



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA DRŽÁKU UHLÍKU

PRODUCTION OF THE CARBON HOLDER

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Patrik Kratina**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Ladislav Žák, Ph.D.**

**BRNO 2020**

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Patrik Kratina</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Ladislav Žák, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2019/20

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

## Výroba držáku uhlíku

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem zadání bude zpracovat možnosti výroby držáku uhlíku, navrhnout technologii výroby a vypracovat konstrukční řešení nástroje pro zadanou součást.

### Cíle diplomové práce:

- Zhodnocení technologičnosti výroby součásti.
- Literární studie vhodných technologií.
- Vypracování technologického postupu výroby na základě potřebných výpočtů.
- Konstrukční řešení nástroje.
- Ekonomické vyhodnocení.

### Seznam doporučené literatury:

BOLJANOVIC, Vukota. Sheet Metal Forming Processes and Die Design. U.S. (USA) : Industrial Press Inc., 2005. ISBN 9780831132590.

BIRZER, Franz. Forming and fineblanking : cost-effective manufacture of accurate sheetmetal parts. 1st edition. Landsberg/Lech : Verl. Moderne Industrie, 1997. ISBN 3-478-93161-4.

DILLINGER, Josef, et al. Moderní strojírenství pro školu i praxi. Z něm. orig. Fachkunde Metall přeložil Jiří Handlíř. 55. vyd. Praha : Europa-Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.

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

SUCHÁNEK, Jan a Barbora BRYKSÍ STUNOVÁ. Fundamentals of technology I. V Praze: České vysoké učení technické, 2011. ISBN 978-80-01-04709-5.



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

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

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

## **ABSTRAKT**

**KRATINA Patrik:**

---

Diplomová práce se zabývá návrhem výroby držáku uhlíku z oceli S235JRG1 (ČSN 11 343), o tloušťce 1,5 mm. V zájmu snížení počátečních nákladů na výrobu držáku bylo rozhodnuto pro výrobu ve sdruženém postupovém nástroji, který kombinuje střížné, ohýbací a lemovací operace, za cílem dosažení specifického tvaru součásti. Na základě příslušných výpočtů byl pro výrobu držáku uhlíku zvolen mechanický lis LEN 63 C. Výrobní série byla stanovena na 50 000 kusů.

Klíčová slova: plošné tváření, stříhání, ohýbání, sdružený nástroj, ocel S235JRG1

## **ABSTRACT**

**KRATINA Patrik:**

---

This master's thesis focuses on the concept of manufacturing of carbon brush holder, made of steel S235JRG (ČSN 11 343), with thickness of 1,5 mm. In order to reduce costs, it was decided to manufacture the holder with progressive stamping tool, which combines cutting, bending and edging operations in order to achieve specific part shape. Based on relevant calculations the mechanical press LEN 63 C was chosen. The production series was set at 50 000 pieces.

Keywords: sheet metal forming, cutting, bending, progressive stamping tool, steel S235JRG1

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KRATINA, Patrik. *Výroba držáku uhlíku* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-20]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/121582>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ladislav Žák.

## 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 9. 6. 2020

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

# OBSAH

Zadání  
Abstrakt  
Bibliografická citace  
Čestné prohlášení  
Poděkování  
Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	9
<b>1 ROZBOR SOUČÁSTI</b> .....	10
1.1 Variantní možnosti výroby .....	12
<b>2 TECHNOLOGIE VÝROBY</b> .....	14
2.1 Stříhání .....	14
2.1.1 Princip stříhání .....	14
2.1.2 Technologické zásady při stříhání .....	15
2.1.3 Napjatost a deformace při stříhání .....	17
2.1.4 Střížná plocha .....	18
2.1.5 Střížná vůle .....	19
2.1.6 Střížná práce .....	20
2.1.7 Určení těžiště střížných sil .....	21
2.1.8 Střížné nástroje .....	22
2.2 Ohýbání .....	27
2.2.1 Napjatost a deformace při ohýbání .....	27
2.2.2 Odpružení při ohýbání .....	28
2.2.3 Určení poloměru neutrální osy .....	29
2.2.4 Rozměry výchozího polotovaru .....	31
2.2.5 Ohýbací síla a práce .....	33
2.2.6 Ohýbací nástroje .....	35
2.3 Tažení .....	36
2.4 Tvářecí stroje .....	37
2.5 Povrchová úprava .....	38
<b>3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI</b> .....	40
3.1 Technologické zhodnocení .....	40
3.2 Rozvinutý tvar součásti .....	42
3.3 Návrh nástřihového plánu .....	43
3.4 Volba polotovaru .....	47
3.5 Odpružení .....	49
3.6 Síla a práce .....	50
3.7 Určení těžiště sil .....	52
3.8 Funkční části nástroje .....	54
3.9 Návrh technologického postupu .....	57
3.10 Konstrukce sdruženého nástroje .....	58
3.11 Volba stroje .....	62
<b>4 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ</b> .....	63
<b>5 ZÁVĚRY</b> .....	66

Seznam použitých zdrojů  
Seznam použitých symbolů  
Seznam obrázků a tabulek  
Seznam výkresů a příloh

## ÚVOD [2], [3]

Tváření je technologický proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru a mechanických vlastností výrobku, nebo polotovaru. K tváření dochází z důsledku působení kladných sil (válcování, stříhání, lisování aj.), nebo rázy (kování, nýtování aj.)

Tváření můžeme rozdělit dle teploty, při které proces probíhá, na tváření za tepla (nad rekrystalizační teplotou) a na tváření za studena (pod rekrystalizační teplotou). Dále je možné tváření rozdělit dle převládajícího průběhu deformace na tváření plošné a objemové. Během objemového tváření je k dosažení požadovaného tvaru součásti využívána změna tvaru a průřezu výchozího materiálu. Plošné tváření je používáno především pro zpracování plechů a požadovaného tvaru součásti je dosaženo bez změny průřezu, nebo tloušťky materiálu. Mezi procesy plošného tváření se řadí například proces stříhání, při kterém nedochází k plastickým deformacím, ale k porušení spojitosti materiálu.

Plošné tváření pomocí postupových střížných strojů je v současné době jeden z velmi perspektivních oborů ve strojírenském průmyslu. Výstřížky vyrobené touto metodou nás obklopují v našem každodenním životě, ať už samostatně, nebo jako části ucelených výrobků. Zastoupení kovových výlisků lze najít například v automobilovém průmyslu, kde jsou nedílnou součástí interiérového i exteriérového vybavení automobilů, ale také v průmyslu chemickém, elektrotechnickém, nebo potravinářském.

Výlisky jsou dnes velmi komplexní, což se odráží ve složitosti postupového lisovacího nástroje. Vysoké požadavky jsou kladeny na životnost nástroje, rozměrovou a tvarovou přesnost výlisků, ale také na ekonomickou stránku tvářecího procesu. Jelikož jsou tyto požadavky téměř vždy protichůdné, je nezbytné najít mezi nimi kompromisní řešení. Odpovědnost za tento důležitý úkol nese konstruktér, který na základně svých zkušeností a znalostí musí dojít k požadovanému výsledku.



Obr. 1 Příklady tvářených výrobků [2], [3]

## 1 ROZBOR SOUČÁSTI [1], [4], [5], [9], [6], [10]

Na hranici mezi lopatkami kovové turbíny a přehřátou párou je díky tření mezi těmito médii tvořen statický náboj. Pokud je hřídel, např. olejovým filmem uvnitř ložisek, izolována proti nulovému potenciálu, nemůže dojít k okamžité neutralizaci těchto nábojů. Náboje jsou distribuovány z hřídele do generátoru, kde může dojít k poruše a mohou být vážně poškozena ložiska.

Navzdory konstruktivním opatřením nelze absolutně zabránit napětí v hřídeli. Kromě izolace hřídele mezi generátorem a budičem je nutné zajistit také uzemnění hřídele mezi turbínou a generátorem. K tomuto účelu slouží uhlíkové zemnicí kartáče.

Uhlíkové kartáče pro uzemnění hřídele se používají:

- v turbogenerátorech,
- u samostatných střídavých a stejnosměrných motorů a jako speciální aplikace,
- na lodích.

Napětí hřídele může být způsobeno:

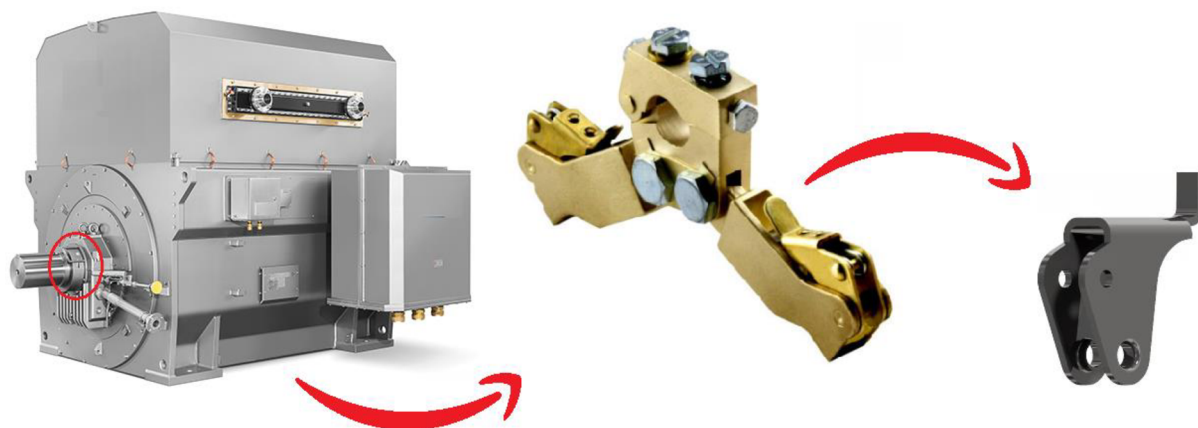
- asymetrií v magnetickém obvodu točivých elektrických strojů,
- vytvářením statických nábojů v hřídeli,
- kapacitním propojením napětí ve statických budících systémech.

Pokud proud prochází ložisky elektrického stroje, může se při malém kontaktu vyskytnout vysoká proudová hustota v určitých bodech v ložisku, což může vést k lokálnímu roztavení kovových povrchů. Důsledkem je vytváření malých kráterů a zubů, které zvyšují tření uvnitř ložiska. Zvýšení teploty a horší mazání vede k poškození ložiska.

Běžným protiopatřením je elektrická izolace alespoň jednoho ložiska. To je ovšem drahé a v některých případech nestačující řešení. Potom je velmi vhodné zvážit použití uzemňovacích kartáčů.

### Zvolená součást

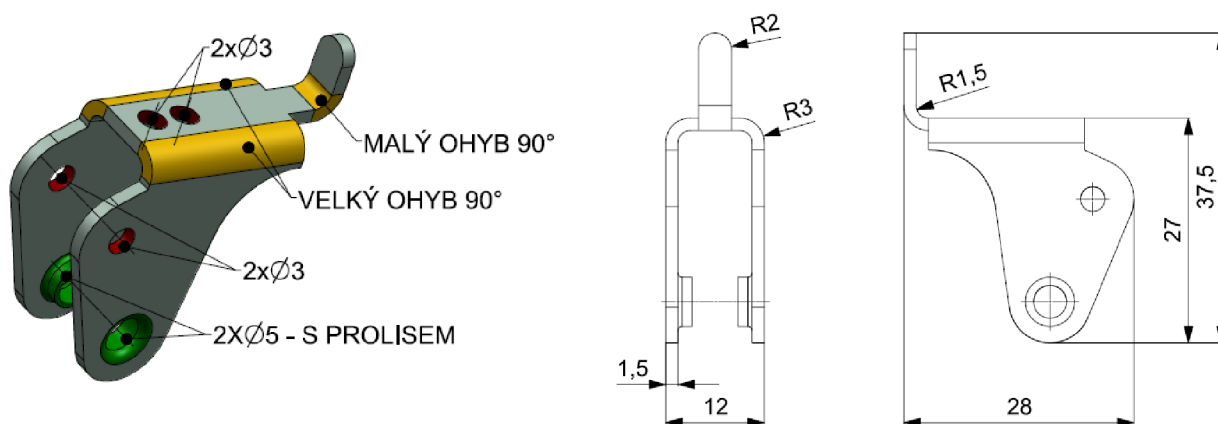
Zvolenou součástí je upevňovací element (držák) uhlíkového zemnicího kartáče, který je umístěn na kluzném ložisku generátoru, nebo elektromotoru. Během průchodu elektrického proudu ložiskem může docházet k poruše, či havárii ložiskového uzlu.



Obr. 2 Schéma použití držáku uhlíku [1]



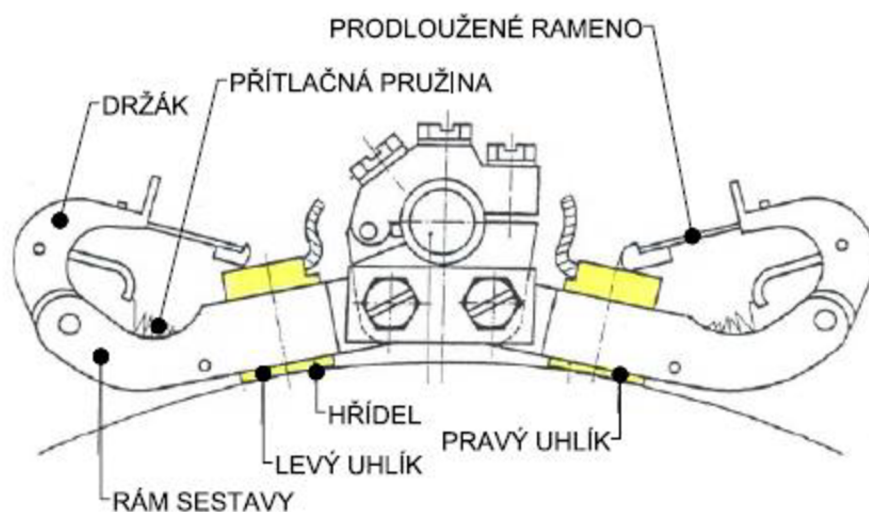
Při návrhu preventivní ochrany ložisek se často používá řešení, kde je jedno ložisko izolováno a druhé přemostěno zemnicím kartáčem, přičemž kartáče musí splňovat mnoho požadavků. Pro spojení bez přerušování elektrického obvodu je třeba zajistit dobré elektrické a mechanické spojení kluzných dvojic kartáč-hřídel (Obr. 4).



Obr. 3 Popis držáku (vlevo), základní rozměry držáku (vpravo)

Během provozu je nezbytné, aby byl zemnicí kartáč neustále v kontaktu s pohybující se hřídelí. K tomu slouží právě držák, který přitlačuje uhlík k hřídeli a zajišťuje tak správnou funkci kartáče. K rámu zemnicího kartáče je držák uchycen nýtem a je přitlačován pružinou, aby se zajistil nepřetržitý kontakt.

Navrhovaný držák bude vyroben z plechu o tloušťce 1,5 mm. Tělo držáku se skládá ze dvou ramen, která budou ohnuta do úhlu 90° (Obr. 3 žlutý ohyb). Na spodní části ramen jsou dva otvory s prolisem (Obr. 3 zelená barva), které slouží k upevnění držáku na konstrukci kartáče přes nýt. Nad těmito otvory se nachází z každé strany jedna díra Ø3 mm. Těmito otvory povede nýt, na němž bude uchycena přitahovací pružina. Na horní části se nachází manipulační výstupek (Obr. 3 malý ohyb – žlutá barva) a dva otvory Ø3 mm, sloužící pro upevnění prodlužovacího elementu, který shora přitlačuje uhlíky k hřídeli.



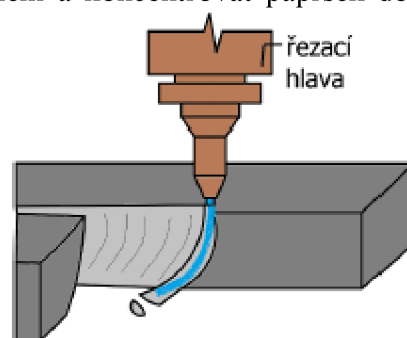
Obr. 4 Schéma sestavy zemnicího kartáče [1]

## 1.1 Variantní možnosti výroby [4], [5], [9]

Pro výrobu zvoleného plechového dílce se nabízí hned několik možností výroby. S ohledem na rozměry a tvarovou složitost dílce lze uvažovat o konvenčních způsobech plošného tváření, jako jsou stříhání, ohýbání aj. Další možností je využití nekonvenčních způsobů tváření, zejména řezání plazmou, laserem, nebo vodním paprskem. Tyto metody je také možné kombinovat. Při volbě vhodné metody výroby je nutné brát v úvahu technologičnost součásti, ale také ekonomické parametry jednotlivých metod. Možné způsoby výroby dílce jsou následující:

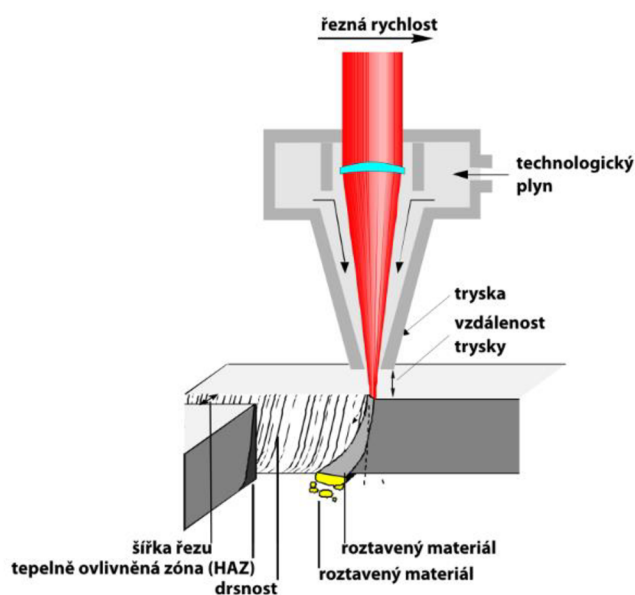
- **Řezání koncentrovaným zdrojem energie a následné ohnutí na ohýbacím nástroji.**

Pro řezání materiálu je možné využít laser, plazmu, nebo vodní paprsek. Řezání vodním paprskem je velmi moderní a ekologická metoda, během níž je vlivem vysokého tlaku vodního paprsku materiál postupně obrušován. Vysokotlaké zařízení umožňuje stlačit vodu až na 400 MPa, smísit vodu s abrazivním materiálem a koncentrovat paprsek do trysky o průměru až 1 mm. Celý proces je řízen počítačem, čímž je zaručena vysoká přesnost a opakovatelnost řezného procesu. Nespornou výhodou této metody je fakt, že nedochází k tepelnému namáhání materiálu a díky tomu nevznikají nežádoucí vnitřní pnutí. Polotovar není během výroby chemicky ovlivněn a výsledný řez je bez mikrotrhlin a ořepů. Velkou nevýhodou je nevyhnutelný kontakt s vodou, který by mohl mít za následek korozi materiálu. Proto je nutné některé materiály před procesem řádně ošetřit a po řezání pečlivě vysušit.



Obr. 5 Řezání vodním paprskem [4]

Řezání laserem (Obr. 6) je v podstatě tepelné dělení materiálu. Principem je využití velmi tenkého světelného paprsku atomů, který je vytvářen pomocí transportních vláken a zrcadel a koncentrován do řezné hlavy. Takto koncentrovaný paprsek způsobí, že se materiál začne tavit a odpařovat a tím vznikne řez. Existují tři typy laserů – pevnolátkové, polovodičové a plynové. Výhodou laseru je jeho schopnost řezat velké tloušťky materiálu, rychlá a přesná výroba. Mezi nevýhody patří značně velká tepelně ovlivněná oblast, nízká kvalita řezu a vysoké náklady na pořízení a údržbu stroje.



Obr. 6 Řezání laserem [5]

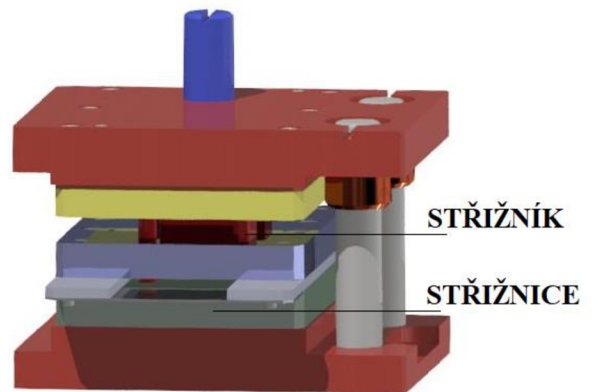
Řezání plazmou využívá elektrický oblouk mezi tryskou a plazmovým hořákem. Z trysky vychází velmi horký, ionizovaný plyn, který je do trysek vháněn z tlakových láhví. Složení plynu se liší dle použití, nejčastěji se však využívá argon, dusík, vodík a jejich směsi. Mezi výhody řezání plazmou patří vysoká řezná rychlost, kvalita povrchu malá tepelně ovlivněná oblast. Celý proces je možné snadno zautomatizovat. Nevýhodou je především vysoká pořizovací cena a riziko škodlivých dýmů a plynů.

- **Využití střížného nástroje a následné ohnutí v nástroji ohýbacím.**

Druhou možností je využití střížného nástroje pro získání rozvinutého tvaru součásti a následné ohnutí na nástroji ohýbacím. Kombinace zmíněných metod je v praxi běžně využívána. Výhodou této metody je oddělený proces stříhání a ohýbání, díky čemuž je snížena potřebná síla na výrobu součásti. Nevýhodou jsou vyšší náklady na výrobu součásti, než například u sdruženého nástroje.

- **Výroba na sdruženém nástroji.**

Sdružený nástroj umožňuje více operací v jednom nástroji (např. stříhání, děrování, ohýbání, lemování, ražení aj.). K oddělení materiálu dochází vlivem pohyblivých střížníků a pevných střížnic. Ohyb je proveden stejným způsobem pomocí ohybníků a ohybnic. V nástroji je taktéž možné provést lemování otvorů díky protahovacímu trnu. Kvůli sjednocení procesů do jednoho nástroje je jeho konstrukční složitost vyšší než u předchozí metody, avšak výhodou je redukce manipulačních operací, což přispívá ke zrychlení výroby.



Obr. 7 Příklad stříhadla [9]

Vyrobít zvolenou součást je teoreticky možné všemi zmíněnými metodami, ale je nutné vzít v úvahu všechny jejich výhody a nevýhody. Zejména je důležité posoudit ekonomickou náročnost celého procesu. Pořizovací náklady pro stroje první metody jsou vysoké a je nutné je kombinovat s ohýbacím nástrojem, což není ekonomicky výhodné. Také hrozí tepelné ovlivnění součásti, což by kvůli malé tloušťce plechu mohlo způsobit nežádoucí ohyby. Nejvýhodnější metodou je výroba na sdruženém nástroji, díky které bude možné vyrobit dílec na jednom nástroji bez rizika tepelného ovlivnění materiálu.

## 2 TECHNOLOGIE VÝROBY

### 2.1 Stříhání [6], [7], [8], [9]

**Stříhání** je technologie řadící se mezi plošné tváření, při němž dochází k porušení materiálu. Materiál se odděluje současně, nebo postupně podél křivky stříhu, která je tvořena relativním pohybem protilehlých břitů.

Stříhání se používá jak na vystříhování součástek z plechu pro konečné užití, tak i pro výrobky podléhající další technologii (ohýbání, tažení, protlačování, atd.). Stříhá se buď na nůžkách, nebo pomocí stříhacích nástrojů – stříhadel.

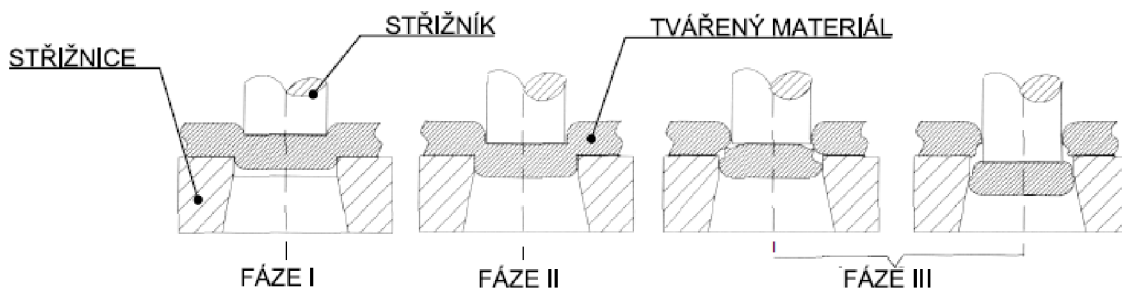
Stříhání můžeme rozdělit podle teploty procesu na stříhání:

- za studena - používá se pro měkké ocele (do pevnosti 400 MPa), nebo plechy,
- za tepla - používá se pro tvrdší materiály při ohřevu na teplotu 700 °C.

#### 2.1.1 Princip stříhání [6], [7], [11]

Proces stříhání začíná dosednutím střížníku na střížný materiál (plech), ležící na střížnici a končí oddělením materiálu. Materiál je během stříhání postupně dělen pohybem aktivní části nástroje tvarem střížníku a střížnice (dvěma noži). Celý proces stříhání lze rozdělit do tří fází:

- **fáze pružné deformace** - fáze počátku střížného procesu, během kterého dosedá střížník na povrch stříhaného materiálu, který je zatížen napětím, které je však menší než napětí na mezi kluzu stříhaného materiálu. Vlivem tohoto zatížení dochází pouze k pružným deformacím. Střížník vniká do stříhaného materiálu. Hloubka vniku závisí především na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu. Obvykle se pohybuje v rozmezí 5 až 7% tloušťky plechu.
- **fáze plastické deformace** - v této fázi překračuje zvyšující se napětí mez kluzu. Střížník proniká do hloubky 10 až 30% materiálu, což vede k prvním plastickým deformacím. Fáze plastické deformace končí dosažením meze pevnosti ve stříhu.
- **fáze oddělení/odstřížení** - dochází zde k překročení meze pevnosti, což vede k rozvíjení trhlin. Postupným zvyšujícím se vnikáním střížníku do materiálu dochází k porušení spojitosti materiálu. Jakmile pronikne střížník celým materiálem, dochází k jeho oddělení. Fáze oddělení má rozhodující vliv na kvalitu povrchu stříhu a je ovlivněna zejména střížnou mezerou a mechanickými vlastnostmi stříhaného materiálu.



Obr. 8 Fáze stříhání [7]

## 2.1.2 Technologické zásady při stříhání [8], [9]

Při výrobě výstřížků je velmi vhodné řídit se určitými technologickými zásadami, které zajistí plynulou výrobu, funkčnost a správné vyrobení součástí. Výstřížek má být takový, aby svým konstrukčním řešením, tvarem i rozměry splňoval funkčnost a zároveň, aby jej bylo možné vyrobit při co možná nejnižších výrobních nákladech.

Technologické zásady při stříhání jsou následovné:

- tvar výstřížku zvolit takový, aby odpovídal nejvhodnějšímu ekonomickému rozmístění na stříhaný plech,
- vyhýbat se ostrým rohům ve vnitřních prostorech,
- na funkční plochy předepisovat vhodné tolerance a drsnosti povrchu,
- v případě nefunkčních ploch nepředepisovat drsnost a kolmost k rovině plechu,
- dodržovat minimální velikost stříhaných otvorů. (Tab. 1.1),
- snažit se o sražení, nebo zaoblení rohů,
- upřednostnit otvory kruhového otvoru,
- spojitě tvary výstřížků jsou úspornější, než rozvětvené tvary,
- volit materiál vhodný pro stříhání s mezí pevnosti do 1200 MPa.

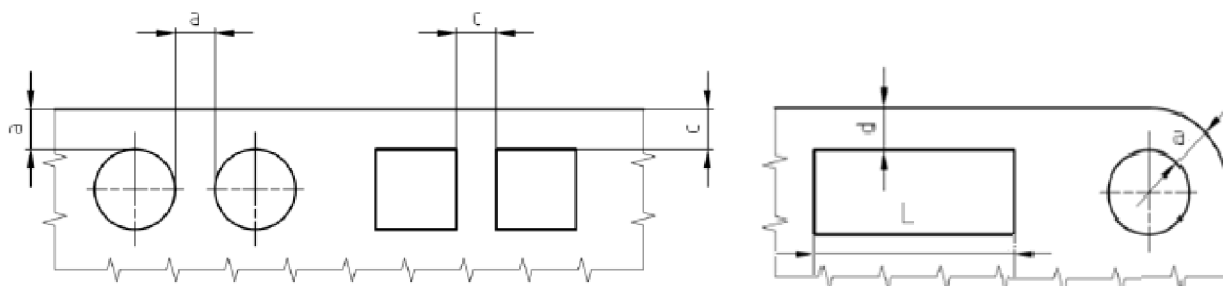
Tab. 1.1 Nejmenší doporučené velikosti otvorů [9]

Materiál	Obvyklé děrování		Děrování s vedeným střížníkem a přidržovačem	
	Průměr kruhového otvoru [mm]	Šířka obdélníkového otvoru [mm]	Průměr kruhového otvoru [mm]	Šířka obdélníkového otvoru [mm]
hliník	0,8·t	0,6·t	0,3·t	0,5·t
měkká ocel	1·t	0,8·t	0,35·t	0,3·t
mosaz	1·t	0,8·t	0,35·t	0,3·t
tvrdá ocel	1,5·t	1,2·t	0,5·t	0,4·t

V praxi však není vždy možné všechny doporučené zásady dodržet. Úkolem technologa je správně navrhnout tvar, rozměry a technologii výroby výstřížku tak, aby i navzdory tomuto omezení byla dodržena funkčnost výrobku.

### Technologická vzdálenost stříhaných otvorů:

Pro správné vystříhnutí výstřížku je nutné dodržet následující podmínky pro vzdálenosti stříhaných obrysů:



Obr. 9 Vzdálenost mezi stříhanými obrysy [8]

Tab. 1.2 Doporučené vzdálenosti otvorů od okraje výstřížku [9]

Tloušťka plechu [mm]	Rozměr a [mm]	Rozměr c [mm]	Rozměr d [mm]			
			Pro šířku otvoru L [mm]			
			5 až 50	50 až 100	100 až 200	nad 200
do 1	1	2,3	3	8	13	20
1 až 1,6	2,4	3,5	4,5	8	13	20
1,6 až 2	3	4	6	10	14	25
2 až 2,5	3,7	4,5	7	10	16	25

### Materiál

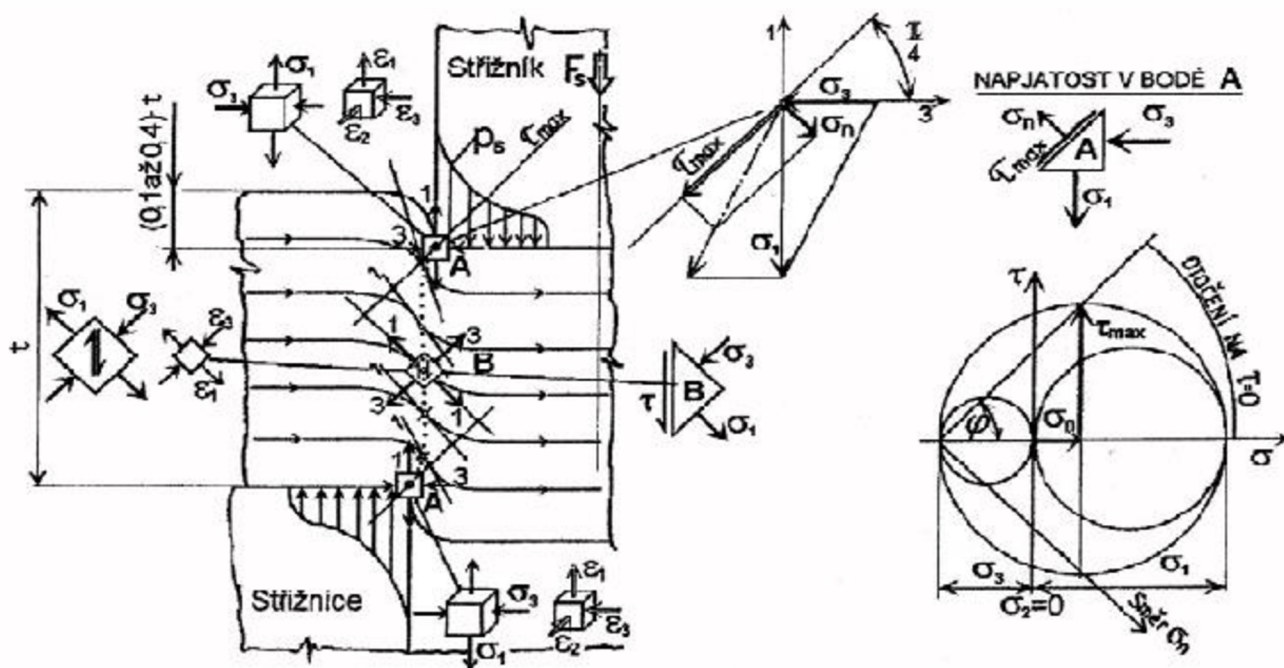
Volba materiálu je velmi důležitá. Materiál by měl vyhovět cenové stránce, ale také musí splnit funkci součásti a co možná nejvíce usnadnit a optimalizovat výrobní proces. Logicky platí, že čím je větší výrobní série, tím jsou vyšší náklady na materiál. Ve velkosériové a hromadné výrobě převyšuje účinek technologičnosti materiálu všechny ostatní zdroje úspor.

Hospodárné využití stříhaného materiálu také ovlivňuje tvar výstřížku a jeho uspořádání na pásu. Při stříhání vzniká jak technologický, tak konstrukční odpad. Hospodárné využití materiálu lze zjistit výpočtem součinitele spotřeby materiálu. Ten by měl být vyšší než 70%. Pokud to součinitel nedosahuje zmiňované hodnoty, je vhodné zvážit finální tvar, nebo vzhled konečného výstřížku.



### 2.1.3 Napjatost a deformace při stříhání [11]

Při stříhání vzniká v primární fázi zatlačování střížníku do střížného materiálu pod hranou střížníku nestejnorodá prostorová napjatost (oblast „A“). Působí zde tahové napětí  $\sigma_1$  a tlakové napětí  $\sigma_3$ . Napětí  $\sigma_1$  dosahuje hodnoty meze pevnosti materiálu ve stříhu  $\tau_s = 0,77 \cdot R_m$ . Tlakové napětí  $\sigma_3$  je dle praktických tlakových zkoušek přibližně rovno polovině hlavního tahového napětí  $\sigma_1$ . V tomto bodě je deformace nestejnorodá prostorová. Při volném stříhání plechů větších tloušťek je možné uvažovat  $\sigma_2 = 0$ , což by znamenalo rovinný stav napjatosti. Deviátor napětí a napětí  $\sigma_s$  jsou však nenulové, takže v bodě A je prostorový stav deformace. Z vektorového součtu hlavních napětí a z Mohrovy kružnice (Obr. 10) vyplývá, že kolmo na rovinu maximálních smykových napětí  $\tau_{max}$  působí napětí  $\sigma_n$ . Normálná složka tohoto napětí napomáhá šíření trhliny během stříhání. Směrem do stříhaného materiálu se postupně natačí rovina  $\tau_{max}$  a tím se tvoří střížná plocha ve tvaru písmene „S“. Směrem do středu stříhaného materiálu až k bodu B se mění poměr napětí  $\sigma_1$  a  $\sigma_3$ . V bodě B je  $\sigma_1 = |\sigma_3|$  a  $\sigma_2 = 0$ , čímž jsou splněny podmínky prostého smyku.

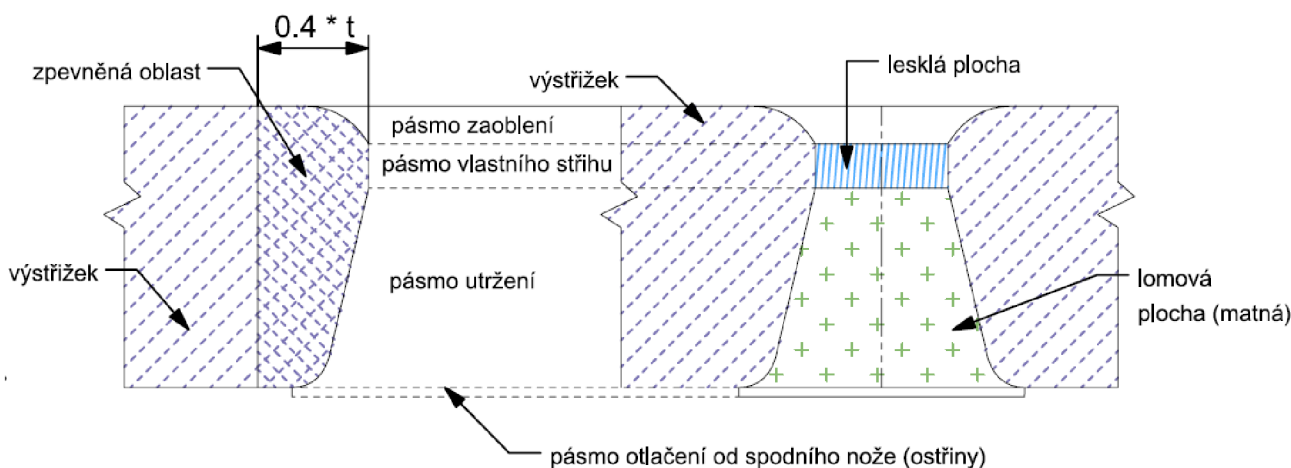


Obr. 10 Schéma napjatosti a přetvoření při běžném uzavřeném stříhání [11]

## 2.1.4 Střížná plocha [8], [9], [16]

Střížná plocha není rovná, ale je zakřivená do tvaru písmena „S“. Tento charakteristický tvar vzniká díky postupnému naklánění roviny maximálních smykových napětí  $\tau_{max}$ . V této rovině jsou podmínky pro vznik stříhu nejvýhodnější. Na střížné ploše můžeme rozlišit čtyři pásma, která vznikají během střížného procesu. První oblast (1) je tvořena elastickým vniknutím nože do stříhaného materiálu a vzniká v první fázi stříhu. Následuje druhé pásmo (2), které je utvořeno plastickými deformacemi v druhé fázi stříhu. Oblast třetí (3) je oblastí lomu. Odpovídá třetí fázi stříhu, je zde dosaženo nejhrubšího povrchu a představuje nejširší oblast střížné plochy. V této oblasti může dojít k tzv. otěru, který nastává při kontaktu mezi nástrojem a stříhaným materiálem. Ve čtvrtém pásmu (4) dochází k odtlačení od spodního nože. Vlivem plastických deformací může v tomto pásmu dojít ke zpevnění materiálu v oblasti střížné plochy a s tím spojenému částečnému vyčerpání plasticity materiálu. To může být nežádoucí, hlavně pokud má být výstřížek následně opracován. Pro odstranění zpevnění je možné použít například žihání.

- 1 - pásmo zaoblení
- 2 - pásmo vlastního stříhu
- 3 - pásmo utržení
- 4 - pásmo otláčení od spodního nože



Obr. 11 Schéma pásem na střížné ploše [16]

Vystříhováním je možné dosáhnout drsnosti povrchu Ra 6,3 až 3,2  $\mu\text{m}$ , děrováním je možné dosáhnout drsnosti Ra 6,3 až 2,5  $\mu\text{m}$ . V tabulce 1.3 jsou zaznamenány dosažitelné přesnosti výstřížků.

Tab. 1.3 Dosažitelné přesnosti výstřížků [9]

způsob stříhání	dosažitelná přesnost
běžné stříhání výstřížků o tloušťce do 4 mm a rozměru cca do 200 mm	IT 14 - IT 12
použití nástrojů se zvýšenou přesností	IT 11 - IT 9
přesné stříhání	IT 8 - IT 6

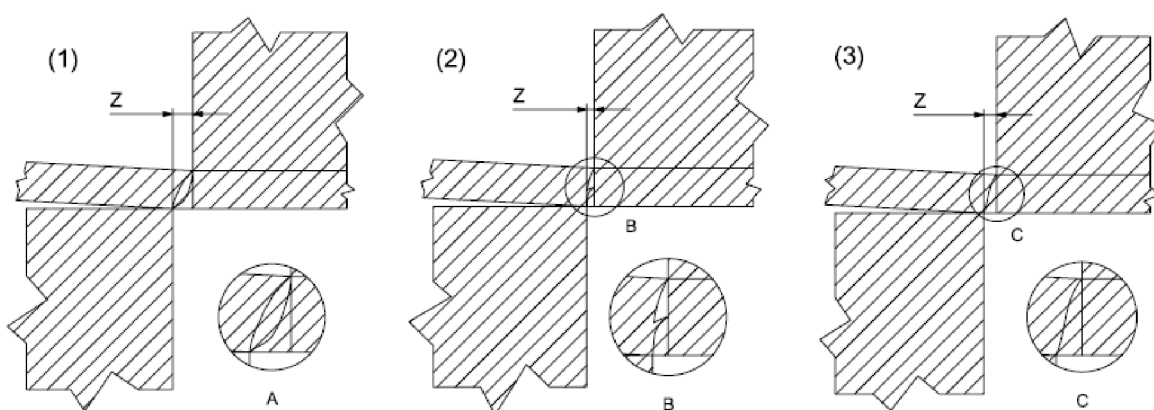


## 2.1.5 Střížná vůle [8], [9], [16], [25]

Střížná vůle je rozdíl mezi pracovní částí střížníku a střížnice. Velikost střížné vůle závisí na tloušťce stříhaného materiálu a jeho pevnosti. Obvykle se velikost střížné vůle pohybuje v rozmezí 4 – 20 % tloušťky stříhaného materiálu, při přesném stříhání až 0,5% tloušťky materiálu. Optimální velikost vůle má za následek příznivé šíření trhlin v oblasti střížné plochy a následné oddělení materiálu. Značný vliv má také na opotřebení nástroje, velikost střížné síly a střížné práce a výslednou kvalitu střížné plochy.

Polovina střížné vůle se označuje jako *střížná mezera* ( $z$ ), která musí být ve všech místech střížné křivky konstantní.

Při správně zvolené střížné vůli se vytvoří dobrá střížná plocha již při malém působení střížné síly (Obr. 12 (3)). V případě zvolení příliš velké vůle je materiál vtahován do střížné mezery, jak zobrazuje obrázek Obr. 12 (1), primární trhliny se napojují na sekundární a vzniká kuželovitý tvar výstřížku. Pokud je střížná mezera příliš malá, trhliny se nepotkají a vznikne otřep (Obr. 12 (2)). Velikost střížné práce může vzrůst až o 40 %.



Obr. 12 Příklady střížných vůlí – velká (1), malá (2), optimální (3) [21]

K určení velikosti střížné vůle lze využít několik způsobů. Nejjednodušším způsobem je určení z tabulky (viz Tab. 1.4). Tato metoda je rychlá a poměrně přesná.

Tab. 1.4 Velikost střížné vůle pro kovové materiály [8]

Tloušťka materiálu [mm]	Mez pevnosti $R_m$ [MPa]					
	do 400		400 - 600		nad 600	
	v [%]	v [mm]	v [%]	v [mm]	v [%]	v [mm]
0,2	3 až 5	0,006-0,010	3 až 5	0,010-0,014	3 až 5	0,014-0,018
0,5		0,015-0,025		0,025-0,035		0,035-0,045
1	4 až 6	0,040-0,060	4 až 6	0,060-0,080	4 až 6	0,080-0,10
1,5		0,060-0,090		0,090-0,120		0,12-0,15
2	5 až 7	0,10-0,140	5 až 7	0,140-0,180	5 až 7	0,180-0,220
2,5		0,125-0,175		0,175-0,225		0,225-0,275
3		0,150-0,210		0,210-0,270		0,270-0,330
3,5	7 až 10	0,245-0,350	7 až 10	0,315-0,420	7 až 10	0,385-0,490
4		0,280-0,40		0,360-0,480		0,440-0,560

Další možností je využití diagramů, nebo výpočtových vztahů. Tyto empirické vztahy zohledňují tloušťku i pevnost ve stříhu u stříhaného materiálu.

Pro plechy o tloušťce  $t < 3$  mm:

$$v_s = 2 \cdot z_s = 2 \cdot 0,32 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]}, \quad (1.1)$$

Pro plechy o tloušťce  $t > 3$  mm:

$$v_s = 2 \cdot z_s = 2 \cdot 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot t - 0,15) \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]}, \quad (1.2)$$

kde:

$v_s$  - střížná vůle [mm],

$z_s$  - střížná mezera [mm],

$t$  - tloušťka materiálu [mm],

$\tau_s$  - střížný odpor ( $0,8 \cdot R_m$ ) [MPa],

$c$  - součinitel závislý na druhu stříhání (jemný: 0,005-0,0075; střední 0,0075-0,0125; hrubý: 0,0125-0,025 [8]) [-].

### 2.1.6 Střížná práce [11], [12], [14], [15]

**Střížná síla** je potřebná k oddělení materiálu. Její velikost se mění během pracovního procesu. V průběhu vnikání nástroje do materiálu má síla rostoucí charakter, poté následuje plastická deformace až do maximálního silového působení  $F_{max}$ . Po vzniku prvních trhlin následuje prudký pokles střížné síly, během kterého dochází k lomu tvaru „S“, až dojde k oddělení materiálu.

Správné určení střížné síly je nezbytné pro určení namáhání pracovních částí nástroje a jejich dimenzování.

Výpočet střížné síly při stříhání s rovnoběžnými noži se provádí dle následujícího vzorce:

$$F_s = S \cdot n \cdot \tau_s \text{ [N]}, \quad (1.3)$$

kde:

$F_s$  - střížná síla [N],

$n$  - součinitel otupení břitu (1,1 - 1,5) [-],

$S$  - střížná plocha [mm<sup>2</sup>],

**Střížná práce** je práce potřebná pro vystřížení dílce. Závisí na velikosti střížné síly a hloubce vtlačení střížné hrany do materiálu. Její velikost je rovna ploše pod křivkou střížné síly v závislosti na dráze.

Pro stříhání s rovnoběžnými noži lze vypočítat velikost střížné práce podle vzorce:

$$A_s = \frac{k \cdot F_s \cdot t}{1000} [J], \quad (1.4)$$

kde:

$A_s$  - střížna práce [J],

$k_v$  - hloubka vniku břitu do materiálu [-] (Tab. 1.5).

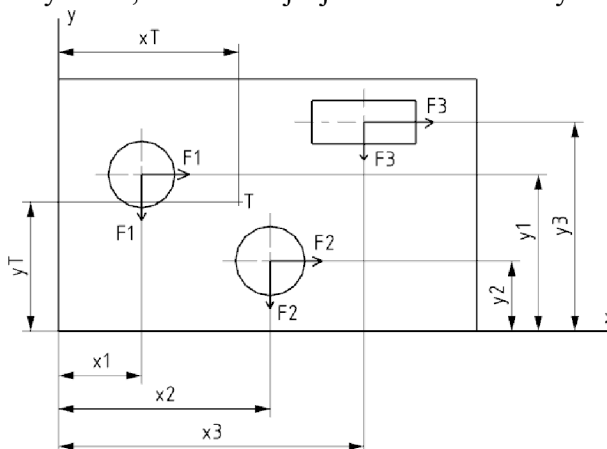
Tab. 1.5 Velikost součinitele hloubky vniku střížné hrany  $k$  [8]:

Druh materiálu		Součinitel $k_v$	
		$t \leq 4$ mm	$t \geq 4$ mm
ocel	měkká	0,45 až 0,60	0,35 až 0,45
	středně tvrdá	0,35 až 0,50	0,20 až 0,35
	tvrdá	0,20 až 0,35	0,10 až 0,20
mosaz	měkká	0,50 až 0,60	0,5
	tvrdá	0,20 až 0,30	0,2
hliník	měkká	0,45 až 0,65	0,45
	tvrdá	0,30 až 0,50	0,3
dural	měkká	0,35 až 0,50	0,35
	tvrdá	0,25 až 0,45	0,25

### 2.1.7 Určení těžiště střížných sil [15], [16]

Místo, ve kterém působí výslednice střížných sil, se označuje jako těžiště střížných sil.

Určení těžiště je při stříhání s více střížníky důležitou částí konstrukčního řešení. Během stříhání je nutné eliminovat vznik nežádoucích ohybových momentů, které by měly za následek snížení přesnosti stříhání, snížení životnosti nástroje a velké opotřebení beranu. Pokud je k tomu stroj uzpůsoben, do středu těžiště je umístěna stopka nástroje, která slouží k upnutí do beranu lisu.



Obr. 13 Numerické určení těžiště střížných sil [15]

Určení polohy těžiště je možné vyjádřit buď graficky, nebo numericky. Numerická metoda je oproti grafické rychlejší a přesnější. Tato metoda vychází z momentové rovnováhy všech sil.

$$X_T = \frac{\sum F_i \cdot x_i}{\sum F_i} = \frac{F_{s1} \cdot x_1 + F_{s2} \cdot x_2 + F_{s3} \cdot x_3 + \dots + F_{sn} \cdot x_n}{F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + \dots + F_{sn}} \text{ [mm]}, \quad (1.5)$$

$$Y_T = \frac{\sum F_i \cdot y_i}{\sum F_i} = \frac{F_{s1} \cdot y_1 + F_{s2} \cdot y_2 + F_{s3} \cdot y_3 + \dots + F_{sn} \cdot y_n}{F_{s1} + F_{s2} + F_{s3} + \dots + F_{sn}} \text{ [mm]}, \quad (1.6)$$

kde:

$X_T$  - souřadnice těžiště na ose x [mm],

$Y_T$  - souřadnice těžiště na ose y [mm],

$F_{s1}, F_{s2}, F_{s3}$  - střížna síla [N],

$x_1, x_2, x_3$  - souřadnice působících sil na ose x [mm],

$y_1, y_2, y_3$  - souřadnice působících sil na ose y [mm].

### 2.1.8 Střížné nástroje [9], [12], [17]

Nástroje, sloužící k realizaci stříhání, se nazývají střížné nástroje. Jsou složeny z několika částí, které se nejčastěji vyrábějí z konstrukční oceli, nástrojové oceli, nebo litiny. Nejvíce namáhané části střížných nástrojů, které přicházejí do kontaktu se stříhaným materiálem, jsou vyráběny z nástrojové oceli. Pro dosažení požadovaných mechanických vlastností jsou tyto části nástrojů tepelně zpracovány (viz Tabulka 1.6).

Tab. 1.6 Použití nástrojových ocelí pro střížné nástroje [9]

Typ oceli	Označení ČSN	Použití
ledaburické	19 436, 19 437, 19 438, 19 571, 19 572, 19 581	stříhadla s malými nároky na houževnatost a s dobrými střížnými podmínkami
nízkolegované	19 312, 19 713, 19 422	velká rozměrová stálost, hodí se na výrobu střížníků
uhlíkové	19 132, 19 152, 19 191, 19 192, 19 221, 19 222	málo namáhané střížníky a stříhadla
pro vysoké tlaky	19 614, 19 655, 19 662	stříhadla namáhaná velkými silami
odolné proti rázu	19 356, 19 421	odolné proti rázům

V zájmu snížení nákladů na materiál stříhadel, lze pro výrobu částí střížných nástrojů, které nejsou během procesu stříhání funkčními, použít konstrukční oceli, nebo litiny (Tab. 1.7 a Tab. 1.8).

Tab. 1.7 Použití konstrukčních ocelí pro střížné nástroje [9]

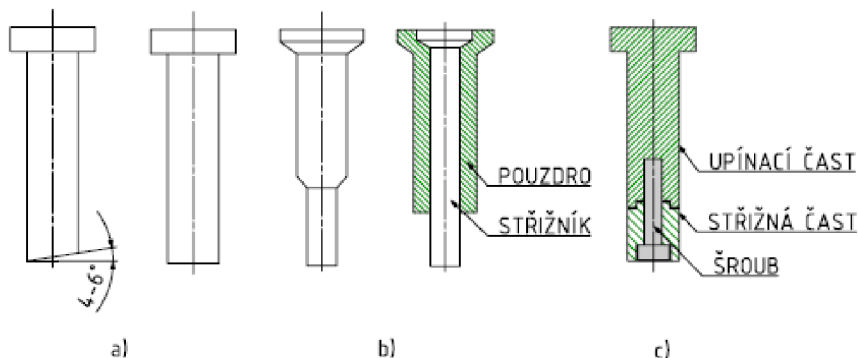
Typ oceli	Označení ČSN	Použití
neušlechtilé	11 107, 11 110	drobné části nástrojů
	11 340, 11 370	málo namáhané součásti, opěrné desky
	11 500, 11 600	upínací a kotevní desky, klíny, pera
zušlechťované	12 060, 12 061	stopky, opěrné vložky, upínací hlavice
	12 040, 12 090, 13 180, 14 180	šroubové, talířové, listové pružiny
	14 260, 15 260	nejnamáhavější pružinové součásti
cementační	12 010, 12 020	sloupky, pouzdra
	14 120, 14 220	součásti s tvrdou cementační vrstvou
oceli na odlitky	42 2640, 42 2650	rozměrné desky střížného nástroje

Tab. 1.8 Použití litin ocelí pro střížné nástroje [9]

Typ litiny	Označení ČSN	Použití
šedá	422 430	více namáhané součásti s větší tloušťkou stěn
	422 425	stojánky, více namáhané součásti
očkovaná	422 456	dobré kluzné vlastnosti, ložiska
tvárná	42 2304, 42 2305	zvládá vyšší tlaky a namáhání
	422 303	dynamicky namáhané desky, pro vyšší tlaky

### 2.1.8.1 Konstrukce střížníků a střížnic [16], [17], [18], [19], [23]

**Střížníky** jsou umístěny na horní, pohybující se části stříhadla. V procesu stříhání se řadí mezi funkční prvky střížného nástroje. Jelikož jsou velmi namáhány, vyrábí se nejčastěji z kvalitní nástrojové oceli. Z ekonomických důvodů může být nosná část střížníku vyrobena z konstrukční oceli a funkční část z nástrojové oceli, nebo případně ze slinutého karbidu. V takovém případě jsou části spojeny šroubem (Obr. 14 c). Břity střížníku jsou obvykle kolmé k ose střížníku, nebo zkosené (Obr. 14 a). Kolmé střížníky jsou poměrně snadno vyrobitelné, snadné na údržbu a dostačující pro většinu střížných operací. Zkosené střížníky se používají v případech, kdy je potřeba snížit sřížnou sílu. Za účelem zvýšení vzpěrné stability při stříhání malých otvorů lze použít zesílené střížníky, nebo střížníky vedené v pouzdrech (Obr. 14 b).



Obr. 14 Typy střížníků [23]

Střížníky lze rozdělit podle průřezu a způsobu upnutí. Průřez střížníků může být kruhový, obdélníkový, tvarový apod. Upnutí střížníku je možné několika způsoby, nutné je zajistit určitou tuhost a kolmost. Střížníky mohou být upnuty roznýtováním, osazením, pomocí šroubů, v případech málo namáhaných střížníků je možné použít také zalití pryskyřicí do kotevní desky.

Konstrukci střížníků je nutné zkontrolovat a ověřit, zda nehrozí jeho vybočení, neboli vzpěr. Provede se kontrolní srovnání s tzv. kritickou délkou střížníku, která se vypočítá dle vztahu (1.6). Délka střížníku musí být menší než délka kritická  $l_{krit}$ .

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_k \cdot F_s}} \text{ [mm]}, \quad (1.6)$$

kde:

$l_{krit}$  - kritická délka střížníku [mm],  
 $E$  - modul pružnosti v tahu,  $E = 2,1 \cdot 10^5$  [MPa],  
 $n_k$  - koeficient bezpečnosti  $n_k = 1,5 - 2$  [-],  
 $I$  - moment setrvačnosti průřezu [mm<sup>4</sup>]\*.

Pro střížník vedený ve vodící desce je vztah pro výpočet kritické délky následující:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_k \cdot F_s}} \text{ [mm]}, \quad (1.7)$$

\*Vztah pro výpočet setrvačnosti průřezu  $I$  je různý dle tvaru průřezu střížníku.

- Plný kruhový průřez:  $I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$  [-] (1.8)

- Dutý kruhový průřez:  $I = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64}$  [-] (1.9)

- Obdélníkový průřez:  $I = \frac{a^3 \cdot b}{12}$  [-] (1.10)

kde:

$d$  - malý průměr střížníku [mm],  
 $D$  - velký průměr střížníku [mm],  
 $a$  - strana střížníku a [mm],  
 $b$  - strana střížníku b [mm].

Dále je třeba zkontrolovat, zda nebude docházet k plastickým deformacím na horní upínací desce. Provede se kontrola na namáhání tlakem a na otláčení (1.11). Výsledné napětí musí být menší než maximální dovolené napětí  $\delta_{DOV} = 180$  MPa. V opačném případě je nutné umístit mezi kotevní a upínací desku kalenou desku opěrnou.

$$\sigma_H = \frac{F_s}{S_{HS}} = \frac{n \cdot L \cdot t \cdot \tau_s}{\pi \cdot r^2} \text{ [MPa]}, \quad (1.11)$$

kde:

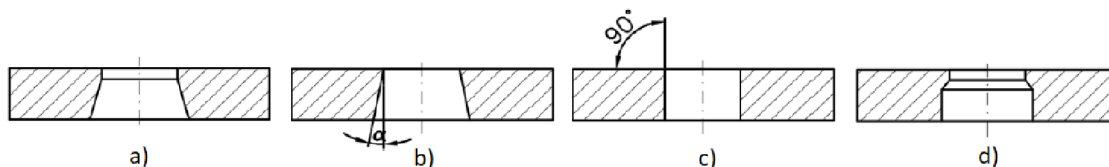
$S_{HS}$  - plocha hlavy střížníku [ $\text{mm}^2$ ],

$\sigma_H$  - napětí na upínací desce [MPa],

$r$  - poloměr průřezu střížníku [mm].

**Střížnice** jsou další funkční částí stříhadel. Jsou umístěny na základní desce, na spodní, nepohyblivé části nástroje. Z konstrukčního hlediska je dělíme na celistvé, skládané a vložkované. Celistvé jsou vyrobeny z nástrojové oceli a slouží především pro vystřihování jednoduchých tvarů. Jejich nevýhodou je fakt, že jsou nákladné, a také hrozící riziko, že při jejich výrobě dojde k deformacím během kalení. Skládané střížnice jsou tvořeny z několika menších dílů, jejichž výroba i tepelné zpracování je snadnější. Díly lze také vyměňovat, což má pozitivní vliv na životnost nástroje. Střížnice vložkované se používají pro větší výstřižky. Celá střížnice je vyrobena z konstrukční oceli, do které jsou zalisována střížná pouzdra z nástrojové oceli.

Funkční části střížnic lze konstruovat různými způsoby v závislosti na rozměrech a požadované přesnosti výstřižku. Kuželová střížnice s válcovou fasetkou (Obr. 15 a) je vhodná pro přesnější výstřižky a její životnost je delší než u střížnice bez fasetky (Obr. 15 b). Díky kuželovitému tvaru výstřižek snadněji propadává střížnicí po vystřižení. Válcové střížnice (Obr. 15 c) se používají u sdužených nástrojů, kde je výstřižek z otvoru vytlačován zpět do pracovního prostoru. U malých otvorů do průměru 5 mm lze použít válcovou střížnici s vybráním (Obr. 15 d)



Obr. 15 Tvary funkčních částí střížnice [23]

Tloušťku střížnice je nutné zkontrolovat dle největšího dovoleného namáhání v ohybu  $\sigma_o$  a střížné síly  $F_s$ , dle výpočtového vtahu (1.12). Hodnota  $\sigma_o$  se u nástrojů bez zvýšených požadavků na přesnost pohybuje v rozmezí  $\sigma_o = 400 - 500$  MPa.

$$H_{min} = \sqrt{\frac{2,5 \cdot F_s}{\sigma_o}} \text{ [mm]}, \quad (1.12)$$

kde:

$H_{min}$  - minimální tloušťka střížnice [mm],

$\sigma_o$  - nejvyšší dovolené namáhání v ohybu [MPa].

V případě, že je střížnice podepřena základovou deskou, lze hodnotu  $H$  zmenšit až o polovinu základové desky.

### 2.1.8.2 Určení rozměrů střížníků a střížnic [16], [23]

Přesnost výstřížku je závislá na správném určení rozměrů střížníků a střížnice. Během střížného procesu dochází ke zvětšování střížné vůle, rozměry střížníku se zmenšují a střížnice zvětšují. Proto se k jmenovitým rozměrům střížníků a střížnice váží tolerance, které zajišťují vyrobiteľnost a správnou funkčnost během opotřebení nástroje. Druh střížné operace je rozhodující pro směr střížné vůle. Jedná-li se o děrování, je řídicí rozměr střížníku a střížná vůle se dosáhne zvětšením střížnice. Pokud je výsledným výrobkem výstřížek, střížná vůle se odečte od rozměru střížníku.

Výsledné rozměry střížníků a střížnice se stanoví dle vzorců:

➤ *Vystřihování:*

$$\text{Rozměr střížnice: } A_{ev} = (A_j - \Delta) + \delta_e \text{ [mm]}, \quad (1.13)$$

$$\text{Rozměr střížníku: } A_{kv} = (A_j - \Delta - v_s) - \delta_k \text{ [mm]}, \quad (1.14)$$

➤ *Děrování:*

$$\text{Rozměr střížnice: } A_{ed} = (A_j + \Delta + v_s) + \delta_e \text{ [mm]}, \quad (1.15)$$

$$\text{Rozměr střížníku: } A_{kd} = (A_j + \Delta) - \delta_k \text{ [mm]}, \quad (1.16)$$

kde:

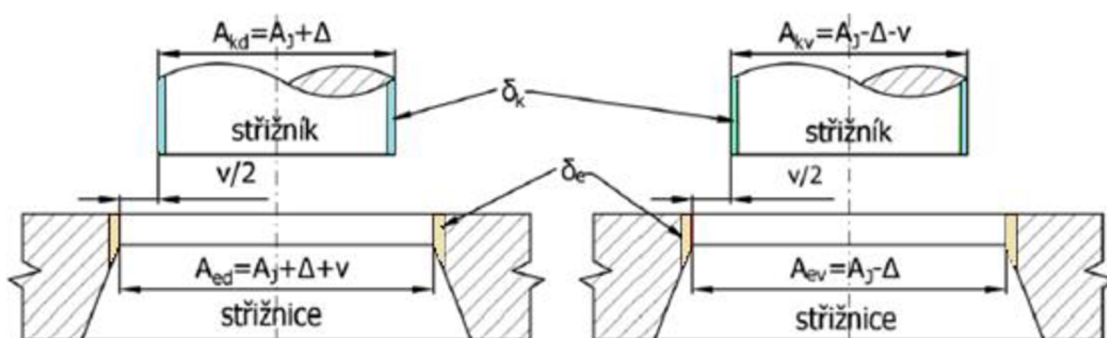
$A_{ev}/A_{ed}$  - rozměr střížnice u vystřihování/ děrování [mm],

$A_{kv}/A_{kd}$  - rozměr střížníku u vystřihování/ děrování [mm],

$A_j$  - jmenovitý rozměr výstřížku [mm],

$\Delta$  - tolerance součásti [mm],

$\delta_e/\delta_k$  - výrobní tolerance střížnice/střížníku [mm].



Obr. 16 Rozměry střížníku a střížnice: děrování (vlevo), vystřihování (vpravo) [16]



## 2.2 Ohýbání [12], [22], [24]

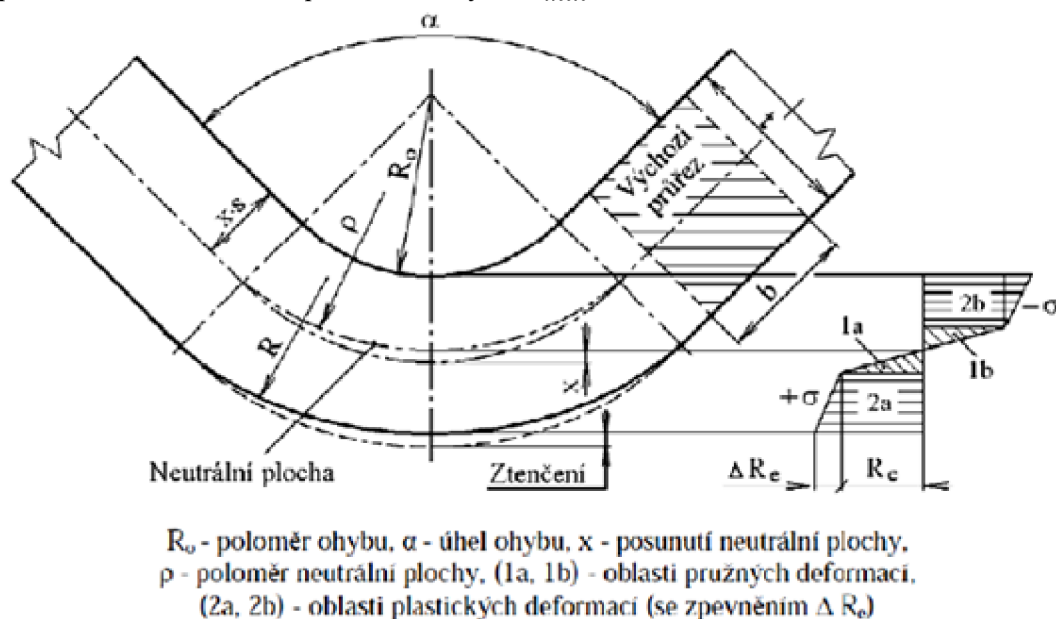
Technologie ohýbání se řadí, stejně jako stříhání, mezi technologie plošného tváření. Na rozdíl od stříhání jsou ovšem porušení materiálu nežádoucí. Požadovaného tvaru je dosaženo díky zatížení ohybovým momentem, nebo lokální silou. Ohýbání se zpravidla provádí za studena, pouze tvrdé, křehké a velké průřezy materiálu vyžadují předchozí přehřev. Na ohýbání má vliv druh materiálu, tloušťka materiálu v místě ohybu, poloměr ohybu a velikost ohybových momentů. Nástrojem pro ohýbání je ohýbadlo, které tvoří ohybník a ohybnice.

Druhy ohýbání dle [24]:

- ohýbání prosté
- rovnání
- zakružování
- osazování
- ohraňování
- lemování

### 2.2.1 Napjatost a deformace při ohýbání [13], [21], [22]

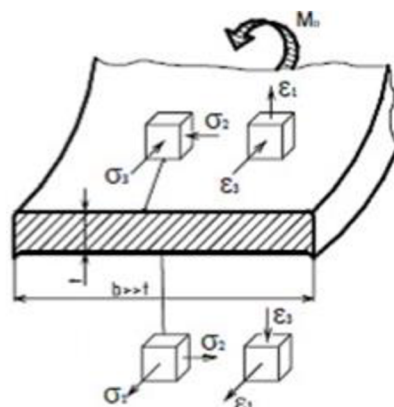
Při ohýbání dochází k pružné deformaci, jejíž průběh se liší v závislosti na vzdálenosti od povrchu směrem k neutrální ose. Během procesu je materiál na vnitřní straně zatížen tlakovým namáháním a vnější materiál namáháním tahovým. Čím dále jsou vlákna od povrchu, tím je vyvíjené napětí menší. Kolem střední části ohýbaného profilu jsou vlákna materiálu, která jsou minimálně deformována, nebo jsou zatížena jen pružnou deformací. Spojnice těchto vláken se nazývá neutrální osa (plocha). Na začátku ohýbacího procesu se neutrální osa nachází uprostřed materiálu a se zvětšující se deformací se posouvá směrem k vnitřní straně ohybu. Její výsledná poloha je důležitá pro stanovení výchozího rozvinutého tvaru a pro určení minimálních poloměrů ohybu  $R_{min}$ .



Obr. 17 Schéma napětí při ohýbání [13]

Pro správný průběh ohýbání je nutné, aby došlo k plastické deformaci, jinými slovy, ab napětí přesáhlo mez kluzu  $R_e$ . Zároveň však nesmí dojít k překročení meze pevnosti ohýbaného materiálu, což by mělo za následek vznik nežádoucích trhlin a porušení materiálu.

Se změnou rozměrů ohýbaného materiálu se průběh napětí a deformace může lišit. Při ohýbání pásů plechu, u kterých je šířka materiálu podstatně větší, než tloušťka materiálu ( $b \gg t$ ) brání velká šířka materiálu deformaci ve směru šířky plechu ( $b$ ) a nedochází tak k deformaci v příčném směru ( $\varepsilon_2 = 0$ ), z čehož plyne rovinný stav deformace. Ze zákona o konstantním objemu vyplývá, že na vnitřní, tlakové straně je  $\varepsilon_3 = -\varepsilon_1$  a na vnější tahové straně  $\varepsilon_1 = -\varepsilon_3$ .



Obr. 18 Schéma napjatosti a deformace při ohýbání širokých pásů [13]

## 2.2.2 Odpružení při ohýbání [7], [12], [22], [23]

Ohyb je pružně tvárnou deformací, a jakmile na materiál přestane působit deformační síla, má ohýbaný materiál snahu vrátit se do původního tvaru a to o určitý úhel odpružení  $\beta$ . Aby bylo dosaženo požadovaného úhlu ohybu, musí být úhel ohybu zvětšen o úhel odpružení. Velikost odpružení je ovlivněna především materiálem výlisku, velikostí úhlu ohybu a také způsobem ohybu. Zjišťuje se pomocí diagramů získaných ze zkoušek ohýbání, nebo pomocí výpočtů. Pro ohyb do tvaru V se úhel odpružení  $\beta$  stává dle rovnice (2.1) a pro ohyb do tvaru U dle rovnice (2.2).

Úhel odpružení  $\beta$  při ohybu do tvaru V:

$$tg\beta = 0,375 \cdot \frac{L}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} [^\circ], \quad (2.1)$$

Úhel odpružení  $\beta$  při ohybu do tvaru U:

$$tg\beta = 0,75 \cdot \frac{L}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} [^\circ], \quad (2.2)$$

kde:

$\beta$  - úhel odpružení [ $^\circ$ ],

$L$  - vzdálenost mezi středy opěr ohybnice [mm],

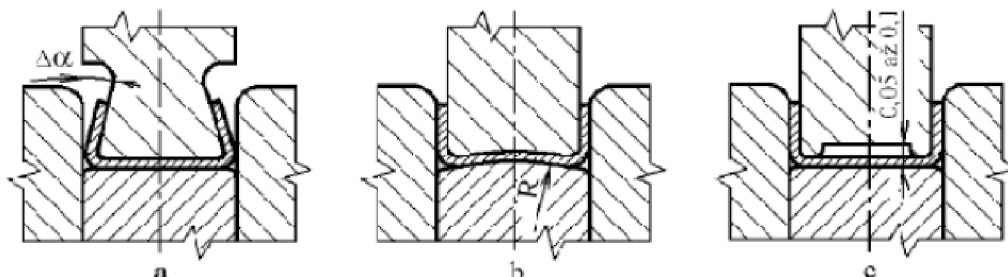
$k$  - součinitel určující polohu neutrální plochy v závislosti na poměru  $R_o/t$  viz Tabulka 2.1. [-],

$R_e$  - mez pevnosti v kluzu [MPa].

Tab. 2.1 Součinitel  $k$  pro výpočet úhlu odpružení dle ČSN 22 7340-90:

Poměr $R_o/t$	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10	20
Součinitel $k$	0,68	0,65	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,5

Eliminace odpružení můžeme dosáhnout také úpravami na ohybníku a ohybnici. Nejčastějším způsobem je již zmiňované zvětšení úhlu ohybu a příslušný úhel odpružení. Metoda se aplikuje pomocí upraveného ohybníku, který je zkosen o daný úhel (Obr. 19a). Dalšími metodami jsou například zaoblení spodních ploch ohybníku a ohybnice (Obr. 19b), nebo pomocí drážky v ohybníku, čímž vznikne zpevnění materiálu v rozích (Obr. 19c).



Obr. 19 Konstrukční úpravy stříhadel pro eliminaci odpružení [23]

### 2.2.3 Určení poloměru neutrální osy [7], [22]

Rozvinutá délka součásti odpovídá zhruba délce neutrálního vlákna. Z tohoto důvodu je třeba před stanovením rozměrů výchozího polotovaru určit poloměr neutrální osy. Výpočet poloměru neutrální osy se odvíjí od tloušťky materiálu a velikosti poloměru ohnutí.

a) Výpočet poloměru neutrální osy při ohýbání s poloměrem zaoblení  $R_o/t \leq 6$ :

$$\rho = \left( R_o + \frac{t}{2} \right) \cdot z_z + z_r \text{ [mm]}, \quad (2.3)$$

kde:

$\rho$  - poloměr ohybu neutrální osy [mm],

$R_o$  - poloměr ohybu [mm],

$z_z$  - součinitel zatečení [-],  $z_z = t_1/t$ ,

$z_r$  - součinitel rozšíření původního průřezu [-],  $z_r = b_1/b$ ,

$b, t$  - šířka a tloušťka materiálu [mm],

$b_1, t_1$  - šířka a tloušťka materiálu po ohnutí [mm].

Velikost součinitele zatečení  $z_z$  závisí na mechanických vlastnostech ohýbaného materiálu, tření mezi materiálem a nástrojem a na úhlu ohybu. Určit velikost součinitele zatečení lze z příslušných grafů, nebo z tabulky 2.2, kde je součinitel  $z_z$  vyjádřen v závislosti na poměru  $R_o/t$ . Velikost součinitele rozšíření původního průřezu lze určit z tabulky 2.3.

Tab. 2.2 Závislost součinitele ztenčení  $z_z$  na poměru ohybu  $R_o/t$  [22]

$R_o/t$ [-]	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	8	10	15	20
$z_z$ [-]	0,82	0,87	0,92	0,96	0,985	0,992	0,995	0,996	0,997	0,998	0,999	1

Tab. 2.3 Závislost součinitele ztenčení  $z_z$  na šířce ohýbaného dílce  $b$  [22]

$b$ [mm]	$b = 0,5 \cdot t$	$b = t$	$b = 1,5 \cdot t$	$b = 2 \cdot t$	$b = 2,5 \cdot t$	$b = 3 \cdot t$
$z_z$ [-]	1,09	1,05	1,025	1,01	1,005	1

b) Výpočet poloměru neutrální osy při ohýbání s poloměrem zaoblení  $R_o/t \geq 12$ :

$$\rho = R_o + \frac{t}{2} \text{ [mm]}, \quad (2.4)$$

c) Výpočet poloměru neutrální osy při ohýbání širokých pásů plechu,  $b > 3 \cdot t$ :

$$\rho = R_o + x \cdot t \text{ [mm]}, \quad (2.5)$$

kde:

$x$  – součinitel posunutí neutrální osy [-], dle tabulky 2.4.

Tab. 2.4 Velikost součinitele posunutí neutrální osy  $x$  [22]

$R_o/t$ [-]	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10
$x$ [-]	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486

## 2.2.4 Rozměry výchozího polotovaru [8], [22]

Pro správné navržení rozměrů ohýbané součásti je nejdříve nutné určit jeho rozvinutou délku. Rozvinutou délku získáme sečtením všech rovných a ohnutých částí výlisku. Při výpočtu je třeba počítat s posunutím neutrální osy v ohybech (viz. kapitola 2.2.3). Hodnotu poloměru neutrální osy určuje vztah 2.6. Rozvinutá délka součásti se vypočítá dle vztahu 2.7 a její délka se přibližně rovná délce neutrálního vlákna.

Výpočet poloměru neutrální osy:

$$\rho = R_o + x \cdot t \quad [2.6]$$

kde:

$\rho$  – poloměr neutrální osy [mm],

Výpočet délky neutrální osy v ohybu:

$$l_i = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \gamma}{180} \quad [2.7]$$

kde:

$\gamma$  - úhel ohnutého úseku,  $\gamma = 180 - \alpha$  [°],

$l_i$  – délka neutrální osy v místě ohybu výlisku [mm],

$\alpha$  - úhel ohybu [°].

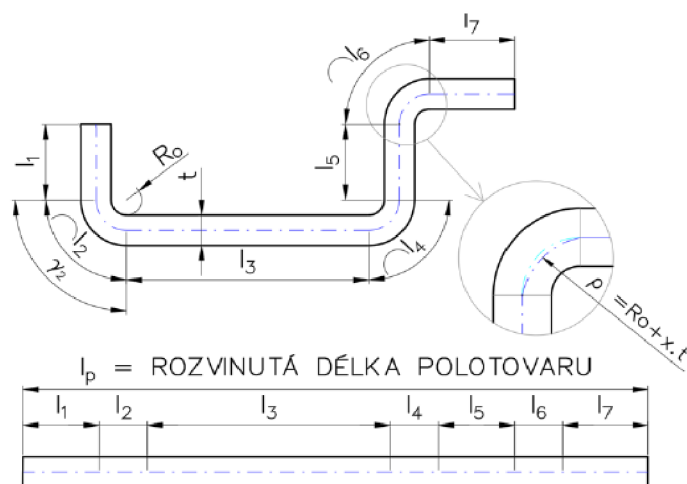
Výpočet rozvinuté délky:

$$L_r = \sum l_i + \sum a_i \quad [2.9]$$

kde:

$L$  - rozvinutá délka součásti [mm],

$a_i$  – délka neutrální osy v rovné části výlisku [mm].



Obr. 20 Rozdělení výlisku na části [8]

Hodnotu rozvinuté délky polotovaru lze také určit pomocí CAD systému. Výhodou moderních CAD systémů je bezesporu jejich schopnost rozvinout i složité dílce a také rychlý a přesný výpočet.

#### 2.2.4.1 Minimální a maximální poloměr [22], [25], [26]

**Minimální poloměr** ohybu  $R_{min}$  je nejmenší přípustný poloměr, který lze použít, aniž by došlo k přerušení materiálu na vnější straně. Při jeho dosažení nabývá tahové napětí na vnějším poloměru hodnot blízkých se mezi pevnosti v tahu  $R_m$ . V ideálním případě se osa ohybu volí kolmo ke směru vláken ohýbaného materiálu. Ve srovnání s umístěním osy ve směru vláken je tak možné dosáhnout až dvakrát menší hodnoty  $R_{min}$ , což má pozitivní vliv na pružnost, pevnost a odolnost materiálu proti únavě.

Velikost minimálního poloměru ohybu závisí především na plastičnosti, kvalitě povrchu ohýbaného materiálu, velikosti ohybového úhlu, způsobu ohýbání, šířce a tloušťce materiálu. Jeho velikost se vypočítá dle vzorce (2.10).

Pokud ohýbání předchází proces stříhání, je vhodné zajistit co nejmenší otřepy, které přispívají ke vzniku trhlin, zvláště pak na vnější straně výstřižku.

$$R_{min} = \frac{t}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_c - 1} \right) = p \cdot t \text{ [mm]}, \quad (2.10)$$

kde:

$R_{min}$  - minimální poloměr ohybu [mm],

$\varepsilon_c$  - mezní prodloužení [-],

p - koeficient závislý na druhu materiálu a směru vláken vůči ose ohybu [-], tab. 2.5.

Tab. 2.5 Hodnoty koeficientu p, v případě kolmé osy na směr vláken materiálu [22]

Materiál	měkká ocel	hliník	dural	měkká mosaz	měkká měď
Koeficient p [-]	0,5 - 0,6	0,35	3,6	0,3 - 0,4	0,25

Maximální poloměr ohybu  $R_{max}$  je poloměr, který je nezbytný pro dosažení trvalé deformace materiálu. Pro tento případ je nutné, aby byla vnější vlákna namáhána napětím vyšším, než je mez kluzu ohýbaného materiálu. Pokud by poloměr přesahoval hodnotu maximálního poloměru, došlo by po odlehčení materiálu k navrácení do původního stavu. Velikost maximálního poloměru lze vypočítat dle vzorce (3.11).

$$R_{max} = \frac{t}{2} \cdot \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right) \text{ [mm]}, \quad (2.11)$$

kde:

$R_{max}$  - maximální poloměr ohybu [mm].

## 2.2.5 Ohýbací síla a práce [7], [12], [21], [23], [25]

**Ohýbací síla**, stejně jako ohýbací práce, je jednou ze základních parametrů, které ovlivňují volbu vhodného výrobního stroje. Výpočet ohýbací síly je závislý na druhu ohybu, tedy jedná-li se o ohyb do tvaru *U*, nebo *V*. Druh ohybu také ovlivňuje průběh ohýbací síly. Při ohybu do tvaru *V* prudce vzrůstá síla a do momentu překročení meze kluzu. Poté následuje pozvolný pokles (Obr. 21). Během ohybu do tvaru *U* je prudký nárůst ohýbací síly až do míst plastických deformací, napětí tedy překračuje mez kluzu. Následuje pokles ohýbací síly, který je způsoben poklesem deformace, materiál je zde spíše vtahován do ohybnice, než deformován. V posledním úseku dochází ke kalibraci a opětovnému nárůstu ohýbací síly (Obr. 22). Ohýbací síly se vypočítají dle následujících vztahů:

Ohyb do tvaru *V*:

$$F_O = \frac{2 \cdot R_m \cdot b \cdot t^2}{L} \text{ [N]}, \quad (2.12)$$

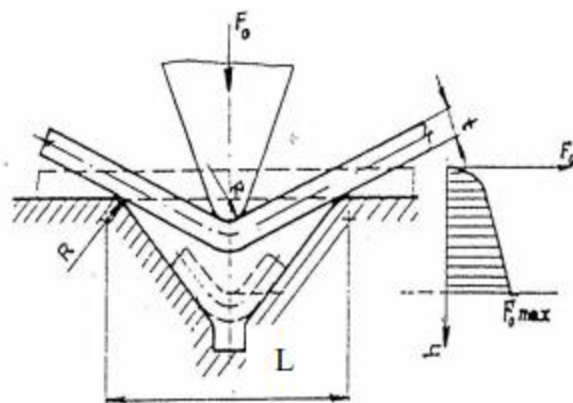
Ohyb do tvaru *V* dle ČSN 22 7340:

$$F_O = \frac{R_e \cdot b \cdot t^2}{2 \cdot R_o} \cdot tg \frac{\alpha}{2} \text{ [N]}, \quad (2.13)$$

kde:

$F_O$  - ohýbací síla [N],

$b$  - délka ohýbané součásti [mm].



Obr. 21 Průběh ohýbací síly, ohyb do tvaru *V* [7]

Ohyb do tvaru *U*:

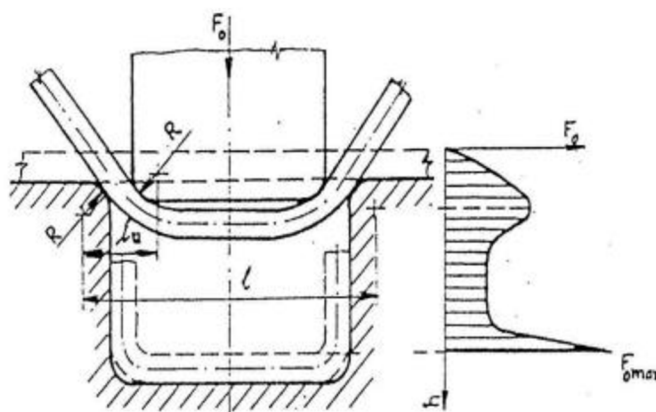
$$F_O = \frac{R_m \cdot b \cdot t}{2} \text{ [N]}, \quad (2.14)$$

Ohyb do tvaru *U* dle ČSN 22 7340:

$$F_O = \frac{R_e \cdot b \cdot t^2}{R_o + t} \cdot (1 + 7 \cdot f) \text{ [N]}, \quad (2.15)$$

kde:

$f$  - třecí koeficient [-], ( $f = 0,1$ - při mazání)



Obr. 22 Průběh ohýbací síly, ohyb do tvaru *U* [7]

Jak je patrné z průběhu ohýbací síly na Obr. 22, v posledním úseku působení síly dochází ke kalibraci a silový průběh strmě stoupá. V takovém případě je skutečná síla rozšířena o další složky. Jelikož jsou kalibrační tlaky vysoké, největší vliv má síla kalibrační, která dosahuje a dvojnásobku ohýbací síly. Při ohybu do tvaru „U“ je proto vhodné použít tzv. přidržovače, které zabrání nepříznivému prohnutí plechu vlivem působících sil. V takovém případě nástroj musí nejdříve překonat sílu přidržovače, a proto je ohybová síla navýšena o další složku – sílu přidržovače.

Výsledná ohýbací síla má pak tvar:

$$F_{OC} = F_O + F_p + F_k \text{ [N]}, \quad (2.16)$$

kde:

$$F_p - \text{síla přidržovače [N]}, F_p = (0,25 \div 0,3) \cdot F_O, \quad (2.17)$$

$$F_k - \text{síla kalibrační [N]}, F_k = (1,5 \div 2) \cdot F_O. \quad (2.18)$$

**Ohýbací práce** je stejně jako u stříhání dána silou působící na činné dráze nástroje. Jelikož rozlišujeme ohyb do tvaru  $U$  a  $V$ , jejichž průběhy silového zatížení jsou rozdílné, výpočty ohýbací práce pro tvar  $U$  a  $V$  je také různé.

*Výpočet ohýbací práce pro ohyb do tvaru V:*

$$A_O = \frac{m_{OV} \cdot F_{OV} \cdot h}{1000} \text{ [J]}, \quad (2.19)$$

*Výpočet ohýbací práce pro ohyb do tvaru U:*

$$A_O = \frac{m_{OU} \cdot (F_{OU} + F_p) \cdot h}{1000} \text{ [J]}, \quad (2.20)$$

kde:

$A_O$  - ohýbací práce [J],

$m_{OV}$  - opravný koeficient respektující průběh ohýbací síly,  $m = 1/3$  [-],

$m_{OU}$  - opravný koeficient respektující průběh ohýbací síly,  $m = 2/3$  [-],

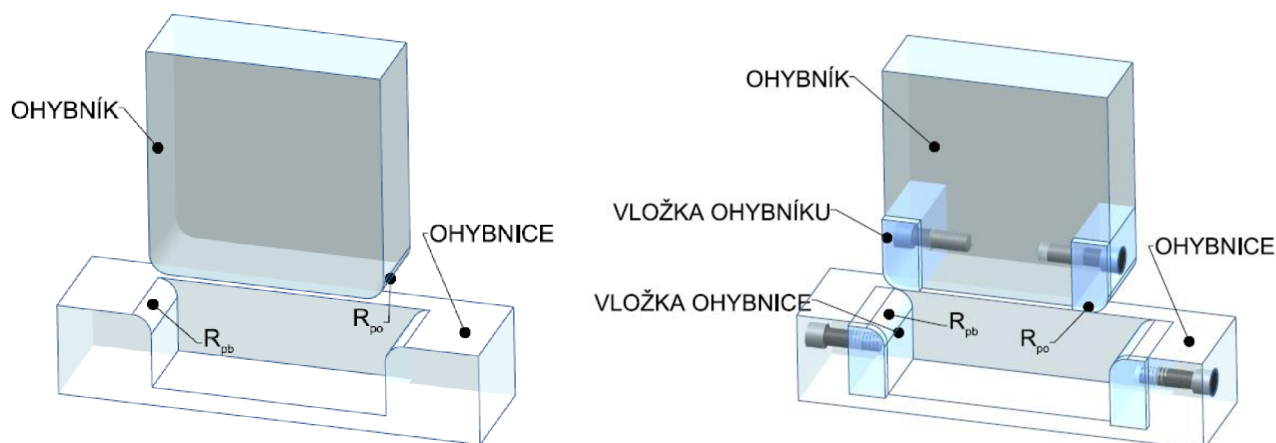
$h$  - pracovní zdvih ohýbadla [mm].



## 2.2.6 Ohýbací nástroje [18], [23]

K realizaci ohybu je v praxi možné využít několik nástrojů. Jejich použití se často odvíjí od velikosti ohýbané součásti. Pro výlisky malých rozměrů se používají ohýbadla, která se upínají na mechanické lisu. Ohýbadla se skládají ze dvou hlavních částí – ohybníku a ohybnice.

- *Ohybník* je aktivní částí, která se upíná k beranu lisu. Šířka ohybníku musí být minimálně stejná, nebo větší, než je šířka ohýbané součásti. Nejčastěji bývá vyroben z nástrojové oceli (např. 19 312), nebo ze slinutého karbidu. Zaoblení hran ohybníku ( $R_{po}$ ) odpovídá poloměru ohybu součásti. V případě korekce odpružení může být upraven.
- *Ohybnice* je spodní část nástroje, která se během procesu nepohybuje. Stejně jako ohybník bývá konstruována z nástrojové oceli. Ohybnice mohou mít zaoblené funkční hrany pro dosažení lepší kvality povrchu u ohýbané součásti ( $R_{pb}$ ). Ohybnice mohou být, stejně jako ohybníky, celistvé, nebo vložkované. V případě vložkovaných funkčních částí ohýbadla jsou ohybnice a ohybníky vyrobeny z konstrukční oceli a vložky z nástrojové oceli, nebo slinutého karbidu.



Obr. 23 Ohybníky a ohybnice – celistvé (vlevo), vložkované (vpravo)

Velmi oblíbeným typem nástroje je tzv. stavebnicový. Díly takového nástroje jsou rozděleny podle funkce na nosné, upínací, vodící, opěrné a funkční. Z technologického hlediska se funkční části nástroje zakalí. Leštěné funkční plochy přispívají k prodloužení životnosti nástroje.

Pro výlisky dosahujících rozměrů až 4 metry, lze použít např. ohýbačky s mechanickým, hydraulickým, nebo ručním pohonem. V případě rozměrnějších, nebo složitějších výlisků se ohyb realizuje na ohraňovacích lisech.

Pro zajištění polohy výlisku se používají přidržovače, jejichž funkcí je udržovat polotovar ve správné poloze. Při posunutí výlisku během procesu ohýbání by vznikla nesprávná deformace a součást by se stala zmetkovou. Přidržovače se umísťují buď přímo na nástroj, nebo zvlášť jako přídavné technologické zařízení.

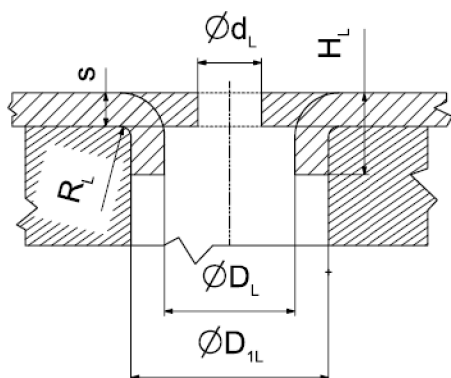
Snadné vyjmutí výlisku z nástroje zajišťují vyhadzovače, které mohou být mechanické, pružinové, nebo vázané na pohyb beranu.

## 2.3 Tažení [20], [23], [27]

Během technologie tažení vzniká prostorová deformace a dochází ke změně z rozvinutého plechu na prostorové těleso. Tato metoda se nejčastěji používá k výrobě dutých těles. Podle tvaru výlisku můžeme rozdělit tažení na mělké a hluboké, se ztenčením stěny a bez ztenčení, tažení rotačních dílů, nerotačních a tažení nepravidelných tvarů. Dle konečného tvaru výlisku můžeme technologii rozdělit do podskupin:

- prosté tažení
- zpětné tažení
- žlábkování
- zužování
- rozšiřování
- lemování

**Lemování** otvoru je proces, při kterém je tažen materiál z původního prostříhu plechu. Provádí se pomocí lisovacího trnu a lisovací matrice. Během procesu vzniká vlivem působení napjatosti prostorová deformace. Tím vznikne lem, jehož výška  $H_L$  je závislá na původním průměru prostříhu  $d_L$  a na vlastnostech tvářeného plechu (Obr. 24).



Obr. 24 Lemovaný otvor [23]

Rozeřměr výchozího otvoru je dán vztahem:

$$d_L = D_L - 2 \cdot (H_L - 0,43 \cdot R_L - 0,72 \cdot t) \text{ [mm]}, \quad (2.21)$$

kde:

$d_L$  - průměr prostříhu plechu [mm],  
 $D_L$  - vnitřní průměr lemu [mm],  
 $H_L$  - výška lemu [mm],  
 $R_L$  - poloměr zaoblení ohybu [mm].

### 2.3.1 Síla a práce

Pro vytvoření požadovaného lemu se stanoví velikost síly na základě tloušťky lemovaného materiálu, vnějšího průměru lemu a velikosti otvoru. Síla a práce se vypočítají dle následujících vztahů:

$$F_L = 0,7 \cdot t \cdot D_{1L} \cdot \delta \cdot R_m \text{ [N]}, \quad (2.22)$$

$$A_L = F_L \cdot H_L \text{ [J]}, \quad (2.23)$$

kde:

$F_L$  - lemovací síla [N],

$A_L$  - lemovací práce [J],

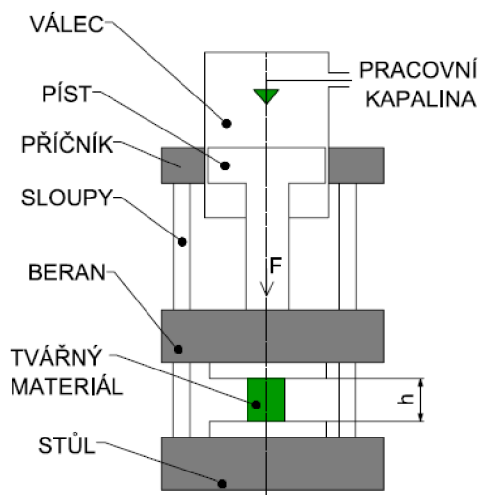
$D_{1L}$  - vnější průměr lemu [mm],

$$\delta - \text{poměr velikosti otvoru, } \delta = \frac{D_{1L} - d_L}{D_{1L}} \text{ [-]}. \quad (2.24)$$

## 2.4 Tvářecí stroje [29], [30]

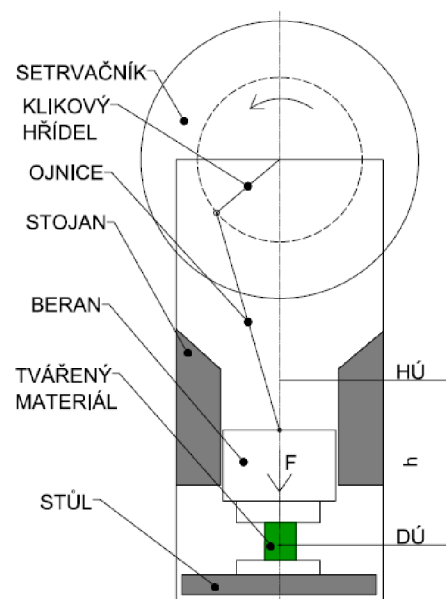
K vykonání technologického procesu slouží tvářecí stroje. Nejrozšířenější skupinou strojů jsou tvářecí stroje s přímočarým pohybem, kde beran vykonává přímočarý pohyb mezi horní a dolní úvratí. Dle energie, která je nutná k přetvoření materiálu, dále rozdělujeme stroje do tří skupin:

- Silové stroje – k překonání deformačního odporu materiálu využívají převážně energie potenciální při rychlosti beranu menší, než  $0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Typickým představitelem je *hydraulický lis* (Obr. 25). Princip činnosti stroje je založen na rovnoměrném rozložení tlaku v pracovní kapalině. Působení síly beranu  $F$  je konstantní a nezávislé na výšce zdvihu beranu  $h$ . Mezi nevýhody patří nízká produktivita, nutnost nastavení přesné tvářecí síly, složitější konstrukce a vyšší pořizovací náklady. Výhodou je možnost libovolně nastavovat velikost pracovního zdvihu z celkového zdvihu beranu a dimenzování na vysoké tvářecí tlaky.



Obr. 25 Hydraulický lis [29]

- Energetické stroje - k překonání deformačního odporu využívají převážně energii kinetickou – energii volného pádu. Rychlost beranu se pohybuje okolo  $4 \text{ až } 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Typickým představitelem je *buchar*. Využití energetických strojů lze najít například u technologie kování.
- Zdvihové stroje – známé také jako mechanické lisy (Obr. 26). K překonání deformačního odporu využívají kinetickou i potenciální energii, kterou přenášejí pomocí mechanických systémů. V současnosti jsou mechanické lisy nejrozšířenější skupinou tvářecích strojů (lisy výstředníkové, kolenové, šroubové, hřebenové, klikové, ohraňovací, tažné aj.). Nevýhodou mechanických lisů je pevný zdvih  $h$ , který je vymezen horní úvratí (HÚ) a dolní úvratí (DÚ), nebezpečí přetížení stroje a obtížné tvářecí po delší dráze s velkou silou.

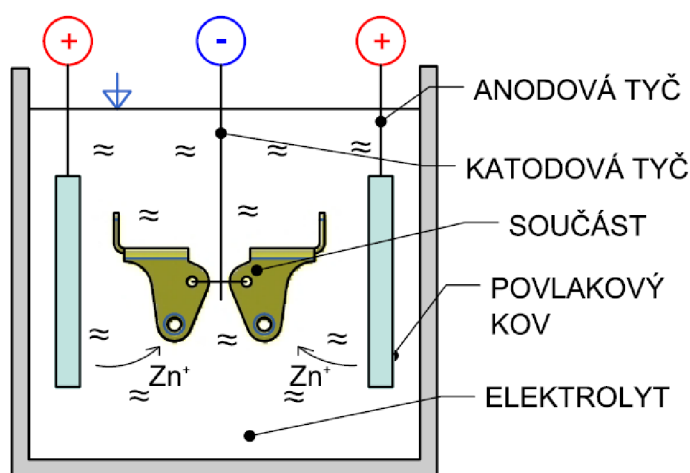


Obr. 26 Klikový lis [29]

## 2.5 Povrchová úprava [31], [32], [33], [34]

Pro ochranu kovových materiálů je vhodné ošetřit jejich povrch tzv. povrchovou úpravou. Při povrchových úpravách dochází kovový materiál do styku s chemickými látkami a směsmi, které vytvoří na povrchu tenkou ochrannou vrstvu. Povrchové úpravy jsou řazeny mezi strojírenské technologie, přestože charakter technologie vytváření některých povrchových úprav je převážně chemický. Povrchově se upravují nejen kovy, ale i některé další materiály, zejména dřevo, plasty, beton, kůže a další. Při povrchových úpravách různých materiálů se používají různé chemické látky a směsi s nebezpečnými vlastnostmi. Úkolem všech úprav povrchů je doplňovat vhodnými opatřeními odolnost vlastních materiálů či výrobků tak, aby byly po ukončení výroby a následném skladování a přepravě při převzetí zákazníkem po stránce funkční i vzhledové v perfektním stavu vzhledem k dalšímu účelu jejich použití.

Jednou z nejrozšířenějších aplikací povrchových úprav je galvanické zinkování. Základem elektrochemických dějů je elektrolýza a reakce probíhající v galvanických člancích. Pokovení spočívá v uvolňování kladných iontů kovu a rozpustné anody do roztoku. V elektrolytických lázních je anodou rozpustná elektroda, kterou vchází proud do roztoku elektrolytu. Je to elektroda připojená ke kladnému pólu zdroje stejnosměrného proudu. Většinou bývá vyrobena z kovu, kterým se pokovuje. Jako katoda jsou zapojeny pokovované díly. Rozpouštějící se anoda uvolňuje do roztoku kladné ionty kovu, které se spolu s vlastními ionty roztoku vylučují na katodě ve formě čistého kovu.



Obr. 27 Galvanické zinkování [33]

Na anodě dochází k reakci:  $\text{Zn} - 2e \rightarrow \text{Zn}^{2+}$

Na katodě dochází k reakci:  $\text{Zn}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Zn}$

Samotný zinek nemá příliš vysokou korozní odolnost a po procesu galvanického zinkování, kde vznikl surový zinkový povlak, má povrch šedou barvu, často s dekoračními vadami. Tomu se zabráňuje dalšími technologickými procesy, konkrétně vyjasňováním a pasivací zinkového povlaku (chromátováním).

Pasivaci předchází proces vyjasňování, kdy se pozinkované díly ponoří do zředěné kyseliny dusičné (koncentrace okolo 1%). Povrch pozinkovaného dílce je naleptán a vznikne lesklý povrch stříbřitého vzhledu.

Následuje proces pasivování. V minulosti byl proces označován jako chromátování, jelikož se využíval výhradně šestimocný chrom (žlutý chromát). U šestimocného chromu byly však prokázány karcinogenní účinky a obecně neblahý vliv na organismus, proto se jeho užívání snaží Evropská unie omezit. Vznikly proto roztoky, jejichž základem je trojmocný chrom (modrý chromát). Proto je dnes vhodnější využívat termín pasivace.

Nespornou výhodou žlutého chromátu, v porovnání s modrým chromátem, je jeho korozní odolnost, která je několikanásobně vyšší. Proto je žlutý chromát, tam kde je to možné, nebo nutné, nahrazován tzv. silnovrstvou pasivací, která má podobné vlastnosti, ale neobsahuje šestimocný chrom. Odolnost proti korozi lze ještě zvýšit použitím utěšňovacího laku.

Do pokovovací lázně lze materiál umístit buď na závěsy, kde je materiál zavěšen po jednotlivých kusech, nebo pomocí galvanických bubnů, kde je materiál nasypán hromadně a je během procesu pomalým otáčením promícháván.



*Obr. 28 Pokovovací lázeň závěsná (vlevo) a bubnová (vpravo) [31],[33]*

Galvanické zinkování je poměrně složitý a časově náročný proces, který se provádí ve specializovaných mořárnách. Samotný proces pokovení doprovází spousta dílčích operací. Zde je příklad technologického postupu galvanického pozinkování:

1. Vsazení do bubnu/ zavěšení
2. Hrubé odmaštění
3. Oplach ve vodě
4. Elektrolytické čištění
5. Oplach vodou
6. Moření, dekapování
7. Oplach vodou
8. Pokovování
9. Oplach vodou
10. Pasivace zinkového povrchu
11. Oplach vodou
12. Teplý oplach
13. Sušení
14. Kontrola



### 3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI [30], [35]

Vyráběným dílem je část sestavy zemního kartáče, který se používá k ochraně ložisek u elektromotorů a generátorů. Výlisek byl navržen z běžné konstrukční oceli ČSN 11 343 (S235JRG1), která je vhodná pro výrobu menších konstrukčních součástí s malými tloušťkami. Ocel je vhodná ke tváření za studena. Funkcí součástky je upevnění uhlíku, který je v kontaktu s rotující hřídelí. Tento kontakt zaručuje odvod elektrického proudu mimo ložisko.

Tab. 3.0 Mechanické vlastnosti oceli 11 343 [35]

Mechanické vlastnosti		
	Provedení	
	tepelně nezpracované	normalizačně žíhané
Pevnost v tahu $R_m$ [MPa]	min. 320	min. 320
Mez kluzu $R_e$ [MPa]	min. 200	min. 180
Tažnost $A_{10}$ [%]	min. 8	min. 20

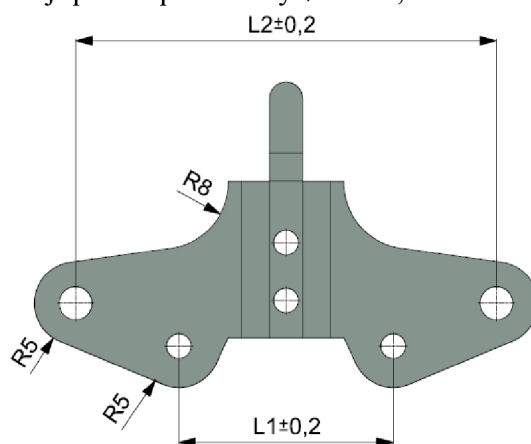
Tab. 3.1 Chemické složení oceli 11 343 [35]

Chemické složení [%]			
C	Mn	S	N
max. 1,01	max. 0,045	max. 0,045	max. 0,007

#### 3.1 Technologické zhodnocení

Z technologického hlediska je nutné zkontrolovat součást, zda vyhovuje stanoveným operacím. Pro stříhání je v první řadě potřeba se zaměřit na tolerované rozměry, které jsou zakresleny na Obr. 29. Jsou to rozměry, které stanovují pozici pro otvory  $\varnothing 3$  mm, které slouží pro upevnění přitlačné pružiny a dále pro předstřížené otvory  $\varnothing 2$  mm, které budou následně protaženy protahovacím trnem. Jejich funkce je upevnění držáku ke konstrukci kartáče. Pro vzdálenosti mezi těmito otvory je stanovena symetrická odchylka  $\pm 0,2$  (Obr. 29). Tyto tolerance se pohybují v tolerančních stupních IT, kterých je schopen střížný nástroj docílit. Další netolerované rozměry výstřížku podléhají obecné toleranci dle normy ČSN ISO 2768.

Dále je třeba zkontrolovat minimální průměr kruhových výstřížků a minimální vzdálenosti těchto otvorů od okraje výstřížku. Dle tab. 1.1 je minimální doporučený průměr děrovaných



Obr. 29 Rozměry držáku

otvorů  $1 \cdot t = 1 \cdot 1,5 = 1,5$  mm. Nejmenší kruhový otvor má průměr  $\varnothing 2$  mm, tedy podmínka je splněna. Minimální vzdálenosti otvorů stanovuje tab. 1.2 a Obr. 9. Pro otvory výstřižku platí:

Rozměr  $a$  dle tabulky (Tab. 1.2):  $a \geq 2,4$  mm

Pro nejmenší vzdálenost mezi otvory  $a_1$  a nejmenší vzdálenost otvoru od okraje  $a_2$  platí:

$a_1 = 7$  mm,  $7 > 2,4$  mm;  $a_2 = 4,5$  mm,  $4,5 > 2,4$  mm  $\rightarrow$  podmínka splněna.

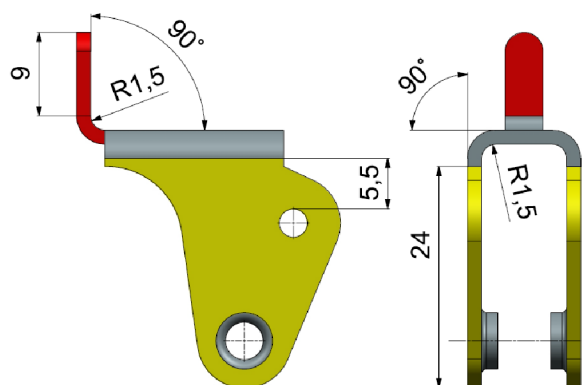
Poslední podmínkou je dodržení velikosti průměru před-střiženého otvoru, který bude následně lemován. Jeho velikost stanoví numerický výpočet dle (2.18):

$$d_L = D_L - 2 \cdot (H_L - 0,43 \cdot R_L - 0,72 \cdot t)$$

$$d_L = 4 - 2 \cdot (2,5 - 0,43 \cdot 1 - 0,72 \cdot 1,5) = 2,02 \text{ mm.}$$

Zde je zvolena velikost průměru 2 mm, podmínka je tedy plněna.

Pro ohýbání je z hlediska technologičnosti potřeba zkontrolovat minimální délku ohýbaného ramene. Pro poloměr ohybu  $R_o > 1$  mm platí pro délku ramene  $l_R$  vztah:



$$l_R = (2,5 \div 3) \cdot t \text{ [mm]} \quad (3.1)$$

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

Dle Obr. 30 lze vidět, že minimální délka ohnutého ramene, tedy ohnutého manipulačního výběžku (červená barva), je 9 mm. Podmínka je splněna.

Obr. 30 Rozměry ohnuté součásti

V neposlední řadě se provede kontrola minimální vzdálenosti otvoru od ohybu. Všechny ohyby  $R_o$  mají stejný poloměr ohybu, tedy 1,5 mm. Pro minimální vzdálenost otvoru od ohybu  $a_{min}$  platí:

$$a_{min} > R_o + 2 \cdot t \quad (3.2)$$

$$a_{min} > 1,5 + 2 \cdot 1,5 = 4,5 \text{ mm}$$

Z obrázku (Obr. 26) je patrné, že minimální vzdálenost otvoru od ohybu je 5,5 mm, čili i tato podmínka je splněna.

Na závěr je třeba zkontrolovat minimální poloměr ohybu. Jak již bylo řečeno, všechny ohyby  $R_o = 1,5$  mm. Dle vztahu 2.10 lze vypočítat minimální poloměr ohybu jako:

$$R_{min} = \frac{t}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_c - 1} \right) = {}^1p \cdot t = 0,6 \cdot 1,5 = 0,9 \text{ mm} \rightarrow \text{podmínka splněna.}$$

Z technologického hlediska byla součást zkontrolována pro všechny operace, které budou v nástroji aplikovány (stříhání, ohýbání, lemování otvoru). Ve všech podmínkách součást vyhovuje.

### 3.2 Rozvinutý tvar součásti

Jelikož se na součásti nacházejí ohyby, je pro návrh technologického postupu třeba stanovit rozměry rozvinutého tvaru. Pro výpočet rozměrů se nejdříve stanoví poloměr neutrální osy dle vztahu ((2.6), (kap. 2.2.4)).

$$\rho = R_o + x \cdot t = 1,5 + 0,42 \cdot 1,5 = 2,13 \text{ mm}$$

Na součásti jsou všechny poloměry ohybu  $R_o = 1,5 \text{ mm}$ , z čehož vyplývá, že poloměr neutrální osy bude pro všechny ohyby stejný. Pokud známe poloměr neutrální osy, můžeme přejít k výpočtu délky ohnutých částí součásti dle (2.7):

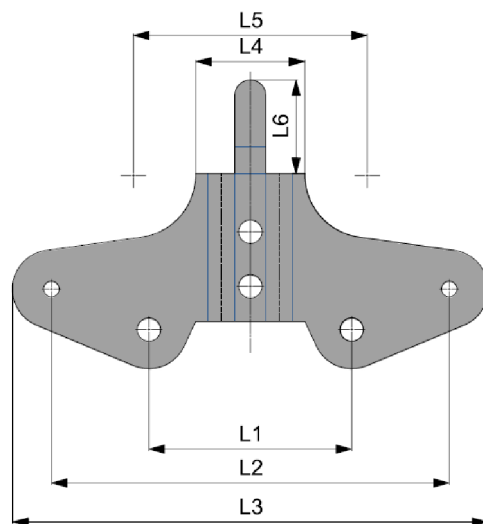
$$l_{1,5} = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \gamma}{180} = \frac{\pi \cdot 2,13 \cdot 90}{180} = 3,35 \text{ mm}$$

Pro rozvinutou součást je důležité vypočítat rozměry L1-L6 (Obr. 31) Jejich skutečnou hodnotu nelze zjistit z výkresové dokumentace z důvodu změny původní velikosti v důsledku rozvinu. Pro stanovení rozměrů se nejdříve vypočítají velikosti ramen ohybu l1-l6 (Obr. 32) a v závislosti na nich se určí rozměry L1-L6.

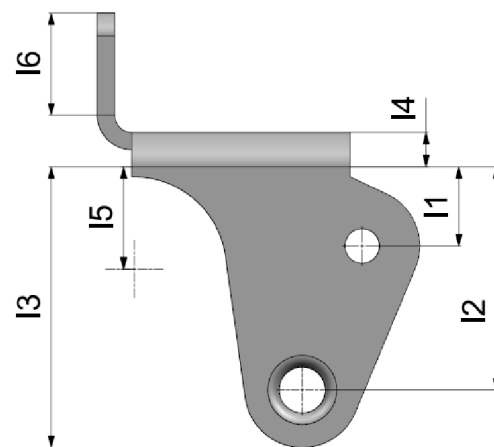
- *Rameno l1*  
 $l1 = 10 - 1,5 - 1,5 = 7 \text{ mm}$
- *Rameno l2*  
 $l2 = 22 - 1,5 - 1,5 = 19 \text{ mm}$
- *Rameno l3*  
 $l3 = 27 - 1,5 - 1,5 = 24 \text{ mm}$
- *Rameno l4*  
 $l4 = 1,5 + 1,5 = 3 \text{ mm}$
- *Rameno l5*  
 $l5 = 12 - 1,5 - 1,5 = 9 \text{ mm}$
- *Rameno l6*  
 $l6 = 10,5 - 1,5 = 9 \text{ mm}$

Součet rovinných a ohnutých úseků se provede dle vztahu (2.9):

$$\begin{aligned} L1 &= 6 + 2 \cdot (l1 + l_{1,5}) = 6 + 2 \cdot (7 + 3,35) = 26,7 \text{ mm} \\ L2 &= 6 + 2 \cdot (l2 + l_{1,5}) = 6 + 2 \cdot (19 + 3,35) = 50,7 \text{ mm} \\ L3 &= 6 + 2 \cdot (l3 + l_{1,5}) = 6 + 2 \cdot (24 + 3,35) = 60,7 \text{ mm} \\ L4 &= 6 + 2 \cdot (l4 + l_{1,5}) = 6 + 2 \cdot (3 + 3,35) = 18,7 \text{ mm} \\ L5 &= 6 + 2 \cdot (l5 + l_{1,5}) = 6 + 2 \cdot (9 + 3,35) = 30,7 \text{ mm} \\ L6 &= (l1 + l_{1,5}) = (7 + 3,35) = 12,35 \text{ mm} \end{aligned}$$



Obr. 31 Rozměry rozvinuté součásti



Obr. 32 Délky ramen l1-l6

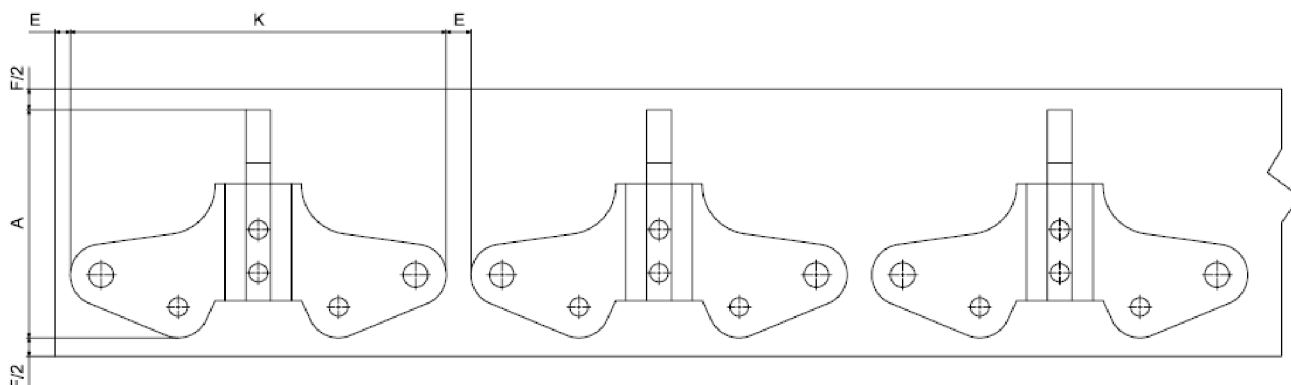


### 3.3 Návrh nástřihového plánu [30]

#### 3.3.1 Volba nástřihového plánu

Nástřihový plán je důležitým krokem při návrhu konstrukčního řešení nástroje. Je zde řešeno uspořádání součástí na plechu, které musí splňovat několik kritérií. Abychom dosáhli výstřižku v co možná nejlepší kvalitě, musí být kroky v nástroji správně systematicky řazeny. To má následně vliv na konstrukci celého nástroje, takže je nutné brát v úvahu složitost, vyrobiteľnosť a funkčnost nástroje s ohledem na zvolený nástřihový plán. Z ekonomického hlediska je snaha o maximální využití materiálu s minimálním technologickým odpadem. Správné rozmístění vychází především z rozměrové a tvarové složitosti výstřižku a velikosti výrobní série. Umístění výstřižku lze rozdělit do variant, u nichž se následně provede zhodnocení dle výše uvedených kritérií.

#### 1) Varianta s podélným rozmístěním výstřižku:



Obr. 33 Podélné rozmístění výstřižků

Pro variantu s podélným rozložením výstřižků na páse (Obr. 33) byly dle přílohy (Příloha 4) zvoleny hodnoty výšky můstku  $E_{m3} = 2,8$  mm a  $F_3 = 7,4$  mm. Nyní lze dle následujícího vztahu vypočítat využití tabule:

$$\eta_{tab} = \frac{P_k \cdot S_v}{S_{pasu}} [\%], \quad (3.3)$$

$$S_{pasu} = (A + F) \cdot ((K + E) \cdot P_v) [\text{mm}^2], \quad (3.4)$$

kde:

$\eta_{tab}$  - procentuální využití tabule [%],

$P_k$  - počet kroků [-],

$S_v$  - obsah výstřižku [ $\text{mm}^2$ ],

$S_{pasu}$  - obsah pásu [ $\text{mm}^2$ ],

$A$  - výška výstřižku [mm],

$K$  - délka výstřižku [mm].

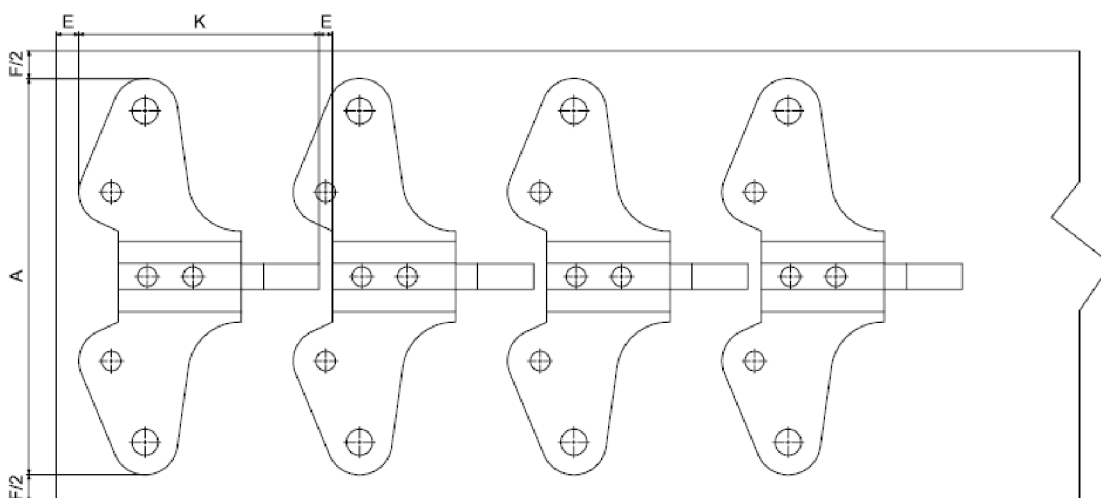
Jelikož budou ramena výstřižku ohnuta v kolmém směru ke směru zavádění pásu, bude spodní hodnota můstku  $F_2$  zvětšena na 10 mm. Počet kroků pro vytvoření součásti  $P_k = 6$ .

Dle programu Autodesk Inventor Professional 2017 byl vypočítán obsah výstřížku  $S_v = 995 \text{ mm}^2$ . Výpočet využití materiálu bude tedy následující:

$$S_{pasu} = (37 + 13,7) \cdot ((60,7 + 2,8) \cdot 6) = 19317 \text{ mm}^2$$

$$\eta_{tab} = \frac{6 \cdot 995}{19317} \cdot 100 = 30,9 \%$$

## II) Varianta s příčným rozmístěním výstřížků:



Obr. 34 Příčné rozmístění výstřížků

Pro variantu s příčným rozložením výstřížků na páse (Obr. 34) byly dle přílohy (Příloha 4) zvoleny hodnoty výšky můstků  $E_{m2} = 2 \text{ mm}$  a  $F_2 = 5,2 \text{ mm}$ . Počet kroků pro vytvoření součást  $P_k = 6$ . Výpočet využití materiálu bude tedy následující:

$$S_{pasu} = (60,7 + 5,2) \cdot ((37 + 2) \cdot 6) = 15421 \text{ mm}^2$$

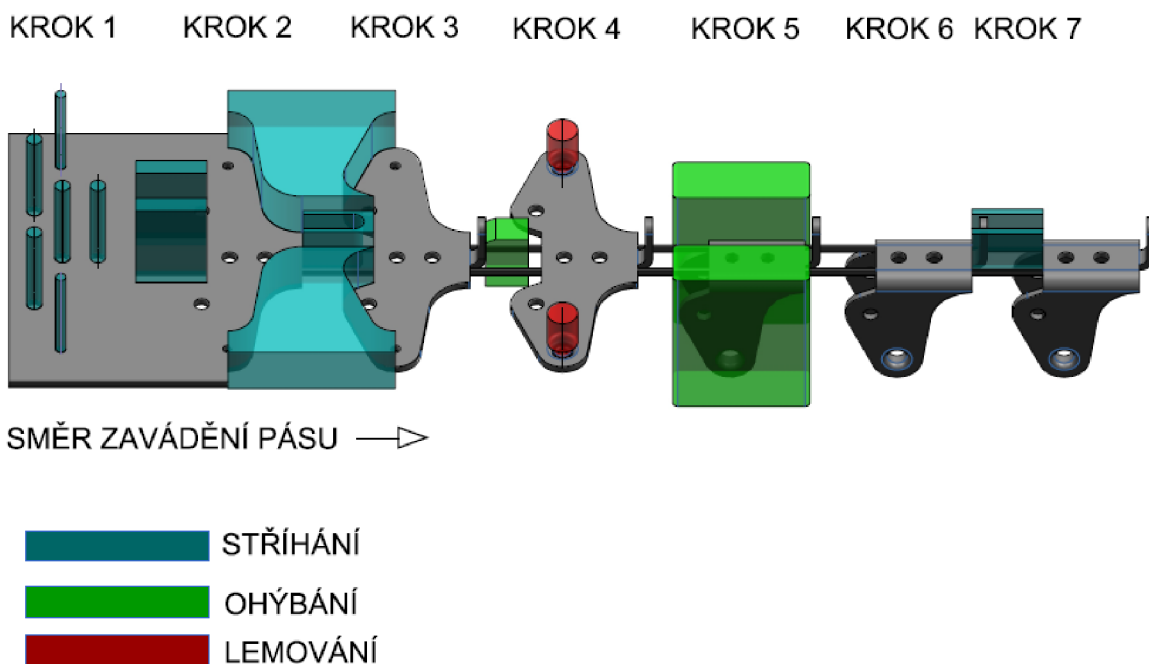
$$\eta_{tab} = \frac{6 \cdot 995}{15421} \cdot 100 = 38,7 \%$$

Z výše uvedených výpočtů pro varianty rozmístění výstřížků na páse je patrné, že varianta s příčným rozmístěním poskytuje větší využití plechu. S ohledem na složitost výstřížku a orientaci ohybů se také jeví druhá varianta optimálnější, jelikož směr ohybu ramen je rovnoběžný se směrem zavádění pásu. Z těchto uvedených důvodů bylo rozhodnuto pro příčné umístění výstřížků na páse. Víceřadé umístění se s ohledem k charakteru výlisku neuvažuje.

### 3.3.2 Volba výrobního postupu

Po volbě umístění výstřížků na páse přichází na řadu volba výrobního postupu. Vzhledem k charakteru součásti bude výrobní postup obsahovat tři různé operace – stříhání, ohýbání a lemování otvoru. Výrobní varianty jsou následující:

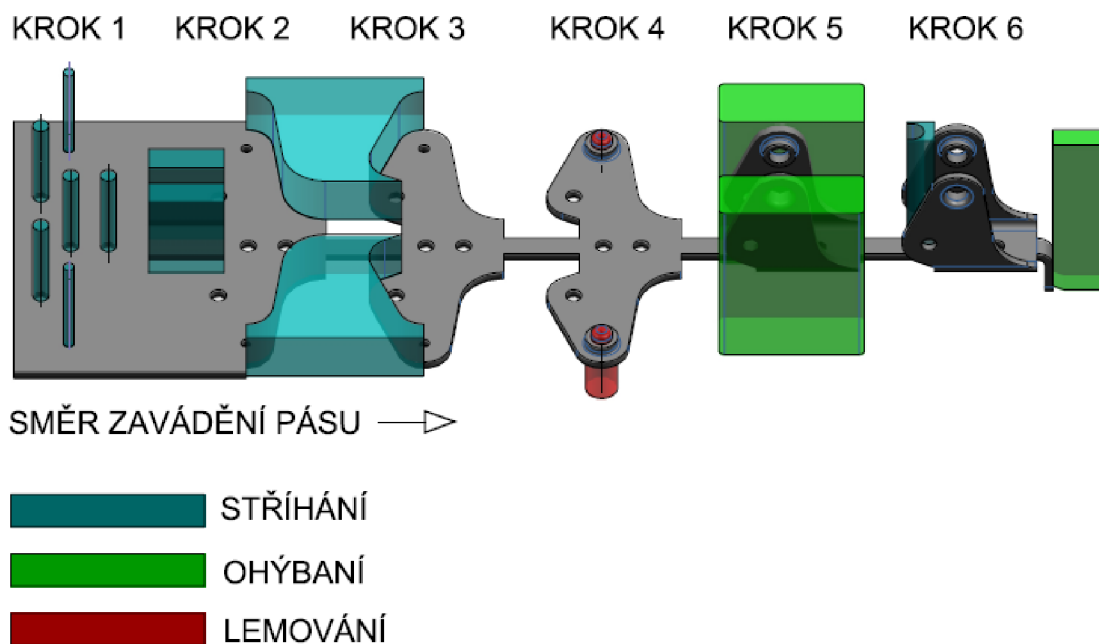
#### I) Varianta 1:



Obr. 35 I) Varianta 1 výrobního postupu

První varianta je rozdělena do sedmi kroků (Obr. 35). V prvním kroku (KROK 1) dojde k vystřížení všech kruhových otvorů a také dvou obdélníkových, které určují vnější hranici vodicí přepážky. KROK 2 a KROK 3 jsou společné kroky, ve kterých dojde ke stříhu tvarovými střížníky a také k vystřížení obrysu manipulačního výstupku. Ve čtvrtém kroku (KROK 4) budou krajní otvory protaženy protahovacími trny, čímž vznikne lemovaný otvor. Dále zde dojde k ohybu manipulačního výběžku. Jelikož tento ohyb bude veden ohybníkem ze spodu nástroje, bude nutno zkonstruovat odpruženou spodní desku, která po ohybu vytáhne celý pás nad úroveň ohybníku. KROK 5 slouží k provedení velkého ohybu bočních ramen. Ohybníky jsou vedeny shora, což je velkou výhodou této varianty. Předposlední KROK 6 je krok volný, následován posledním krokem (KROK 7), kde dojde ke konečnému odstřížení výstřížku prostřížením vodicí přepážky.

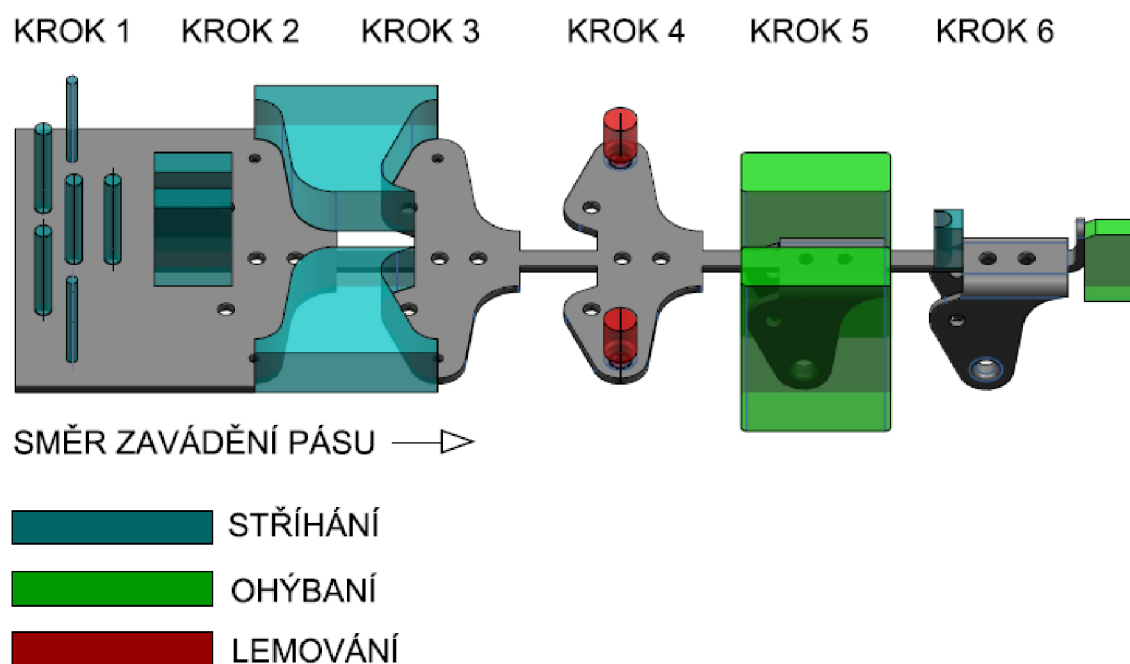
## II) Varianta 2:



Obr. 36 II) Varianta 2 výrobního postupu

Varianta č. 2 je rozdělena na šest kroků (Obr. 36). Od předchozí varianty (Obr. 35) se liší tím, že jsou zde protahovací trny vedeny zespodu, což znamená, že opět bude třeba zkonstruovat odpruženou desku. Stejně tak jsou i velké ohybníky, pro ohyb bočních ramen, vedeny zespodu nástroje. Pro tento případ by bylo nutné desku zvedat o cca 30 mm, což by bylo nepraktické. Další změnou oproti předešlé variantě je zde zkombinovaný ohyb manipulačního výstupku a vystřížení vodící přepážky v posledním kroku (KROK 6).

## III) Varianta 3:

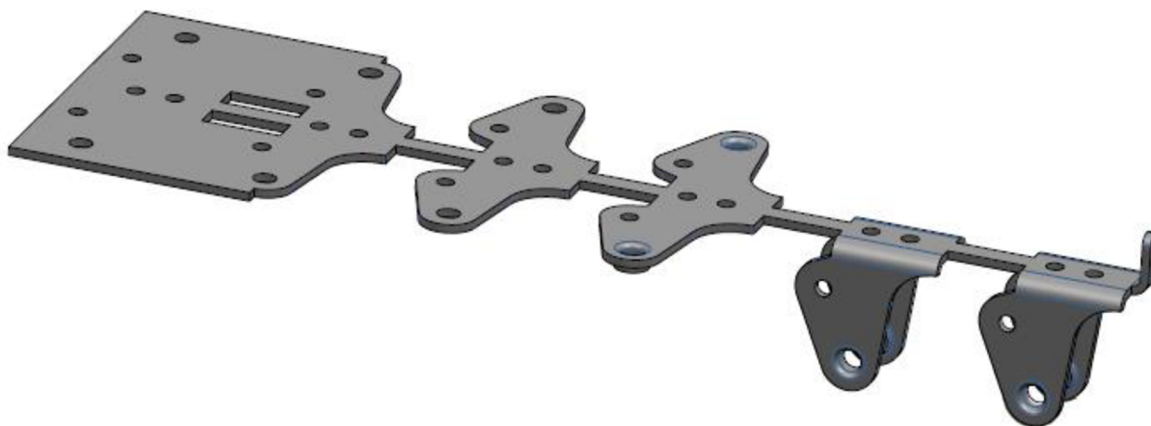


Obr. 37 III) Varianta 3 výrobního postupu

Varianta č. 3 je rozdělena do šesti kroků (Obr. 37). Je to varianta obdobná, jako varianta č. 2 (Obr. 36), ale otočená o 180°. Tím pádem dojde v prvním kroku (KROK 1) vystřížení kruhových otvorů a obdélníkových otvorů, definujících vodící přepážky. KROK 2 a KROK 3 jsou společné, kde dojde k vystřížení tvarovými střížníky. Čtvrtý krok (KROK 4) slouží k protažení protahovacími trny, čímž vznikne lemovaný otvor. V dalším kroku (KROK 5) dojde k velkému ohybu bočních ramen. Ohyb je veden shora nástroje, což je oproti předešlé variantě značnou výhodou. V posledním kroku (KROK 6) je opět sloučená operace ohýbání a stříhání. Dojde zde k ohybu manipulačního výstupku a prostřížení vodící přepážky.

Z výše uvedených variant vychází jako nejvhodnější varianta č. 3 (Obr. 37), která je oproti první variantě (Obr. 35) zkrácena o jeden krok, což je ekonomicky výhodnější. Dále je zde ohyb manipulačního výstupku řešen až v posledním kroku, díky čemuž vznikne širší vodící lišta. S větší šířkou vodící lišty klesá riziko nepříznivé deformace plechového pásu vlivem odpružené spodní desky.

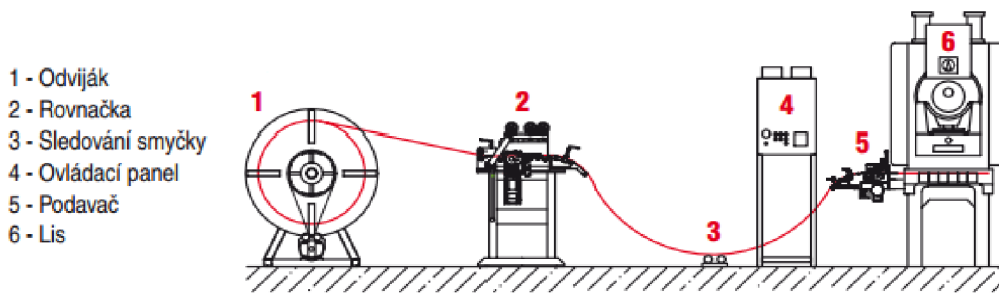
V porovnání vybrané varianty s předchozí druhou variantou (Obr. 35) je zde zřejmou výhodou vedení všech ohybů a protahovacího trnu z horní části nástroje. V takovém případě bude sice i tak nutné zkonstruovat odpruženou spodní desku, ale díky horním ohybníkům se podstatně zredukuje nutný zdvih desky.



Obr. 38 3D model výrobního postupu

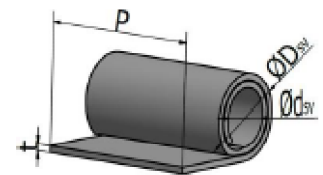
### 3.4 Volba polotovaru [42]

Pro výrobu dílce může být zvolen polotovar ve formě tabule, který bude následně třeba nadělit dle příslušných výpočtů, nebo ve formě svitku. Velkou výhodou svitku je snížení manipulačních operací a tím i snížení neproduktivních časů, protože svitek je automaticky odvíjen z odvíjecího zařízení. Svitek je následně sveden do rovnačky kde dojde k jeho srovnání. Svitek je poté směřován do podavače, který je umístěn přímo u lisu. Krok, kterým je svitek posouván do nástroje je naprogramován a ovládán pomocí ovládacího panelu. Mezi rovnačkou a podavačem se nachází ještě tzv. sledovací smyčka s čidlem, které snímá, jestli se velikost smyčky nemění. V případě poruchy odvíjení, nebo podavače čidlo zaznamená změnu smyčky a automaticky zastaví výrobní proces (Obr. 39). Díky plně automatizovanému procesu podávání svitku se zredukuje nároky na obsluhu pouze na jednoho kontrolního dělníka a tím klesnou i náklady na obsluhu stroje.



Obr. 39 Schéma výrobní linky

Jako polotovar pro výrobu držáku uhlíku byl zvolen svitek plechu, který je zobrazen na Obr. 40. Firma Rosso Steel nabízí vhodný svitek z materiálu oceli ČSN 11 343, s tloušťkou  $t = 1,5$  mm, vnitřním průměrem svitku  $d_{sv} = 508$  mm a vnějším průměrem  $D_{sv} = \max. 2000$  mm. Šířka  $P$  svitku je dána hodnotami šířky plechu z kapitoly 3.2.1 jako:



Obr. 40 Rozměry svitku

$$P = A + F = 60,7 + 5,2 = 65,9 \text{ mm} \rightarrow \text{volím } 66 \text{ mm.} \quad (3.5)$$

Níže je vzorový výpočet pro  $D_{sv} = 1000$  mm. Další varianty jsou zaneseny do Tab. 3.2.

- Délka rozvinutého svitku  $L_{sv}$ :

$$L_{sv} = \frac{\pi}{4 \cdot t} \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2) = \frac{\pi}{4 \cdot 1,5} \cdot (1000^2 - 508^2) = 388476,78 \text{ mm} \quad (3.6)$$

- Počet výstřižků z jednoho svitku  $n_s$ :

$$n_s = \frac{L_{sv}}{K+E} = \frac{388476,78}{39} = 9960 \text{ ks} \quad (3.7)$$

- Plocha rozvinutého svitku  $S_{sv}$ :

$$S_{sv} = L_{sv} \cdot P = 388476,78 \cdot 66 = 25\,639\,467,5 \text{ mm}^2 \quad (3.8)$$

- Potřebný počet svitků  $p_{sv}$ :

$$p_{sv} = \frac{N}{n_s} = \frac{50000}{9960} = 5,02 \rightarrow 6 \text{ ks} \quad (3.9)$$

- Hospodárné využití svitků  $\eta_{sv}$ :

$$\eta_{sv} = \frac{N \cdot S_v}{p_{sv} \cdot S_{sv}} \cdot 100 = \frac{50000 \cdot 995}{6 \cdot 25639467,5} = 32,34 \% \quad (3.10)$$

Tab. 3.2 Varianty svitků s vnějším průměrem  $D_{sv}$ :

$D_{sv}$ [mm]	1000	1200	1400	1500	1600	1800	2000
$L_{sv}$ [mm]	388476,8	618860,2	891131,6	1042975	1205291	1561338	1959273
$n_s$ [ks]	9960	15868	22849	26742	30904	40034	50237
$S_{sv}$ [mm <sup>2</sup> ]	25639468	40844776	58814686	68836367	79549197	1,03E+08	1,29E+08
$p_{sv}$ [ks]	6	4	3	2	2	2	1
$\eta_{sv}$ [%]	32,33947	30,45065	28,19591	36,13642	31,26996	24,13916	38,47283

Z tabulky je patrné, že nejlepší variantou je svitek s vnějším průměrem  $D_{sv} = 2000$  mm.

### 3.5 Odpružení

Jelikož je ohýbání pružně tvárnou deformací, je potřeba stanovit pro ohyby součásti velikost odpružení, které by mohlo nastat po skončení působení deformační síly, kdy má materiál snahu vrátit se do původní polohy. U součásti se nacházejí dva typy ohybu. První je ohyb bočních ramen, druhý ohyb zahrnuje ohnutí manipulačního výběžku. U obou ohybů se stanoví velikost odpružení dle vztahu (2.2).

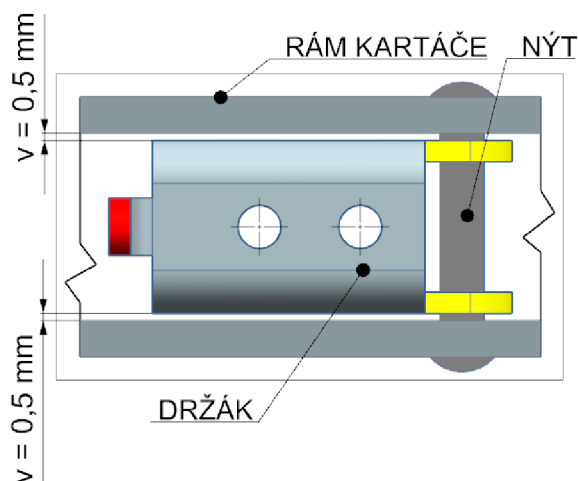
- *Velký ohyb bočních ramen:*

$$tg\beta_1 = 0,75 \cdot \frac{l_v}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{4}{0,58 \cdot 1,5} \cdot \frac{235}{2,1 \cdot 10^5} = 3,859 \cdot 10^{-3} \rightarrow \beta_1 = 0,22^\circ$$

- *Malý ohyb manipulačního výběžku:*

$$tg\beta_2 = 0,75 \cdot \frac{l_v}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{5}{0,58 \cdot 1,5} \cdot \frac{235}{2,1 \cdot 10^5} = 4,823 \cdot 10^{-3} \rightarrow \beta_2 = 0,28^\circ$$

Výsledné hodnoty odpružení je vhodné posoudit z hlediska přesnosti. Obecně je doporučeno nepředepisovat tolerance tam, kde z funkčního hlediska nejsou opodstatněné. Pro ohyb manipulačního výběžku je vypočtená hodnota odpružení zcela dostačující. Pro ohyb bočních ramen byla stanovena tolerance úhlu  $\pm 0,5^\circ$ , která zajišťuje bezproblémově umístění ohnuté součásti do nosného rámu kartáčové sestavy. Mezi rameny součásti a rámem je vůle, která dostatečně pokryje vypočtené odpružení (Obr. 41).



Obr. 41 Umístění držáku v rámu kartáče



### 3.6 Síla a práce

V tomto kroku budou stanoveny potřebné síly a práce pro všechny použité tvářecí operace. Jedná se o stříhání, ohýbání a lemování otvoru. Pro každý typ operace budou výpočty stanoveny jednotlivě a na závěr bude vypočtena celková síla a práce, jako součet dílčích výpočtů.

#### ➤ Výpočet střížné části

Pro výrobu součásti jsou stanoveny střížné operace ve čtyřech krocích. Jedná se o první krok, kde dojde k vystřížení kruhových otvorů a obdélníkových otvorů, dále krok druhý a třetí, ve kterém proběhne prostříhnutí tvarovými střížníky a nakonec v pátém kroku, kde tvarový střížník odstříhne součást od pásu plechu (viz kapitola 3.3.2 – Obr. 37).

Na počátku výpočtů střížné části se nejdříve určí velikost střížného odporu  $\tau_s$ , což je odpor stříhaného materiálu vůči vniknutí střížníku. Podle vztahu 1.3 se  $\tau_s = 80-85\% R_m$ . Dle Přílohy 5 se pevnost v tahu  $R_m$  zvoleného materiálu pohybuje v rozmezích 360-510 MPa. Pro výpočet bude zvolena střední hodnota  $R_m = 435 \text{ MPa}$ . Dle stanovených parametrů bude výpočet střížného odporu následující:

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 432 = 348 \text{ MPa} \quad (3.11)$$

Abychom byli schopni vypočítat potřebnou střížnou sílu a práci, je nutné znát křivku stříhu všech střížníků, které jsou zobrazeny na Obr. 42. Dále je nutné vzít v úvahu fakt, že v kroku 2 a 3 se plech prostřihává tvarovými střížníky, přičemž v kroku 2 proběhne prostřížení jen částí střížníku a v kroku 3 prostříhnutí zbylou částí střížníku. Z toho plyne, že křivka stříhu nebude rovna obvodu celého tvarového střížníku a je třeba počítat s obvodem zkráceným o část vystříženou v předchozím kroku. Síla na jednotlivých střížnicích se vypočítá dle vztahu (1.3). Střížná plocha  $S_n$  se vypočítá jako obvod střížníku  $O_n$  vynásobený tloušťkou materiálu, čili následovně:  $S_n = O_n \cdot t$ . Pro výpočet obvodu střížníků je použit počítačový program Autodesk Inventor.

- Síla na kruhovém střížníku (Obr. 42 a)

$$F_{s1} = S_1 \cdot n \cdot \tau_s = 14,13 \cdot 1,3 \cdot 348 = 6\,392,4 \text{ N}$$

- Síla na kruhovém střížníku (Obr. 42 b)

$$F_{s2} = S_2 \cdot n \cdot \tau_s = 9,42 \cdot 1,3 \cdot 348 = 4\,261,6 \text{ N}$$

- Síla na obdélníkovém střížníku (Obr. 42 c)

$$F_{s3} = S_3 \cdot n \cdot \tau_s = 57 \cdot 1,3 \cdot 348 = 25\,786,8 \text{ N}$$

- Síla na tvarovém střížníku (Obr. 42 d) – krok 2

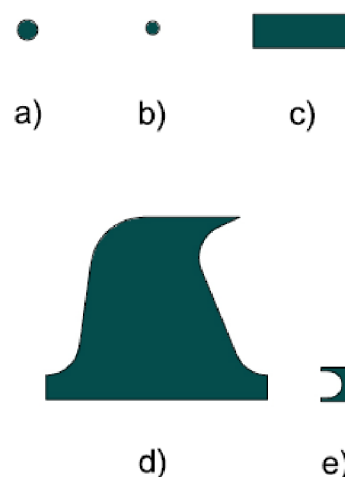
$$F_{s4} = S_4 \cdot n \cdot \tau_s = 140,1 \cdot 1,3 \cdot 348 = 63\,381,2 \text{ N}$$

- Síla na tvarovém střížníku (Obr. 42 d) – krok 3

$$F_{s5} = S_5 \cdot n \cdot \tau_s = 115,11 \cdot 1,3 \cdot 348 = 52\,075,8 \text{ N}$$

- Síla na tvarovém střížníku (Obr. 42 e)

$$F_{s6} = S_6 \cdot n \cdot \tau_s = 37,28 \cdot 1,3 \cdot 348 = 16\,863,2 \text{ N}$$



Obr. 42 Tvary střížníků

Celková střížná síla  $F_{sc}$ :

$$F_{sc} = 4 \cdot F_{s1} + 2 \cdot F_{s2} + 2 \cdot F_{s3} + 2 \cdot F_{s4} + 2 \cdot F_{s5} + F_{s6} \quad (3.12)$$

$$F_{sc} = 4 \cdot 6392,4 + 2 \cdot 4261,6 + 2 \cdot 25786,8 + 2 \cdot 63381,2 + 2 \cdot 52075,8 + 16863,2$$

$$F_{sc} = 333443,6 \text{ N} = 334 \text{ kN}$$



Celková střížná práce dle (1.4):

$$A = \frac{k_v \cdot F_s \cdot t}{1000} = \frac{0,6 \cdot 333443,6 \cdot 1,5}{1000} = 300 \text{ J}$$

### ➤ Výpočet ohýbací části

Při výpočtu ohýbacích sil lze vycházet ze vztahu (2.15), neboli ze vztahu pro výpočet ohýbací práce do tvaru „U“, dle ČSN 22 7340. Ohyb ramen ve čtvrtém kroku lze považovat za jeden ohyb do tvaru „U“ s rozděleným ohybníkem, který z důvodu symetrie může být považován za jeden. Šířka ramene  $b$  bude dvojnásobná.

- *Ohyb ramen do tvaru U:*

$$F_{o1} = \frac{R_e \cdot b_1 \cdot t^2}{R_o + t} \cdot (1 + 7 \cdot {}^1f) = \frac{235 \cdot (19 \cdot 2) \cdot 1,5^2}{1,5 + 1,5} \cdot (1 + 7 \cdot 0,1)$$

$$F_{o1} = 17\,078,6 \text{ N}$$

- *Ohyb manipulačního výběžku:*

$$F_{o2} = \frac{R_e \cdot b_2 \cdot t^2}{R_o + t} \cdot (1 + 7 \cdot {}^1f) = \frac{235 \cdot 4 \cdot 1,5^2}{1,5 + 1,5} \cdot (1 + 7 \cdot 0,1)$$

$$F_{o2} = 1\,797,8 \text{ N}$$

Celková ohýbací síla  $F_{oc}$  dle (2.16):

$$F_{oc} = F_{o1} + F_{o2} + F_{p1} + F_{k1} = 17078,6 + 1797,8 + 0,25 \cdot 17078,6 + 2 \cdot 17078,6$$

$$F_{oc} = 57303,3 \text{ N}$$

Ohýbací práce se stanoví dle vztahu (2.20). Celková ohýbací práce  $A_{oc}$  se stanoví obdobně jako síla, jako součet jednotlivých prací pro každou ohýbací operaci.

- *Ohyb ramen:*

$$A_{o1} = \frac{m \cdot (F_{o1} + F_p) \cdot h}{1000} = \frac{\left(\frac{2}{3}\right) \cdot (17078,6 + 4719,1) \cdot 24}{1000} = 348,8 \text{ J}$$

- *Ohyb manipulačního výběžku:*

$$A_{o2} = \frac{m \cdot (F_{o2} + F_p) \cdot h}{1000} = \frac{\left(\frac{2}{3}\right) \cdot (1797,8 + 4719,1) \cdot 9}{1000} = 39,1 \text{ J}$$

Celková ohybová práce:

$$A_{oc} = A_{o1} + A_{o2} = 348,8 + 39,1 = 387,9 \text{ J} \quad (3.13)$$

---

<sup>1</sup> $f$  – hodnota koeficientu  $f$  volena **0,1** – použití mazání.

### ➤ Výpočet lemovací části

Na součásti se nachází dva lemované otvory, které se vytvoří ve čtvrtém kroku. Pro výpočet celkové lemovací síly a práce se stanoví lemovací síla dle (2.22) a práce dle (2.23) pro jeden otvor a hodnoty se poté vynásobí dvěma pro vytvoření i druhého otvoru.

- *Lemovací síla:*

$$\delta = \frac{D_{1L} - d_L}{D_{1L}} = \frac{8 - 2}{8} = 0,71$$

$$F_L = 0,7 \cdot t \cdot D_{1L} \cdot \delta \cdot R_m = 0,7 \cdot 1,5 \cdot 8 \cdot 0,75 \cdot 432 = 2\,254,4 \text{ N}$$

- *Lemovací práce:*

$$A_L = F_L \cdot H_L = 1360,8 \cdot 0,003 = 5,6 \text{ J}$$

Celková lemovací síla:

$$F_{Lc} = F_L \cdot 2 = 2254,6 \cdot 2 = 4\,508,8 \text{ N} \quad (3.14)$$

Celková lemovací práce:

$$A_{Lc} = A_L \cdot 2 = 8,2 \cdot 2 = 11,2 \text{ J} \quad (3.15)$$

### ➤ Výpočet celkové síly a práce

Celková síla a práce se vypočítají jako součet sil a prací jednotlivých operací nástroje.

Celková síla:

$$F_c = F_{sc} + F_{oc} + F_{Lc} = 333443,6 + 57303,3 + 4508,8 = 395\,255,7 \text{ N} \quad (3.16)$$

Celková práce:

$$A_c = A_{sc} + A_{oc} + A_{Lc} = 300 + 387,9 + 11,2 = 690,1 \text{ J} \quad (3.17)$$

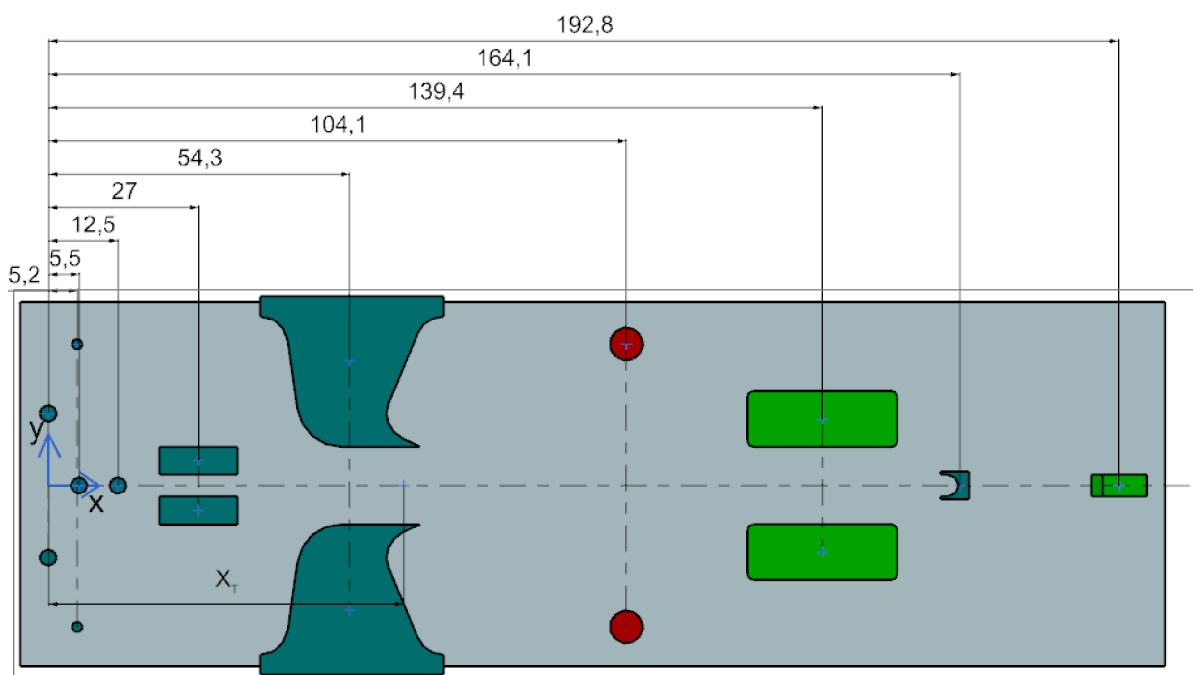
## 3.7 Určení těžiště sil

Těžiště sil určuje umístění stopky, která slouží k upnutí horní části nástroje k beranu. Výslednice sil by měla být vždy umístěna v ose lisu. Jak již bylo řečeno v kapitole 2.1.17, k určení výslednice sil může být využito numerické metody, nebo metody grafické. Pro výpočet těžiště byla pro navrhovaný výrobní postup zvolena metoda výpočtová, která vychází z momentové rovnováhy působících sil. U zvoleného výrobního postupu je velkou výhodou fakt, že střížné, lemovací i ohýbací operace jsou symetrické podle středu součásti.

Momentová rovnováha je určena rovností celkové síly a sil dílčích. Celková síla byla stanovena v kapitole 5.3.4, a to  $F_c = 395255,7 \text{ N}$ . Dílčí síly byly vypočteny v kapitole 3.6. Jak již bylo zmíněno, operace jsou osově symetrické podle středu součásti, která je tedy zvolena jako osa 'x' (Obr. 43). Jednotlivé operace a jejich silové působení jsou zaneseny do Tab. 3.3, ve které jsou zahrnuty i souřadnice operací v ose 'x'. Pro tvarové střížníky byly tyto souřadnice vypočteny programem Autodesk Inventor 2017.

Tab. 3.3 Těžiště sil jednotlivých operací

Operace	Síla [N]	Počet [ks]	Poloha v ose 'x' [mm]	Celková síla [N]	Označení síly
Střih otvoru Ø3 mm	6392,4	2	0	12784,8	$F_{t1}$
Střih otvoru Ø3 mm	6392,4	1	5,5	6392,4	$F_{t2}$
Střih otvoru Ø3 mm	6392,4	1	12,5	6392,4	$F_{t3}$
Střih otvoru Ø2 mm	4261,6	2	5,2	8523,2	$F_{t4}$
Střih obdélníkovým střížníkem	25786,8	2	27	51573,6	$F_{t5}$
Střih tvarovým střížníkem	115457	2	54,3	230914	$F_{t6}$
Prolisování otvorů	2254,4	2	104,1	4508,8	$F_{t7}$
Ohyb bočních ramen	17078,6	1	139,4	55505,5	$F_{t8}$
Odstřížení od plechu	16863,2	1	164,1	16863,2	$F_{t9}$
Ohyb manipulačního výběžku	1797,8	1	192,8	1797,8	$F_{t10}$



Obr. 43 Schéma pro výpočet těžiště

Výpočet souřadnice těžiště  $X_T$  v ose 'x' dle (1.5):

$$F_C \cdot X_T = F_{s1} \cdot 0 + F_{t2} \cdot 5,5 + F_{t3} \cdot 12,5 + F_{t4} \cdot 5,2 + F_{t5} \cdot 27 + F_{t6} \cdot 54,3 + F_{t7} \cdot 101 + F_{t8} \cdot 139,4 + F_{t9} \cdot 164,1 + F_{t10} \cdot 192,8$$

$$F_C \cdot X_T = 12784,8 \cdot 0 + 6392,4 \cdot 5,5 + 6392,4 \cdot 12,5 + 8523,2 \cdot 5,2 + 51573,6 \cdot 27 + 230914 \cdot 54,3 + 4543,2 \cdot 101,4 + 55505,5 \cdot 139,4 + 16863,2 \cdot 164,1 + 1797,8 \cdot 192,8 = 25411201$$

$$395255,7 \cdot X_T = 25411201 \rightarrow X_T = \frac{25411201}{395255,7} = 64,3 \text{ mm}$$

### 3.8 Funkční části nástroje [37], [38]

Pro výrobu nejvíce namáhaných částí nástroje, jako jsou střížníky, střížnice, ohybníky, ohybnice a lemovací trny, byla zvolena ocel 19 436. Jedná se o nástrojovou, vysoce legovanou ocel, která je vhodná pro práci za studena. Vyznačuje se rozměrovou stálostí a vysokou odolností proti opotřebení, což je pro namáhané části nástroje žádoucí. Pro zvýšení tvrdosti je dále navrženo kalit a popouštět na  $60 \pm 2$  HRC. Výroba stíracích desek, které se nacházejí na horní části nástroje, je navržena z ocele 19 312. Tato ocel má také velmi dobrou rozměrovou a tvarovou stálost. Prokalitelnost zmíněné oceli je horší u větších rozměrů, ale jelikož jsou desky navrženy v tloušťce 15 mm, není tento fakt považován za problematický.

Další části nástroje, které nepodléhají velkému namáhání, jsou navrženy z konstrukční ocele 11 500, která je vhodná pro výrobu částí nástroje s mírným statickým a dynamickým namáháním.

Pro některé funkční části nástroje je třeba provést kontrolní výpočty. V případě střížnice (lisovnice) je nutné zkontrolovat její tloušťku. Výpočet minimální tloušťky střížnice se provede dle vztahu (1.12):

$$H_{min} = \sqrt{\frac{2,5 \cdot F_s}{\sigma_o}} = \sqrt{\frac{2,5 \cdot 333443,6}{450}} = 43 \text{ mm}$$

Vypočtená minimální tloušťka střížnice je 43 mm, ale s ohledem na fakt, že je střížnice podepřena základovou deskou, byla její tloušťka stanovena na **35 mm**.

Dále je třeba zkontrolovat kritickou délku nejmenšího střížníku, u kterého hrozí riziko ztráty stability a jeho následné vybočení (vzpěr). Protože je střížník veden ve vodící desce, kritická délka střížníku se stanoví dle vztahu (1.7).

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot {}^1I}{2n_k \cdot F_{s1}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 3^4}{64}}{2 \cdot 6392,4}} = 49,55 \text{ mm}$$

Délka kontrolovaného střížníku  $\varnothing 3$  mezi vodící deskou a kotevní deskou, čili volná délka střížníku, u které hrozí vzpěr, je 34,5 mm. Podmínka kritické délky střížníku je tedy splněna.

Pro kontrolu plastických deformací na horní upínací desce se provede kontrola namáhání tlakem a na otláčení. Výpočet bude proveden pro všechny střížníky. Hodnota napětí nesmí přesáhnout stanovenou mez  $\delta_{DOV}$ , která je u oceli 180 MPa. Pro výpočet napětí od střížníků je nutné znát hodnotu dosedací plochy hlavy střížníku  $S_{HS}$ . Tyto hodnoty byly vypočteny pomocí programu Autodesk Inventor 2017.

- *Kontrola kruhového střížníku  $\varnothing 3$  dle (1.11):*

$$\sigma_H = \frac{F_{s1}}{S_{HS1}} = \frac{6392,4}{16} = 399,52 \text{ MPa}$$

---

<sup>1</sup>I – moment setrvačnosti kruhového průřezu dle vztahu (1.8)

$^2n_k$  – hodnota koeficientu bezpečnosti  $n_k$  volena **2**

- *Kontrola obdélníkového střížníku dle (1.11):*

$$\sigma_H = \frac{F_{s3}}{S_{HS2}} = \frac{25786,8}{180} = 143,26 \text{ MPa}$$

- *Kontrola tvarového střížníku dle (1.11):*

$$\sigma_H = \frac{F_{s4} + F_{s5}}{S_{HS3}} = \frac{115457}{566,24} = 207,57 \text{ MPa}$$

- *Kontrola odstřihávacího střížníku dle (1.11):*

$$\sigma_H = \frac{F_{s6}}{S_{HS4}} = \frac{16863,2}{121} = 139,37 \text{ MPa}$$

Z výsledků pro výpočet napětí na střížnicích vyplývá, že stanovená mez maximálního napětí  $\delta_{DOV} = 180 \text{ MPa}$  je překročena u malých kruhových a tvarových střížníků. Tyto střížníky bude nutné podepřít kalenou opěrnou deskou. Z konstrukčního hlediska bude kalená opěrná deska vedena přes celý nástroj.

Dalším důležitým krokem je stanovení rozměrů střížníků a střížnic. V první řadě je nutné vypočítat střížnou vůli, která se v případě tloušťky plechu menší než 3 mm stanoví dle vzorce (1.1):

$$v_s = 2 \cdot z_s = 2 \cdot 0,32 \cdot {}^1c \cdot t \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,32 \cdot 0,020 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{348} = 0,36 \text{ mm}$$

Po stanovení střížné vůle se provede výpočet rozměrů střížníků a střížnic. Při určení rozměrů se vychází ze vzorců, které připouštějí míru opotřebení dle normy ČSN 22 6015 (Příloha 1). Součást bude v nástroje postupně obstřihávána, takže z principiálního hlediska se jedná o děrování. Na Obr. 44. jsou zobrazeny rozměry stříhaných otvorů, které na výkrese součásti nejsou tolerovány. Proto se pro stanovení jejich tolerance bude vycházet z Všeobecné tolerance netolerovaných rozměrů dle normy ČSN ISO 2768-1 (Příloha 3). U složitějších tvarů je tolerance zjednodušeně volena na základě největšího rozměru v obou směrech. Rozměry střížníků se vypočítají dle následujících vztahů:

- *Střížník kruhový  $\varnothing 3$  (a):*

- *Výpočet rozměrů střížnice:*

$$A_{ed1} = (A_j + \frac{P_{op}}{2} + v_s)^{+\delta_e} \text{ [mm]} \quad (3.11)$$

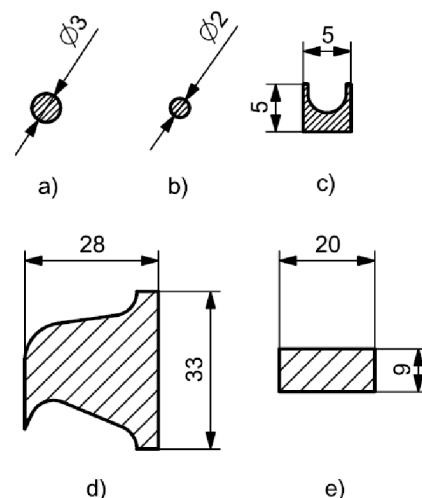
$$A_{ed1} = (3 + \frac{0,160}{2} + 0,36)^{+0,054} = 3,44^{+0,054} \text{ mm}$$

kde:  ${}^2P_{op}$  – přípustná míra opotřebení [mm]

- *Výpočet rozměrů střížníku:*

$$A_{kd1} = (A_j + \frac{P_{op}}{2})_{-\delta_k} \text{ [mm]} \quad (3.12)$$

$$A_{kd1} = (3 + \frac{0,160}{2})_{-0,035} = 3,08_{-0,035} \text{ mm}$$



Obr. 44 Rozměry stříhaných otvorů

${}^1c$  – součinitel závislý na druhu stříhání volen 0,020

${}^2P_{op}$  – přípustná míra opotřebení volena dle ČSN 22 6015 (Příloha 1)

➤ Střížník kruhový Ø2 (b):

$$A_{ed2} = \left(A_j + \frac{P_{op}}{2} + v_s\right)^{+\delta_e} = \left(2 + \frac{0,160}{2} + 0,36\right)^{+0,054} = 2,44^{+0,054} \text{ mm}$$

$$A_{kd2} = \left(A_j + \frac{P_{op}}{2}\right)_{-\delta_k} = \left(2 + \frac{0,160}{2}\right)_{-0,035} = 2,08_{-0,035} \text{ mm}$$

➤ Střížník odstříhávací (c):

$$A_{ed3} = \left(A_j + \frac{P_{op}}{2} + v_s\right)^{+\delta_e} = \left(5 + \frac{0,160}{2} + 0,36\right)^{+0,054} = 5,44^{+0,054} \text{ mm}$$

$$A_{kd3} = \left(A_j + \frac{P_{op}}{2}\right)_{-\delta_k} = \left(5 + \frac{0,160}{2}\right)_{-0,035} = 5,08_{-0,035} \text{ mm}$$

$$A_{ed4} = \left(A_j + \frac{P_{op}}{2} + v_s\right)^{+\delta_e} = \left(5 + \frac{0,160}{2} + 0,36\right)^{+0,054} = 5,44^{+0,054} \text{ mm}$$

$$A_{kd4} = \left(A_j + \frac{P_{op}}{2}\right)_{-\delta_k} = \left(5 + \frac{0,160}{2}\right)_{-0,035} = 5,08_{-0,035} \text{ mm}$$

➤ Střížník tvarový (d):

$$A_{ed5} = \left(A_j + \frac{P_{op}}{2} + v_s\right)^{+\delta_e} = \left(28 + \frac{0,31}{2} + 0,36\right)^{+0,120} = 28,515^{+0,120} \text{ mm}$$

$$A_{kd5} = \left(A_j + \frac{P_{op}}{2}\right)_{-\delta_k} = \left(28 + \frac{0,31}{2}\right)_{-0,074} = 28,155_{-0,074} \text{ mm}$$

$$A_{ed6} = \left(A_j + \frac{P_{op}}{2} + v_s\right)^{+\delta_e} = \left(33 + \frac{0,460}{2} + 0,36\right)^{+0,190} = 33,59^{+0,190} \text{ mm}$$

$$A_{kd6} = \left(A_j + \frac{P_{op}}{2}\right)_{-\delta_k} = \left(33 + \frac{0,460}{2}\right)_{-0,120} = 33,23_{-0,120} \text{ mm}$$

➤ Střížník obdélníkový (e):

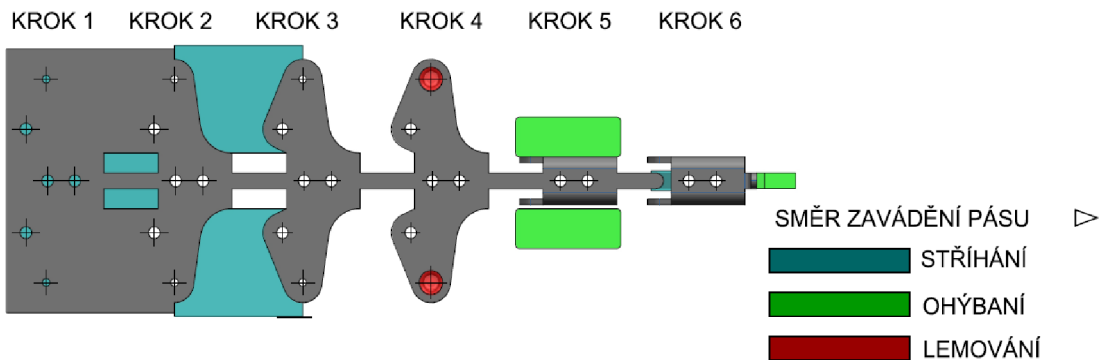
$$A_{ed7} = \left(A_j + \frac{P_{op}}{2} + v_s\right)^{+\delta_e} = \left(14 + \frac{0,31}{2} + 0,36\right)^{+0,120} = 14,515^{+0,120} \text{ mm}$$

$$A_{kd7} = \left(A_j + \frac{P_{op}}{2}\right)_{-\delta_k} = \left(14 + \frac{0,31}{2}\right)_{-0,074} = 14,155_{-0,074} \text{ mm}$$

$$A_{ed8} = \left(A_j + \frac{P_{op}}{2} + v_s\right)^{+\delta_e} = \left(5 + \frac{0,160}{2} + 0,36\right)^{+0,054} = 5,44^{+0,054} \text{ mm}$$

$$A_{kd8} = \left(A_j + \frac{P_{op}}{2}\right)_{-\delta_k} = \left(5 + \frac{0,160}{2}\right)_{-0,038} = 5,08_{-0,038} \text{ mm}$$

### 3.9 Návrh technologického postupu

Technologický postup			
	Datum: 20. 6. 2020	Vyhotovil: Patrik Kratina	
Pořadové číslo operace	Popis operace	Nástroj, pomůcky, materiál	Označení stroje
10	<p>Přípravné práce:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- upnutí nástroje do stroje</li> <li>-ustavení svitku, zavedení do rovnačky</li> <li>- podání svitku do podavače, najetí do nástroje</li> <li>- nastavení počáteční polohy plechu přes načínací doraz</li> <li>- nastavení stroje</li> </ul>	DP_161953_2020_S svitek - materiál S235JRG1	LEN 63 C  VP 202 CNC
20	<p>Nastavení kroku podavače</p> <p>Výroba vzorků pro seřízení stroje</p> <p>Spuštění stroje</p>		
30	Stříhání a ohýbání ve sdruženém nástroji	DP_161953_2020_S	LEN 63 C
<p>Výrobní postup držáku uhlíku:</p>  <p>KROK 1   KROK 2   KROK 3   KROK 4   KROK 5   KROK 6</p> <p>SMĚR ZAVÁDĚNÍ PÁSU ▷</p> <p>STŘÍHÁNÍ</p> <p>OHÝBANÍ</p> <p>LEMOVÁNÍ</p>			
40	<p>Kontrola dle návodky:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- vizuální kontrola</li> <li>- kontrola rozměrů otvorů <math>\varnothing 3</math> mm, <math>\varnothing 5</math> mm</li> </ul>	referenční vzorek kalibr - $\varnothing 3$ mm, $\varnothing 5$ mm	
50	Odmaštění		
60	Balení		
70	<p>Export do mořírny:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-povrchová úprava - galvanické zinkování + pasivace</li> </ul>		

### 3.10 Konstrukce sruženého nástroje

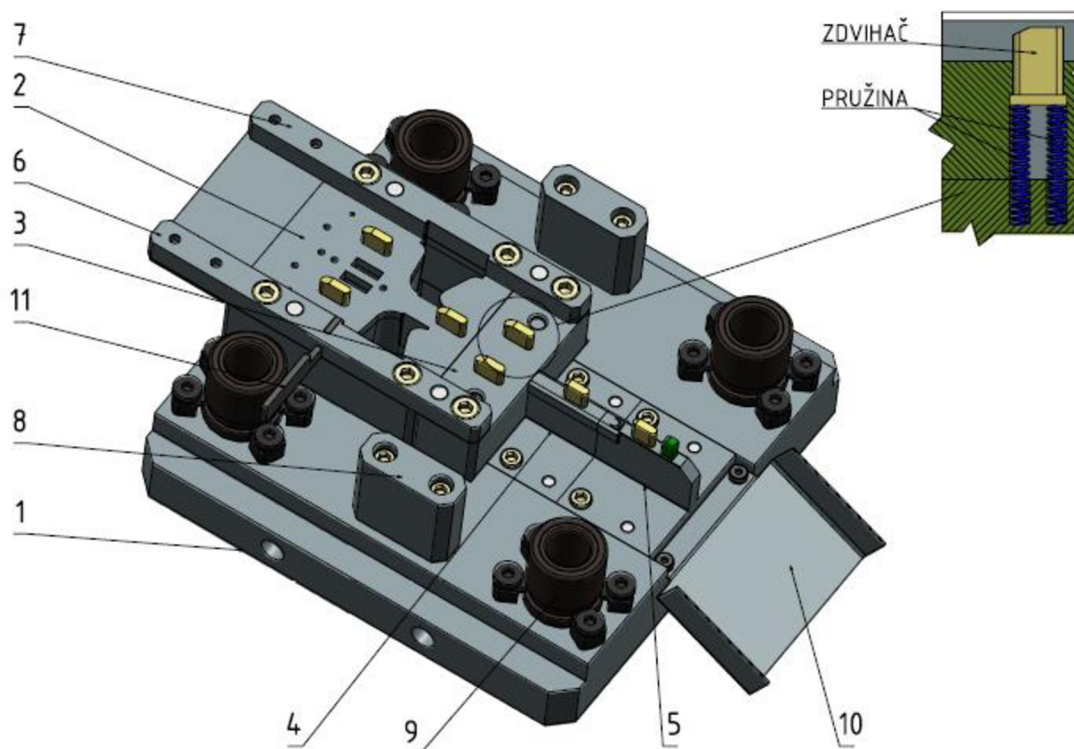
Sružený nástroj byl navržen v souladu se zvoleným nástřihovým plánem, který vychází z tvarové složitosti držáku uhlíku a orientace jeho ohybů. Z uvedených důvodů bylo rozhodnuto pro jednořadé, podélné rozmístění výstřižků na páse.

Z konstrukčního hlediska je možné rozdělit nástroj na horní a spodní části, které mohou být samostatně smontovány. Spodní část nástroje (Obr. 45) je tvořena základovou deskou (1), která je z obou bočních stran osazena pro možnost ukotvení spodní části nástroje ke stolu zvoleného lisu. Pro manipulaci se spodní částí nástroje lze použít madla, pro která jsou v základové desce vyvrtány patřičné otvory. Hlavními funkčními díly spodní části nástroje je střižná matrice (2) a ohybové matrice (3, 4, 5). Tyto matrice jsou uloženy v drážkách základové desky a jsou s ní pevně spojeny šrouby. Pro správné uložení jsou matrice opatřeny kolíky. Plechový pás bude v nástroji veden díky vodícím lištám (6, 7), které jsou spojeny s maticemi a základovou deskou. Pro ustanovení pásu před prvním krokem střižné operace slouží načínací doraz (11), který po vysunutí vymezi správnou polohu pásu a před spuštěním střižné operace bude opět ručně zasunut do původní polohy. O další posuv pásu se postará automatický podavač.

Z důvodu koncového ohybu výstřižku, vedeného ze spodní části nástroje, bylo nutné nástroj opatřit pružnými zdvihači, které udržují pás nad úrovní ohybníku a zajišťují tak plynulý pohyb pásu. Zdvihače pozvedávají plechový pás o 10 mm a jsou zatlačovány do nástroje jeho horní pohyblivou částí.

Při dokončení výlisku v posledním kroku dochází k odstřížení výlisku od pásu a zároveň i k ohybu manipulačního výběžku součásti. Poté je dílec vytlačen zdvihačem nad úroveň ohybníku a pomocí odfukovacího zařízení odebrán pryč z nástroje na skluzný plech (10).

Vedení nástroje je zajištěno vodícími pouzdry (9) a stlačenou výškou nástroje vymezují výškové dorazy (8).

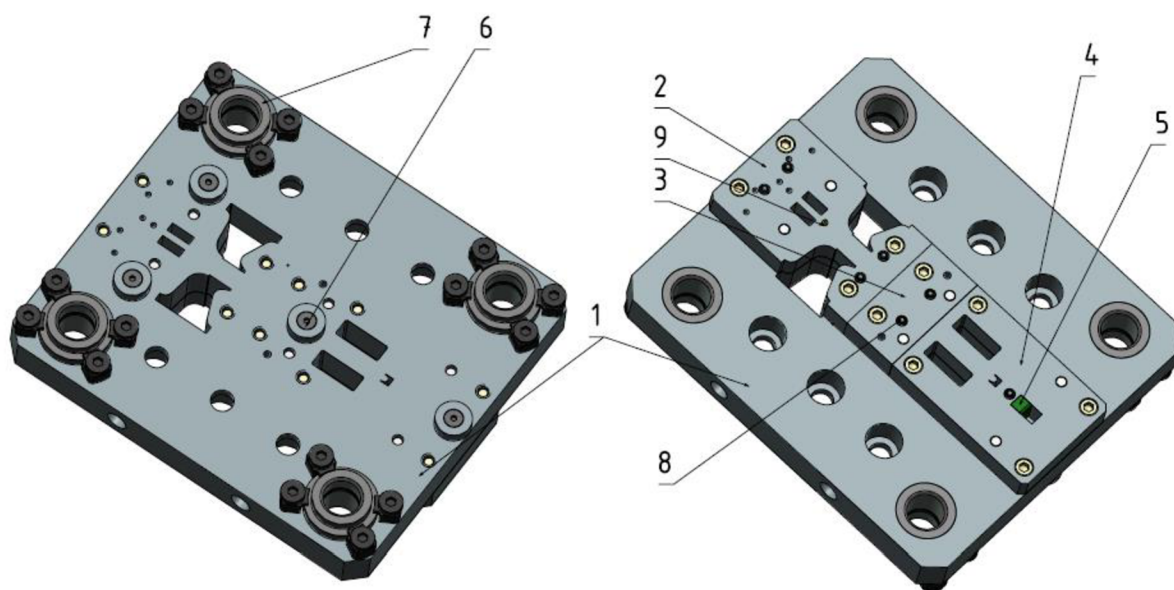


Obr. 45 Spodní část sruženého nástroje



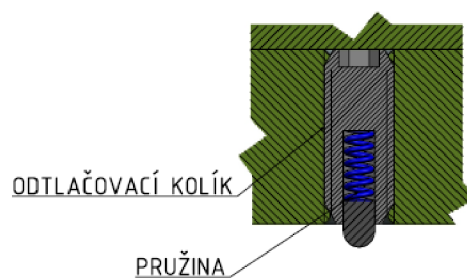
Horní část nástroje lze pomyslně rozdělit na středovou část a část svrchní. Středová část nástroje (Obr. 46) se skládá z vodící desky (1), která nese stírací desky (2, 3, 4). Tyto desky jsou připevněny zesponu vodící desky a během sevření nástroje stlačují zdvihače a přitlačují pás ke střížným matricím. V poslední stírací desce je také zapuštěna malá ohybnice (5), díky které dochází k ohybu manipulačního výběžku součásti v posledním kroku procesu.

Na horní ploše vodící desky jsou připevněny výškové dorazy (6), které vymezují sevření horní části nástroje. Dále jsou zde připevněna vodící pouzdra (7) pro přesné vedení nástroje.



Obr. 46 Středová část nástroje – pohled shora (vlevo) a zesponu (vpravo)

Pro zlepšení průchodu pásu v nástroji bylo rozhodnuto pro mazání plechu, což by mohlo zapříčinit přilepování plechu na stírací desky po zdvihu nástroje. Z tohoto důvodu jsou všechny stírací desky opatřeny odtlačovacími kolíky (8), které odtlačí plech od desek a zajistí tak jeho správnou polohu. Odtlačovací kolíky jsou do desek zavedeny přes vnější závit a fungují na principu pružného elementu (Obr. 47).



Obr. 47 Řez odtlačovacím kolíkem

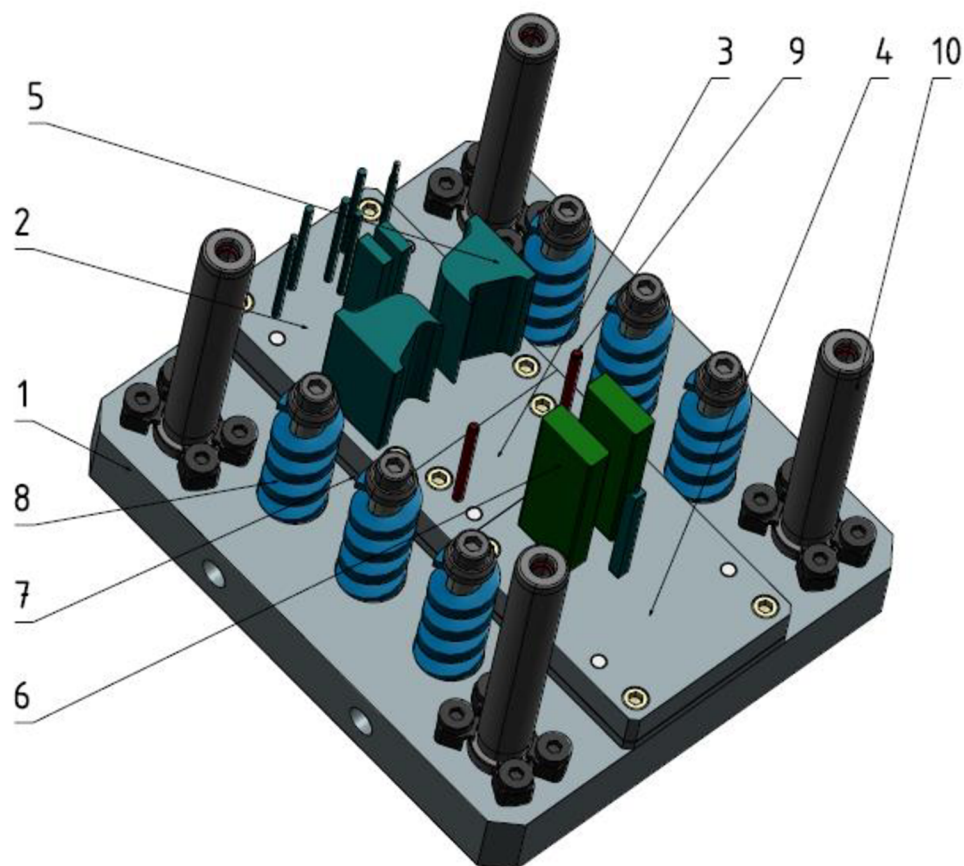
Pro ustanovení plechu po prvním kroku střížné operace je ve stírací desce zabudován hledáček (9) (Obr. 48). Funkce hledáčku je zajištění polohy plechu mezi prvním a druhým krokem. Jelikož se pro výrobu držáku uhlíku předpokládá využití automatického podavače, který zajistí poměrně přesné krokování, bude nutné zkontrolovat součinnost zvoleného podavače a hledáčku, aby nedocházelo ke kolizi. V krajním případě by bylo vhodné zvážit vyjmutí hledáčku ze sestavy nástroje.



Obr. 48 Hledáček

Svrchní část nástroje je tvořena základovou deskou (1), ke které jsou připevněny kotevní desky (2, 3, 4), které slouží pro ukotvení střížníků (5), ohybníků (6) a lemovacích trnů (9). Z důvodu možných deformací na základové desce, způsobených především malými kruhovými střížníky, je mezi základovou deskou a deskami kotevními zavedena kalená opěrná deska (7).

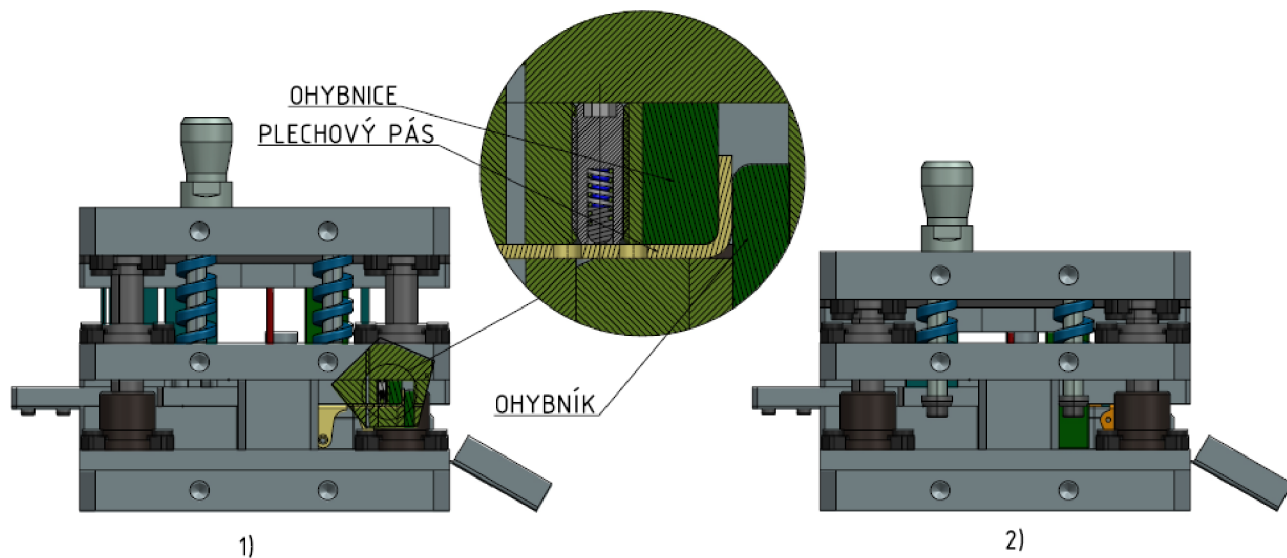
Ke spojení svrchní části nástroje se středovou částí slouží distanční šrouby (8), které jsou opatřeny pružinami. Vedení mezi všemi částmi nástroje pak zajišťují vodící sloupky (10).



*Obr. 49 Svrchní část nástroje*

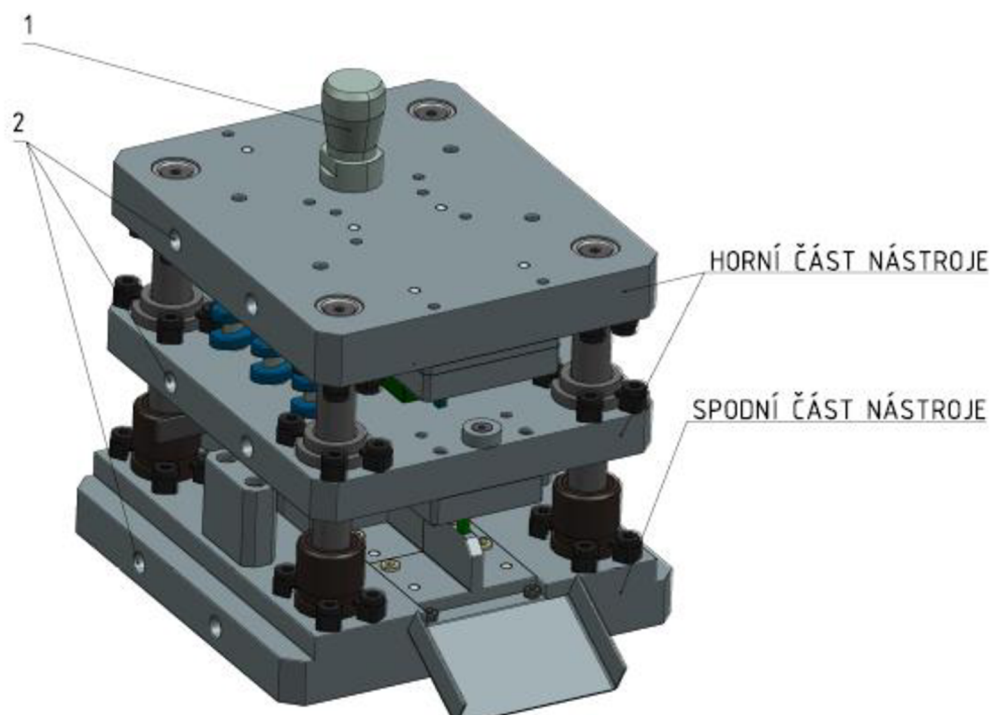
Sevření nástroje spočívá ve dvou krocích. V prvním kroku (Obr. 50 1)) je lisem stlačena celá horní část nástroje. Dochází zde k zatlačení zdvihačů umístěných na spodní části nástroje a v důsledku toho i stlačení plechu o 10 mm. V posledním kroku, kde je umístěn ohybník vedený zespodu nástroje, dochází také k ohybu manipulačního výběžku držáku uhlíku. Horní část nástroje přitom zůstává stále nestlačena, což zajišťují velké pružiny, jejichž celková síla nutná pro jejich stlačení je vyšší než síla nutná pro ohyb dílce. V případě, že by se při zkoušce nástroje ukázaly pružiny jako nedostatečné, je možné je vyměnit za pružiny s vyšší tuhostí, které dodavatel také nabízí.

Ve druhém kroku sevření (Obr.50 2)) dochází nejdříve k velkému ohybu bočních ramen a poté ke stříhu všemi střížníky. Nakonec je nástroj sevřen na maximální zdvih a poté probíhá opět zdvih nahoru.



Obr. 50 Fáze zdvihu nástroje

Kompletace sdruženého nástroje spočívá v sestavení horní a spodní části nástroje do jednoho celku, jak je zobrazeno (Obr. 51). Sevřený nástroj má výšku 161,5 mm a maximální zdvih nástroje je 47,5 mm. Horní část nástroje bude upnuta do beranu lisu přes stopku (1) a spodní část, jak již bylo popsáno, do upínek, díky osazení základové desky po stranách. K manipulaci s nástrojem budou využita madla, která se do nástroje zavedou vyvrtanými otvory (2).



Obr. 51 Sdružený nástroj

### 3.11 Volba stroje [39], [40]

Pro volbu vhodného tvářecího stroje je zapotřebí znát především velikost jeho jmenovité síly, požadovanou velikost pracovní plochy, sevření a velikost zdvihu. Mezi další parametry patří také požadovaná výrobní rychlost a cena stroje.

V kapitole 3.5 byla celková tvářecí síla, která je potřebná pro výrobu držáku, vypočtena jako  $F_c = 395\,255,7\text{ N}$ . V nástroji jsou však použity pružiny, jejichž sílu musí stroj překonat, než dojde k samotnému procesu stříhání resp. ohýbání. Pružiny byly zvoleny z katalogu dodavatele Meusburger Georg GMBH & CO, kde jsou síly pružin zaneseny, takže není nutné je počítat. Použité pružiny a jejich síly jsou následující (Tab. 3.4):

Tab. 3.4 Použité pružiny v nástroji [41]

Typ pružiny	Velikost stlačení [mm]	Odpovídající síla pružiny [N]	Počet [ks]	Celková síla [N]	Označení síly
Pružina 6x38	10	21	10	210	$F_{pruž1}$
Pružina 8x25	10	36,4	2	72,8	$F_{pruž2}$
Pružina 25x64	27.5	600	6	3600	$F_{pruž3}$

$$F_{cel} = F_c + F_{pruž1} + F_{pruž2} + F_{pruž3} \text{ [N]} \quad (3.18)$$

$$F_{cel} = 395255,7 + 210 + 72,8 + 3600 = 399\,138\text{ N}$$

Kde:  $F_{cel}$  – celková síla nutná pro volbu stroje [N]

Vhodným strojem, splňujícím požadavky, je výstředníkový lis LEN 63 C (Obr. 52) od českého dodavatele Strojimport a.s., který patří mezi přední vývozce českých a slovenských obráběcích a tvářecích strojů. Jmenovitá síla zvoleného lisu je 630 kN, což je více než o polovinu větší síla, než je síla stanovená pro volbu stroje ( $F_{cel}$ ). Tento fakt je velmi důležitý pro bezpečnost stroje. Další parametry stroje jsou zaneseny do Tabulky 3.5.



Obr. 52 Lis LEN 63 C

Tab. 3.5 Parametry stroje LEN 63 C [39]

Jmenovitá síla lisu [kN]	630
Stavitelnost zdvihu [mm]	10-105
Plocha beranu [mm]	450x280
Plocha stolu [mm]	800x630
Sevření [mm]	335
Počet zdvihů [zdvih/min]	65-130
Výkon hlavního motoru [kW]	4/7,5

Pro větší automatizaci procesu bude ke stroji připojen numericky řízený válečkový podavač. Jeho hlavní výhodou je přesné nastavení posuvu (kroku) materiálu. Jako vhodný podavač by zvolen numericky řízený válečkový podavač VP 202 CNC od firmy REBENDA [40].

## 4 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [35], [42]

Technicko-ekonomické zhodnocení slouží ke stanovení celkových nákladů na výrobu jedné součásti, navržení její optimální ceny a posouzení rentability v závislosti na požadované výrobní sérii a zvolené výrobní technologii. Náklady zahrnuté do zhodnocení lze rozdělit do několika skupin:

- nástroj
- materiál
- mzdy
- energie
- režie

### ➤ Náklady na nástroj

Cena nástroje je určena náklady na materiál, výrobní časy, mzdy apod. Stanovení ceny nástroje je v tomto případě pouze teoretické, její přesnou hodnotu lze těžko určit. S ohledem na velikost nástroje a srovnání s podobnými nástroji byla cena nástroje stanovena jako  $N_n = 300\,000\text{ Kč}$ .

### ➤ Náklady na materiál

Jak bylo stanoveno v kapitole 3, součást bude vyráběna z materiálu ČSN 11 343 o tloušťce  $t = 1,5\text{ mm}$ . Polotovarem bude svitek plechu o rozměrech  $D_{sv} = 2000\text{ mm}$ ,  $d_{sv} = 508\text{ mm}$  a šířce  $P = 66\text{ mm}$ , jehož dodavatelem byla zvolena forma Rosso Steel (kapitola 3.3). Firma Rosso dodává svitky o požadovaných rozměrech v ceně  $C_m = 680\text{ €/t}$ .

- Výrobní série  $N = 50\,000\text{ ks}$
- Potřebný počet svitků  $p_{sv} = 1\text{ ks}$
- Kurz €/Kč  $C_k = 27,46$
- Cena za 1 kg odpadu  $C_o = 4\text{ Kč}$
- Využití materiálu  $\eta_{sv} = 38,74\%$

- Hmotnost svitků:

$$m_{sv} = \frac{D_{sv}^2 - d_{sv}^2}{4} \cdot \pi \cdot P \cdot \rho_o = \frac{2000^2 - 508^2}{4} \cdot \pi \cdot 66 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 1\,523\text{ kg}, \quad (4.1)$$

$$m_{svc} = m_{sv} \cdot p_{sv} = 1523 \cdot 1 = 1523\text{ kg}, \quad (4.2)$$

kde:

$m_{sv}$  – hmotnost 1 svitku [kg],

$m_{svc}$  – hmotnost všech svitků [kg].

- Náklady na vstupní materiál:

$$N_m = C_m \cdot C_k \cdot \left(\frac{m_{svc}}{1000}\right) = 680 \cdot 27,46 \cdot \left(\frac{1523}{1000}\right) = 28\,439\text{ Kč} \quad (4.3)$$

- Hmotnost celkového odpadu:

$$m_{oc} = \frac{(100 - \eta_{sv})}{100} \cdot m_{svc} = \frac{(100 - 38,74)}{100} \cdot 1523 = 933\text{ kg} \quad (4.4)$$



- Příjem za prodej odpadu:

$$P_{oc} = C_o \cdot m_{oc} = 4 \cdot 933 = 3732 \text{ Kč} \quad (4.5)$$

- Celkové náklady na materiál:

$$N_{mc} = N_{mc} - P_{oc} = 24\,707 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

➤ Náklady na mzdy:

Náklady na mzdy se vztahují na dělníka, který bude obsluhovat výrobní linku. Pracovní doba byla stanovena na 8 hodin, což zahrnuje i 0,5 hodiny na oběd. Další jedna hodina zahrnuje nastavení stroje, kontrolu výrobků a údržbu. Čistý pracovní čas směny je tedy stanoven jako  $t_{smen} = 6,5$  hodiny. Dle tabulky 3.5 je počet zdvihů zvoleného tvářecího stroje  $n_{zds} = 65 - 130$  zdvihů/minuta. Pro výrobu byla stanovena nejnižší hodnota  $n_{zd} = 65$  zdvihů/minuta = 3900 zdvihů/h.

- Počet dílů vyrobených za směnu:

$$n_{dsm} = t_{smen} \cdot n_{zd} = 6,5 \cdot 3900 = 25\,350 \text{ ks} \quad (4.7)$$

- Počet směn potřebných na výrobu celé série:

$$n_{sn} = \frac{N}{n_{dsm}} = \frac{50000}{23400} = 2,13 \text{ směn} = 1,97 \text{ směny} = 2 \text{ směny} \quad (4.8)$$

- Celkový počet hodin potřebný na výrobu celé série:

$$n_{hodc} = t_{směn} \cdot n_{sn} = (6,5 + 1) \cdot 2 = 15 \text{ h} \quad (4.9)$$

Hodinová mzda je stanovena jako  $M_{mzda} = 250$  Kč/h. Tato hodnota obsahuje i odvody (sociální a zdravotní pojištění) zaměstnavatele za zaměstnance.

- Náklady na mzdy za celou sérii:

$$N_{mzdac} = n_{hodc} \cdot M_{mzda} = 250 \cdot 15 = 3750 \text{ Kč} \quad (4.10)$$

➤ Náklady na energie:

Příkon zvoleného tvářecího lisu je 7,5 kW. Ke stroji bude připojen numericky řízený válečkový podavač, který má příkon 2,8 kW. Aktuální průměrná cena elektrické energie  $C_{el} = 4,91$  Kč/kWh [35]. Z výše uvedených dat lze náklady spojené s elektrickou energií vypočítat následovně:

$$N_{en} = C_{el} \cdot n_{hodc} \cdot (P_L + P_P) = 4,91 \cdot 15 \cdot (7,5 + 2,8) = 759 \text{ Kč}, \quad (4.11)$$

kde:

$P_L$  – příkon lisu [kW],

$P_P$  – příkon podavače [kW].

➤ Režijní náklady:

Režijní náklady zahrnují nepřímé finanční výdaje podniku, které zahrnují provoz a řízení podniku, elektrickou energii, platy administrativních pracovníků aj. Přesné hodnoty režie nejsou známy, proto budou určeny ze mzdy zaměstnance. Výrobní režie bude stanovena

jako 330% ze mzdy zaměstnance a správní režie 125% ze mzdy zaměstnance. Náklady na režie budou tedy následující.

- Výrobní režie:

$$N_{vr} = 3,3 \cdot N_{mzdac} = 3,3 \cdot 3750 = 12\,375 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

- Správní režie:

$$N_{sp} = 1,25 \cdot N_{mzdac} = 1,25 \cdot 3750 = 4\,688 \text{ Kč} \quad (4.13)$$

- Celkové režijní náklady:

$$N_{rezc} = N_{vr} + N_{sp} = 12\,375 + 4\,686 = 17\,063 \text{ Kč} \quad (4.14)$$

➤ Celkové náklady na výrobu jednoho dílce:

Při znalosti výše uvedených dílčích skupin nákladů je možné spočítat celkové náklady na výrobu jednoho dílce jako podíl součtu všech nákladů a velikosti výrobní série.

- Celkové náklady na výrobu celé série:

$$N_{serc} = N_n + N_{mc} + N_{mzdac} + N_{en} + N_{rezc} \text{ [Kč]} \quad (4.15)$$

$$N_{serc} = 300\,000 + 24\,707 + 3\,750 + 759 + 17\,063 = 346\,279 \text{ Kč}$$

- Celkové náklady na výrobu jednoho dílce:

$$N_{dilc} = \frac{N_{serc}}{N} = \frac{346\,279}{50\,000} = 6,93 \text{ Kč} \quad (4.16)$$

Pro určení tržní ceny bude počítáno s celkovými náklady na výrobu jednoho dílce navýšenými o 80 %. V praxi se marže pohybuje v rozmezí 30 - 80%. Horní hranice byla zvolena z důvodu nízkého hospodárneho využití vstupního materiálu.

- Tržní cena dílce:

$$C_{dil} = N_{dilc} \cdot 1,8 = 6,93 \cdot 1,8 = 12,47 \text{ Kč} \quad (4.17)$$

- Celková tržba:

$$C_t = N_{serc} \cdot 1,8 = 346\,279 \cdot 1,8 = 623\,302,2 \text{ Kč} \quad (4.18)$$

- Celkový zisk:

$$C_z = C_t - N_{serc} = 623\,302,2 - 346\,279 = 277\,023,2 \cong 277\,023 \text{ Kč} \quad (4.19)$$

Z výše uvedených výpočtů vychází celkový zisk z celé série 50 000 ks při tržní ceně jednoho kusu 12,47 Kč zhruba na 277 000 Kč. Z ekonomického hlediska je tedy zvolený návrh výroby profitabilní.

## 5 ZÁVĚRY

V rámci diplomové práce byl řešen návrh výroby držáku uhlíku z ocele 11 343, o tloušťce 1,5 mm. Výrobní série byla stanovena na 50 000 kusů.

Na úvod byly zváženy vhodné metody výroby, ze kterých byla, na základě snahy o snížení počátečních nákladů na stroje a nástroje, zvolena metoda výroby ve sdruženém nástroji. Sdružený nástroj kombinuje procesy stříhání, ohýbání a tažení, proto další část práce byla věnována literární studii zmíněných procesů.

V praktické části diplomové práce bylo na úvod provedeno technologické zhodnocení součásti, kde byla posouzena vhodnost součásti pro výrobu ve sdruženém nástroji. Dále bylo zvoleno rozložení součásti na páse. S ohledem na charakter ohybů, tvarovou složitost součásti i ekonomickou stránku věci byla z možných variant zvolena varianta s podélným umístěním součásti na páse. Na základě této volby byl vypracován vhodný výrobní postup, který se skládá z pěti kroků. Jako vhodný polotovár byl vybrán svitek plechu.

Dále byly provedeny všechny potřebné výpočty pro návrh nástroje a volbu vhodného tvářecího stroje. Celková síla pro výběr stroje byla vypočtena na 399 138 N. Na základě výpočtu této síly, byl pro výrobu součásti zvolen mechanický lis LEN 63 C, jehož jmenovitá síla je stanovena na 630 kN. Pro větší automatizaci celé výroby byl ke stroji navrhnout numericky řízený válečkový podavač s označením VP 202 CNC od firmy REBENDA.

V další části diplomové práce byl navrhnout postupový sdružený nástroj, jehož výkresová dokumentace je uvedena v přílohách.

Na závěr bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení navrženého řešení, při kterém byly vypočteny náklady na výrobu jednoho kusu na 6,93 Kč. Z důvodů nízkého využití vstupního materiálu, které činí 38,5 %, byla prodejní cena jednoho kusu stanovena s marží 80%. Z výsledků bylo zjištěno, že výroba držáku uhlíku navrhnoutou metodou, při stanovené sérii 50 000 kusů, bude generovat zisk 277 023 Kč, což potvrdilo vhodnost zvolené metody výroby. V souvislosti se zmíněnými výsledky je vhodné podotknout, že do ekonomického zhodnocení nebyly započteny náklady na pořízení strojů, protože bylo uvažováno, že podnik jimi již disponuje. Z tohoto důvodu je výsledné určení ekonomických parametrů pouze přibližné a v případě reálné výroby by bylo nutné výpočty upravit pro podmínky konkrétního podniku.



## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [43]

1. Schunk: *Shaft grounding* [online]. 2014 [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <http://wk.ixueshu.com/file/84646dbe373a5f46.html>
1. Uddeholm. *Vystřihování a tváření*, [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <https://www.uddeholm.com/czech/cs/applications/vystrihovani-a-tvareni/>
3. Sytech. *Metal stamping parts*, [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <http://cz.syprecisiontech.com/stamping-parts/small-metal-stamping-parts/sheet-metal-forming-of-different-materials.html>
4. *Řezání cnc. Řezání kovů vodním paprskem* [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <http://www.rezani-cnc.cz/princip-rezani-vodnim-paprskem.html>
5. LaO. *Seriál na téma lasery* [online]. [cit. 2020-01-10]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>
6. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2. 2.*, upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN isbn80-7183-244-8.
7. *Technologie plošného tváření - ohýbání*. Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní [online]. 2005 [cit. 2020-01-16]. 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. BAREŠ, Karel et al. *Lisování*. vyd. 1. Praha: SNTL Nakladatelství technické literatury, 1971. 544 s. L13-E1-IV-41/22221/X.
9. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1983, 213 s.
10. *Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížků* [online]. [cit. 2020-01-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html>
11. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN isbn80-214-2374-9.
12. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
13. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN isbn80-214-2764-7.
14. KRÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích*. 8. svazek. 1. vyd. Praha: Scienta, 1998. 246 s.
15. BOLJANOVIC, Vukota. *Sheet Metal Forming Processes and Die Design*. U.S. (USA) : Industrial Press Inc., 2005. ISBN 9780831132590.
16. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: SNTL -Nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s.
17. NOVOTNÝ, Karel. *Nástroje a přípravky, část I. - tváření*. 1. vydání. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1982. 179 s.
18. ZEMAN, Karel. *Přípravky, obráběcí a tvářecí nástroje: Nástroje pro tváření*. Vyd.1.. Praha: ČVUT, 1984. 147 s.

19. ROMANOVSKIJ, P., Viktor. *Příručka pro lisování za studena*. Vyd. 2. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1959. 540 s. L13-E14-III/2395
20. LIDMILA, Zdeněk a Emil SVOBODA. *Strojírenská technologie*. Brno: Univerzita obrany, 2006 [i.e. 2007]. ISBN isbn978-80-7231-220-7.
21. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
22. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN isbn978-80-214-4747-9.
23. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN isbn80-214-0401-9.
24. Machek, Václav, et al. *Zpracování tenkých plechů*. Vydání 1. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1982. 272 s.
25. DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa-Sobotáles, 2007. ISBN isbn978-80-86706-19-1.
26. GAJDOŠ, František. *Technologie tváření kovů* [online]. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2002 [cit. 2020-01-19]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/5te\\_technologie\\_vyroby\\_I\\_tvareni\\_gajdos.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/5te_technologie_vyroby_I_tvareni_gajdos.pdf)
27. KRÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích*. Praha: Scientia, 1992. ISBN isbn80-03-00680-5.
28. MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení: Část: Tvářecí stroje* [online]. Praha, 2007 [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/1999676-Vyrobní-stroje-a-zarizeni.html>
29. NOVOTNÝ, Karel. *Speciální technologie výroby: část tváření* [online]. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/esv\\_specialni\\_technologie\\_vyroby\\_novotny\\_piska.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/esv_specialni_technologie_vyroby_novotny_piska.pdf)
30. POKORNÝ, Přemysl. *Výrobní stroje II.: Mechanické lisy*. [online]. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/esv\\_specialni\\_technologie\\_vyroby\\_novotny\\_piska.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/esv_specialni_technologie_vyroby_novotny_piska.pdf)
31. Ostroj. *Hromadné bubnové zinkování*, [online]. 2012. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <http://www.ostroj.cz/hromadne-bubnove-zinkovani>
32. FIEDLEROVÁ, E. *Povrchová úprava nábytkového kování*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 36 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček.
33. *Státní úřad inspekce práce. Používání chemických látek při povrchových úpravách materiálu*, [online]. 2012. [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: [http://www.suip.cz/\\_files/suip-3b6f249479469f515ac6c8b63bb5e0e7/povrchove\\_upravy\\_chl.pdf](http://www.suip.cz/_files/suip-3b6f249479469f515ac6c8b63bb5e0e7/povrchove_upravy_chl.pdf)
34. KUBÍČEK, Jaroslav. *Bezproude a elektrochemické pokovení* [online]. Brno: VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu\\_renovace\\_a\\_povrchove\\_upravy\\_elektroc\\_hemicke\\_pokovovani\\_2018\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hpu_renovace_a_povrchove_upravy_elektroc_hemicke_pokovovani_2018_kubicek.pdf)

35. Czferrosteel. *Mechanické vlastnosti oceli 11343*, [online], [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/trubky3-11343.pdf>
36. Energie 123. *Aktuální průměrná cena elektřiny*, [online]. 2020, [cit. 2020-04-20] Dostupné z: [www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/](http://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/)
37. ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřely: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci, 1975.
38. ČSN ISO 2768 -1. *Všeobecné tolerance: Nepředepsané mezní úchytky délkových a úhlových rozměrů*. Praha: Český normalizační institut, 1992.
39. Strojimport. *Mechanické lisy*, [online]. 2020. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: <http://www.strojimport.cz/maschinen/len/>
40. Rebenda. *Podavače*, [online]. 2020. [cit. 2020-04-23]. Dostupné z: [http://www.rebenda.cz/czech/index\\_cz.htm](http://www.rebenda.cz/czech/index_cz.htm)
41. Meusbürger. *Normálie*, [online]. Dostupné z: <https://ecom.meusburger.com/index/index.asp>
42. Rosso Steel. *Ocel válcovaná za studena*, [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.rosso.cz/en/products/cold-rolled>
43. Citace. *Generátor citací* [online]. [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://citace.lib.vutbr.cz/>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYBOLŮ

Označení	Legenda	Jednotka
a	délka strany a	[mm]
A	výška výstřížku	[mm]
$A_{10}$	tažnost	[%]
$A_C$	celková práce	[N]
$A_{ed}$	rozměr střížnice u děrování	[mm]
$A_{ev}$	rozměr střížnice u vystřihování	[mm]
$A_j$	jmenovitý rozměr výstřížku	[mm]
$A_{kd}$	rozměr střížníku u děrování	[mm]
$A_{kv}$	rozměr střížníku u vystřihování	[mm]
$A_L$	lemovací práce	[J]
$A_{Lc}$	celková lemovací práce	[J]
$A_o$	ohýbací práce	[J]
$A_{oc}$	ohýbací práce	[J]
$A_s$	střížná práce	[J]
b	délka strany b	[mm]
c	součinitel závislý na druhu stříhání	[-]
$C_{dil}$	tržní cena dílce	[Kč]
$C_{el}$	cena elektrické energie	[Kč/kWh]
$C_k$	kurz €/Kč	[Kč]
$C_o$	cena za 1 kg odpadu	[Kč]
$C_t$	celková tržba	[Kč]
$C_z$	celkový zisk	[Kč]
d	malý průměr střížníku	[mm]
D	velký průměr střížníku	[mm]
$D_{1L}$	vnější průměr lemu	[mm]
$d_L$	malý průměr prostříhu plechu	[mm]
$D_L$	velký průměr prostříhu plechu	[mm]
$d_{sv}$	vnitřní průměr svitku	[mm]
$D_{sv}$	vnější průměr svitku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
$E_m$	velikost můstku	[mm]
f	třecí koeficient	[-]
F	šířka okrajů pásu plechu	[mm]
$F_{cel}$	celková síla nutná pro volbu stroje	[N]
$F_k$	síla kalibrační	[N]
$F_L$	lemovací síla	[N]
$F_{Lc}$	celková lemovací síla	[N]
$F_o$	ohýbací síla	[N]
$F_{oc}$	celková ohýbací síla	[N]
$F_p$	síla přidržovače	[N]
$F_{pruž}$	síla pružiny	[N]
$F_s$	střížná síla	[N]
$F_{sc}$	celková střížná síla	[N]
$F_{t1,2,3..}$	síla působící v těžišti	[N]
h	pracovní zdvih ohýbadla	[mm]

$H_L$	výška lemu	[mm]
$H_{min}$	minimální tloušťka střížnice	[mm]
$I$	moment setrvačnosti průřezu	[mm <sup>4</sup> ]
$k$	součinitel určující polohu neutrální plochy	[-]
$K$	délka výstřížku	[mm]
$K_v$	hloubka vniku bříty do materiálu	[-]
$L$	vzdálenost mezi středy opěr střížnice	[mm]
$l_i$	délka neutrální osy v místě ohybu výlisku	[mm]
$l_{krit}$	kritická délka střížníku	[mm]
$L_r$	rozvinutá délka součásti	[mm]
$L_{sv}$	délka rozvinutého svitku	[mm]
$M_{mzda}$	hodinová mzda zaměstnance	[Kč]
$m_{oc}$	hmotnost celkového odpadu	[kg]
$m_{ou}$	opravný koeficient respektující průběh ohýbací síly	[-]
$m_{ov}$	opravný koeficient respektující průběh ohýbací síly	[-]
$m_{sv}$	hmotnosti svitku	[kg]
$m_{svc}$	celková hmotnost svitků	[kg]
$n$	součinitel otupení bříty	[-]
$N$	velikost výrobní série	[ks]
$N_{dilc}$	celkové náklady na výrobu jednoho dílu	[Kč]
$n_{dsm}$	počet dílů vyrobených za směnu	[ks]
$N_{en}$	náklady za energie	[Kč]
$n_{hodc}$	celkový počet hodin potřebný na výrobu série	[h]
$n_k$	koeficient bezpečnosti	[-]
$N_m$	náklady na materiál	[Kč]
$N_{mc}$	celkové náklady na materiál	[Kč]
$N_{mzdac}$	náklady na mzdy celé série	[Kč]
$N_n$	náklady na nástroj	[Kč]
$N_{rezc}$	celkové režijní náklady	[Kč]
$n_s$	počet výstřížků z jednoho svitku	[ks]
$N_{serc}$	celkové náklady na celou režii	[Kč]
$n_{sn}$	počet směn potřebných pro výrobu série	[směn]
$N_{sp}$	náklady na správní režie	[Kč]
$N_{vr}$	náklady na výrobní režie	[Kč]
$n_{zd}$	počet zdvihů stroje za minutu	[zdvih/min]
$p$	koeficient závislý na druhu materiálu a směru vláken	[-]
$P$	šířka svitku	[mm]
$P_k$	počet kroků	[-]
$P_L$	příkon lisu	[kWh]
$P_{oc}$	příjem za prodej odpadu	[Kč]
$P_p$	příkon podavače	[kWh]
$p_{sv}$	potřebný počet svitků	[ks]
$r$	poloměr průřezu střížníku	[mm]
$R_a$	střední aritmetická úchylka profilu	[ $\mu$ m]
$R_e$	mez kluzu	[MPa]
$R_L$	poloměr zaoblení ohybu	[mm]
$R_m$	mez pevnosti v tahu	[MPa]
$R_{max}$	maximální poloměr ohybu	[mm]
$R_{min}$	minimální poloměr ohybu	[mm]

$R_{pb}$	zaoblení hran ohybnice	[mm]
$R_{po}$	zaoblení hran ohybníku	[mm]
$R_o$	poloměr ohybu	[mm]
$S$	střížná plocha	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{HS}$	plocha hlavy střížníku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{pasu}$	plocha pásu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{sv}$	plocha rozvinutého svitku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_v$	plocha výstřížku	[mm <sup>2</sup> ]
$t$	tloušťka materiálu	[mm]
$t_{smen}$	čistý pracovní čas směny	[h]
$v_s$	střížná vůle	[mm]
$x$	součinitel posunutí neutrální osy	[-]
$x_i$	souřadnice působící síly v ose x	[mm]
$X_T$	souřadnice těžiště v ose x	[mm]
$y_i$	souřadnice působící síly v ose y	[mm]
$Y_T$	souřadnice těžiště v ose y	[mm]
$z_r$	součinitel rozšíření původního průřezu	[-]
$z_s$	střížná mezera	[mm]
$z_z$	součinitel stlačení	[-]
$\alpha$	úhel ohybu	[°]
$\beta$	úhel odpružení	[°]
$\gamma$	úhel ohnutého úseku	[°]
$\Delta$	tolerance součásti	[mm]
$\Delta$	poměr velikosti otvoru	[-]
$\delta_{DOV}$	dovolené napětí	[MPa]
$\delta_e$	výrobní tolerance střížnice	[mm]
$\delta_k$	výrobní tolerance střížníku	[mm]
$\varepsilon_c$	mezní prodloužení	[-]
$\eta_{sv}$	hospodárné využití svitku	[%]
$\eta_{tab}$	hospodárné využití tabule	[%]
$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\rho$	poloměr ohybu neutrální osy	[mm]
$\sigma_H$	napětí na upínací desce	[MPa]
$\sigma_o$	nejvyšší povolené namáhání v ohybu	[MPa]
$\tau_s$	střížný odpor	[MPa]

## SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

<i>Obr. 1</i> Příklady tvářených výrobků .....	9
<i>Obr. 2</i> Schéma použití držáku uhlíku .....	11
<i>Obr. 3</i> Popis držáku (vlevo), základní rozměry držáku (vpravo) .....	11
<i>Obr. 4</i> Schéma sestavy zemnicího kartáče .....	11
<i>Obr. 5</i> Řezání vodním paprskem .....	12
<i>Obr. 6</i> Řezání laserem .....	12
<i>Obr. 7</i> Příklad stříhadla .....	13
<i>Obr. 8</i> Fáze stříhání .....	14
<i>Obr. 9</i> Vzdálenost mezi stříhanými obrysy .....	16
<i>Obr. 10</i> Schéma napjatosti a přetvoření při běžném uzavřeném stříhání .....	17
<i>Obr. 11</i> Schéma pásen na střížné ploše .....	18
<i>Obr. 12</i> Příklady střížných vůlí – velká (1), malá (2), optimální (3) .....	19
<i>Obr. 13</i> Numerické určení těžiště střížných sil .....	21
<i>Obr. 14</i> Typy střížníků .....	23
<i>Obr. 15</i> Tvary funkčních částí střížnice .....	25
<i>Obr. 16</i> Rozměry střížníku a střížnice: děrování (vlevo), vystřihování (vpravo) .....	26
<i>Obr. 17</i> Schéma napětí při ohýbání .....	27
<i>Obr. 18</i> Schéma napjatosti a deformace při ohýbání širokých pásů .....	28
<i>Obr. 19</i> Konstrukční úpravy stříhadel pro eliminaci odpružení .....	29
<i>Obr. 20</i> Rozdělení výlisku na části .....	31
<i>Obr. 21</i> Průběh ohýbací síly, ohyb do tvaru V .....	33
<i>Obr. 22</i> Průběh ohýbací síly, ohyb do tvaru U .....	33
<i>Obr. 23</i> Ohybníky a ohybnice – celistvé (vlevo), vložkované (vpravo) .....	35
<i>Obr. 24</i> Lemovaný otvor .....	36
<i>Obr. 25</i> Hydraulický lis .....	37
<i>Obr. 26</i> Klikový lis .....	37
<i>Obr. 27</i> Galvanické zinkování .....	38
<i>Obr. 28</i> Pokovovací lázeň závěsná (vlevo) a bubnová (vpravo) .....	39
<i>Obr. 29</i> Rozměry držáku .....	40
<i>Obr. 30</i> Rozměry ohnuté součásti .....	41
<i>Obr. 31</i> Rozměry rozvinuté součásti .....	42
<i>Obr. 32</i> Délky ramen 11-16 .....	42
<i>Obr. 33</i> Podélné rozmístění výstřížků .....	43
<i>Obr. 34</i> Příčné rozmístění výstřížků .....	44
<i>Obr. 35</i> I) Varianta 1 výrobního postupu .....	45
<i>Obr. 36</i> II) Varianta 2 výrobního postupu .....	46
<i>Obr. 37</i> III) Varianta 3 výrobního postupu .....	46
<i>Obr. 38</i> 3D model výrobního postupu .....	47
<i>Obr. 39</i> Schéma výrobní linky .....	48

<i>Obr. 40</i>	<i>Rozměry svitku</i>	48
<i>Obr. 41</i>	<i>Umístění držáku v rámu kartáče</i>	49
<i>Obr. 42</i>	<i>Tvary střížníků</i>	50
<i>Obr. 43</i>	<i>Schéma pro výpočet těžiště</i>	53
<i>Obr. 44</i>	<i>Rozměry stříhaných otvorů</i>	55
<i>Obr. 45</i>	<i>Spodní část sdruženého nástroje</i>	58
<i>Obr. 46</i>	<i>Středová část nástroje – pohled shora (vlevo) a zespodu (vpravo)</i>	59
<i>Obr. 47</i>	<i>Řez odtlačovacím kolíkem</i>	59
<i>Obr. 48</i>	<i>Hledáček</i>	59
<i>Obr. 49</i>	<i>Svrchní část nástroje</i>	60
<i>Obr. 50</i>	<i>Fáze zdvihu nástroje</i>	61
<i>Obr. 51</i>	<i>Sdružený nástroj</i>	61
<i>Obr. 52</i>	<i>Lis LEN 63 C</i>	62

<i>Tab. 1.1</i>	<i>Nejmenší doporučené velikosti otvorů</i>	15
<i>Tab. 1.2</i>	<i>Doporučené vzdálenosti otvorů od okraje výstřížku</i>	16
<i>Tab. 1.3</i>	<i>Dosažitelné přesnosti výstřížků</i>	18
<i>Tab. 1.4</i>	<i>Velikost střížné vůle pro kovové materiály</i>	19
<i>Tab. 1.5</i>	<i>Velikost součinitele hloubky vniku střížné hrany k</i>	21
<i>Tab. 1.6</i>	<i>Použití nástrojových ocelí pro střížné nástroje</i>	22
<i>Tab. 1.7</i>	<i>Použití konstrukčních ocelí pro střížné nástroje</i>	23
<i>Tab. 1.8</i>	<i>Použití litin ocelí pro střížné nástroje</i>	23
<i>Tab. 2.1</i>	<i>Součinitel k pro výpočet úhlu odpružení dle ČSN 22 7340-90</i>	28
<i>Tab. 2.2</i>	<i>Závislost součinitele ztenčení na poměru ohybu /t</i>	30
<i>Tab. 2.3</i>	<i>Závislost součinitele ztenčení na šířce ohýbaného dílce b</i>	30
<i>Tab. 2.4</i>	<i>Velikost součinitele posunutí neutrální osy x</i>	30
<i>Tab. 2.5</i>	<i>Hodnoty koeficientu p, v případě kolmé osy na směr vláken materiálu</i>	32
<i>Tab. 3.0</i>	<i>Mechanické vlastnosti oceli 11 343</i>	40
<i>Tab. 3.1</i>	<i>Chemické složení oceli 11 343</i>	40
<i>Tab. 3.2</i>	<i>Varianty svitků s vnějším průměrem</i>	48
<i>Tab. 3.3</i>	<i>Těžiště sil jednotlivých operací</i>	53
<i>Tab. 3.4</i>	<i>Použité pružiny v nástroji</i>	57



## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 Tolerance a přípustná míra opotřebení pracovních částí stříhadel

Příloha 2 Vzorce pro výpočet rozměrů střížnic a střížníků u děrování

Příloha 3 Hodnoty výrobních tolerancí pro netolerované rozměry

Příloha 4 Diagramy pro určení velikosti přepážky

Příloha 5 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli S235JG1

## **SEZNAM VÝKRESŮ**

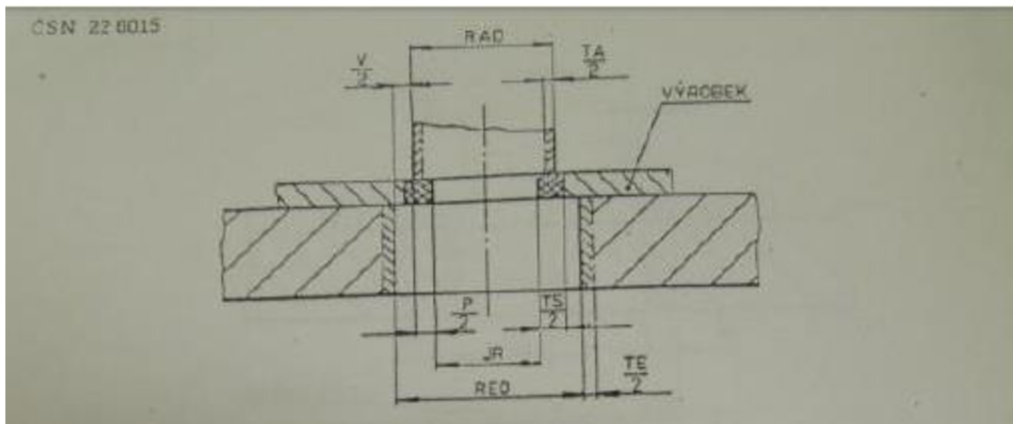
161953_2020_DRZAK_UHLIKU	DP_161953_2020_A4
161953_2020_HORNI_CAST_NASTROJE	DP_161953_2020_H01
161953_2020_HORNI_CAST_NASTROJE_KUSOVNIK	DP_161953_2020_H01_K
161953_2020_SDRUZENY_NASTROJ	DP_161953_2020_S
161953_2020_SPODNI_CAST_NASTROJE	DP_161953_2020_D01
161953_2020_SPODNI_CAST_NASTROJE_KUSOVNIK	DP_161953_2020_D01_K
161953_2020_STRIZNICE_1	DP_161953_2020_D1.2
161953_2020_TVAROVY_STRIZNIK	DP_161953_2020_H1.10

Příloha k ČSN 22 6015

Tab. 18. Tolerance a přípustná míra opotřebení pracovních částí stříhadel

Rozměry v mm

Tolerance součástí TS		Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance	
od	do		Střížnice - TE	Střížnice - TA
0,020	0,025	0,020	0,007	0,004
0,025	0,030	0,025	0,008	0,005
0,030	0,035	0,030	0,009	0,006
0,035	0,040	0,035	0,011	0,008
0,040	0,045	0,040	0,013	0,009
0,045	0,050	0,045	0,016	0,011
0,050	0,060	0,050	0,019	0,013
0,060	0,070	0,060	0,022	0,015
0,070	0,080	0,070	0,025	0,018
0,080	0,090	0,080	0,029	0,020
0,090	0,100	0,090	0,032	0,023
0,100	0,120	0,100	0,038	0,025
0,120	0,140	0,110	0,036	0,025
0,140	0,160	0,120	0,040	0,027
0,160	0,180	0,140	0,044	0,030
0,180	0,200	0,160	0,054	0,035
0,200	0,220	0,170	0,063	0,040
0,220	0,240	0,180	0,072	0,046
0,240	0,260	0,190	0,081	0,052
0,260	0,280	0,220	0,089	0,058
0,280	0,300	0,250	0,099	0,059
0,300	0,320	0,250	0,100	0,060
0,320	0,350	0,270	0,100	0,062
0,350	0,370	0,290	0,120	0,074
0,370	0,400	0,310	0,120	0,074
0,400	0,430	0,330	0,140	0,087
0,430	0,460	0,350	0,140	0,087
0,460	0,500	0,360	0,150	0,100
0,500	0,530	0,410	0,160	0,100
0,530	0,560	0,430	0,160	0,100
0,560	0,600	0,460	0,180	0,120
0,600	0,650	0,500	0,190	0,120
0,650	0,700	0,540	0,220	0,140
0,700	0,750	0,580	0,220	0,140
0,750	0,800	0,620	0,250	0,160
0,800	0,900	0,660	0,250	0,160
0,900	1,000	0,760	0,290	0,185
1,000	1,200	0,820	0,320	0,210
1,200	1,400	1,000	0,360	0,230
1,400	více	1,200	0,400	0,250



Obr. 7. Děrování

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

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

Vysvětlivky:

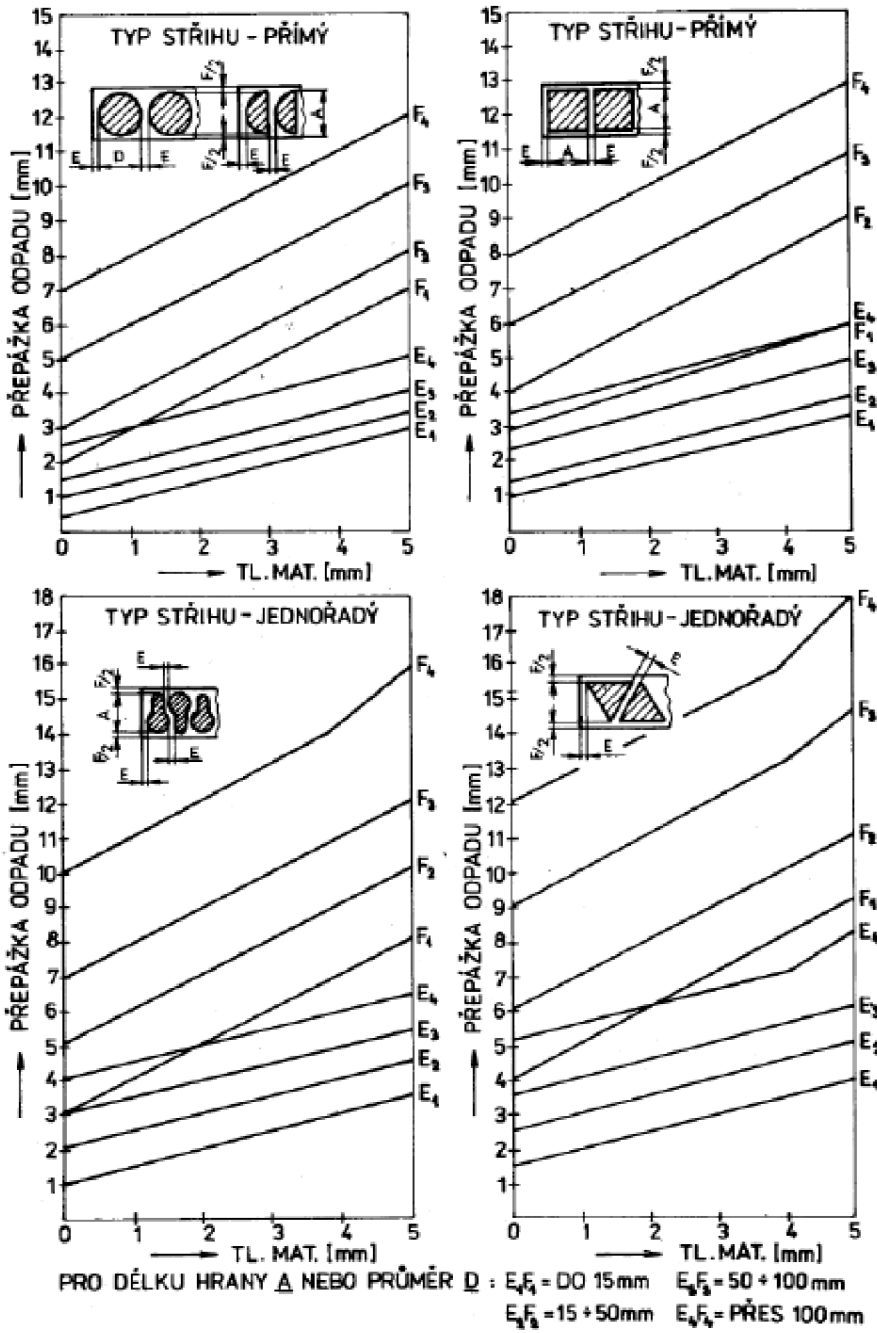
REO — rozměr střížnice při děrování  
 RAD — rozměr střížníku při děrování  
 JR — jmenovitý rozměr součásti  
 V — střížná vůle (tab. 9 až 13 uvedené v příloze této normy)

TS — tolerance jmenovitého rozměru  
 P — přípustná míra opothenění  
 TE — výrobní tolerance střížnice  
 TA — výrobní tolerance střížníku (tab. 6 uvedené v příloze této normy)

**Hodnoty výrobních tolerancí pro netolerované rozměry dle ČSN ISO 2768 (01 424)****NEPŘEDEPSANÉ MEZNÍ ÚCHYLKY DÉLKOVÝCH ROZMĚRŮ**

DLE ČSN ISO 2768, ROZMĚRY [MM]

Třída přesnosti	od 0,5 do 3	od 3 do 6	od 6 do 30	od 30 do 120	od 120 do 400	od 400 do 1000	od 1000 do 2000	od 2000 do 4000
<b>f</b>	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	-
<b>m</b>	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2
<b>c</b>	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
<b>v</b>	-	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4	±6	±8



ČSN 11343 – ocel obvyklých jakostí vhodná ke svařování



### 1. Orientační srovnání se zahraničními normami

DIN	EN 10027-1	EN 10027-2	EN 10025:90	GOST
USt34-2				

### 2. Chemické složení (rozbor tavby) v %

C	Mn	Si	P	S	N	Al
max. 0,01	max. 0,045			max. 0,045	max. 0,007	

### 3. Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti	Provedení	
	tepelně nezpracované	normalizačně žíhané
Pevnost v tahu $R_m$ [MPa]	min. 320	min. 300
Mez kluzu $R_e$ [MPa]	min. 200	min. 180
Tažnost $A_{10}$ [%]	min. 8	min. 20

### 4. Charakteristika oceli a příklady použití

Neušlechtilá konstrukční ocel vhodná na součásti konstrukcí a strojů, tavně svařované, namáhané staticky, popřípadě i mírně dynamicky. Trubky pro všeobecné účely.