \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = 113 \cdot 3 \cdot 138,6 \cdot 1,3 = 61\,243,2 \text{ N}$   
 $\sigma_s = \frac{F_s}{S} = \frac{61\,243,2}{1732,14} = 35,4 \text{ MPa}$



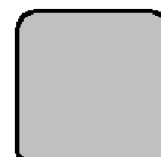
Obr. 68 Střížník krokovací

- Střížník tvarový (obr. 69):  
 $F_{S7} = L \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = 76,25 \cdot 3 \cdot 138,6 \cdot 1,3 = 41\,216,2 \text{ N}$   
 $\sigma_s = \frac{F_s}{S} = \frac{41\,216,2}{1170,37} = 35,2 \text{ MPa}$



Obr. 69 Střížník tvarový

- Střížník čtvercový (obr. 70):  
 $F_{S8} = L \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = 118,1 \cdot 3 \cdot 138,6 \cdot 1,3 = 63\,837,8 \text{ N}$   
 $\sigma_s = \frac{F_s}{S} = \frac{63\,837,8}{2073,7} = 30,8 \text{ MPa}$



Obr. 70 Střížník čtvercový

- Střížník na odstřížení můstku (obr. 71):  
 $F_{S9} = L \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = 38,44 \cdot 3 \cdot 138,6 \cdot 1,3 = 20\,778,4 \text{ N}$   
 $\sigma_s = \frac{F_s}{S} = \frac{20\,778,4}{1654,1} = 12,6 \text{ MPa}$



Obr. 71 Střížník na odstřížení můstku

- Střížník oválný (obr. 72):  
 $F_{S10} = L \cdot s \cdot \tau_s \cdot n = 51,91 \cdot 3 \cdot 138,6 \cdot 1,3 = 28\,059,4 \text{ N}$   
 $\sigma_s = \frac{F_s}{S} = \frac{28\,059,4}{247,03} = 113,6 \text{ MPa}$



Obr. 72 Střížník oválný

Výpočtem bylo zjištěno, že kalená podložka bude muset být použita celkem u 11 střížníků. Kontrolou na otlacení neprošel kulatý střížník  $\varnothing 8 \text{ mm}$ , který se vyskytuje v nástroji celkem sedmkrát. Dále dva střížníky, jež ostříhují rozvinutou délku součásti, a také dva střížníky, které ostříhují můstek mezi dvěma dílci. U zbylých střížníků kalená podložka nebude nutná.

### 5.1.3 Kontrola střížníků na vzpěr [12]

Je nutné určit maximální přípustnou délku střížníku, u které při stříhání nedojde ke ztrátě vzpěrové stability, která se projevuje vybočením střížníku. Ke kontrole bude vystaven střížník s nejmenším průřezem, u kterého je nebezpečí ztráty vzpěrové stability nejvíce pravděpodobné a střížníky s větším průřezem již nebude nutné kontrolovat. Střížník bude veden vodící deskou, podle čehož bude proveden i výpočet dle vztahu (5.12).

$$l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot d \cdot s \cdot \tau_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 69,5 \cdot 10^3 \cdot 201,06}{1,8 \cdot 8 \cdot 3 \cdot 138,6}} = 303,5 \text{ mm} \quad (5.12)$$

$l_{krit}$  – kritická délka střížníku [mm]  
 $E$  – modul pružnosti v tahu [MPa]  
 $I$  – moment setrvačnosti v průřezu [mm<sup>4</sup>]  
 $n$  – koeficient bezpečnosti (1,5÷2) [-]  
 $d$  – průměr střížníku [mm]  
 $s$  – tloušťka materiálu [mm]  
 $\tau_s$  – střížný odpor materiálu [MPa]

Moment setrvačnosti pro plný kruhový průřez je dán vztahem (5.13):

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 8^4}{64} = 201,06 \text{ mm}^4 \quad (5.13)$$

Kritická délka střížníku byla zjištěna 303,5 mm. Z toho vyplývá, že pokud délka střížníku nepřekročí tuto hodnotu, není třeba mít obavy, že by došlo k jeho prohnutí, čímž by byla narušena přesnost výroby, ani k jeho zlomení.

#### 5.1.4 Výpočet výšky střížnice [13]

Účelem výpočtu je zjistit minimální bezpečnou výšku střížnice a zabránit tak její deformaci nebo zlomení. Pro hrubý návrh minimální výšky lze použít vztah (5.14).

$$H = \sqrt[3]{0,1 \cdot F_s} = \sqrt[3]{0,1 \cdot 647\,523,7} = 40,2 \text{ mm} \quad (5.14)$$

*Výška střížnice H byla zvolena 45 mm.*

## 5.2 Výpočty pro technologii ohýbání

Ve čtvrtém kroku v nástroji dochází k ohnutí součásti do tvaru U. K docílení technologicky správného ohybu bez vad, v podobě následného odpružení či popraskání, je nezbytné provést patřičné kontrolní výpočty.

### 5.2.1 Výpočet odpružení, síly přidržovače, ohýbací síly, práce a vůle

- Odpružení při ohybu:

K výpočtu velikosti odpružení byly použity vztahy (3.17), (3.18), (3.19) z kapitoly 3.1.3.

$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l_m}{k_o \cdot s} \cdot \frac{\sigma_k}{E} = 0,375 \cdot \frac{12,6}{0,98 \cdot 3} \cdot \frac{120}{69,5 \cdot 10^3} = 4,8 \cdot 10^{-3} \rightarrow \beta = 0,275^\circ$$

*součinitel  $k = 0,98$  byl určen z tabulky, viz příloha 3*

$$l_m = r_m + r_p + 1,2 \cdot s = 6 + 3 + 1,2 \cdot 3 = 12,6 \text{ mm}$$

$$r_m = (2 \div 6) \cdot s = 2 \cdot 3 = 6 \text{ mm}$$

- Ohýbací síla:

K výpočtu ohýbací síly je použit vztah (3.24) z kap. 3.1.5.

$$F_U = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot b \cdot s^2}{l_m} = \frac{0,4 \cdot 180 \cdot 151 \cdot 3^2}{12,6} = 4530 \text{ N}$$

- Síla přidržovače:

K výpočtu síly přidržovače je použit vztah (3.25) z kap. 3.1.5.

$$F_p = (0,25 \div 0,30) \cdot F_U = 0,25 \cdot 4530 = 1132,5 \text{ N}$$

- Celková ohýbací síla včetně kalibrace:

K výpočtu je použit vztah (3.26) z kap. 3.1.5.

$$F_{CU} = 3 \cdot (F_U + F_p) = 3 \cdot (4530 + 1132,5) = 16\,987,5 \text{ N}$$

- Ohýbací práce:

K výpočtu ohýbací práce je použit vztah (3.27) z kap. 3.1.6.

$$A_U = m \cdot (F_U + F_p) \cdot h_u = 0,66 \cdot (4530 + 1132,5) \cdot 87,2 = 325\,888,2 \text{ J}$$

$$h_u = l_u + r_p + r_m + s = 66,2 + 3 + 15 + 3 = 87,2 \text{ mm}$$

- Vůle mezi činnými částmi nástroje:

K výpočtu vůle je použit vztah (3.29) z kap. 3.1.7.

$$v = (s \div s_{\max}) + c_t \cdot s = 3 + 0,08 \cdot 3 = 3,24 \text{ mm}$$

*koeficient  $c_t=0,08$  byl určen z tab. 13, viz kap. 3.1.7*

### 5.2.2 Výpočet minimálního a maximálního poloměru ohybu

- Minimální poloměr ohybu:

K výpočtu minimálního poloměru ohybu je použit vztah (3.20) z kap. 3.1.4.

$$R_{1\min} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_{\max}} - 1 \right) = c \cdot s = 0,35 \cdot 3 = 1,05 \text{ mm}$$

*součinitel  $c=0,35$  byl určen z tab. 12, viz kap. 3.1.4*

- Maximální poloměr ohybu:

K výpočtu maximálního poloměru ohybu je použit vztah (3.21) z kap. 3.1.4.

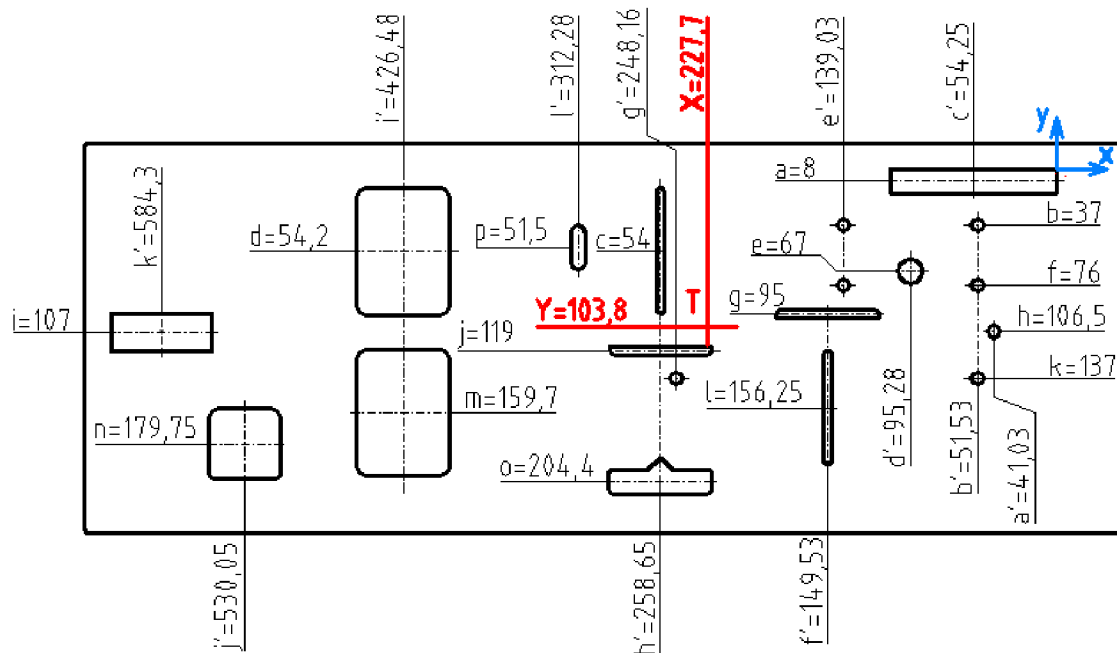
$$R_{1\max} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{E}{\sigma_k} - 1 \right) = \frac{3}{2} \cdot \left( \frac{69,5 \cdot 10^3}{120} - 1 \right) = 867,25 \text{ mm}$$

*hodnoty  $E$  a  $\sigma_k$  byly vzaty z tab. 3, viz kap. 1.1*

### 5.3 Umístění stopky [12]

K zajištění správné funkce nástroje musí být poloha stopky umístěna do působíště výslednice sřížných a ohýbacích sil. Při nevhodném umístění stopky by stroj nebyl správně vyvážen a na beranu lisu by vznikl klopný moment. Ten zatěžuje vedení beranu, čímž by se snížila přesnost výroby.

Počátečním bodem, od kterého se kótují těžiště jednotlivých sřížníků a ohybníků, je hrana prvního odstříhovacího sřížníku, viz obr. 73. Potřebné údaje o poloze a síle jednotlivých sřížníků a ohybníků jsou uvedeny v tab. 16. Výpočet umístění polohy stopky je proveden dle vztahů (5.15) a (5.16). Těžiště u tvarově složitých sřížníků bylo určeno pomocí programu SolidWorks.



Obr. 73 Určení polohy stopky

Tab. 16 Souřadnice a velikosti sil jednotlivých střížníků a ohybníků

	x [mm]	y [mm]	F [N]
<b>Střížník ø8</b>	41,03	106,5	13585,3
	51,53	37	
	51,53	76	
	51,53	137	
	139,03	37	
	139,03	76	
	248,16	137	
<b>Střížník ø16</b>	95,28	67	27170,5
<b>Střížník na ostřížení můstku</b>	149,53	95	76632,4
	258,65	119	
<b>Střížník na ostřížení rozv. délky 1</b>	258,65	54	81102,6
<b>Střížník na ostřížení rozv. délky 2</b>	149,53	156,25	84010,7
<b>Střížník krokovací</b>	54,25	8	61243,2
<b>Střížník tvarový</b>	258,65	204,4	41216,2
<b>Střížník čtvercový</b>	530,05	179,75	63837,8
<b>Střížník na odstřížení můstku</b>	584,3	107	20778,4
<b>Střížník oválný</b>	312,28	51,5	28029,4
<b>Ohybník</b>	426,48	54,2	8493,75
	426,48	159,7	

$$\begin{aligned}
 \sum F \cdot x &= F_{S1} \cdot a' + 3 \cdot F_{S1} \cdot b' + F_{S6} \cdot c' + F_{S2} \cdot d' + 2 \cdot F_{S1} \cdot e' + (F_{S3} + F_{S5}) \cdot f' + F_{S1} \cdot g' + (F_{S3} + F_{S4} + F_{S7}) \cdot h' + \\
 &+ F_{CU} \cdot i' + F_{S8} \cdot j' + F_{S9} \cdot k' + F_{S10} \cdot l' = 13585,3 \cdot 41,03 + 3 \cdot 13585,3 \cdot 51,53 + 61243,2 \cdot 54,25 + \\
 &+ 27170,5 \cdot 95,28 + 2 \cdot 13585,3 \cdot 139,03 + (76632,4 + 84010,7) \cdot 149,53 + 13585,3 \cdot 248,16 + \\
 &+ (76632,4 + 81102,6 + 41216,2) \cdot 258,65 + 16987,5 \cdot 426,48 + 63837,8 \cdot 530,05 + \\
 &+ 20778,4 \cdot 584,3 + 28059,4 \cdot 312,28 = 153182616 \text{ N} \cdot \text{mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum F \cdot y = & F_{S6} \cdot a + 2 \cdot F_{S1} \cdot b + F_{S4} \cdot c + \frac{F_{CU}}{2} \cdot d + F_{S2} \cdot e + 2 \cdot F_{S1} \cdot f + F_{S3} \cdot g + F_{S1} \cdot h + F_{S9} \cdot i + \\ & + F_{S3} \cdot j + 2 \cdot F_{S1} \cdot k + F_{S5} \cdot l + \frac{F_{CU}}{2} \cdot m + F_{S8} \cdot n + F_{S7} \cdot o + F_{S10} \cdot p = 61243,2 \cdot 8 + 2 \cdot 13585,3 \cdot 37 + \\ & + 81102,6 \cdot 54 + 8493,75 \cdot 54,2 + 27170,5 \cdot 67 + 2 \cdot 13585,3 \cdot 76 + 76632,4 \cdot 95 + 13585,3 \cdot 106,5 + \\ & + 20778,4 \cdot 107 + 76632,4 \cdot 119 + 2 \cdot 13585,3 \cdot 137 + 84010,7 \cdot 156,25 + 8493,75 \cdot 159,7 + \\ & + 63837,8 \cdot 179,75 + 41216,2 \cdot 204,4 + 28059,4 \cdot 51,5 = 69\,839\,996,3 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum F = & 7 \cdot F_{S1} + F_{S2} + 2 \cdot F_{S3} + F_{S4} + F_{S5} + F_{S6} + F_{S7} + F_{S8} + F_{S9} + F_{S10} + F_{CU} = 7 \cdot 13585,3 + 27170,5 + \\ & + 2 \cdot 76632,4 + 81102,6 + 84010,7 + 61243,2 + 41216,2 + 63837,8 + 20778,4 + 28059,4 + \\ & + 16987,5 = 672\,768,2 \text{ N} \end{aligned}$$

$$X = \frac{\sum F \cdot x}{\sum F} = \frac{153182616}{672768,2} = 227,7 \text{ mm} \quad (5.15)$$

$$Y = \frac{\sum F \cdot y}{\sum F} = \frac{69839996,3}{672768,2} = 103,8 \text{ mm} \quad (5.16)$$

Poloha těžiště celkové síly má souřadnice:  $T = [X ; Y] = [227,7 ; 103,8]$

## 5.4 Výrobní tolerance funkčních částí nástroje

Výrobní tolerance nástroje úzce souvisí s tolerancemi, které jsou kladené na vyráběnou součást. V případě této součásti nejsou požadavky na přesnost výroby ani drsnost střížné plochy nijak zvlášť specifikovány, a to jak v případě vystřižených otvorů, tak v případě vnějšího tvaru dílce. Z toho plyne, že na přesnost nástroje nebudou kladeny příliš vysoké nároky.

Součást se bude vyrábět v nástroji s vodicími stojánky a se zařízením k přidržení polotovaru při stříhání, tudíž je možné dosáhnout přesnosti IT 11. Této hodnotě náleží třída přesnosti funkčních částí nástroje IT 7, viz tab. 6 v kap. 2.1.7. Zvolená přesnost IT 7 odpovídá velikosti vypočtené střížné vůle 0,17 mm, jak je uvedeno v tabulce v příloze 5. Jelikož při stříhání dochází pouze k odstříhování odpadu, rozměr střížníku bude brán jako jmenovitý a rozměr střížnice bude zvětšen o střížnou vůli.

Podobně se budou vyrábět ohybník a ohybnice. Tvar těchto funkčních částí bude odpovídat geometrii vyráběné součásti. U ohybníku bude provedena korekce o úhel odpružení a zespod bude mírně podbroušen, aby došlo ke zpevnění materiálu v rozích, viz obr. 33c v kap. 3.1.3. Rozměr ohybnice poté bude zvětšen o příslušnou vůli.

Otvory pro montážní a středící prvky budou vyráběny v patřičných tolerancích tak, aby byly vůči sobě správně ustaveny a nenastaly komplikace při sestavování jednotlivých částí nástroje.

## 6 NÁVRH TVÁŘECÍHO STROJE [46]

Nejdůležitějším faktorem k určení výrobního stroje je nutná znalost celkové tvářecí síly, kterou stroj bude muset vyprodukovat k provedení požadovaných tvářecích operací. Celková tvářecí síla je dána součtem celkové střížné síly a celkové síly ohýbací. Další důležité parametry, na které je nutné brát ohled, jsou rozměry pracovního prostoru stroje, tj. rozměry stolní desky lisu, propadového otvoru a hodnota sevření lisu.

Celková střížná síla:	731 701,7 N
Celková ohýbací síla včetně kalibrace:	16 987,5 N
<b>Celková lisovací síla:</b>	<b>748 689,2 N</b>

Dle zatěžující lisovací síly 748,7 kN a velikosti propadového otvoru ve stolní desce lisu byl zvolen výstředníkový lis **ŠMERAL LE 250/40** (obr. 74). Lisy s nižší tonáží mají malé propadové otvory ve stolní desce lisu, které jsou vzhledem k velikosti vyráběné součásti a rozměrům nástroje nedostačující. Technické údaje stroje jsou uvedeny v tab. 17.

Lisy řady LE jsou výkonné stroje určené pro sériovou výrobu. Běžně se využívají pro stříhání, ostříhování a ohýbání nejrozličnějších druhů kovů za studena i za tepla.

Tab. 17 Technické data stroje ŠMERAL LE 250/40 [46], [47]

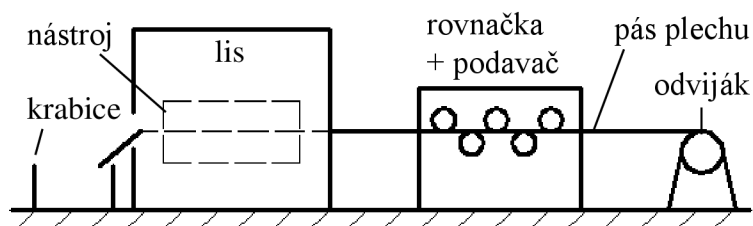
Délka	2550	mm
Šířka	1350	mm
Výška	2915	mm
Celkový příkon	20	kW
Jmenovitá síla	2500	kN
Zdvih měnitelný v rozsahu	30 ÷ 140	mm
Sevření lisu	360	mm
Přestavitelnost beranu dolů	110	mm
Plocha stolní desky	1120 x 800	mm
Počet zdvihů	45	min <sup>-1</sup>
Upínací otvor v beranu	65 H 8	mm
Propad ve stole	560 x 320	mm



Obr. 74 Výstředníkový lis ŠMERAL LE 250/40 [47]

### ➤ Výrobní linka

Na obr. 75 je znázorněno schematické uspořádání výrobní linky. Tato linka je složena z výstředníkového lisu ŠMERAL LE 250/40, v němž je upnut sružený postupový nástroj. Dále výrobní linku tvoří odvíječka, rovnací a podávací zařízení.



Obr. 75 Schéma výrobní linky

- Odvíjecí zařízení – slouží k upnutí a odvíjení svitku plechu pro další operaci, kterou je většinou rovnání a podávání. Pro tuto výrobní linku byl zvolen odvíják AOZ 15 firmy Attl a spol. s.r.o. Technické parametry odvíjecího zařízení jsou uvedeny v příloze 4.
- Podávací rovnáčka – slouží k rovnání pásu plechu a následnému podávání do nástroje upnutého v lisu. Pro tuto výrobní linku byla zvolena podávací rovnáčka RAL 250 firmy Attl a spol. s.r.o. Technické parametry podávací rovnačky jsou uvedeny v příloze 4.

## 7 POPIS A FUNKCE NÁSTROJE

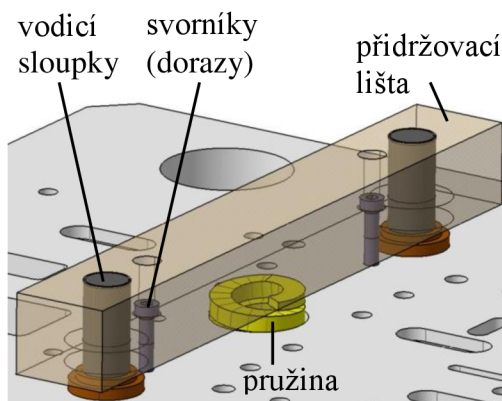
Pro výrobu dané součásti byl zvolen sdružený postupový nástroj, který zhotovuje součástku v šesti krocích. Postupným tvářením v jednotlivých krocích, stříháním, ohýbáním a konečným stříhem dochází ke zhotovení celé součásti.

### ➤ Popis nástroje

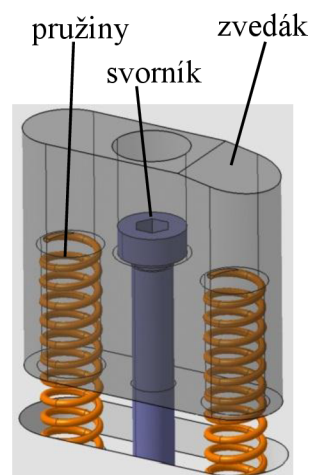
Sdružený nástroj je rozdělen na horní a spodní část. Spodní část nástroje je připevněna na stolní desce lisu, horní část na beran lisu pomocí upínek. Dělicí rovinou je rovina střížnic. Tyto dvě části jsou spolu spojeny čtyřmi vodícími sloupky. Sloupky jsou ukotveny v upínací desce a pohybují se ve vodícím pouzdru, jež je zalisované v základové desce.

Spodní část nástroje je složena ze základové desky, střížnice, ohybnic, přidržovače ohybu a dvou vodících lišt. V základové desce jsou zhotoveny propadové otvory pro odpad stříhaného materiálu. Na této desce je připevněna střížnice, která je dělená kvůli přítomnosti ohybnic a přidržovači. Přidržovač se pohybuje na vodících sloupcích pomocí vinuté pružiny (příloha 5), je středěn za pomoci středících kolíků a zdvih je vymezen dorazy (obr. 76). Z důvodu ohybu materiálu směrem nahoru je pás materiálu vedený po odpružených zvedácích ve vzdálenosti 15 mm nad rovinou střížnice. Zvedáky jsou zvedány dvěma pružinami a zdvih je vymezen svorníkem (obr. 77), podobně jako u přidržovače. Vodící lišty jsou přišroubovány ke střížnici na vstupní části nástroje a vyčnívají ven, kde je ze spodní části připevněn podpěrný plech. Střížnice, vodící lišty a ohybnice jsou spojeny se základovou deskou středícími kolíky a šrouby.

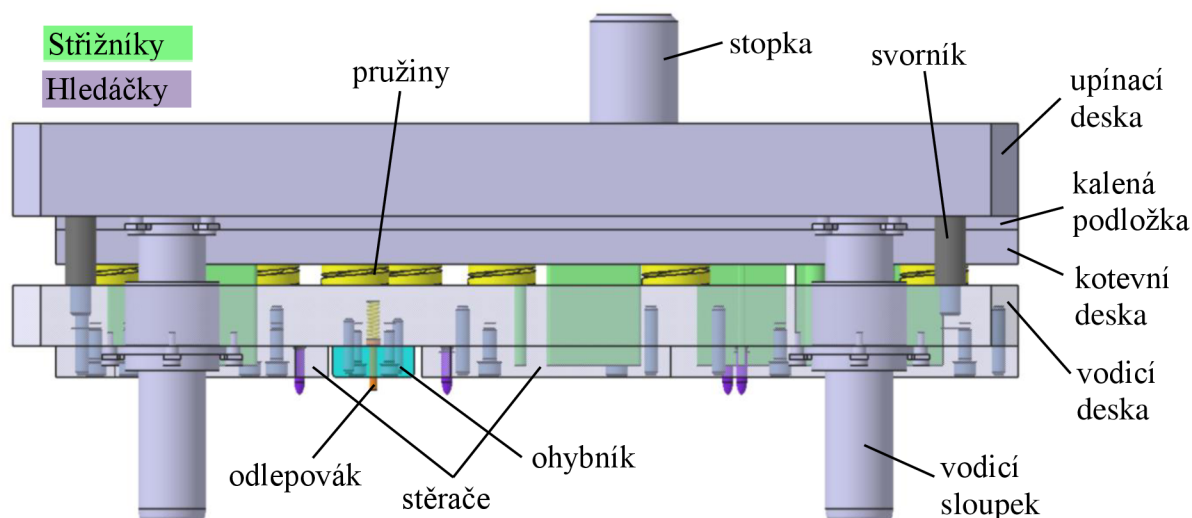
Horní část nástroje (obr. 78) je složena ze stírací desky, ohybníků, střížníků, hledáček, vodící desky, kotevní desky, kalené podložky, upínací desky a stopky. V upínací desce je umístěna stopka, přes kterou se středí celý nástroj do lisu. Upínací deska je spojena středícími kolíky a šrouby s kotevní deskou, ve které jsou ukotveny střížníky. Střížníky jsou v této desce ukotveny pomocí osazení. Jeden tvarový střížník je spojen přes upínací desku šrouby z důvodu pracného zhotovení osazení. Na kotevní desce je umístěna kalená podložka, která zabraňuje otlacení střížníků při stříhu. Pod kotevní deskou je vodící deska, která se pohybuje po vodících sloupcích a je spojena s upínací deskou pomocí svorníků. Na vodící desce je ze spodní strany upnuta stírací deska a ohybníky, jež jsou v jedné rovině. Mezi kotevní a vodící deskou jsou umístěny vinuté pružiny (příloha 5), které stlačí vodící desku spolu se stěračem a ohybníky dolů, což vede k překonání ohýbací síly a vyvození síly stírací. Úkolem stírací desky je přitlačit pás materiálu z úrovně odpružených zvedáků na rovinu střížnice, přičemž zároveň ohybník koná ohyb, viz obr. 79. Dále stírací deska vede střížníky při stříhu a při zpětném pohybu stírá materiál ze střížníků. V této desce jsou také zakotveny hledáčky, které vymezují polohu materiálu vůči nástroji při jednotlivých operacích. Je také opatřena odlehčovacími otvory, do kterých zajíždí v koncové části nástroje již ohnuté bočnice součásti. Ohybníky jsou opatřeny odlepováký z důvodu setření ohnutého materiálu, který po ohybu ulpí na ohybníku.



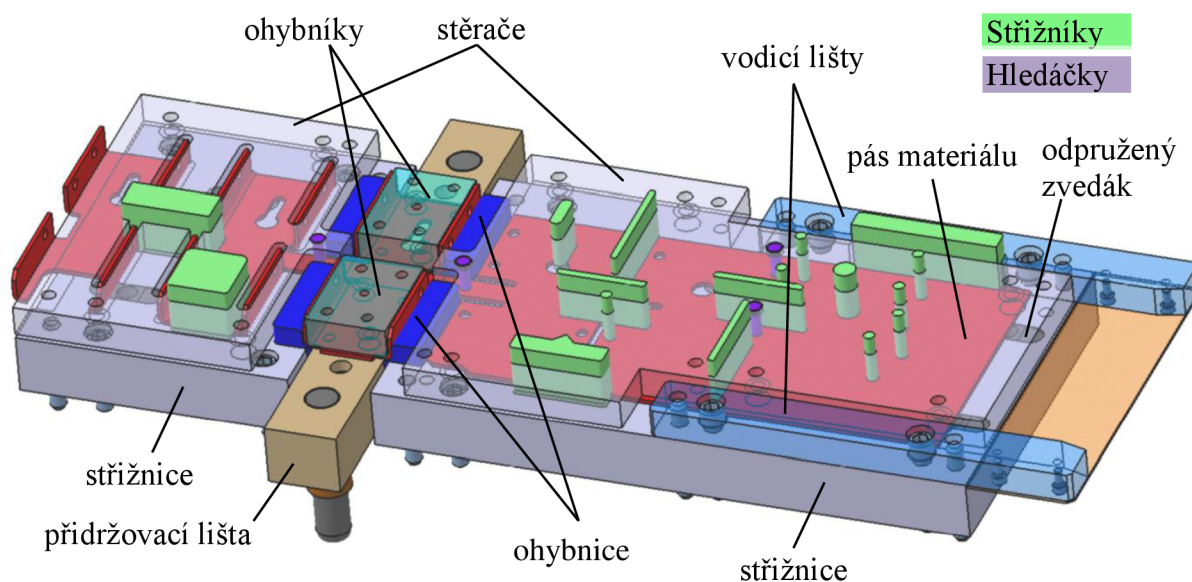
Obr. 76 Přidržovací lišta



Obr. 77 Odpružený zvedák



Obr. 78 Horní část nástroje



Obr. 79 Pás materiálu přitlačený ke střížnici ohybníkem a stěračem

### ➤ Funkce nástroje

Materiál se ze svitku přes rovnací a podávací zařízení nasune mezi vodící lišty na odpružené zvedáky až na počáteční doraz a úroveň krokovacího razníku. Na podavači se nastaví velikost kroku 108,5 mm. Stírací deska společně s ohybníkem stlačí zvedáky, na nichž je umístěn pás materiálu. Při ohybu je materiál zespod přidržován přitlačnou lištou, aby se zabránilo deformaci dna. Po provedení ohybu a dosednutí materiálu na střížnici se vysunou střižníky a uskuteční se stříh. Zároveň dochází ke kalibraci ohybu, neboť kotevní a vodící deska dosednou na sebe. Po odlehčení se materiál vyzvedne zpět na úroveň zvedáků, posune se o krok vpřed a proces se opakuje. V posledním kroku dojde k odstřížení hotové součásti, která skluzem spadne do bedny.

Tato koncepce nástroje byla zvolena jako nejvhodnější jak z hlediska funkčnosti, tak i vzhledem k nezanedbatelnému ekonomickému propočtu celého projektu. Konstruktivní návrh tohoto nástroje byl konzultován s vedoucí diplomové práce a také s odborníky z praxe.



## 8 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Ekonomickým zhodnocením je myšleno zjištění celkových nákladů na zhotovení jedné součásti a zároveň stanovit minimální počet vyrobených kusů, při kterém se výroba stane ziskovou. Součást bude vyráběna v roční sérii 400 000 kusů. Náklady na navržený výstředníkový lis včetně všech doplňkových zařízení (odviják, rovnačka, podavač) zde nejsou zahrnuty, neboť jsou tyto zařízení brána jako součást závodu. Vstupní hodnoty jsou uvedeny v tab. 18.

Tab. 18 Vstupní hodnoty

<b>Jednicové mzdy</b>	$J_M = 100 \%$
<b>Výrobní režie</b>	$V_R = 440 \%$
<b>Správní režie</b>	$S_R = 120 \%$
<b>Ostatní přímé náklady</b>	$OPN = 25 \%$
<b>Výrobní série</b>	$Q = 400\,000 \text{ ks/rok}$
<b>Životnost nástroje</b>	$T_n = 3 \text{ roky}$

Životnost nástroje se odvíjí od počtu pracovních zdvihů, které nástroj vykoná. Běžný sdružený nástroj by měl vydržet cca 1 200 000 zdvihů, což při roční sérii 400 000 kusů odpovídá 3 rokům provozu.

### Tarifní třídy:

TTK6 = 105 Kč/hod – obsluha linky

TTK7 = 140 Kč/hod – nástrojař

### 8.1 Přímé náklady

Přímé náklady jsou takové náklady, jež je možné přiřadit konkrétnímu nákladovému objektu.

#### ➤ Náklady na materiál

Z jednoho svitku plechu vzejde 1620 výstřížků, viz kap. 4.2. Cena materiálu EN AW-3103 ve svitcích byla stanovena firmou AL INVEST Břidličná, a.s. na 75 Kč/kg vč. DPH. Výkupní cena odpadu tohoto materiálu je 23 Kč/kg.

- Celkový počet svitků pro danou roční sérii:

$$n_{sv} = \frac{Q}{n_v} = \frac{400000}{1620} = 246,9 \doteq 247 \text{ ks} \quad (8.11)$$

$n_v$  – počet výstřížků z jednoho svitku plechu [ks]

$Q$  – roční série [ks]

- Hmotnost jednoho svitku:

$$m_{sv} = V_{sv} \cdot \rho_1 = 0,1 \cdot 2730 = 273 \text{ kg} \quad (8.12)$$

$V_{sv}$  – objem jednoho svitku [ $\text{m}^3$ ]

$\rho_1$  – hustota materiálu [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

- Celková hmotnost všech svitků:

$$m_{\text{CSV}} = m_{\text{sv}} \cdot n_{\text{sv}} = 273 \cdot 247 = 67\,431 \text{ kg} \quad (8.13)$$

$m_{\text{sv}}$  – hmotnost jednoho svitku [kg]

$n_{\text{sv}}$  – celkový počet svitků pro danou roční sérii [ks]

- Hmotnost jednoho dílce:

$$m_v = V_v \cdot \rho_1 = 4,3 \cdot 10^{-5} \cdot 2730 = 0,117 \text{ kg} \quad (8.14)$$

$V_v$  – objem jednoho výstřížku [ $\text{m}^3$ ]

$\rho_1$  – hustota materiálu [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

- Celková hmotnost všech výstřížků:

$$m_{\text{cv}} = m_v \cdot Q = 0,117 \cdot 400000 = 46\,800 \text{ kg} \quad (8.15)$$

$m_v$  – hmotnost jednoho výstřížku [kg]

$Q$  – roční série [ks]

- Celková hmotnost odpadu:

$$m_{\text{co}} = m_{\text{CSV}} - m_{\text{cv}} = 67431 - 46800 = 20\,631 \text{ kg} \quad (8.16)$$

$m_{\text{CSV}}$  – celková hmotnost všech svitků [kg]

$m_{\text{cv}}$  – celková hmotnost všech výstřížků [kg]

- Celkové náklady na svitky:

$$N_{\text{CSV}} = m_{\text{CSV}} \cdot C_{\text{sv}} = 67431 \cdot 75 = 5\,057\,325 \text{ Kč} \quad (8.17)$$

$m_{\text{CSV}}$  – celková hmotnost všech svitků [kg]

$C_{\text{sv}}$  – cena materiálu ve svitcích vztaženého na 1 kg [Kč]

- Cena zhodnocení odpadu:

$$z_o = m_{\text{co}} \cdot C_o = 20631 \cdot 23 = 475\,513 \text{ Kč} \quad (8.18)$$

$m_{\text{co}}$  – celková hmotnost odpadu [kg]

$C_o$  – výkupní cena 1 kg materiálu [Kč]

- Celkové náklady na materiál:

$$N_{\text{CM}} = N_{\text{CSV}} - z_o = 5057325 - 475513 = 4\,582\,812 \text{ Kč} \quad (8.19)$$

$N_{\text{CSV}}$  – celkové náklady na svitky [Kč]

$z_o$  – cena zhodnocení odpadu [Kč]

- Materiálové náklady na jednici:

$$N_{\text{Mj}} = \frac{N_{\text{CM}}}{Q} = \frac{4582812}{400000} = 11,5 \text{ Kč} \quad (8.20)$$

$N_{\text{CM}}$  – celkové náklady na materiál [Kč]

$Q$  – roční série [ks]

### ➤ Mzdové náklady

Náklady na mzdy jsou vztaženy na jednoho pracovníka, který bude výrobní linku obsluhovat. Pracovní doba je vymezena na 7,5 hod. Tato doba se skládá z času výroby, kontrolního času a času na údržbu, viz tab. 19.

Tab. 19 Rozdělení pracovní doby

Výrobní čas	$t_v = 6$ hod
Kontrolní čas	$t_k = 1$ hod
Čas na údržbu	$t_u = 0,5$ hod

- Počet výstřížků vyrobených za hodinu:

$$n_{vh} = n_z \cdot 60 = 45 \cdot 60 = 2700 \text{ ks} \quad (8.21)$$

$n_z$  – využitelný počet zdvihů, viz tab. 17 v kap. 6 [ $\text{min}^{-1}$ ]

- Počet výstřížků vyrobených za směnu:

$$n_{vs} = n_{vh} \cdot 6,5 = 2700 \cdot 6,5 = 17\,550 \text{ ks} \quad (8.22)$$

$n_{vh}$  – počet výstřížků vyrobených za hodinu [ks]

- Počet směn potřebných ke zhotovení výrobní série:

$$n_s = \frac{Q}{n_{vs}} = \frac{400000}{17550} = 22,8 \Rightarrow 23 \text{ směn} \quad (8.23)$$

$n_{vs}$  – počet výstřížků vyrobených za směnu [ks]  
 $Q$  – roční série [ks]

- Počet hodin ke zhotovení výrobní série:

$$n_h = (t_v + t_k + t_u) \cdot n_s = (6 + 1 + 0,5) \cdot 23 = 172,5 \doteq 173 \text{ h} \quad (8.24)$$

$n_s$  – počet směn potřebných ke zhotovení výrobní série [směn]

- Přímé náklady na mzdy:

$$N_{pm} = n_h \cdot \text{TTK6} = 173 \cdot 105 = 18\,165 \text{ Kč} \quad (8.25)$$

$n_h$  – počet hodin ke zhotovení série [h]

Další přímé náklady tvoří sociální a zdravotní pojištění, které hradí zaměstnavatel. Výše sociálního pojištění činí 25 % a zdravotního 9 %.

$$N_{pd} = N_{pm} \cdot (0,25 + 0,09) = 18165 \cdot (0,25 + 0,09) = 6\,176,1 \text{ Kč} \quad (8.26)$$

$N_{pd}$  – další přímé náklady [Kč]  
 $N_{pm}$  – přímé náklady na mzdy [Kč]

- Celkové přímé náklady na mzdy:

$$N_{cpm} = N_{pm} + N_{pd} = 18165 + 6176,1 = 24\,341,1 \text{ Kč} \quad (8.27)$$

$N_{pm}$  – přímé náklady na mzdy [Kč]  
 $N_{pd}$  – náklady na sociální a zdravotní pojištění [Kč]

- Mzdové náklady na jednici:

$$N_{mj} = \frac{N_{Cpm}}{Q} = \frac{24341,1}{400000} = 0,061 \text{ Kč} \quad (8.28)$$

$N_{Cpm}$  – celkové přímé náklady [Kč]  
 $Q$  – roční série [ks]

### ➤ Náklady na energii

Náklady na energii se odvíjí od celkového příkonu všech elektrických zařízení, které jsou uvedeny v příloze 4. Cena jedné kWh je uvažována 4,50 Kč.

- Celkový příkon všech strojů:

$$P_C = P_S + P_O + P_{PRZ} = 20 + 5 + 10,2 = 35,2 \text{ kW} \quad (8.29)$$

$P_S$  – příkon výstředníkového lisu ŠMERAL LE 250/40, viz tab. 17 v kap. 6 [kW]

$P_O$  – příkon odvíjáku, viz příloha 4 [kW]

$P_{PRZ}$  – příkon rovnacího a podávacího zařízení, viz příloha 4 [kW]

- Celková spotřebovaná energie:

$$E_C = P_C \cdot n_h = 35,2 \cdot 173 = 6089,6 \text{ kWh} \quad (8.30)$$

$P_C$  – celkový příkon všech strojů [kW]

$n_h$  – počet hodin ke zhotovení série [h]

- Celkové náklady na energii:

$$N_{CE} = E_C \cdot C_{kWh} = 6089,6 \cdot 4,50 = 27\,403,2 \text{ Kč} \quad (8.31)$$

$E_C$  – celková spotřebovaná energie [kWh]

$C_{kWh}$  – cena za 1 kWh [Kč]

## 8.2 Nepřímé náklady

Nepřímými náklady jsou uvažovány takové náklady, jež nelze přiřadit konkrétnímu nákladovému objektu. Mezi ně se řadí náklady na správní a výrobní režii a také náklady na zhotovení nástroje.

### ➤ Náklady na správní režii

$$N_{SR} = S_R \cdot N_{Cpm} = 1,2 \cdot 24341,1 = 29\,209,3 \text{ Kč} \quad (8.32)$$

$S_R$  – správní režie [%]

$N_{Cpm}$  – celkové přímé náklady na mzdy [Kč]

### ➤ Náklady výrobní režii

$$N_{VR} = V_R \cdot N_{Cpm} = 4,4 \cdot 24341,1 = 107\,100,8 \text{ Kč} \quad (8.33)$$

$V_R$  – výrobní režie [%]

$N_{Cpm}$  – celkové přímé náklady na mzdy [Kč]

### ➤ Náklady na výrobu nástroje

Náklady na výrobu nástroje byly stanoveny na základě ceny podobných nástrojů a upraveny vzhledem k jeho rozměrům a složitosti provedení. Předpokládané náklady na výrobu nástroje jsou tedy  $N_N = 450\,000$  Kč.

## 8.3 Celkové náklady

Celkové náklady jsou dány součtem jednotlivých nákladů.

$$N_C = N_{CM} + N_{C_{pm}} + N_{CE} + N_{SR} + N_{VR} + N_N \quad (8.34)$$

$$N_C = 4582812 + 24341,1 + 27403,2 + 29209,3 + 107100,8 + 450000$$

$$N_C = 5\,220\,866,4 \text{ Kč}$$

$N_{CM}$  – celkové náklady na materiál [Kč]

$N_{C_{pm}}$  – celkové přímé náklady na mzdy [Kč]

$N_{CE}$  – celkové náklady na energii [Kč]

$N_{SR}$  – náklady na správní režii [Kč]

$N_{VR}$  – náklady na výrobní režii [Kč]

$N_N$  – náklady na výrobu nástroje [Kč]

- Celkové náklady na jednici při výrobní sérii 400 000 kusů ročně:

$$N_{Cj} = \frac{N_C}{Q} = \frac{5220866,4}{400000} = 13,1 \text{ Kč} \quad (8.35)$$

$N_C$  – celkové náklady [Kč]

$Q$  – roční série [ks]

## 8.4 Cena součásti a celkový zisk

Konečná cena součásti vychází z celkových nákladů na jednici s navýšením o ziskovou přírážku, která představuje 35 %.

- Cena součásti:

$$C_s = 1,3 \cdot N_{Cj} = 1,35 \cdot 13,1 = 17,7 \text{ Kč} \quad (8.36)$$

$N_{Cj}$  – celkové náklady na jednici [Kč]

- Celkové tržby:

$$T_C = 1,3 \cdot N_C = 1,35 \cdot 5220866,4 = 7\,048\,169,64 \text{ Kč} \quad (8.37)$$

$N_C$  – celkové náklady [Kč]

- Celkový zisk:

$$Z_C = T_C - N_C = 7048169,64 - 5220866,4 = 1\,827\,303,24 \text{ Kč} \quad (8.38)$$

$T_C$  – celkové tržby [Kč]

$N_C$  – celkové náklady [Kč]

## 8.5 Bod zvratu [52], [53]

Bodem zvratu se rozumí pojem, který označuje takový objem výroby, při kterém se tržby rovnají nákladům, tzn. zisk je roven nule.

- Fixní náklady:

$$FN = N_{SR} + N_{VR} + N_N = 29209,3 + 107100,8 + 450000 = 586\,310,1 \text{ Kč} \quad (8.39)$$

$N_{SR}$  – náklady na správní režii [Kč]

$N_{VR}$  – náklady na výrobní režii [Kč]

$N_N$  – náklady na nástroj [Kč]

- Variabilní náklady:

$$VN = N_{Mj} + N_{mj} = 11,5 + 0,061 = 11,56 \text{ Kč} \quad (8.40)$$

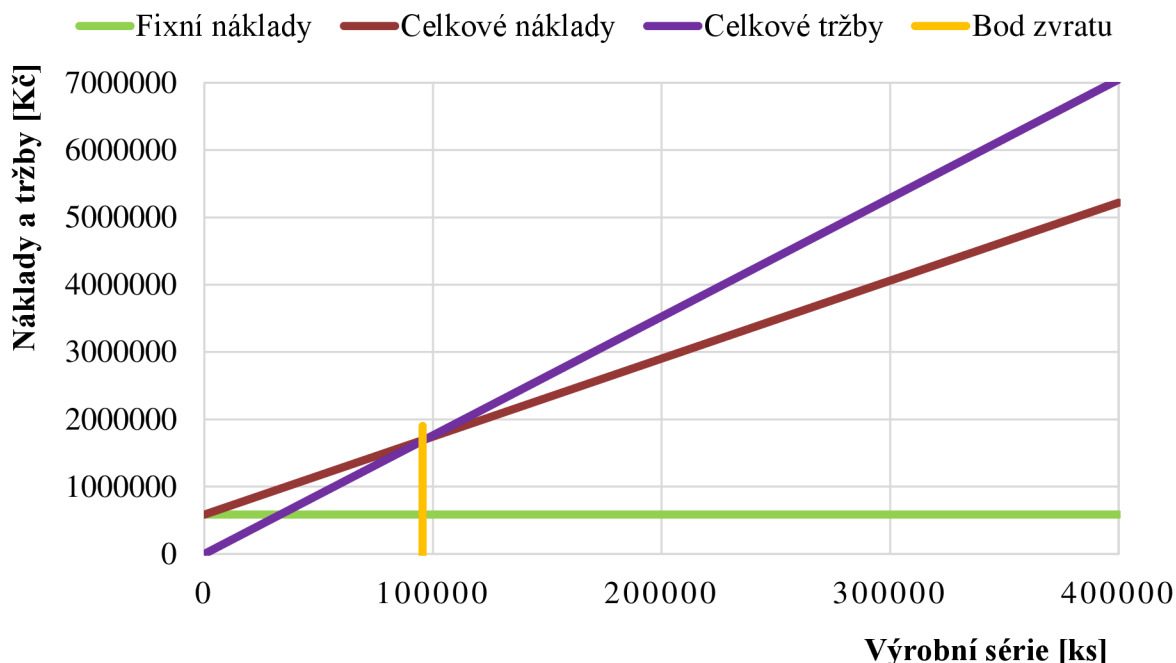
$N_{Mj}$  – materiálové náklady na jednici [Kč]

$N_{mj}$  – mzdové náklady na jednici [Kč]

- Bod zvratu:

$$BZ = \frac{FN}{C_s - VN} = \frac{586310,1}{17,7 - 11,56} = 95\,490 \text{ Ks} \quad (8.41)$$

$C_s$  – cena součásti [Kč]



Obr. 80 Bod zvratu

Na obr. 80 je vyznačen bod zvratu pro výrobu dané součásti sruženým postupovým nástrojem. Dle výpočtu a grafického znázornění se výroba stává ziskovou po zhotovení 95 490 kusů. Roční výrobní dávka činí 400 000 kusů, z čehož plyne, že zvolená technologie výroby je z ekonomického hlediska efektivní a celkový roční zisk pro firmu tedy činí 1 827 303 Kč. Tato částka je však jen orientační, neboť získat přesnou hodnotu by bylo podstatně obtížnější.

## 9 ZÁVĚRY

Náplní diplomové práce bylo navrhnout technologický způsob výroby výztuže dveřního zamykání, jejímž úkolem je bránit vylomení zámku. Polotovarem pro výrobu této součásti je svitek plechu o tloušťce 3 mm z materiálu EN AW-3103.

Z několika možných způsobů výroby byla zvolena metoda pomocí sdruženého postupového nástroje. Tato metoda byla z ekonomického hlediska a možnosti automatizace při roční sérii 400 000 kusů shledána jako nejefektivnější.

V tomto nástroji je součást vyráběna kombinací technologií stříhání a ohýbání. Se zaměřením na tyto technologie byla vypracována literární studie. Při volbě uspořádání výstřížku na pásu plechu se vycházelo z využitelnosti stříhaného materiálu, ale především z uvažované možné délky nástroje. Jako výhodnější byla shledána varianta s příčným uspořádáním, neboť při podélném uspořádání by délka nástroje nabyla cca o 500 mm, čímž by se náklady na výrobu podstatně zvýšily. Následně byla zvolena varianta řešení postupového nástroje, po níž byly provedeny potřebné technologické výpočty pro technologie stříhání a ohýbání. Z rovnováhy momentů tvářecích sil byla určena poloha stopky nástroje, podle které se bude celý nástroj střídit do lisu. Na základě celkové lisovací síly a rozměrů nástroje byl zvolen výstředníkový lis ŠMERAL LE 250/40. Vzhledem k problematickému posouvání pásu v nástroji po ohybu součásti bylo realizováno vedení po odpružených zvedácích po celé délce nástroje.

V ekonomickém zhodnocení byly spočítány celkové náklady na výrobu jedné součásti, které činí 13,1 Kč. S 35% marží pro výrobce byla stanovena cena součásti na 17,7 Kč, což při roční sérii 400 000 kusů představuje čistý zisk ve výši 1 827 303 Kč. Po dosažení 95 490 vyrobených kusů dochází k bodu zvratu, kdy se výroba stává ziskovou.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. 3. dopl. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
2. FOREJT, Milan. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
3. Akademie tváření: Stříhání. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
4. Technologie plošného tváření - stříhání. *Katedra tváření kovů a plastů* [online]. [cit. 2014-01-22]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/06.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm)
5. DVOŘÁK, Milan. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
6. PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do tváření* [online]. 2001 [cit. 2014-01-24]. Dostupné z: [http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod\\_TV2.pdf](http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf)
7. *Technologie plošného tváření - Ohýbání* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2014-01-24]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/07.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm)
8. ROMANOVSKIJ, V. *Příručka pro lisování za studena*. Praha: SNTL, 1959, 537 s.
9. Akademie tváření: Ohýbání. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-ohybani.html>
10. Hašpl. [online]. [cit. 2014-01-26]. Dostupné z: <http://www.haspl.cz/index.php/cs/tesarske-kovani/uhelnik-90-typ-4-prolis.html>
11. GAJDOŠ. *Technologie tváření kovů* [online]. [cit. 2014-01-28]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory\\_soubory/technologie\\_vyroby\\_I\\_\\_tvareni\\_\\_gajdos.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/technologie_vyroby_I__tvareni__gajdos.pdf)
12. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
13. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1980.
14. *Lisování: Určeno [také] stud. na stř. a vys. odb. školách*. Praha, 1971, 542 s.
15. ČSN 22 7340. *Ohýbadla: Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. 1990. vyd.
16. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro maloseriovou výrobu*. vyd. 1. Praha: SNTL, 1983, 213 s
17. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření I*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2008, 105 s. ISBN 978-80-7231-579-6.
18. Střížné nástroje. *FESTOOL* [online]. [cit. 2014-02-17]. Dostupné z: [http://www.vyrobaforem.cz/cs/strizne\\_nastroje.html](http://www.vyrobaforem.cz/cs/strizne_nastroje.html)
19. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1993. ISBN 80-010-1003-1.
20. DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Vyd. 1. Europa-Sobotáles, 2007, 608 s. ISBN 978-80-86706-19-1.



21. Laserové řezání nejvyšší kvality. *Řezání laserem 24* [online]. [cit. 2014-03-01]. Dostupné z: <http://rezanilaserem24.cz/laserove-rezani-nejvyssi-kvality/>
22. ČSN EN 573-3. *Hliník a slitiny hliníku: Chemické složení a druhy tvářených výrobků*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 40 s.
23. Hliníkové slitiny: Hliník AlMn1 - ČSN 424432. *NPS PROAL s.r.o.* [online]. [cit. 2014-03-07]. Dostupné z: <http://www.proal.cz/info/424432.htm>
24. Jak pracuje laserový řezací stroj?. *CHPS s.r.o.* [online]. [cit. 2014-03-08]. Dostupné z: <http://www.chps.cz/rezani-laserem/technologie>
25. Laserové řezání. *LAO - průmyslové systémy s.r.o.* [online]. [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/aplikace-79/laserove-rezani-80>
26. *Alubra s.r.o.* [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: [http://www.alubra.cz/velkoobchod\\_new.html](http://www.alubra.cz/velkoobchod_new.html)
27. Aluminium alloy 3103 H14. *Aalco Metals Limited* [online]. [cit. 2014-03-11]. Dostupné z: [http://http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy\\_3103-H14\\_298.ashx](http://http://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy_3103-H14_298.ashx)
28. Svitky. *AL INVEST Břidličná, a.s.* [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z: <http://www.alinvest.cz/cs/svitky>
29. KAMELANDER, Ivan. *Tvářecí stroje I*. Vyd. 3. Ediční středisko VUT, 1989, 206 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 80-214-1037-X.
30. Hydraulické lisy. *HŠV stroje, a.s.* [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: [http://www.hsvpolicka.cz/hydraulicke-lisy.aspx?utm\\_source=adwords&utm\\_medium=ppc&utm\\_campaign=hydraulicke\\_lisy](http://www.hsvpolicka.cz/hydraulicke-lisy.aspx?utm_source=adwords&utm_medium=ppc&utm_campaign=hydraulicke_lisy)
31. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje* [online]. Brno: VUT v Brně, 2002 [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://drogo.fme.vutbr.cz/opory/pdf/VyrobnniStrojeAZarizeni.pdf>
32. KOPECKÝ, Miroslav a Bedřich RUDOLF. *Tvářecí stroje: Mechanické a hydraulické lisy*. Praha: ČVUT Praha, 1967, 328 s.
33. Svaz strojírenské technologie: Poloautomatické hydraulické lisy. [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.sst.cz/katalog/product/id/449>
34. RK METAL: Zařízení. [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://rkmetal.cz/zarizeni.html>
35. MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení: Část: Tvářecí stroje* [online]. Praha, 2006/2007 [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: [http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor\\_stud/VSZ\\_-\\_2351054/VSZ\\_-\\_Tvareci\\_stroje.pdf](http://www3.fs.cvut.cz/web/fileadmin/documents/12135-VSZ/download/obor_stud/VSZ_-_2351054/VSZ_-_Tvareci_stroje.pdf)
36. Lisy klikové jednobodové LKJA. *ŽĎAS, a.s.* [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.zdas.cz/cs/content.aspx?id=67>
37. Tepelné dělení materiálu kyslíkem. [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/tepelne-deleni-materialu-kyslikem.html>
38. Co je to řezání vodním paprskem?. *Řežeme vodou* [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.rezeme-vodou.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>
39. Obrázkový archiv. *ESAB Vamberk, s.r.o.* [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://www.esab.cz/cz/cz/news/image-archive.cfm>

40. Řezání a dělení materiálu vodním paprskem. *MDV, s.r.o.* [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: [http://www.mdvcz.cz/fotogalerie\\_w3](http://www.mdvcz.cz/fotogalerie_w3)
41. Řezání vodním paprskem. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD\\_vodn%C3%ADm\\_paprskem](http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%98ez%C3%A1n%C3%AD_vodn%C3%ADm_paprskem)
42. Vysekávání plechu. *Doucha, s.r.o.* [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://www.doucha.cz/vysekavani-plechu.html>
43. *HSP Technology, s.r.o.* [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://www.hsptechnology.cz/cs/>
44. *SITEC GmbH* [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://www.sitec.de/de/firmenportraet/>
45. *The Fabricator: A publication of the Fabricators & Manufacturers Association, Intl.* [online]. [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://www.thefabricator.com/article/bending/retrofit-and-ready-for-better-bending>
46. Tvářecí stroje. *KSTROJE* [online]. [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://www.kstroje.cz/cz/106/stroj/lis-vystrednikovy/>
47. *EXAPRO s.a.r.l.* [online]. [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.exapro.com/used-smeral-le-250-press-mechanical-p20220206/>
48. Linky na rovnání pásů ze svitků. *Attl a spol. s.r.o.: Továrna na stroje* [online]. [cit. 2014-04-14]. Dostupné z: [http://www.attl.cz/dokumenty/ostatni\\_produkty-rovnani\\_pasu.pdf](http://www.attl.cz/dokumenty/ostatni_produkty-rovnani_pasu.pdf)
49. Produkty a služby. *VINBRA s.r.o.* [online]. [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://www.vinbra.cz/fr/produkty>
50. Lisování kovů. *Fortell s.r.o.* [online]. [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://www.fortell.cz/lisovani-kovu>
51. Blechpressteile. *Graepel* [online]. [cit. 2014-05-07]. Dostupné z: <http://www.graepel.de/produkte/lochbleche/blechpressteile/>
52. Bod zvratu. *Wikipedie* [online]. [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Bod\\_zvratu](http://cs.wikipedia.org/wiki/Bod_zvratu)
53. Bod zvratu a jeho výpočet. *Webnode* [online]. [cit. 2014-05-09]. Dostupné z: <http://beneslenka.webnode.cz/statnice-2011/okruhy-otazek-k-szz/b-podnikova-ekonomika-a-finance-podniku/a3-vynosove-a-nakladove-souvislosti-tvorby-hospodarskeho-vysledku-podniku-tvorba-a-regulace-cen-naklady-zpusoby-cleneni-nakladu-kalkulace-nakladu-/bod-zvratu-a-jeho-vypocet/>
54. *Special springs*. Eichler company. 31 s.
55. ŠPAČEK, Jindřich a Ladislav ŽÁK. *Speciální technologie I a II: návody do cvičení - část: plošné tváření*. Vyd. 1. Praha: VUT Brno, 1991, 109 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0259-8.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Popis	Jednotka
A	Střížná práce	[J]
A <sub>5</sub>	Tažnost	[%]
A <sub>U</sub>	Ohýbací práce pro ohyb do U	[J]
A <sub>V</sub>	Ohýbací práce pro ohyb do V	[J]
b	Šířka materiálu	[mm]
BZ	Bod zvratu	[ks]
c	Součinitel závislý na druhu stříhání	[-]
c <sub>t</sub>	Součinitel vyjadřující vliv tření mezi součásti a ohybníci	[-]
C <sub>kWh</sub>	Cena za 1 kWh	[Kč]
C <sub>o</sub>	Výkupní cena 1 kg materiálu	[Kč]
C <sub>S</sub>	Cena součásti	[Kč]
C <sub>sv</sub>	Cena materiálu ve svitcích vztaženého na 1 kg	[Kč]
d	Průměr střížníku	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
e	Velikost můstku	[mm]
E <sub>C</sub>	Celková spotřebovaná energie	[kWh]
f	Velikost okraje plechu	[mm]
F <sub>CS</sub>	Celková střížná síla	[N]
F <sub>CU</sub>	Celková síla v	[N]
F <sub>KV</sub>	Síla pro ohyb do V s kalibrací	[N]
FN	Fixní náklady	[Kč]
F <sub>P</sub>	Síla přidržovače	[N]
F <sub>PR</sub>	Protlačovací síla	[N]
F <sub>s</sub>	Střížná síla	[N]
F <sub>Smax</sub>	Maximální střížná síla	[N]
F <sub>ST</sub>	Stírací síla	[N]
F <sub>U</sub>	Síla potřebná k ohybu do U	[N]
F <sub>V</sub>	Síla potřebná k ohybu do V	[N]
H	Výška střížnice	[mm]
h <sub>u</sub>	Pracovní zdvih	[mm]
I	Moment setrvačnosti v průřezu	[mm <sup>4</sup> ]
J <sub>M</sub>	Jednicové mzdy	[%]
k	Krok	[mm]
k <sub>1</sub>	Koeficient stírání	[-]
k <sub>2</sub>	Koeficient protlačování	[-]
k <sub>o</sub>	Součinitel úhlu odpružení	[-]
L	Délka křivky stříhu	[mm]
l <sub>krit</sub>	Kritická délka střížníku	[mm]
l <sub>m</sub>	Vzdálenost mezi opěrami	[mm]
L <sub>sv</sub>	Délka svitku	[mm]
l <sub>v</sub>	Vzdálenost mezi opěrami	[mm]
m	Koeficient zaplnění diagramu	[-]
m <sub>co</sub>	Celková hmotnost odpadu	[kg]
m <sub>Csv</sub>	Celková hmotnost všech svitků	[kg]

$m_{cv}$	Celková hmotnost všech výstřižků	[kg]
$m_{sv}$	Hmotnost jednoho svitku	[kg]
$m_v$	Hmotnost jednoho dílce	[kg]
$n$	Koeficient zahrnující opotřebení nástroje	[-]
$n_b$	Koeficient bezpečnosti	[-]
$N_C$	Celkové náklady	[Kč]
$N_{CE}$	Celkové náklady na energii	[Kč]
$N_{Cj}$	Celkové náklady na jednici	[Kč]
$N_{CM}$	Celkové náklady na materiál	[Kč]
$N_{Cpm}$	Celkové přímé náklady na mzdy	[Kč]
$N_{csv}$	Celkové náklady na svitky	[Kč]
$n_h$	Počet hodin ke zhotovení výrobní série	[h]
$N_{Mj}$	Materiálové náklady na jednici	[Kč]
$N_{mj}$	Mzdové náklady na jednici	[Kč]
$N_N$	Náklady na nástroj	[Kč]
$N_{pd}$	Náklady na sociální a zdravotní pojištění	[Kč]
$N_{PM}$	Přímé náklady na mzdy	[Kč]
$N_{pm}$	Přímé náklady na mzdy	[Kč]
$n_s$	Počet směn potřebných ke zhotovení výrobní série	[směny]
$N_{SR}$	Náklady na správní režii	[Kč]
$n_{sv}$	Celkový počet svitků pro danou roční sérii	[ks]
$n_v$	Počet výstřižků na jeden plech	[ks]
$n_{vh}$	Počet výstřižků vyrobených za hodinu	[ks]
$N_{VR}$	Náklady na výrobní režii	[Kč]
$n_{vs}$	Počet výstřižků vyrobených za směnu	[ks]
$n_z$	Využitelný počet zdvihů	[min <sup>-1</sup> ]
$OPN$	Ostatní přímé náklady	[%]
$p$	Měrný tlak	[MPa]
$P_C$	Celkový příkon všech strojů	[kW]
$P_O$	Příkon odvíjáku	[kW]
$P_{RPZ}$	Příkon rovnacího a podávacího zařízení	[kW]
$P_S$	Příkon výstředníkového lisu ŠMERAL LE 250/40	[kW]
$Q$	Výrobní série	[ks]
$R$	Poloměr ohybu	[mm]
$R_{1max}$	Maximální poloměr ohybu	[mm]
$R_{1min}$	Minimální poloměr ohybu	[mm]
$R_m$	Mez pevnosti	[MPa]
$r_m$	Poloměr zaoblení pevné čelisti	[mm]
$r_p$	Poloměr zaoblení pohyblivé čelisti	[mm]
$R_{p0,2}$	Smluvní mez kluzu	[MPa]
$s$	Tloušťka plechu	[mm]
$S$	Vyrovnávaná plocha	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{max}$	Maximální tloušťka plechu	[mm]
$S_R$	Správní režie	[%]
$S_{sv}$	Plocha svitku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_v$	Plocha výstřižku	[mm <sup>2</sup> ]
$T$	Poloha těžiště	[mm]

$T_C$	Celkové tržby	[Kč]
$t_k$	Kontrolní čas	[h]
$T_n$	Životnost nástroje	[roky]
$t_u$	Čas na údržbu	[h]
$t_v$	Výrobní čas	[h]
$v$	Střížná vůle	[mm]
$V_N$	Variabilní náklady	[Kč]
$V_R$	Výrobní režie	[%]
$V_{sv}$	Objem jednoho svitku	[m <sup>3</sup> ]
$V_v$	Objem jednoho výstřížku	[m <sup>3</sup> ]
$x$	Součinitel posunutí neutrální plochy	[mm]
$X$	Poloha těžiště v ose x	[mm]
$Y$	Poloha těžiště v ose y	[mm]
$z$	Střížná mezera	[mm]
$Z_C$	Celkový zisk	[Kč]
$z_o$	Cena zhodnocení odpadu	[Kč]
$\alpha$	Úhel ohybu	[°]
$\beta$	Úhel odpružení	[°]
$\varepsilon_{\max}$	Poměrná deformace	[mm]
$\eta_{sv}$	Využití svitku plechu	[%]
$\lambda$	Součinitel plnosti	[-]
$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\rho$	Poloměr neutrální plochy	[mm]
$\rho_1$	Hustota materiálu	[kg·m <sup>-3</sup> ]
$\sigma_1$	Tahové napětí	[MPa]
$\sigma_k$	Mez kluzu	[MPa]
$\sigma_s$	Napětí na dosedací plošce střížníku	[MPa]
$\tau_s$	Pevnost ve stříhu	[MPa]
$\varphi$	Úhel ohnutého úseku	[°]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady dílců vyráběných sdruženým postupovým nástrojem.....	10
Obr. 2 Model vyráběné součásti.....	11
Obr. 3 Řezání laserem.....	12
Obr. 4 Řezání vodním paprskem.....	12
Obr. 5 Řezání plazmou.....	12
Obr. 6 Vysekávání.....	13
Obr. 7 a) Dosednutí střížníku, b) Pružná deformace, c) Plastická deformace.....	14
Obr. 8 Ustříhnutí materiálu.....	15
Obr. 9 Ustříhnutí materiálu.....	15
Obr. 10 Pásma na střížné ploše.....	15
Obr. 11 Rozbor stavu napjatosti.....	16
Obr. 12 Schéma přenosu střížné vůle na nástroj.....	16
Obr. 13 Vliv střížné vůle na tvorbu střížné plochy.....	17
Obr. 14 Znázornění velikosti střížné vůle v závislosti na tloušťce stříhaného materiálu.....	17
Obr. 15 Závislost průběhu střížné síly na poloze střížníku.....	18
Obr. 16 Příklady úprav střížníků ke snížení střížné síly.....	19
Obr. 17 Graf průběhu síly v závislosti na dráze při stříhání.....	19
Obr. 18 Stírací a protlačovací síla.....	19
Obr. 19 Rovnoběžníkový tvar výstřížku.....	22
Obr. 20 Stříhání bez odpadu.....	22
Obr. 21 Vzdálenost otvorů od kraje výstřížku a mezi otvory.....	22
Obr. 22 Postupový střížný nástroj.....	23
Obr. 23 Střížníky.....	24
Obr. 24 Příklad ohýbání.....	26
Obr. 25 Deformační charakteristika ohýbané součásti.....	26
Obr. 26 Průběh napětí a deformace při ohýbání.....	27
Obr. 27 Schéma napjatosti a deformace při ohýbání širokých pásů.....	27
Obr. 28 Schéma ohnuté součásti.....	28
Obr. 29 Odpružení při ohýbání do tvaru V a U.....	29
Obr. 30 Diagram stanovení koeficientu odpružení k.....	29
Obr. 31 Schéma odpružení pro ohyb V.....	30
Obr. 32 Schéma odpružení pro ohyb U.....	30
Obr. 33 Konstrukční úpravy snižující úhel odpružení.....	30
Obr. 34 Průběh ohýbací síly včetně kalibrace.....	31
Obr. 35 Prolisy.....	31
Obr. 36 Ohyb do tvaru V.....	32
Obr. 37 Ohyb do tvaru U.....	32
Obr. 38 Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí.....	33
Obr. 39 Vliv směru vláken a) ve směru vláken, b) napříč směru vláken.....	34
Obr. 40 Minimální délka ramene.....	34
Obr. 41 Vzdálenost otvoru od ohybu.....	34
Obr. 42 Zdrsnění ohybníku.....	34

Obr. 43 Užití závěsných kolíků.....	34
Obr. 44 Ohýbací nástroj.....	35
Obr. 45 Funkční části ohýbadel.....	35
Obr. 46 Poloautomatický hydraulický lis.....	36
Obr. 47 Schéma hydraulického lisu.....	36
Obr. 48 Klikový lis.....	37
Obr. 49 Schéma klikového lisu.....	37
Obr. 50 Výstředníkový lis.....	37
Obr. 51 Schéma výstředníkového lisu.....	37
Obr. 52 Rozvinutý tvar součásti.....	38
Obr. 53 Označení rovných částí a oblouků.....	38
Obr. 54 Podélné uspořádání výstřižků.....	39
Obr. 55 Svitek plechu.....	40
Obr. 56 Příčné uspořádání výstřižků.....	41
Obr. 57 Svitek plechu.....	41
Obr. 58 Posuv materiálu v nástroji na odpružených zvedácích.....	42
Obr. 59 Varianta A.....	43
Obr. 60 Varianta B.....	44
Obr. 61 Varianta C.....	44
Obr. 62 Varianta D.....	45
Obr. 63 Střížník $\varnothing 8$ mm.....	48
Obr. 64 Střížník $\varnothing 16$ mm.....	48
Obr. 65 Střížník na ostřížení můstku.....	48
Obr. 66 Střížník na ostřížení rozvinuté délky 1.....	48
Obr. 67 Střížník na ostřížení rozvinuté délky 2.....	49
Obr. 68 Střížník krokovací.....	49
Obr. 69 Střížník tvarový.....	49
Obr. 70 Střížník čtvercový.....	49
Obr. 71 Střížník na odstřížení můstku.....	49
Obr. 72 Střížník oválný.....	49
Obr. 73 Určení polohy stopky.....	52
Obr. 74 Výstředníkový lis ŠMERAL LE 250/40.....	54
Obr. 75 Schéma výrobní linky.....	54
Obr. 76 Přidržovací lišta.....	55
Obr. 77 Odpružený zvedák.....	55
Obr. 78 Horní část nástroje.....	56
Obr. 79 Pás materiálu přitlačený ke střížnici ohybníkem a stěračem.....	56
Obr. 80 Bod zvratu.....	62

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Značení slitiny hliníku Al Mn.....	11
Tab. 2 Chemické složení.....	11
Tab. 3 Mechanické a fyzikální vlastnosti.....	11
Tab. 4 Hodnoty zkosení střížných hran.....	18
Tab. 5 Hodnoty součinitelů stírání a protlačování.....	20
Tab. 6 Závislost přesnosti vystříhovaného výrobku na přesnosti nástroje.....	21
Tab. 7 Nejmenší velikost otvorů.....	22
Tab. 8 Tvary střížných otvorů ve střížnici.....	24
Tab. 9 Nástrojové materiály pro střížné nástroje.....	25
Tab. 10 Závislost součinitele ztenčení na poměrném rádiu ohybu R/s.....	28
Tab. 11 Hodnoty odpružení pro dané materiály.....	29
Tab. 12 Součinitel c.....	31
Tab. 13 Hodnoty koeficientu $c_t$ .....	33
Tab. 14 Rozměry svitku.....	40
Tab. 15 Rozměry svitku.....	41
Tab. 16 Souřadnice a velikosti sil jednotlivých střížníků a ohybníků.....	52
Tab. 17 Technické data stroje ŠMERAL LE 250/40.....	54
Tab. 18 Vstupní hodnoty.....	56
Tab. 19 Rozdělení pracovní doby.....	57



## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Volba můstku a okraje plechu

Příloha 2: Graf ke stanovení součinitele plnosti

Příloha 3: Součinitel K pro výpočet úhlu odpružení

Příloha 4: Technické parametry odvíjáku a podávací rovnačky

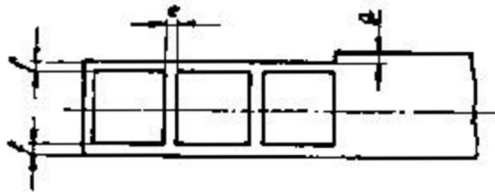
Příloha 5: Technické parametry pružiny G50-064

Výkresová dokumentace

# PŘÍLOHA 1

Volba můstku a okraje plechu: [55]

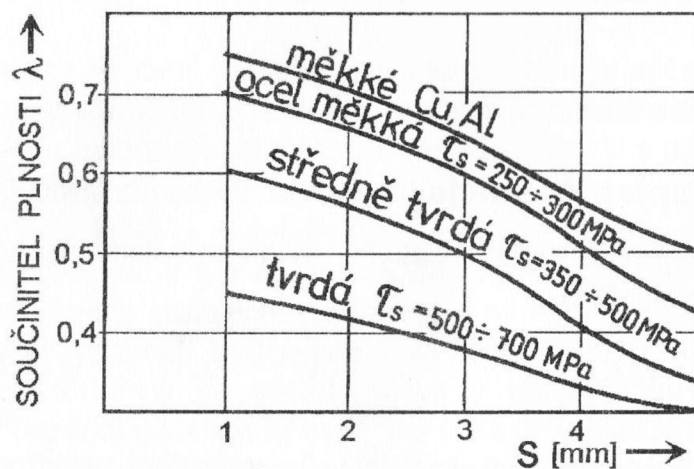
Tab.17



TL. nat.	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

## PŘÍLOHA 2

Graf ke stanovení součinitele plnosti: [2]



Obr.12.5 Graf ke stanovení součinitele plnosti

## PŘÍLOHA 3

Součinitel K pro výpočet úhlu odpružení: [15]

Tab. 3. Součinitel K pro výpočet úhlu pružení a poloměru  $r_p$

Materiál	Součinitel K pro	
	$\frac{r}{t} = 1$	$\frac{r}{t} = 10$
oceli vhodné pro tváření	0,99	0,97
korozivzdorné oceli	0,96	0,92
hliník Al 99,5 měkký	0,99	0,98
polotvrdý	0,98	0,93
hliník Al 99 měkký	0,99	0,98
polotvrdý	0,98	0,92
slitina AlMn měkká	0,99	0,97
polotvrdá	0,98	0,90
slitina AlMg2 měkká	0,985	0,96
polotvrdá	0,98	0,88
slitina AlMg3 měkká	0,985	0,94
polotvrdá	0,98	0,90
mosaz Ms 70, Ms 68	0,975	0,915

## PŘÍLOHA 4

Technické parametry odvíjáku a podávací rovnačky: [48]

### TECHNICKÉ PARAMETRY / TECHNICAL PARAMETERS

#### Řada odvíjáků AOZ / Uncoilers AOZ

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

#### Řada rovnaček ROA / Strip flatteners ROA

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

#### Řada podavačů PAL / Feeders PAL

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

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

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

**Attl a spol. s.r.o.**  
Továrna na stroje

Ke Slatinám 117, 109 00 Praha 10, Czech Republic  
tel +420 272 705 511, fax +420 271 960 414  
e-mail: attl@attl.cz, <http://www.attl.cz>  
IČO: 48110566, DIČ: CZ 48110566

