



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**VÝROBA ČÁSTI TĚLA RC VRTULNÍKU**

MANUFACTURING OF THE BODY PART OF AN RC HELICOPTER

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Michal Kománek

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Jan Řiháček, Ph.D.

BRNO 2022

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Michal Kománek**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Jan Řiháček, Ph.D.**  
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Výroba části těla RC vrtulníku

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o výrobu dílce pomocí technologie plošného tváření. Na tuto oblast bude rovněž vypracována literární rešerše. Dále bude práce obsahovat návrh technologického postupu výroby součásti, technicko – ekonomické hodnocení a závěry se zhodnocením navrhované technologie. V tomto směru se rovněž počítá s ověřením návrhu užitím numerické simulace.

### Cíle bakalářské práce:

- vypracování aktuální literární rešerše,
- zhodnocení možností výroby,
- návrh výroby součásti,
- návrh nástroje včetně nezbytné výkresové dokumentace,
- provedení technologických a kontrolních výpočtů.

### Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HOSFORD, William a Robert CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. Cambridge: Cambridge University Press, 2011, 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8.

LOGAN, Daryl. A first course in the finite element method. United States: Cengage Learning, 2007, 808 s. ISBN 978-0-534-55298-6.

MARCINIAK, Zdislaw, John. DUNCAN a Jack HU. Mechanics of Sheet Metal Forming. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. 211 s. ISBN 07-506-5300-00.

SCHULER GMBH. Metal forming handbook. New York: Springer-Verlag, 1998, 563 s. ISBN 35-40-1185-1.

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 978-3-540-33216-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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

## **ABSTRAKT**

Práce se zabývá návrhem výroby části těla RC vrtulníku vyrobeného z hliníkového plechu o tloušťce 1 mm. Stanovená série je 200 000 kusů za rok. Po průzkumu vhodných metod produkce byla zvolena technologie postupové stříhání ve sdruženém nástroji. Na základě teoretických znalostí se navrhnul plán výroby s nejvyšší produktivitou. Nezbytnou součástí jsou také technologické a konstrukční výpočty sloužící jako podklad pro konstrukci nástroje a volbu lisu.

### **Klíčová slova**

Plech, hliník, stříhání, ohýbání, sdružený nástroj, tváření, excentrický lis

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the production of manufacturing of the body part of an RC helicopter, made from aluminium sheet with a thickness of 1 mm. Set production series is 200 000 pieces per year. After researching suitable production methods, the technology of progressive stamping was chosen. Based on theoretical knowledge has been design a production plan with the highest productivity. Technological and design calculations serving as a basis for tools and press selection are also an essential part.

### **Key words**

Sheet metal, aluminum, cutting, bending, combined tool, forming, eccentric press

---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KOMÁNEK, Michal. *Výroba části těla RC vrtulníku* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-02-13]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139643>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Řiháček.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou/diplomovou práci na téma výroba části těla RC vrtulníku vypracoval(a) samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

---

místo, datum

---

Michal Kománek

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto panu Ing. Janu Řiháčkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

---

**OBSAH**

ÚVOD .....	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
2 MOŽNOSTI VÝROBY.....	12
3 STŘÍHÁNÍ .....	16
3.1 Střižná vůle.....	17
3.2 Střižná síla a práce.....	19
3.3 Konstrukce stříhadel.....	21
3.4 Střižníky a střižnice .....	21
3.4.1 Životnost stříhadel .....	23
4 OHÝBÁNÍ.....	25
4.1 Ohýbací síla a práce .....	26
4.2 Odpružení .....	26
4.3 Minimální a maximální poloměr ohybu .....	27
4.4 Ohýbací nástroj.....	28
5 TECHNOLOGIČNOST .....	29
6 NÁVRH ŘEŠENÍ.....	31
6.1 Ověření technologičnosti.....	31
6.2 Délka rozvinuté součásti a odpružení.....	32
6.3 Plán výroby.....	34
6.4 Využití materiálu a délka svitku.....	36
6.5 Výpočet sil a prací.....	38
6.6 Návrh střižníků a střižnic .....	40
7 KONSTRUKCE NÁSTROJE .....	42
8 VOLBA STROJE .....	43
ZÁVĚR.....	44
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	45
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	47
SEZNAM PŘÍLOH.....	49



## ÚVOD

V současnosti se při výrobě strojírenských součástí může volit z celé řady technologií. Mezi ně se také řadí tváření. Technologie výroby tvářením se dělí na objemové, kdy se objem a tvar součásti mění v celém jeho průřezu a na plošné s rovinným přetvořením. [1; 3]

Do plošného tváření spadá výroba postupovým stříháním. Postupnými kroky, které zahrnují stříhání, prolisování i ohýbání se formuje finální tvar požadované součásti. K přednostem postupového stříhání a plošného tváření obecně patří výroba požadovaného tvaru s vysokou jakostí a přesností, co v nejkratším možném čase při největší ekonomické výhodnosti. [1; 3; 4]

V procesu tvářecích operací vzniká tvar výrobku pomocí tvářecích nástrojů, které konají přímočarý pohyb. Výroba těchto nástrojů spadá mezi dražší složky potřebné pro produkci. Z tohoto důvodu je tváření vhodné spíše pro hromadnou výrobu, kde nástroj tolik neovlivní cenu výrobku. Zásadním faktorem pro výrobu hraje ve spojení s nástrojem volba lisu, u kterého jsou důležité jeho parametry jako maximální lisovací tlak a zdvih pístu. [1; 3; 4]



Obr.1 Příklady součástí vyráběných postupovým stříháním [2].

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ

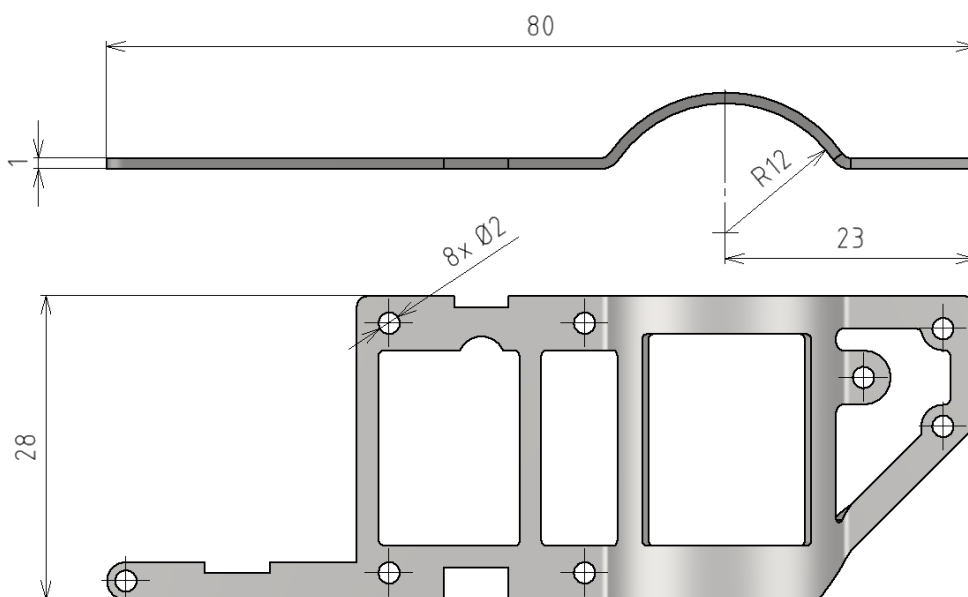
Řešená součást tvořící část těla RC vrtulníku slouží ke spojení dílčích komponent tvořící vrtulník v rozebíratelný celek. Vyskytuje se na obou stranách těla vrtulníku (obr. 2). S ostatními díly je spojena pomocí šroubků a ustavena pomocí zobáčků, které zapadají do drážek na součásti. Prolis objímá tělo motorku pro pohon vrtule. Základní rozměry jsou 80 mm na šířku, 28 mm na výšku a tloušťka plechu je 1 mm (obr. 3).



Obr. 2 Použití dílu v praxi.

Díl není nijak dynamicky ani staticky namáhán, nebude vystavena vodě ani vlhkému či jinak škodlivému prostředí, jelikož hlavní použití vrtulníku je určeno do vnitřních prostor. Nebude svařován ani tepelně upravován, nýbrž pouze plošně tvářen. Součást slouží pouze jako spojovací element, a tudíž můžeme říct, že pro výrobu postačí plech s běžnou dostupností.

Otvory v dílu slouží ke snížení celkové hmotnosti vrtulníku ale také jako prostor pro vedení a svázání kabeláže na jedné ze stran těla vrtulníku. Důležitým faktorem bude zejména dodržení přesností mezi dírami pro šrouby určenými k montáži a drážkami určenými k ustavení polohy. Z hlediska produkce bude pro výrobu stačit použít střední rozměrové přesnosti. Výrobní série bude 200 000 kusů.



Obr. 3 Náskres řešeného dílu.

Pro výrobu byly předem uvažovány materiály typu korozivzdorná ocel, hliník a konstrukční ocel 11 373. Korozivzdorná ocel nebyla zvolena z důvodu určení použití vrtulníku pouze do vnitřních prostor, tím by přednosti oceli neměly význam a zbytečně by narůstala výrobní cena. Rovněž mechanické vlastnosti korozivzdorné oceli nejsou nutné. Ocel 11 373 by připadala jako lepší, a především levnější varianta oproti korozivzdorné oceli. Její mechanické vlastnosti ovšem rovněž nejsou žádané. Jako nejvýhodnější materiál byl zvolen hliník, konkrétně jeho slitina značená EN AW – 1050A (Al99.5 dle DIN). Zvolení hliníku proběhlo na základě jeho dobré tvářitelnosti, ale především nízké hmotnosti, která je pro konstrukci vrtulníku zásadní. Další výhodou je odolnost proti korozi. [25]

Tab. 1 Mechanické vlastnosti hliníku. [5; 25]

$R_m$	$R_e$	Tvrdość HB	Tažnosť A	Odolnosť proti korozi	Svařitelnost
90 MPa	20 MPa	20	Min. 20 %	A	1a

Tab. 2 Chemické složení v %. [25]

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti
99,5	Max. 0,25	Max. 0,40	Max. 0,05	Max. 0,045	Max. 0,05	Max. 0,07	Max. 0,05

Slitina hliníku EN AW – 1050A je populární třídou hliníku pro všeobecné zpracování plechů, kde je požadována střední pevnost. Je známá svou vynikající odolností proti korozi, vysokou houževnatostí a vysoce reflexním povrchem. Mezi další výhody spadá dobrá svařitelnost, vodivost a tvárnost. K nevýhodám patří špatná obrobiteľnosť a chemická nestálost. [25]

Slitina tohoto hliníku se používá především v oblastech, kde se požadují lepší hodnoty fyzikálních vlastností, především vysoká elektrická a tepelná vodivost, také vysoká odolnost vůči korozi. Jedná se o elektrotechnický a chemický průmysl, energetiku, architekturu a obalovou techniku (např. pro různá zařízení v chemickém průmyslu, na potravinářské obaly a kontejnery, lampy reflektorů, opláštění kabelů, v automobilovém průmyslu, lehce namáhané díly, architektonické lemování, zářivě leštěné kryty). Další využití hliníku lze vidět na obr. 4, kde jsou vyobrazeny další hliníkové díly z RC vrtulníku. [25]



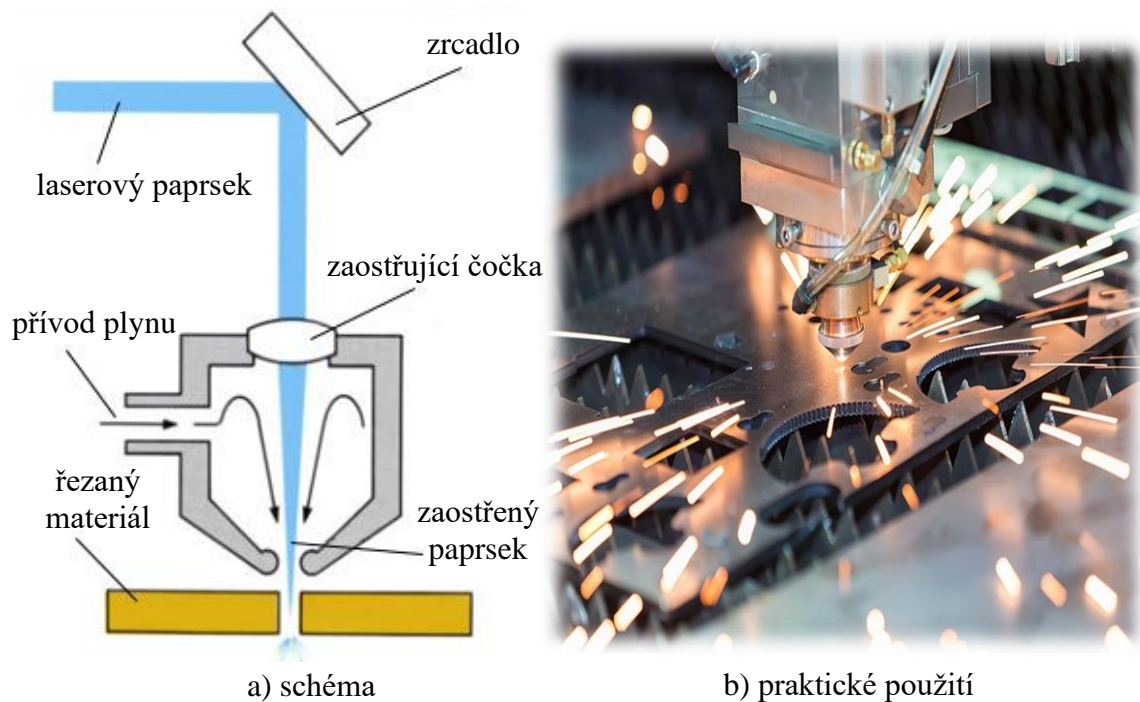
Obr. 4 Součásti RC vrtulníku vyráběné z hliníku.

## 2 MOŽNOSTI VÝROBY

Volba vhodné technologie výroby závisí na řadě faktorů jako je velikost vyráběné série, požadovaná kvalita, výrobní přesnosti a také na funkci součásti. Každá možnost výroby je jinak časově, finančně i produkčně náročná. Všechny parametry se musí brát v potaz a na základě nich zvolit nejvýhodnější metoda s nejméně kompromisy. Bude kladen důraz především na cenovou dostupnost. Níže jsou uvedeny uvažované varianty pro výrobu obrysu součásti. Ta také obsahuje prolis, jenž bude následně dohotoven ohýbáním. [8]

- Laser – řezání laserem (obr. 5a) je založeno na principu přivádění laserového paprsku do místa řezu soustavou zrcadel a v pracovní hlavě zaostřován čočkou. Nejčastěji se používá pro řezání ocelových plechů. Materiál se působením laserového paprsku začne tavit, odpařovat a je následně podpurným plynem odfukován. Výsledkem jsou lesklé plochy, které nemusí vyžadovat další technologické úpravy (obr. 5b). [8]

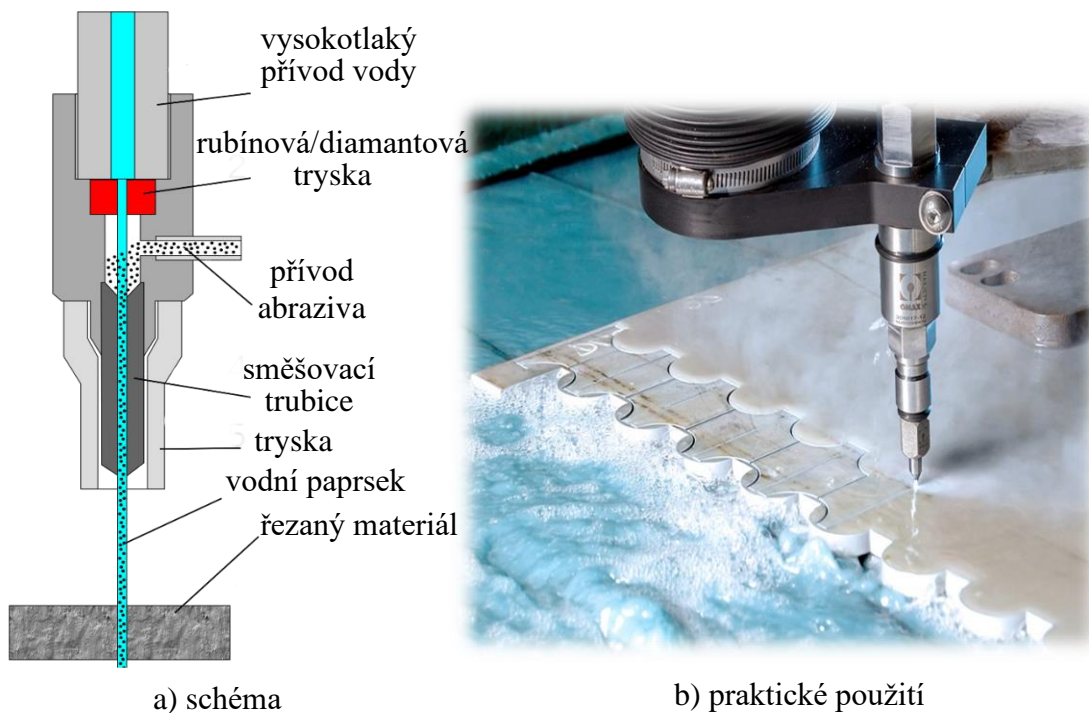
Mezi přednosti laseru patří jeho variabilita použití. Lze využít mimo řezání také k pájení, svařování či tepelnému zpracování. V našem případě nás zajímá pouze dělení materiálu. K dalším kladům spadá vysoká přesnost s malou řeznou spárou a možnost řezat libovolné tvary, jejichž konturu lze importovat z CAD softwarů přímo ze zadané dokumentace. K záporům technologie náleží vysoké pořizovací a provozní náklady. Také vysoký přenos tepla může v některých případech mít negativní vliv na výrobek. Přestože je tato technologie produktivní, lze kvůli energetické náročnosti říct, že se nehodí pro velkosériovou výrobu, proto ji není vhodné použít. [8]



Obr. 5 Laser [9; 10].

- Vodní paprsek – řezání vodním paprskem využívá kapalinu s příměsí abraziva soustředěného do úzkého kapalinového proudu s vysokou rychlostí a kinetickou energií (obr. 6a). Vlivem tohoto procesu dochází postupně k obrušování materiálu v místě řezu. Vysokou rychlost kapaliny zajišťují vysokotlaká čerpadla. Pracovní tlak vody se pohybuje mezi 500 až 6 500 Bary a umožňuje řezat kovy až do tloušťky 250 mm. Na kvalitě řezu se zásadně podílí tryska. Čím užší tryska, tím menší rozptýl kapaliny a větší koncentrace energie. Abrazivní přísady podstatně zvýší hloubku řezu (o 30 až 50 %), také umožní větší vzdálenost trysky od obrobku. [8]

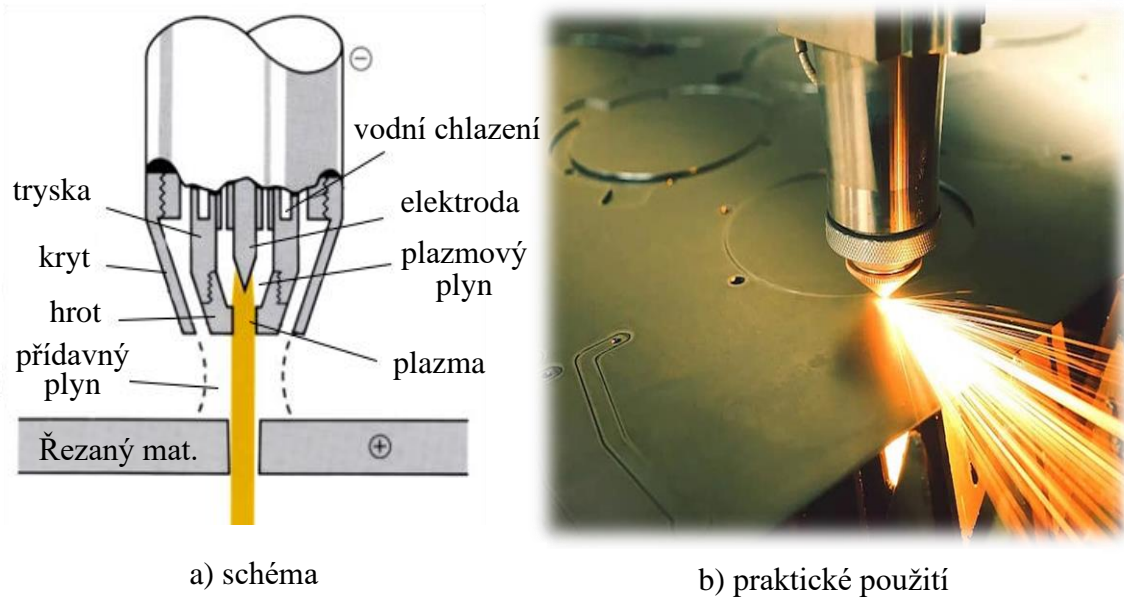
Uplatnění vodního paprsku je stále větší v různých odvětví průmyslu. Mimo strojírenství se vodní paprsek používá ve stavebním průmyslu například k řezání keramiky (obr. 6b) a betonu, v chemickém průmyslu k řezání nebezpečných výbušnin, v potravinářském průmyslu k dělení potravin, v jaderném průmyslu jako součást procesu při dekontaminaci, v textilním průmyslu na dělení kůže a tkanin. Výhodou je dostatečná přesnost a kvalita řezu. K plusům lze zařadit pracovní prostředí s nízkou hluchostí. Stejně jako u laserového řezání tak i u vodního paprsku lze řezat různé tvary při použití kontury přímo z výrobní dokumentace vycházející z CAD softwarů. V neposlední řadě také nedochází k tepelnému ovlivnění řezané součásti. S vodním paprskem souvisí kontakt kapaliny s obrobkem, což může v případě obrábění klasických ocelí vést k jejich korodování. Mezi další zápory této varianty patří vysoké pořizovací i provozní náklady, které nepřipisují vhodnost k použití pro velké série výroby. [8]



Obr. 6 Vodní paprsek [11; 12].

- Plazma – je elektricky vodivý stav plynu s vysokou teplotou (až 30 000 °C), řezání probíhá pomocí plazmového paprsku působící na obráběný materiál. Dochází k velmi rychlému roztavení materiálu vlivem vysoké teploty působící na malou plochu. Paprsek plazmatu s vysokou kinetickou energií materiál taví, ale také jej odfukuje z místa řezu (obr. 7a). Pro řezání se používají dva typy plynů. Primární – základní plyn pro vznik plazmy. Ten je ionizován elektrickým obloukem a provádí řezání materiálu. Sekundární – chrání paprsek plazmy před stykem s okolním prostředím, usměrňuje ho a zvyšuje kvalitu řezu. Metoda plazmového řezání nahrazuje metodu dělení materiálů kyslíkem. Umožňuje řezat např. vysoce legované oceli, hliníkové slitiny, slitiny mědi (obr. 7b). Další oblast použití je pro svařování a navařování. [13]

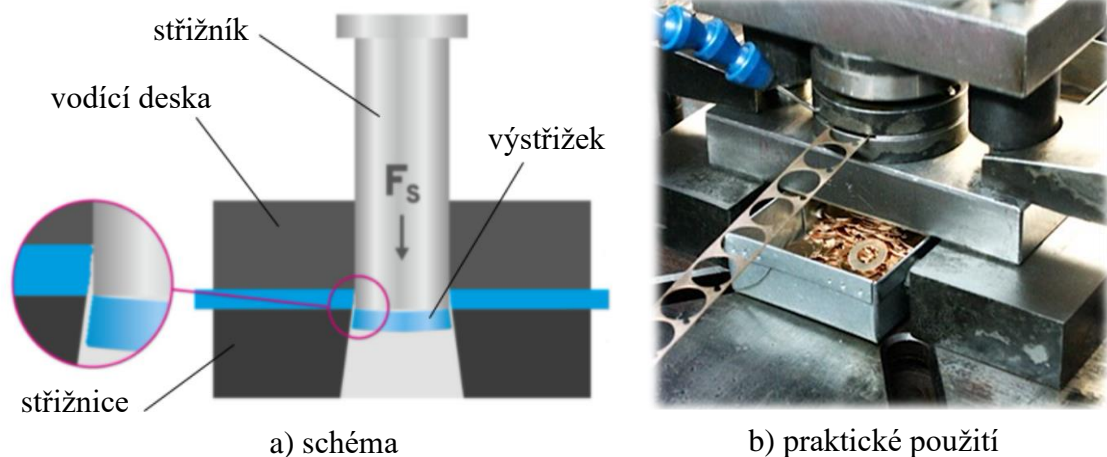
Mezi silné stránky této metody patří vysoká rychlost řezání. Lze řezat všechny druhy kovových materiálů. Umožňuje použití jednoho nebo více hořáků podle potřeby. Také dovoluje řezání pod vodou. Negativem plazmového řezání ve srovnání s jinými metodami je především větší tloušťka řezné spáry a menší kvalita řezaných ploch. Dále dochází k tepelnému ovlivnění řezaného dílu. Ve spojení s nákladným provozem je tato varianta výroby pro řešenou součást nevhodná. [13]



Obr. 7 Plazma [14; 15].

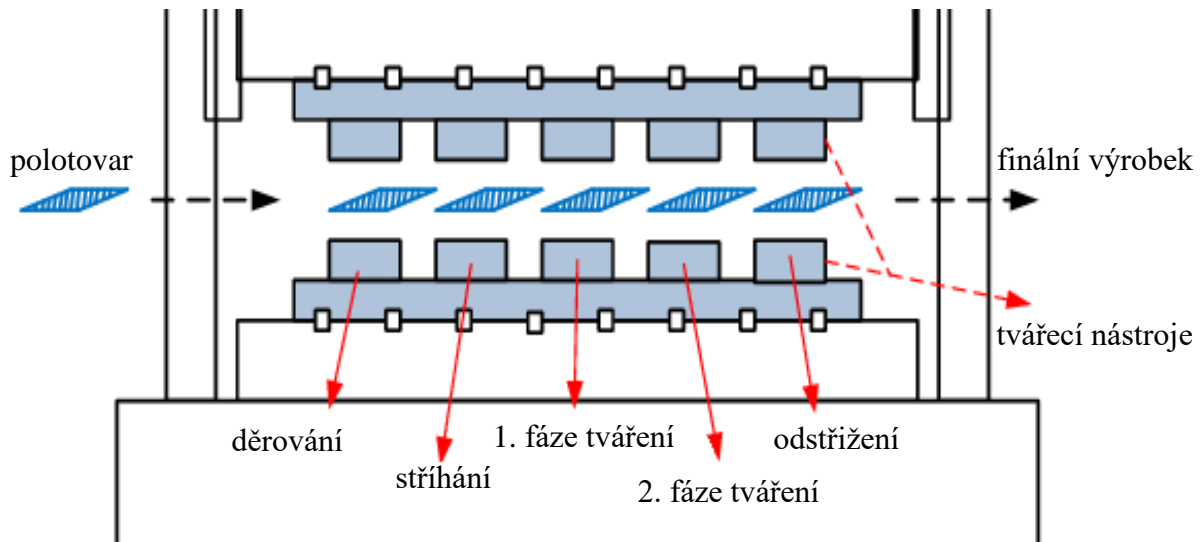
- Stříhání – k tváření dochází působením dvojice proti sobě pohybujících se nástrojů. Střížník koná svislý pohyb, tlačí na pás plechu a za pomoci nepohyblivé střížnice dojde k utržení výstřížku (obr. 8a). Technologie je výhodná především díky tomu, že lze tvářet tvarově složité součásti za vysoké produktivity. Při výrobě postupovým stříháním nedosáhneme tak vysokých přesností jako u přesného stříhání, nicméně do tvářecího procesu můžeme zahrnout mimo střížné operace i kroky ohýbání a prolisování. To umožňuje mimo plošného výrobku vytvářet také prostorový. Velkým kladem je ekonomická výhodnost stoupající s velikostí výrobní série. Tato technologie umožňuje kompletní vynechání dokončovací operace v podobě např. broušení z důvodu dobré přesnosti. [1; 3]

Při postupovém stříhání se součást tváří postupně z pásu plechu. V prvních krocích se provádí děrování, v druhém kroku dochází ke stříhání obvodu, do dalších kroků se může dle požadavků přidat ohýbání. V posledním kroku dojde k odstřížení hotové součásti. Touto výrobou lze docílit nadměrné produktivity práce a vytvářet tak velký počet výrobku v krátkém čase. Uplatnění této metody postupem času roste. Je možné se s ní setkat zejména v automobilovém a leteckém průmyslu, ale i v celé škále průmyslů zhotovujících dílce do elektrických zařízení (obr. 8b). [1; 3]



Obr. 8 Stříhání [17; 18].

Jako nejvhodnější varianta výroby pro zadanou součást byla zvolena technologie postupové stříhání. Volba proběhla na základě požadavků přesností, které jsou u postupového stříhání vyhovující. S ohledem na to, že řešená součást má tloušťku pouze 1 mm a je vyrobena ze snadno tvářitelného materiálu, se jeví stříhání jako nejlepší technologická možnost výroby. Dalším faktorem pro její zvolení je možnost kombinace tvářecích operací (např. ohýbání) v několika jednoduchých krocích (obr. 9), jenž nevyžadují použití dalších tvářecích strojů. Vzhledem k velkosériové výrobě, rovněž vyhovuje velká produktivita práce. Dražší pořizovací cena nástrojů je rozprostřena mezi velký počet kusů. Z tohoto důvodu bude na technologii stříhání a ohýbání zaměřena literární rešerše.

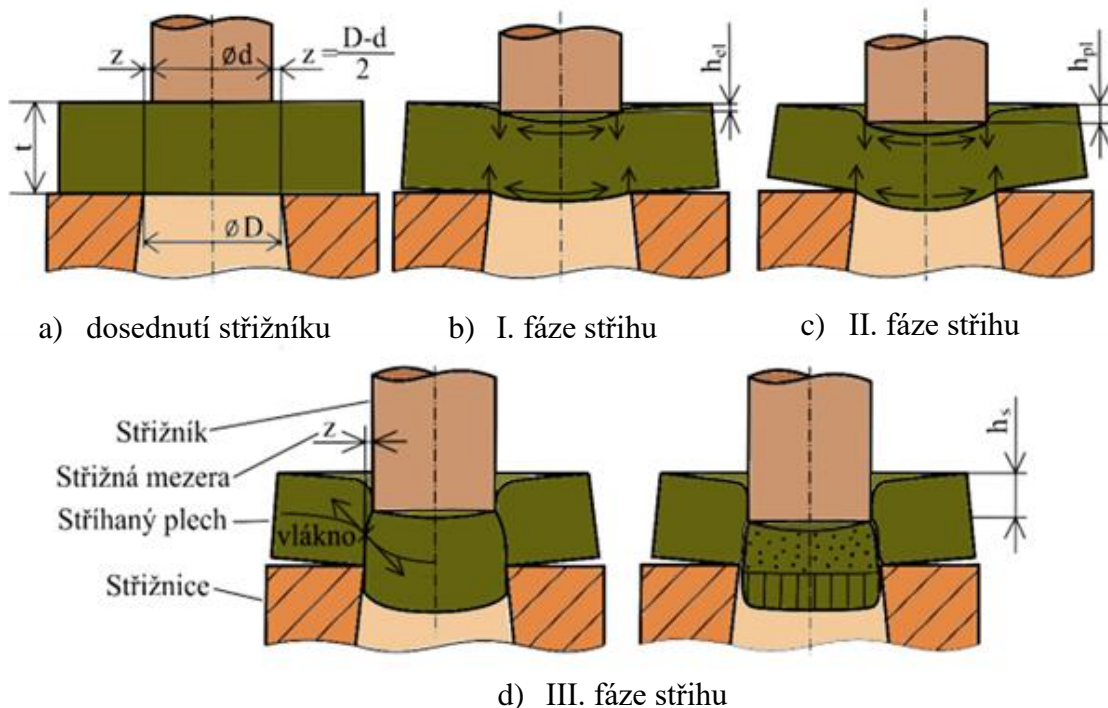


Obr. 9 Schéma možného způsobu výroby postupovým stříháním ve sdruženém nástroji [16].

### 3 STŘÍHÁNÍ

Nejrozšířenější operací plošného tváření je stříhání. Používá se především k vystříhování součástí z plechu, ale také na dělení polotovaru, děrování, ostříhování, přistříhování atd. Podstatou stříhání je oddělování materiálu protilehlými břity. Kvalita střížných ploch je ovlivněna řadou faktorů, z nichž k zásadním patří vlastnosti stříhaného materiálu, střížná mezera, způsob stříhání, kvalita střížného nástroje apod. Do tloušťky materiálu 4 mm se přesnost výroby pohybuje v rozmezí IT 9 až IT 12 a drsností  $R_a = 3,2$  až  $6,3 \mu\text{m}$ . Spočívá v oddělování materiálu působením protilehlých střížných nástrojů, které způsobují v řezné rovině smykové napětí. Princip stříhání probíhá ve třech fázích: [1; 3]

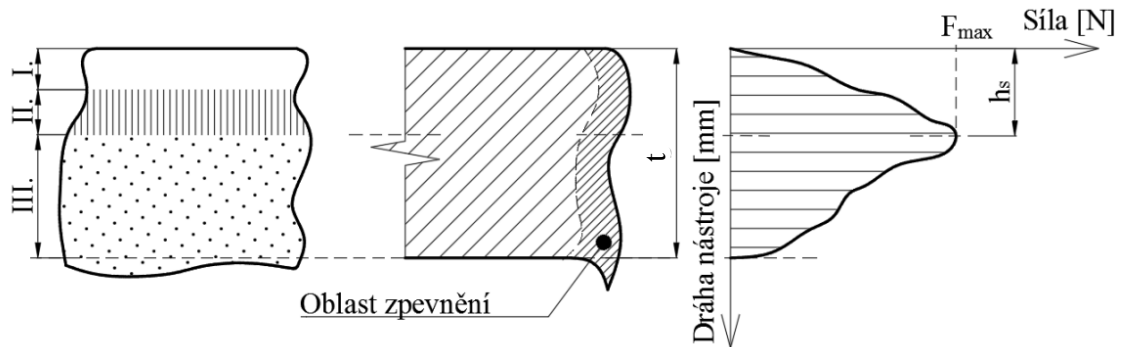
- V první fázi dosedne střížník na polotovar a působí silou v oblasti pružných deformací. Materiál se postupně stlačuje, ohýbá a vtačuje do střížnice. Hloubka vniku závisí na mechanických vlastnostech materiálu, pohybuje se v rozmezí 5 až 8 % jeho tloušťky (obr. 10b). [1; 3]
- V druhé fázi přesáhne napětí mez kluzu a dochází k trvalé plastické deformaci. Hloubka vniku střížníku se v pohybuje mezi 10 až 25 % tloušťky stříhané součásti. Ke konci této fáze napětí dosahuje velikost hodny meze pevnosti ve stříhu (obr. 10c). [1; 3]
- Ve třetí fázi napětí přesahuje mez pevnosti ve stříhu, materiál přestává být soudržný. U hran střížných nástrojů nejprve začnou vznikat mikroskopické trhliny, které se se zvětšujícím průnikem střížníku do materiálu rozšiřují, až do doby, kdy dojde k celkovému utržení výstřížku (obr. 10d). [1; 3]



Obr. 10 Průběh stříhání [3].

Střížnou plochu tvoří tři oblasti, které jsou popsány na obr. 11. Vznikají na stříhané součásti během střížného procesu při vnikání hran střížníku a střížnice do materiálu. Na ustřížené ploše lze pozorovat pásma, jež vznikají v různých fázích stříhu. V blízkosti střížné plochy je materiál plasticky deformován a dochází k jeho zpevnění a poklesu tvárnosti. Na hranici druhého a třetího pásma dosahuje střížná síla  $F_{\max}$  svého maxima v závislosti na hloubce vniku střížníku  $h_s$  do stříhaného materiálu. [1; 3]





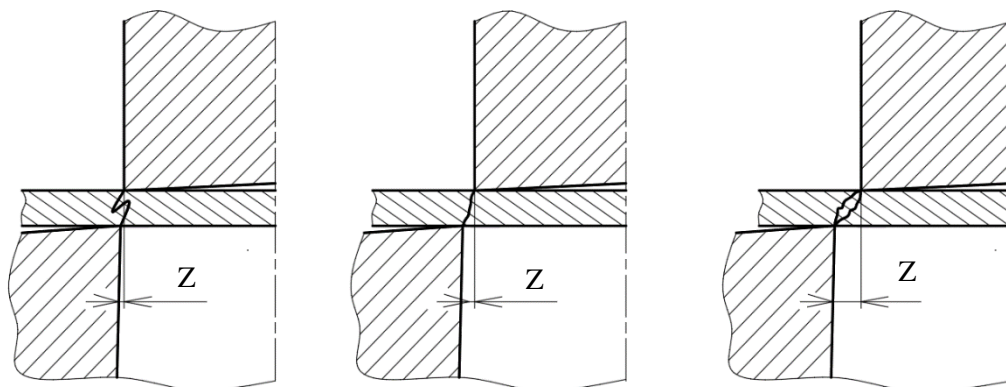
- Oblast I.: Pásmo pružné deformace vznikající při vnikání střížníku do materiálu.  
 Oblast II.: Hladká a lesklá část střížné plochy, která je tvořena plastickým stříhem.  
 Oblast III.: Probíhá samovolně oddělení stříhané částí pod smykovým napětím.

Obr. 11 Zobrazení pásem střížné plochy [3].

U obvyklého stříhu tvoří část III cca 80 % střížné plochy, a proto se stává charakteristická při posuzování kvality stříhu. Část II tvoří 12 % a část I 8 % střížné plochy. Trhliny vznikají u břitů obou nástrojů a postupují směrem do středu. Uprostřed děleného materiálu se setkají a tvoří střížnou plochu. Při nepřesném setkání střížných čar může na povrchu vzniknout tříška nebo otřep. [1, 3]

### 3.1 Střížná vůle

Jedním z parametrů, který zásadně ovlivňuje střížné plochy je střížná vůle  $v$ . Střížnou vůlí se rozumí rozdíl rozměru střížníku a střížnice. Jednostranný prostor mezi střížníkem a střížnicí se nazývá střížná mezera  $Z$  (obr. 12). Důležité je zachovat velikost střížné mezery po celém obvodu křivky stříhu konstantní. Pokud by rozměr střížné mezery byl moc malý (velký), zhoršila by se kvalita střížné plochy, docházelo by k rychlému otupení nástrojů nebo v krajním případě by mohlo dojít ke zlomení střížníku. [1; 3; 4]



a) malá střížná mezera    b) optimální střížná mezera    c) velká střížná mezera

Obr. 12 Vliv střížné mezery na kvalitu střížné plochy [20].

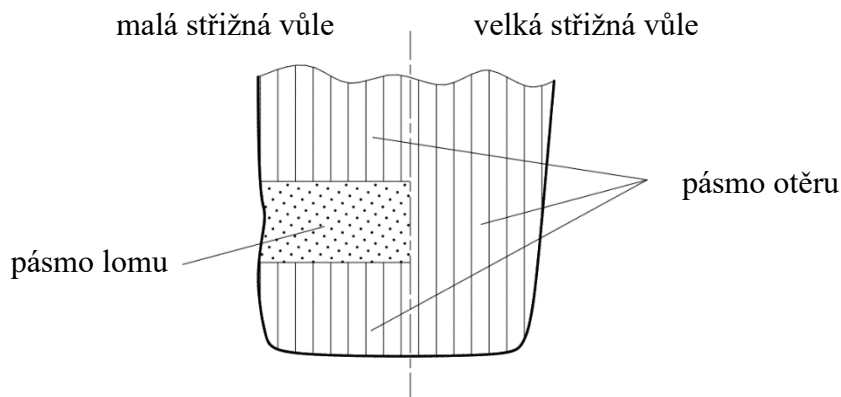
Volba velikosti střížné vůle závisí na požadované přesnosti a kvalitě stříhu nebo také na stříhaném materiálu. Její rozměr se stanoví výpočtem, který se liší pro různé tloušťky plechu. Pro plechy do tloušťky 3 mm je výpočet dle vztahu (3.1), pro plechy nad tloušťku 3 mm je výpočet dle vztahu (3.2). [1; 3; 4]

$$z = \frac{v}{2} = c_1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{\tau_s}{10}} \quad [mm], \quad (3.1)$$

kde:  $c_1$  - součinitel, jehož velikost se volí v rozmezí 0,005 – 0,035. (Nižší hodnota se volí pro lepší střížné plochy, vyšší pro dosažení minimální střížné síly),  
 $t$  - tloušťka plechu [mm],  
 $\tau_s$  - pevnost ve stříhu ( $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ ) [MPa].

$$z = \frac{v}{2} = (1,5 \cdot t - 0,015) \cdot \sqrt{\frac{\tau_s}{10}} \quad [mm]. \quad (3.2)$$

Na obr. 13 lze vidět jakým způsobem vznikají trhliny v zavllosti na velikosti střížné mezery. Při malé střížné mezeře se zvětšuje pásmo otěru, dochází k rychlejšímu otupení a také se zvyšuje střížná práce, v důsledku toho, že se křivky stříhu od střížníku a střížnice míjejí. Při velké střížné mezeře se střížné křivky opět optimálně nepotkávají a pásmo otěru se rozšíří přes celou střížnou plochu. V případě optimální velikosti střížné mezery se křivky stříhu od střížnice i střížníku potkají v jednom bodě a výsledkem je žádaná kvalitní plocha stříhu. Velikost střížné vůle lze určit také jako procentuální hodnotu z tloušťky stříhaného plechu a materiálu z kterého byl vyroben. Pro tento způsob lze využít tabulku č. 3. [3; 20]



Obr. 13 Vliv střížné vůle na velikost pásma otěru [3].

Tab. 3 Volba střížných vůlí dle stříhaného materiálu. [3]

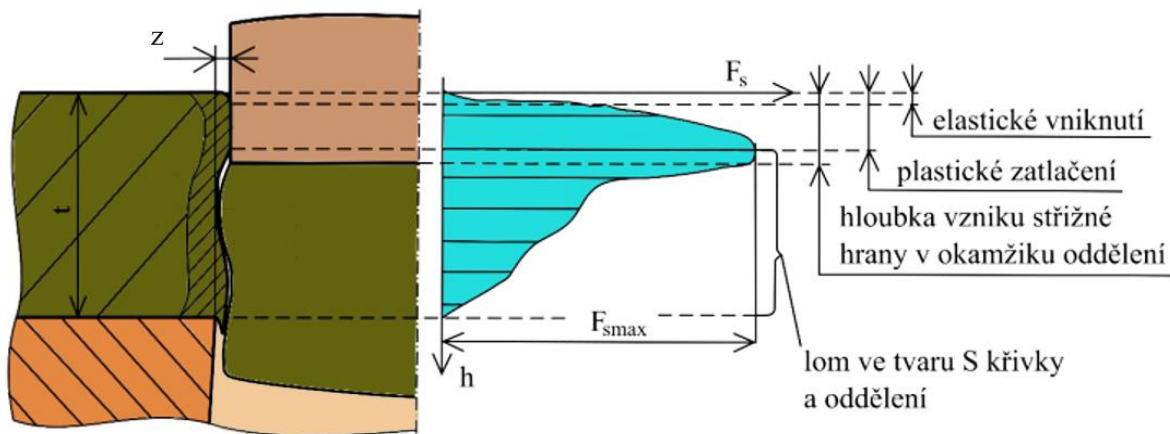
Stříhaný materiál	Střížná vůle [v % tloušťky materiálu]	
	do 2,5 mm	2,5 mm až 6 mm
Ocel měkká	3 ÷ 5	7 ÷ 8
Ocel středně tvrdá	6	6 ÷ 8
Ocel tvrdá	7 ÷ 9	7 ÷ 10
Hliník	4 ÷ 7	5 ÷ 9
Dural	7 ÷ 8	7 ÷ 10
Měď měkká	4 ÷ 5	5 ÷ 6
Měď polotvrdá a tvrdá	6 ÷ 7	6 ÷ 7

### 3.2 Střížná síla a práce

Střížná síla je důležitá složka střížného procesu. Především je nutné znát její velikost pro volbu vhodného lisu, ve kterém probíhá samotné stříhání. Pokud by potřebná střížná síla byla větší než jmenovitá síla lisu, mohlo by dojít k jeho poškození. Z tohoto důvodu se síla předimenzuje o 20 a více procent. [19]

Střížná síla se odvíjí od hloubky vniku střížníku do stříhaného materiálu. V každém okamžiku je rozdílná a je dána součinem dvou veličin, a to střížnou plochou a střížným odporem. Střížná síla se z počátku zvětšuje vlivem plastické deformace a zpevnění materiálu i přesto, že se plocha stříhu zmenšuje. Roste až do bodu meze pevnosti, kdy začnou vznikat trhliny ve stříhaném materiálu. Poté začne postupně klesat až do okamžiku, kdy dojde k utržení výstřížku a její hodnota klesne na nulu (obr. 14). [19]

Křehké materiály mají malý rozdíl mezi mezí kluzu a pevnosti. K utržení výstřížku dochází již při nepatrném vniknutí nástroje do stříhaného plechu. Houževnaté materiály se tvářením zpevňují, to má negativní vliv na střížný proces, přičemž roste střížný odpor i síla. [19]



Obr. 14 Velikost střížné síly v závislosti na hloubce vniku střížníku do materiálu [3].

Úpravou střížných nástrojů můžeme příznivě ovlivnit velikost střížné síly. Jedním z možností úprav je zešíkmení střížné plochy střížníku pod určitým úhlem (obr. 15). Takovou změnou lze zmenšit sílu až o desítky procent. Velikost střížné síly pro ploché střížníky lze spočítat dle vztahu (3.3). Velikost střížné síly pro zkosené střížníky lze získat dle vztahu (3.4). [19]

$$F_s = k_1 \cdot o \cdot t \cdot \tau_s \quad [N], \quad (3.3)$$

kde:  $o$  - střížný obvod [mm],  
 $k_1$  - součinitel otupení (volí se 1,1 až 1,3) [-].

$$F_{s\delta} = k_1 \cdot t \cdot s \cdot \tau_s = k \cdot t^2 \cdot \frac{\tau_s}{\operatorname{tg}\delta} \quad [N], \quad (3.4)$$

kde:  $s$  - délka stříhu [mm],  
 $\delta$  - úhel stříhu (úhel sklonu nožů viz obr. 15) [°].

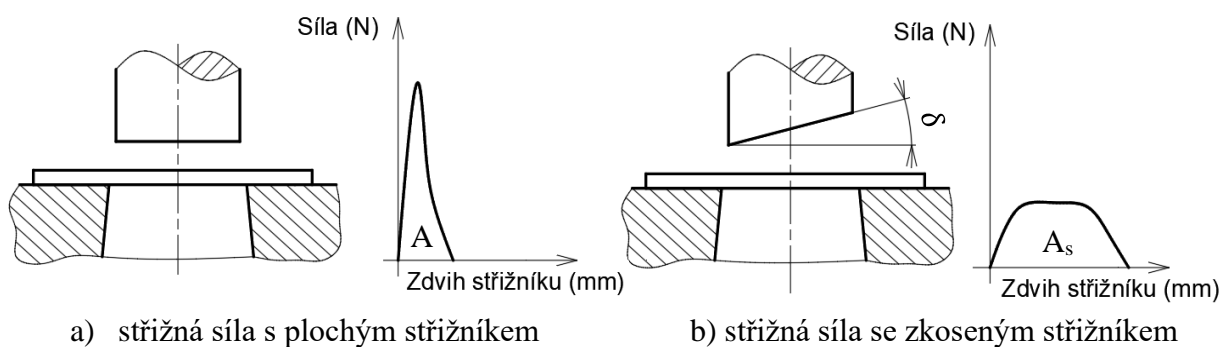
Střížný odpor vyjadřuje vlastnost stříhaného materiálu ukazující schopnost odolat dělení. Závisí především na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu. S rostoucí mezí pevnosti a klesající mezí kluzu střížný odpor roste. Z toho plyne, že optimální materiály pro stříhání jsou takové, které mají nižší hodnotu meze pevnosti a vyšší hodnotu meze kluzu. Střížný odpor je také proměnlivý vlivem rychlosti stříhání, druhu mazání, chlazení, střížných hran apod. [19]

Při znalosti průběhu sil lze určit i práci, která je potřeba pro vystřížení součásti z materiálu. Její velikost je přímo úměrná střížné síle a hloubce vtlačení střížníku. V grafickém znázornění se jedná o plochu pod křivkou znázorňující průběh střížné síly (obr. 15). Při stříhání se šikmými střížníky docílíme stejně velkou práci jako kdybych použili střížníky ploché, rozdíl nastává v požadované síle, která je u šikmého střížníku menší, naopak je delší dráha stříhu. Střížnou práci  $A$  pro ploché střížníky můžeme spočítat dle vztahu (3.5). Střížnou práci  $A_s$  pro zkosené střížníky můžeme stanovit dle vztahu (3.6). [19]

$$A = F_S \cdot K_A \cdot h \quad [J], \quad (3.5)$$

kde:  $K_A$  - součinitel hloubky vtlačení (tab. 4) [mm],  
 $F_S$  - maximální střížná síla [N],  
 $h$  - pracovní zdvih nástroje [mm].

$$A_s = F_S \cdot K_A \cdot h = F_S \cdot K_A \cdot s \cdot tg\delta \quad [J]. \quad (3.6)$$



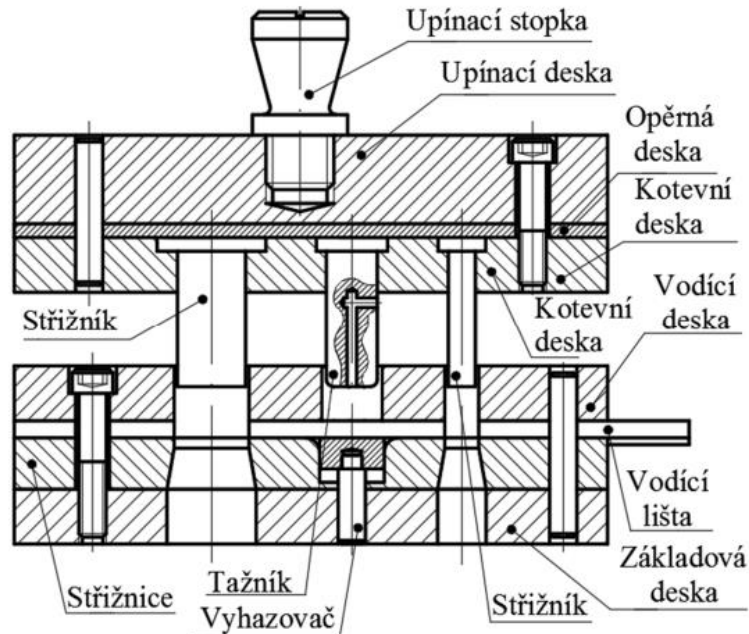
Obr. 15 Velikost střížné síly v závislosti na tvaru střížníku [19].

Tab. 4 Hloubka součinitele vtlačení  $K_A$  do materiálu. [22]

Materiál	Tloušťka materiálu $t$ [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
Ocel o pevnosti 250 ÷ 350 MPa (měkká)	0,70 ÷ 0,65	0,65 ÷ 0,60	0,60 ÷ 0,50	0,45 ÷ 0,35
Ocel o pevnosti 350 ÷ 500 MPa (středně tvrdá)	0,60 ÷ 0,55	0,55 ÷ 0,50	0,50 ÷ 0,42	0,40
Ocel o pevnosti 500 ÷ 700 MPa (tvrdá)	0,45 ÷ 0,42	0,42 ÷ 0,38	0,38 ÷ 0,33	0,30 ÷ 0,20
Hliník a měď v žíhaném stavu	0,75 ÷ 0,70	0,70 ÷ 0,65	0,65 ÷ 0,55	0,50

### 3.3 Konstrukce stříhadel

Podle použití a druhu stříhání existuje celá řada druhů stříhadel od jednoduchého stříhadla, postupového až po sloučené se sdruženým. V našem případě bude použit sdružený střížný nástroj, který je určen k postupnému vystříhování součásti z pásu plechu v několika krocích s kombinací ohybu. [19; 20, 21]

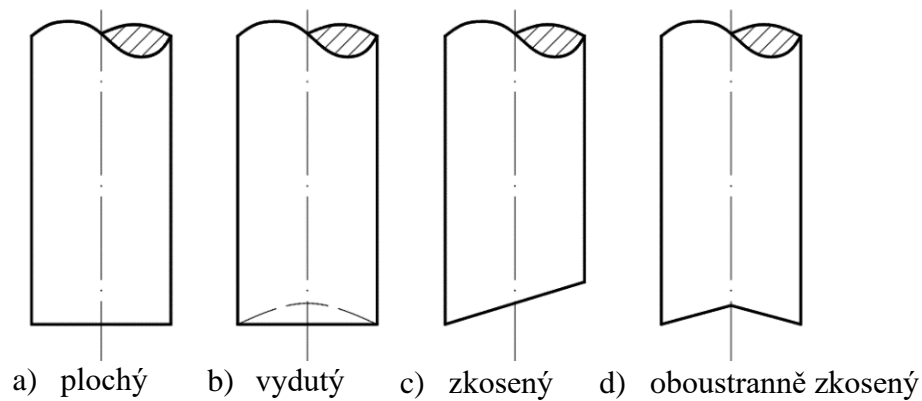


Obr. 16 Konstrukce sdruženého nástroje [20].

Všechny typy stříhadel však sdílí součásti, jejichž funkce je stejná nebo podobná. Stříhadla se skládají ze dvou základních částí, a to z horní, která je pohyblivá a ze spodní, jenž je nepohyblivá. Horní část je složena ze stopky, která slouží k upnutí nástroje do beranu lisu. Stopka je zasazena do upínací desky a dále pomocí šroubů a kolíků spojena s opěrnou a kotevní deskou. Upínací deska rovněž obsahuje osazení pro pouzdra vodících sloupků. Pod upínací deskou je opěrná deska jejíž účelem je přenos sil na střížník a ohybník (tažník), ty jsou usazeny v kotevní desce. Spodní část stříhadla se skládá ze základové desky, která obsahuje otvory pro vodící sloupky a je spojena pomocí šroubů a kolíků se střížnicí, vodícími lištami a vodící deskou. Vodící deska slouží k přesnému navedení střížníku vůči střížnici. Vodící lišty slouží k vedení plechu a u postupového stříhadla obsahují části s načínacími dorazy. Pod vodícími lištami je samotná střížnice, ve které je také koncový doraz. Dorazy tvoří krok mezi jednotlivými střížnými operacemi. Nejdůležitějšími částmi stříhadel jsou samotné střížné nástroje (střížník, střížnice), které se podílejí na střížném procesu a zajišťují kvalitu výstřížku (obr. 16). [19; 20; 21]

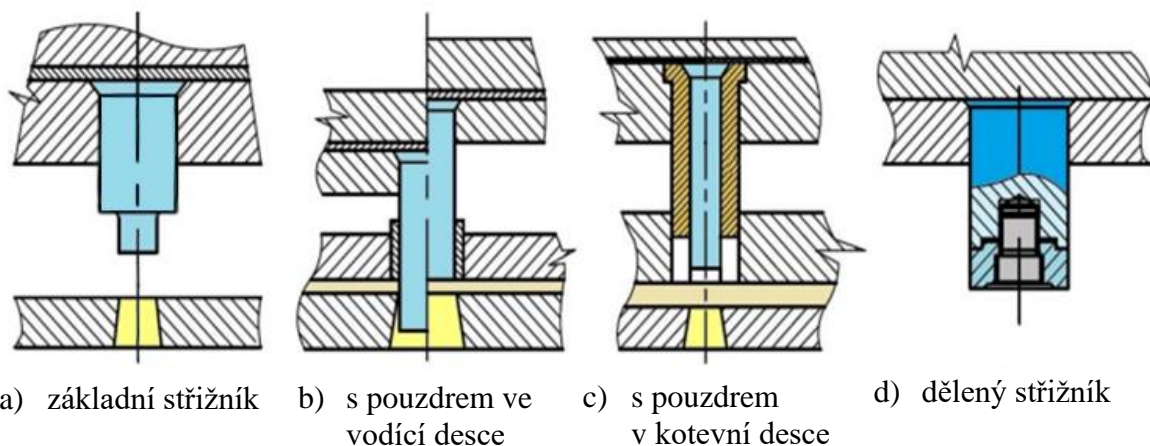
### 3.4 Střížníky a střížnice

Střížníky mají zásadní vliv na střížný proces, který můžeme ovlivnit jejich tvarem, délkou, upnutím atd. Konstrukčně je důležité střížníky řešit s vysokou pevností, tuhostí a přesností. Vyrábějí se v široké škále tvarů, od nejjednodušších kruhových, čtvercových až po tvarové dělené pro specifické výrobky. Důležité je, aby se střížník v průběhu stříhu vlivem střížných sil neprotáčel a jinak nechtěně nepohyboval. Potřebnou střížnou sílu můžeme ovlivňovat (snižovat) tvarem čela střížníku. Tvar může být např. plochý, zkosený, vydutý atd. (obr. 17). [19; 20; 21]



Obr. 17 Tvary střížníků [19].

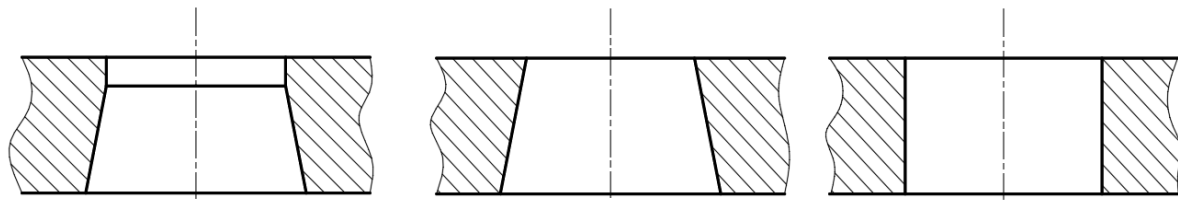
Konstrukčně můžou být dále řešeny jako celistvé pro menší rozměry nebo jako dělené, kdy je nosná část z konstrukční oceli a funkční část z oceli nástrojové, k sobě jsou spojeny pomocí šroubu. Při stříhání malých otvorů se střížníky usazují do pouzdra, které chrání střížník proti jeho vzepření a následnému zlomení (obr. 18). Pro upevnění střížníků lze vybírat z mnoha metod, důležité je, aby odolaly rázům. Základním typem způsobu upínání je s upínací hlavou, která může mít různé tvary (válcová, kuželová atd.). Následně jsou vloženy do otvorů a založí se kalenou opěrnou deskou, která brání otláčení. V případě poškození či zlomené střížníku, je žádané, aby konstrukční řešení umožňovalo snadnou a rychlou výměnu nástroje. [20; 21]



Obr. 18 Konstrukce střížníků [20].

Dalším důležitým prvkem podílejícím se na střížném procesu je střížnice, která spolu se střížníkem tvoří nejnákladnější část střížného nástroje. Střížnice můžou být celistvé (z jednoho kusu), skládané (z více částí), nebo vložkové (základní deska z konstrukční oceli do níž je usazena vložka z nástrojové oceli). Celistvé střížnice se používají pro tvarově jednoduché výstřižky. Střížnice skládané umožňují tvářet tvarově náročné součásti, naopak jejich výroba je snadnější a při tepelném zpracování se méně tvarově deformují. Vložková střížnice má obdobné vlastnosti jako skládaná, přičemž umožňuje snadnou výměnu opotřebovaných vložek. Skládané a vložkové střížnice jsou používány především ve velkosériové výrobě (obr. 20). [20; 21]

Vnitřní tvary střížnic se můžou konstrukčně lišit (obr. 19). Nejnákladnější na výrobu je střížnice s fazetou, ta naopak umožňuje výrobu s největší přesností. Jednou z dalších výhod je možnost přebroušení po opotřebení a tím ji znovu naostřit. Úhel zkosení otvoru střížnice se volí v rozmezí  $2^\circ$  až  $5^\circ$ . Kuželovitost umožňuje výstřižku lépe propadnout střížnicí a nezaseknout se v ní. [20; 21]

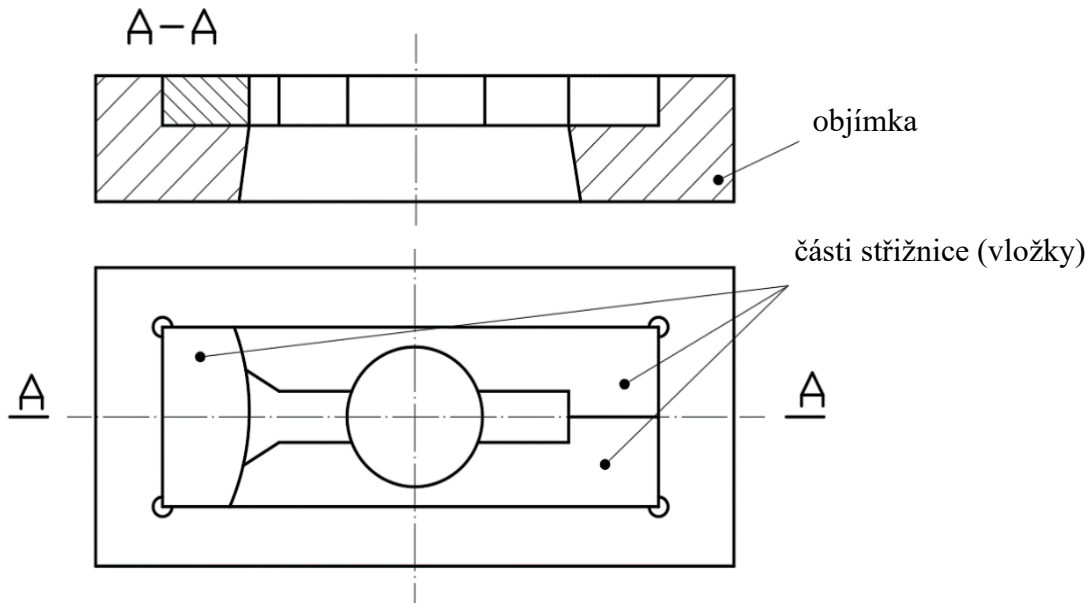


a) kuželová s válcovou fazetou

b) kuželová

c) válcová

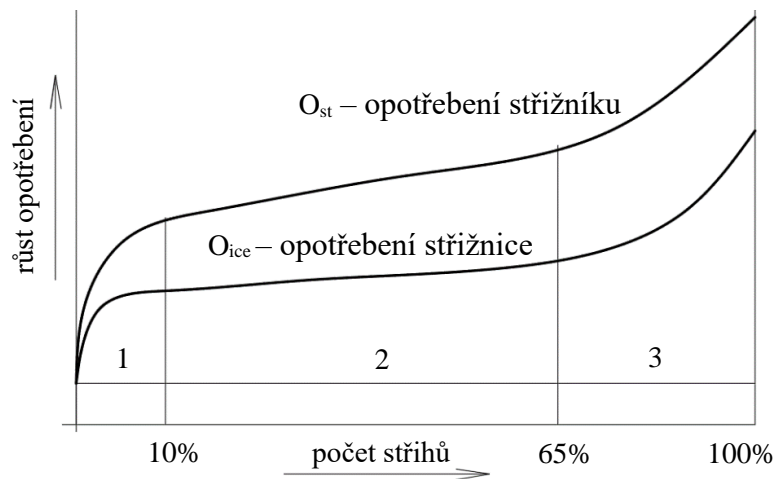
Obr. 19 Vnitřní tvary střížnic [20].



Obr. 20 Vložková střížnice [21].

### 3.4.1 Životnost stříhadel

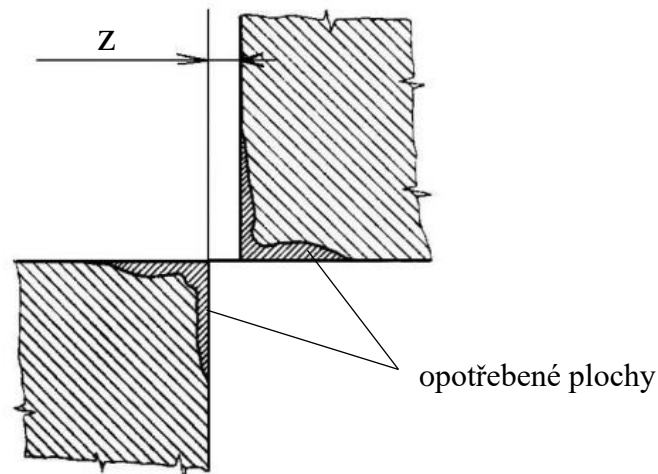
Životnost stříhadel je dána počtem vyrobených výstřížků. K opotřebení dochází postupně až do bodu, kdy střížné plochy nejdou naostřit ani jinak obnovit. Životnost stříhadel je ovlivněna faktory, kterými jsou materiál, tvar a velikost výstřížku. V tomto případě hraje roli především tvrdost stříhaného plechu a jeho tloušťka. Dále má zásadní vliv na životnost druh a kvalita nástroje, do této skupiny spadá materiál, geometrie, jakost výroby a tepelné zpracování. Nedílnou součástí opotřebení je vliv pružení stojanu beranu lisu. [21; 22]



Obr. 21 Křivka růstu opotřebení [22].

Opotřebení se postupně zvyšuje s počtem střížných cyklů. Ze střížných ploch začne postupně ubývat materiál (obr. 22), který je charakteristický svým nepravidelným úbytkem. Vznik je zapříčiněn vnikáním střížníku do stříhaného plechu. Na střížných hranách působí vysoké tlaky, jenž za vlivu adheze a abraze otupují materiál. Důsledkem je ořez činných ploch a snižující se kvalita výstřížku. Opotřebení lze určit mírou chybějícího materiálu na střížných nástrojích. Střížné hrany můžeme u některých nástrojů přebrousit a tím opět obnovit střížné schopnosti. Počet přebroušení je dán konstrukcí nástroje. Průběh opotřebení je zobrazen na křivce grafu pro zvlášť pro střížník i střížnici (obr. 21). [22]

V prvním úseku je zvýšená rychlost otupení střížných hran. V druhém úseku se míra otupení zmenší vlivem zvětšení střížných ploch a poklesu tlaku na jednotku plochy. Třetí úsek ukazuje opětovný nárůst opotřebení, který vznikl zvýšenou deformací střížných hran. Při zvyšujícím se otupení také roste potřebná střížná síla kvůli většímu odporu tření a narůstajícímu zpevnění. Průběžným zkoumáním se ukázalo, že křivky opotřebení pro různé materiály mají velmi podobný průběh. Opotřebení se počtem přebroušení snižuje v důsledku zpevnění ploch. [22]

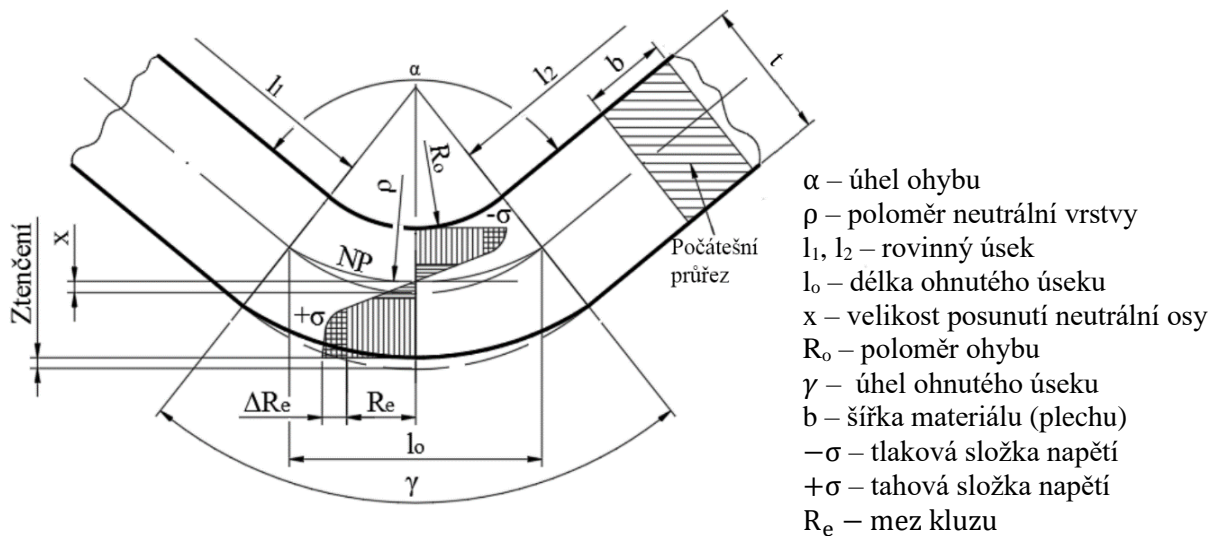


Obr. 22 Opotřebení střížných ploch [22].



## 4 OHÝBÁNÍ

Mezi další velmi častou technologií strojírenské výroby patří ohýbání, které umožňuje tvářet plechy, pásy, trubky, tyčové profily apod. Při ohýbání je cílem ohnout polotovaru do žádaného tvaru, přičemž dochází k pružně plastické deformaci materiálu. Velikost deformace ovlivňují faktory jako poloměr ohybu, kvalita a tloušťka ohýbaného materiálu, velikost ohybových momentů atd. Při ohýbání nedochází k podstatné změně tloušťky materiálu, a proto patří do skupiny plošného tváření. Ohýbání lze provádět za studena i za tepla. Za studena se ohýbají materiály běžných jakostí, za tepla především tvrdé, křehké a tlusté polotovary. Při ohýbání je nutné znát technologické zásady, které umožňují správně navrhnout ohyb (obr. 23). Během ohýbání je žádané, aby ohybové napětí překonalo mez kluzu, ale nepřekročilo mez pevnosti. Vlivem překročení meze pevnosti by mohlo dojít k trvalé porušení soudržnosti. [1; 3; 4]



Obr. 23 Schéma ohybu [3].

Kolem neutrální plochy je při ohybu napětí nulové, které se zvětšuje směrem ke krajům polotovaru. Na vnitřní straně ohybu je tlaková složka napětí, na vnější straně je tahové složka napětí. V ohýbané části dochází k posunutí neutrální plochy směrem k vnitřní straně ohybu, křivka neutrální plochy tedy není totožná s křivkou těžiště a její hodnotu reprezentuje součinitel posunutí  $x$ . Velikost posunutí závisí na poměru ohybu k tloušťce ohýbané součásti. Výpočtem lze stanovit poloměr neutrální plochy. Poloměr neutrální plochy pro poloměry ohybu  $R_o \geq 12 \cdot t$  lze stanovit ze vztahu (4.1), poloměr neutrální plochy pro poloměry ohybu  $R_o \leq 12 \cdot t$  lze stanovit ze vztahu (4.2). [1; 3; 4]

$$\rho = R_o + \frac{t}{2} \quad [mm]. \quad (4.1)$$

$$\rho = R_o + x \cdot t \quad [mm]. \quad (4.2)$$

U výroby ohýbané součástí je podstatné znát počáteční délku polotovaru, kterou lze získat sečtením délek rovných úseků a délek neutrálních ploch. Délku neutrální plochy lze spočítat ze vztahu (4.3). [1; 3; 4]

$$l_n = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (R_o + x \cdot t) \quad [mm]. \quad (4.3)$$

## 4.1 Ohýbací síla a práce

Ohýbací sílu a práci je nutné stanovit kvůli volbě vhodného tvářecího lisu a také pro ověření pevnostních schopností ohybníku. Velikost síly je závislá na tvaru ohybu. Podle ohybu, který může být různého tvaru, nejčastěji však ve tvaru "U" nebo "V", rozlišujeme výpočty ohýbací síly a ohýbací práce. Sílu a práci pro "V" ohyb určíme ze vztahů (4.4) a (4.6). Výpočet síly a práce u "U" ohybu se dále stanoví ze vztahů (4.5) a (4.7). Tvar ohybu rovněž ovlivňuje průběh tvářecí síly, která najde své maximum na konci tvářecího zdvihu, kdy dochází ke kalibraci ohybu (obr. 24). [3; 4; 27]

- Výpočet síly pro "V" ohyb:

$$F_V = \frac{b \cdot t^2 \cdot c_2 \cdot R_m}{l_v} \quad [N], \quad (4.4)$$

kde:  $R_m$  - mez pevnosti [MPa],  
 $l_v$  - vzdálenost podpor ohybnice [mm],  
 $c_2$  - součinitel podle diagramu v příloze č. 3 [-].

- Výpočet síly pro "U" ohyb:

$$F_U = \frac{b \cdot t^2 \cdot 0,4 \cdot R_m}{l_e} \quad [N], \quad (4.5)$$

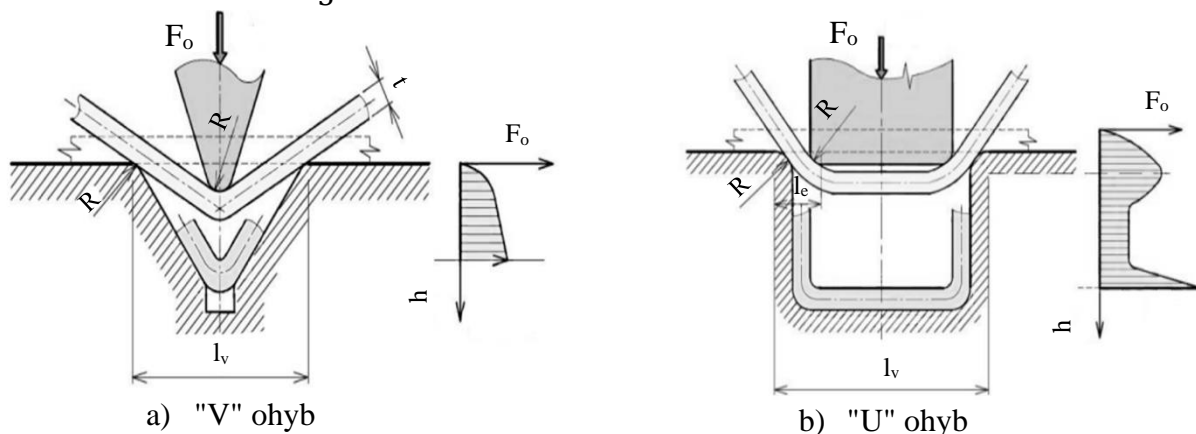
kde:  $l_e$  - vzdálenost poloměrů hran ohybníku a ohybnice (obr. 24) [mm].

- Výpočet práce pro "V" ohyb:

$$A_V = F_V \cdot h \cdot \frac{1}{3} \quad [J]. \quad (4.6)$$

- Výpočet práce pro "U" ohyb:

$$A_U = F_U \cdot h \cdot \frac{2}{3} \quad [J]. \quad (4.7)$$



Obr. 24 Typy ohýbaní [3].

## 4.2 Odpružení

Odpružení vzniká při odlehčování ohybu, kdy se materiál vlivem pružně-plastického chování snaží částečně vrátit do původního tvaru (obr 25). Jedná se tak o nežádoucí jev, který nastává při ohýbání za studena. Při návrhu nástrojů se musí brát odpružení v potaz, aby se docílilo požadovaného úhlu ohybu. Odpružení můžeme omezit zbroušením bočních ploch ohybníku, podbroušením spodní plochy ohybníku a vyhazovače, nebo vytvořením prolisovaných žebírek na tvářené součásti. Podle druhu ohybu můžeme odpružení spočítat dle vztahů (4.8) a (4.9). [4]

- Odpružení pro "V" ohyb:

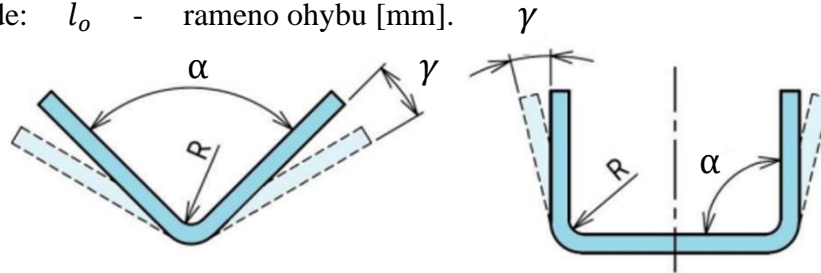
$$\gamma_v = \arctg \cdot \left( 0,375 \cdot \frac{l_v}{k_2 \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \right) \text{ [}^\circ\text{]}, \quad (4.8)$$

kde:  $k_2$  - součinitel polohy neutrální plochy dle poměru  $R_o/t$  [-],  
 $E$  - modul pružnosti v tahu [MPa].

- Odpružení pro "U" ohyb:

$$\gamma_u = \arctg \cdot \left( 0,75 \cdot \frac{l_o}{k_2 \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \right) \text{ [}^\circ\text{]}, \quad (4.9)$$

kde:  $l_o$  - rameno ohybu [mm].



Obr. 25 Schéma odpružení [4].

### 4.3 Minimální a maximální poloměr ohybu

- Minimální poloměr ohybu – hraniční poloměr při kterém by během pružně-plastického ohybu ještě nedošlo ke vzniku trhlin na vnější straně ohybu. Tím se rozumí to, že nebude překročena mez pevnosti a materiál zůstane soudržný bez prasklin. Mezi faktory, které ovlivňují ohyb je tloušťka materiálu, kvalita povrchu, úhel ohybu, druh materiálu. K zmenšení pravděpodobnosti vzniku trhlin v ohybu, je žádané ohýbat materiál kolmo na směr vláken. K ohýbání jsou vhodné materiály s vysokou mezí pevnosti a nízkou mezí kluzu. Minimální poloměr ohybu lze určit ze vztahu (4.10). [4]

$$R_{min} = \frac{t}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_{max}} - 1 \right) = c_3 \cdot t \text{ [mm]}, \quad (4.10)$$

kde:  $\varepsilon_{max}$  - mezní prodloužení [MPa],  
 $c_3$  - koeficient volený dle druhu materiálu [-].

- Maximální poloměr ohybu – poloměr při jeho překročení dojde k počátku plastické deformace v krajních vláknech tvářeného materiálu. Tím se rozumí to, že napětí překonává mez kluzu a trvale zůstává deformován. Pokud by napětí nepřekročili mez kluzu, tak by se materiál dle Hookova zákona vrátil do původního stavu a zůstal by nedeformován. Maximální poloměr ohybu můžeme určit ze vztahu (4.11). [4]

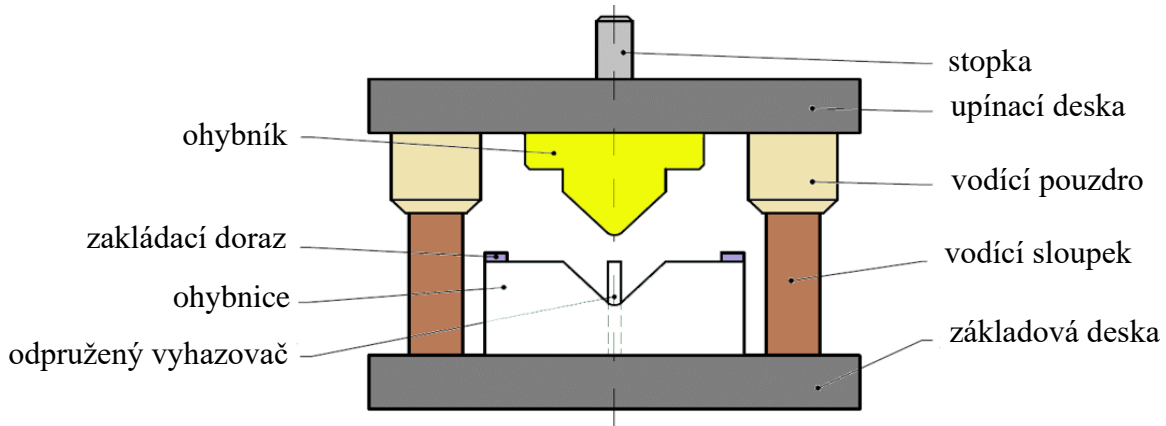
$$R_{max} = \frac{t}{2} \cdot \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right) \text{ [mm]}. \quad (4.11)$$

Tab. 5 Technologický koeficient  $c_3$  pro minimální ohyb. [4]

Druh materiálu	Měkká ocel	Měkká mosaz	Hliník	Dural	Měkká měď
Součinitel c	0,5 až 0,6	0,3 až 0,4	0,35	0,3 až 0,6	0,25

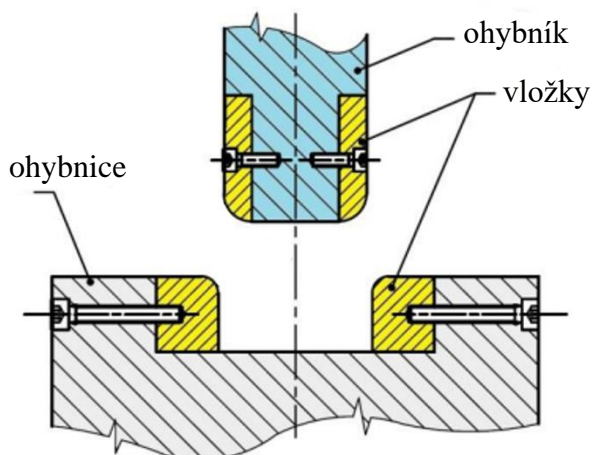
## 4.4 Ohýbací nástroj

Ohýbací nástroj pracuje na totožném principu jako nástroj střižný, kdy dochází k svislému pohybu ohybníku vůči ohybnici. Konstrukce nástroje se dělí do dvou základních skupin. První skupina je velmi podobná se střižnými nástroji, liší se převážně jen ve tvaru tvářecích nástrojů, které jsou použity v hydraulických a excentrických lisech. Ohybník je upnut do upínací desky a koná přímočarý pohyb, ohybnice je uložena na základové desce a je nepohyblivá (obr. 26). Poloměr ohybníku je stejný jako poloměr ohýbané součásti. Hrany tvářecích nástrojů jsou kaleny a leštěny. Druhou skupinu tvoří nástroje pro ohraňovací lisy (obr. 28), které jsou vhodné především k výrobě složitějších tvarů s více ohyby. Konstrukčně jsou jednodušší a skládají se ze dvou částí. Z horní pohyblivé čelisti (raznice) a spodní nepohyblivé (matrice). Čelisti jsou upnuty přímo do ohraňovacího lisu. [4]

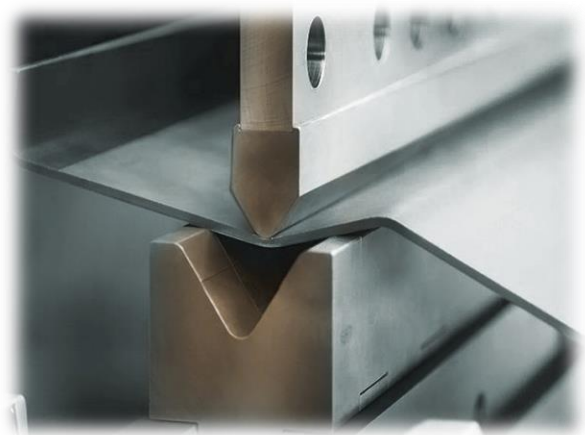


Obr. 26 Schéma ohýbacího nástroje pro hydraulický/excentrický lis [4].

Pro snížení nákladů se používají pro funkční části ohýbadel vložky, ty jsou vyrobeny z tvrdých materiálů, které dobře odolávají opotřebení. Použitým materiálem jsou zejména slinuté karbidy, jež jsou typické pro výrobu obráběcích a tvářecích nástrojů. Příklad použití vložek je zobrazen na obr. 27. Vložky se k nosnému tělu upevňují pomocí šroubů a ustavují se pomocí kolíků. [4]



Obr. 27 Vložky ohýbacího nástroje [4].



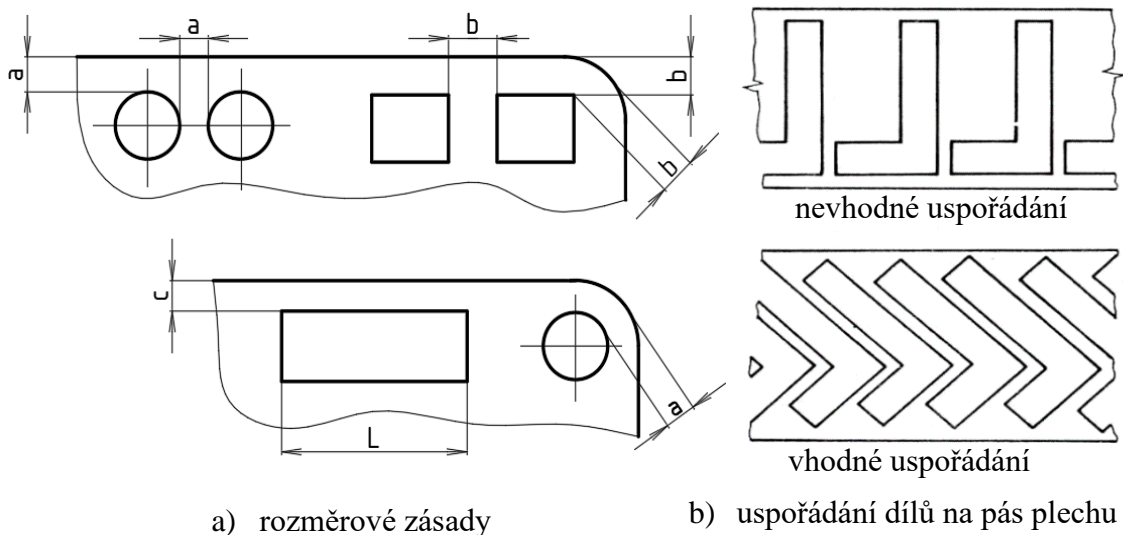
Obr. 28 Ohraňovací nástroj [24].

## 5 TECHNOLOGIČNOST

Součást musí být zhotovena s takovými tvary a rozměry, aby ji bylo možné vyrobit při nízkých nákladech, jednoduchými nástroji a v nejkratším možném čase. Samozřejmostí je dodržet žádané technické požadavky stanovené na výrobu a provoz součásti. Ovlivňuje je velikost série, výrobní zařízení firmy, zkušenosti pracovníků a mnoho dalších faktorů. Při výběru vhodné technologie je od začátku návrhu nutná spolupráce konstruktérů, technologů a dalších pracovníků zapojených do výroby. Ukazatelem správně zvolené technologičnosti jsou nízké náklady na materiál, nástroj, provoz a údržbu. Pro každou technologii výroby jsou dále stanoveny určité předpoklady pro vyrobitelnost. [1; 3]

- Technologičnost stříhání – je základním předpokladem správného výrobního postupu a výrazně ovlivňuje hospodárnost výroby. Základní aspekty pro její správnost by měly být takové, aby vnější tvar byl účelný, výrobně jednoduchý, popřípadě i vizuálně pohledný. Zvýšená přesnost se uvažuje pouze u rozměrů, které ovlivňují funkci, navazují na další součást, či mají jinou charakteristickou funkci. Materiál musí být dostupný, levný, dobře zpracovatelný a s vhodnou kvalitou povrchu. [1; 3]

Mezi další zásady umožňující plynulou výrobu a nízkou ekonomičností patří nezmenšování výrobních tolerancí u vnějších rozměrů, otvorů a roztečí více než je to nutné. Preferovanými otvory ve výstřižku jsou především kruhové z důvodu snadnější a levnější výroby. Pro střížnou plochu se nehodí předepisovat zvýšenou drsnost, pokud to není nutné, to také platí pro kolmosti či jiné geometrické tolerance. Velikost stříhaných otvorů je dána tloušťkou stříhaného materiálu a konstrukcí stříhadla. Minimální velikost otvoru přibližně odpovídá tloušťce součásti. Vzdálenosti otvorů od okrajů, nebo mezi otvory, jsou stanoveny dle tab. 6 a zobrazeny na obr. 29a. Nejmenší šířky vystupujících částí nebo zúžení ve výstřižku nesmí být menší než 1,5násobek tloušťky plechu. Do vnitřních rohů by se mělo volit zaoblení, minimální poloměr by měl být 1,5násobek tloušťky materiálu. [1; 3]



Obr. 29 Technologické parametry [1].

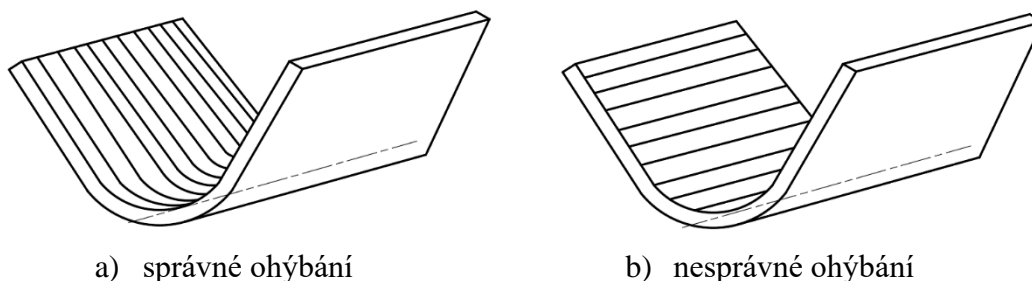
Součásti se vyrábějí z pásů získaných ze svítků nebo nastříháním z tabulí plechu. Uspořádání výrobku na pásu plechu zhotovuje technolog do tzv. nástřihového plánu. Vhodným uspořádáním je docíleno značné úspory materiálu (obr. 29b). Výhodné jsou především symetrické tvary, které lze do sebe jednoduše zasadit. K nevhodným tvarům se řadí tvary rozvětvené, ty je žádané nahradit, aby došlo k zlevnění výroby. [1; 3]

Tab. 6 Vzdálenosti otvorů od okraje výstřižku. [1]

Tloušťka plechu [mm]	Rozměr a [mm]	Rozměr b [mm]	Rozměr c [mm]			
			Pro šířku otvoru L [mm]			
			5 ÷ 50	50 ÷ 100	100 ÷ 200	nad 200
do 1	1,5	2,5	3	8	13	20
1 ÷ 1,6	2,4	3,2	4,5	8	13	20
1,6 ÷ 2	3	4	6	10	14	25
2 ÷ 2,5	3,7	4,5	7	10	16	25
2,5 ÷ 3,2	4,8	5	8	13	20	25
3,2 ÷ 4	6	6	9	13	20	28
4 ÷ 5	7	8	10	16	22	32

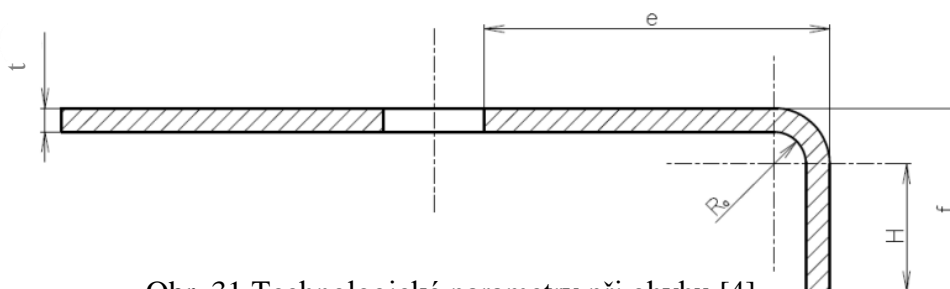
- Technologičnost ohýbání – musí se brát v potaz mnoho parametrů, které do ohýbacího procesu vstupují. Technologičnost je především ovlivněna konstrukcí, velikostí a tvarem ohýbaného dílu. Dále rovnoměrností tloušťky plechu, přesností nástrojů, technologickým postupem výroby, a především vlastnostmi materiálu z kterého má být výrobek zhotoven. [4]

Umístění výrobku na plechu může mít zásadní vliv na výrobu ohybu. Pokud je výrobek jednoduchého tvaru jeví se žádoucí, aby se umístil tak, že osa ohybu bude směřovat kolmo na směr vláken (obr. 30). V případě, že je součást umístěna rovnoběžně s vlákny, snižuje se tažnost plechu a vlivem malých ohýbacích poloměrů v závislosti na tloušťce materiálu může dojít ke vzniku trhlin v ohybu. Kontrolou by měl projít i minimální poloměr ohybu, který se určí dle vztahu (4.10). Pokud se ale vlákna ohýbané součásti shodují s osou ohybu, měl se se minimální poloměr ohybu z důvodu bezpečnosti uvažovat dvojnásobný ( $R_{\min} \cdot 2$ ). V případě, že jsou vlákna ohýbané součásti k úhlu ohybu otočeny o 45 stupňů, zvětší se bezpečnost o 1,5 ( $R_{\min} \cdot 1,5$ ). [4]



Obr. 30 Ohýbání podle směru toku vláken [4].

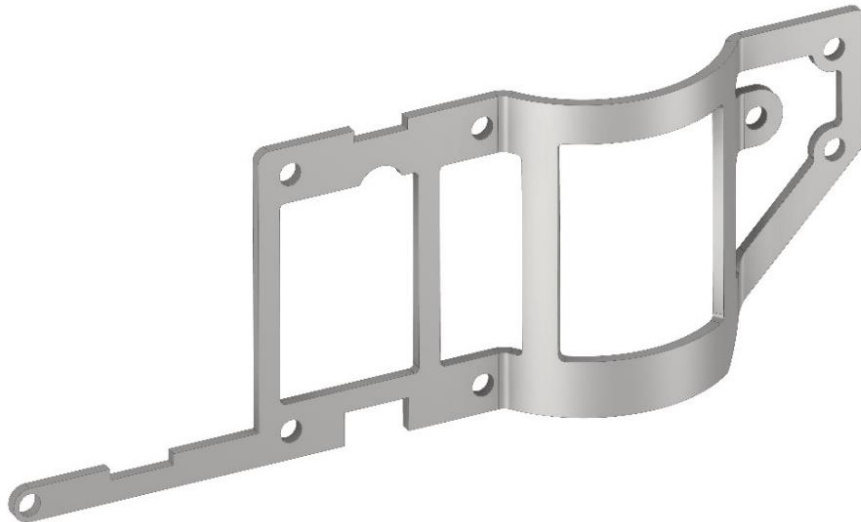
Jedním z nejdůležitějších faktorů při ohýbání je také vzdálenost otvorů a výřezů od hrany ohybu. V těchto místech dochází ke hromadění napětí a příliš blízké otvory jsou následně zdeformovány natažením. Podle vztahu ( $e \geq R_o + 2 \cdot t$ ) lze ověřit dostatečná vzdálenost otvoru od místa ohybu. Dalším parametrem, který se musí zkontrolovat je minimální velikost ramena  $f$  (obr. 31), jenž závisí na druhu matic. Pro jednotlivé druhy matic se stanovují tabulky s hodnotami (př. příloha č.4). [4]



Obr. 31 Technologické parametry při ohybu [4].

## 6 NÁVRH ŘEŠENÍ

Řešením je součást (obr. 32) tvořící tělo RC vrtulníku s rozměry 80 x 28 milimetrů. Tloušťka je 1 mm a hloubka prolisu 6 mm. Dále výrobek obsahuje osm kruhových děr o průměru 2 mm jejichž účelem je spojení dílce k plastovému tělu helikoptéry. Zbylé otvory slouží ke snížení váhy a k možnosti vedení kabelů od baterie k motorku na jedné ze stran vrtulníku. V neposlední řadě jsou na součásti tři drážky, do kterých zapadají plastové zobáčky a umožní přesnějšímu ustavení součásti. Ve výše uvedené kapitole byla zvolena výrobní technologie stříhání pomocí sdruženého postupového nástroje. Materiál pro výrobu byl vybrán hliník (EN AW – 1050A), jeho vlastnosti a důvod zvolení je popsán v rozboru součásti. Výrobní série se uvažuje 200 000 kusů.



Obr. 32 Řešená součást.

V této kapitole se budou dále řešit nutné parametry umožňující ekonomicky výhodnou a správnou výrobu. Jedná se o ověření technologičnosti stříhání a ohýbání. Zvolení nejlepšího rozmístění výrobku na pásu plechu (nástříhový plán) se kterým souvisí využití materiálu. Také je potřeba spočítat střížné a ohýbací síly s jejich spotřebovanou prací pro určení nejvhodnějšího tvářecího stroje. Jelikož součást obsahuje prolis, je nezbytné určit délku plechu v rozvinutém tvaru. Pro dosažení co nejkvalitnějších střížných ploch se určí vhodná střížná vůle  $\mathbf{v}$ . Jelikož pro výrobu bude potřeba úzkých a štíhlých střížníků, je nezbytná jejich kontrola proti vzpěru a otlacení. Po dosažení všech důležitých výpočtů a kontrol bude vyhotovena konstrukce celého sdruženého nástroje včetně výkresové dokumentace.

### 6.1 Ověření technologičnosti

Z technologického hlediska je nutno zkontrolovat konstrukci součásti, která nesmí obsahovat tolerance nižší než IT9 z důvodu jejich nedosažení výrobními technologiemi postupovým stříháním. Tento parametr je splněný i z toho důvodu, že výrobek neobsahuje žádné funkční plochy. Další kontrole podléhají otvory, které nesmí být v menší vzdálenosti od okraje nebo od sebe, než je minimální předepsaná vzdálenost dle tab. 6, jinak může dojít k porušení tvářených ploch. Z toho důvodu bude provedeno ověření rozměrů dílce podle následujících vztahů:

- Nejmenší kruhový otvor součásti musí splňovat následující podmínku:

$$\frac{d}{t} \geq t \Rightarrow \frac{2}{1} \geq 1 \Rightarrow \text{splněno.}$$

- Nejmenší hranatý otvor součásti musí splňovat následující podmínku:

$$\frac{L}{t} \geq t \Rightarrow \frac{2}{1} \geq 1 \Rightarrow \text{splněno.}$$

- Pro vystřihnutí je také nutné, aby stříhané obrysy splňovaly následující podmínky technologické vzdálenosti stříhaných okrajů:

$$\begin{aligned} a &\geq 0,8 \cdot t \Rightarrow 2,4 \geq 0,8 \cdot 1 \Rightarrow 2,4 \geq 0,8, \\ b &\geq t \Rightarrow 3,2 \geq 1, \\ c &\geq 1,5 \cdot t \Rightarrow 3 \geq 1,5 \cdot 1 \Rightarrow 3 \geq 1. \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} a &\geq 0,8 \cdot t \\ b &\geq t \\ c &\geq 1,5 \cdot t \end{aligned}} \right\} \text{ splněno}$$

Řešená součást splňuje všechny technologické předpoklady nutné pro výrobu postupovým stříháním. Dalšími podmínky, které musí být zkontrolovány, jsou parametry týkající se ohýbání. První z nich je dostatečná vzdálenost otvoru od hrany ohybu. V konkrétním případě zasahují hranaté výřezy přímo do místa ohybu, jelikož se ale jedná o ohyb velkého poloměru, drobné prodloužení vlivem koncentrace napětí nebude zásadním problémem. Důležitější je ověření, zda se otvory pro šrouby nachází ve vhodné vzdálenosti od hrany ohybu, to se zjistí v následujícím kroku:

- Výpočet vhodné vzdálenosti díry od hrany ohybu vychází ze vztahu:

$$a \geq R_o + 2 \cdot t \Rightarrow 2,4 \geq 1 + 2 \cdot 1 \Rightarrow 2 \geq 3 \Rightarrow \text{nesplněno}$$

K další kontrole spadá poloměr ohybu, který musí být větší, než je minimální poloměr ohybu  $R_{\min}$ . Ten se spočítá pomocí vztahu (4.10). Pokud by navržený poloměr pro výrobu byl menší než minimální poloměr ohybu, s největší pravděpodobností by došlo k tvorbě trhlin na vnější straně ohybu. Kontrolní výpočet je proveden v následujícím bodě:

- Ověření minimálního poloměru ohybu dle (4.10):

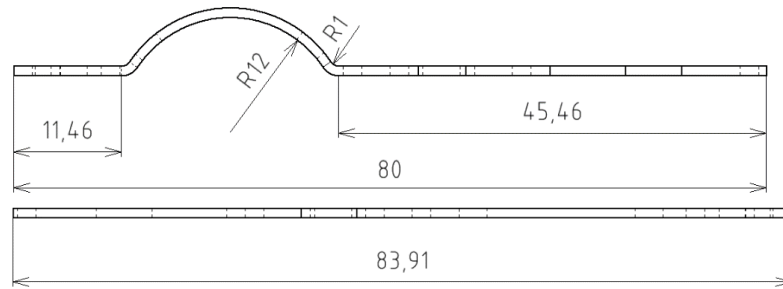
$$R_{\min} = \frac{t}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_{\max}} - 1 \right) = c \cdot t = 0,35 \cdot 1 = 0,35 \text{ mm} \Rightarrow \text{splněno}$$

Z výpočtů je patrné, že díry pro šrouby jsou příliš blízko ohýbanému poloměru a bylo by vhodné je posunout do větší vzdálenosti. V tomto případě by však ani případná deformace děr nepředstavovala výrazný problém, proto budou zachovány původní rozměry. Dalším prvkem, který by měl připadnout kontrole je minimální délkový rozměr ramena  $f$ . Jelikož je při řešení délka ramena nepodstatná, bude její ověření vynecháno. Minimální poloměr ohybu vyhovuje. V nejhorsím možném případě, kdy by byl ohyb tvořen rovnoběžně s tokem vláken, se musí uvažovat dvojnásobný minimální poloměr pohybu  $R_{\min} = 0,7 \text{ mm}$ , který i pro tuto situaci vyhovuje.

## 6.2 Délka rozvinuté součásti a odpružení

Pro ohýbaný plech je potřeba stanovit jeho délku v rozvinutím tvaru. K získání správného výsledku je nutné spočítat polohu neutrální vrstvy  $\rho$ , která je důležitá pro určení celkové délky rozvinuté součásti. V úvaze proběhlo zjištění délky dvěma způsoby. V prvním případě byl použit program Inventor (obr. 33), který je schopný rozložit ohyby do rovinného plechu. V tomto případě vyšla potřebná délka plechu 83,91 mm. V druhém řešení byl použit konvenční způsob výpočtu, hledaná délka vyšla 83,87 mm. Rozdíl výpočtů je cca 0,04 milimetru, kdy odchylka může být způsobena zaokrouhlováním nebo ne úplně přesným zadáním hodnot do kalkulačky.





Obr. 33 Délka rozvinuté součásti dle programu Inventor.

- Délka rozvinuté části o poloměru R12 dle (4.3):

$$l_1 = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \alpha}{180} = \frac{\pi \cdot 12,5 \cdot 111,015}{180} = 24,2197 \text{ mm}$$

$$\rho_1 = R_o + x \cdot t = 12 + 0,5 \cdot 1 = 12,5 \text{ mm}$$

- Délka rozvinuté části o poloměru R1 dle (4.3):

$$l_2 = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \alpha}{180} = \frac{\pi \cdot 1,41 \cdot 55,51}{180} = 1,3661 \text{ mm}$$

$$\rho_2 = R_o + x \cdot t = 1 + 0,41 \cdot 1 = 1,41 \text{ mm}$$

- Celková délka rozvinu:

$$l_c = l_1 + 2 \cdot l_2 + l_3 + l_4 = 24,2197 + 2 \cdot 1,3661 + 11,4612 + 45,4612 = 83,8743 \text{ mm} \cong 83,87 \text{ mm}$$

Tab. 7 Hodnoty součinitele x [-]. [19]

R/t	0,5	0,7	0,8	1	1,5	2	3	4	Nad 5
x	0,37	0,39	0,4	0,41	0,44	0,45	0,46	0,47	0,5

Další zkoušce podléhá také velikost odpružení, které se provádí dle vztahu (4.8). Jelikož je ohýbán hliník, jakožto velmi plastický materiál s nízkou mezí kluzu a vysokou mezí pevnosti, mělo by docházet k velmi malému odpružení.

- Výpočet odpružení pro R12:

$$\gamma_{v1} = \text{arctg} \cdot \left( 0,375 \cdot \frac{l_v}{k_2 \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \right) = \text{arctg} \cdot \left( 0,375 \cdot \frac{24}{0,5 \cdot 1} \cdot \frac{20}{70 \cdot 10^3} \right) = 0^\circ 17' 40''$$

- Výpočet odpružení pro R1:

$$\gamma_{v2} = \text{arctg} \cdot \left( 0,375 \cdot \frac{l_v}{k_2 \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \right) = \text{arctg} \cdot \left( 0,375 \cdot \frac{1,4}{0,58 \cdot 1} \cdot \frac{20}{70 \cdot 10^3} \right) = 0^\circ 0' 53''$$

 Tab. 8 Hodnoty součinitele k<sub>2</sub> [-]. [3]

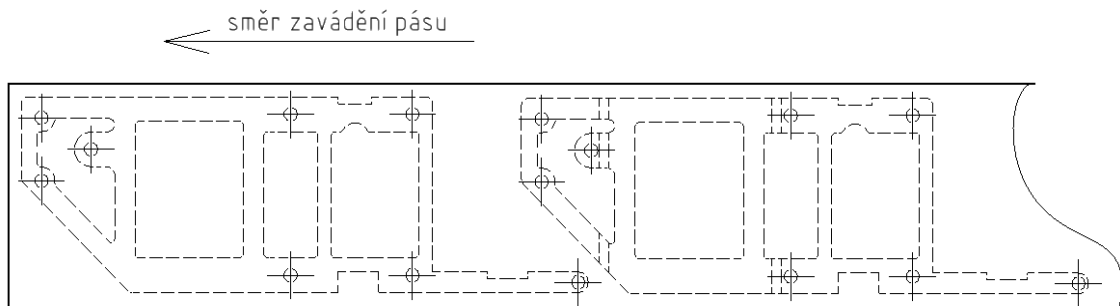
R/t	0,5	1	2	3	4	6	8	10	Nad 15
k <sub>2</sub>	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,52	0,51	0,51	0,5

Výsledné maximální odpružení  $\gamma_v$  od všech prolisovaných poloměrů vychází  $0^\circ 19' 26''$ . To potvrzuje fakt, že je hliník dobře tvárný a zachovává si konstantní tvar i po tom, co na něj přestanou působit tvářecí síly.

### 6.3 Plán výroby

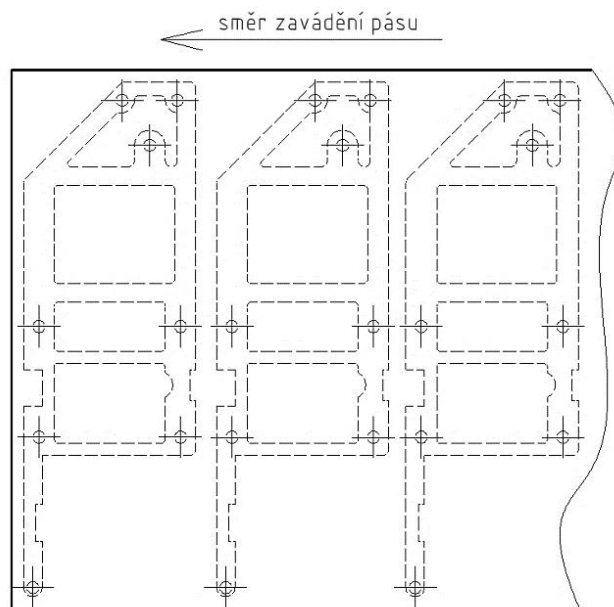
Při návrhu plánu záleží především na vhodném uspořádání výrobků na pásu plechu. Správné uspořádání ovlivní hlavně využití materiálu a sníží množství odpadu. Pro řešení byly uvažovány tři způsoby umístění součástí na pás plechu:

- V prvním případě se jedná o zařazení dílů podélně za sebe, což umožňuje jejich specifický tvar (obr. 34). Díky tomu by se podařilo dosáhnout poměrně nízkého množství odpadu. Tento způsob však nelze použít kvůli prolisu, který leží kolmo na posuv plechu, to by značně zkomplikoval vedení plechu a také konstrukci nástroje.



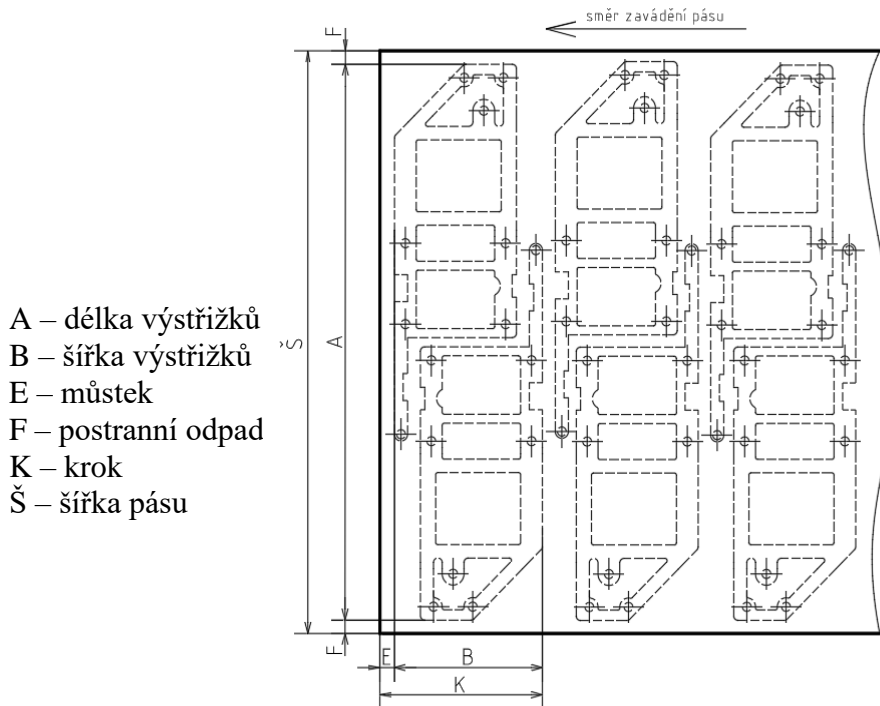
obr. 34 Uspořádání č.1

- V druhém případě se uvažovalo o rozmístění součástí vertikálně za sebe, to by umožňovalo jednodušší konstrukci nástroje i vedení v plechu v důsledku rovnoběžnosti prolisu se zaváděním plechu. Negativně by ale bylo ovlivněno využití materiálu, proto nebude za vhodnou variantu považována ani tato (obr. 35).



obr. 35 Uspořádání č.2

- Jako poslední způsob je umístění dílců vertikálně za sebe do dvou řad (obr. 36). Toto uspořádání příznivě ovlivní využití materiálu a rychlost výroby. Nutností však bude zvolení lisu s vyššími pracovními silami z důvodu dvojřadého tváření. Jelikož je výstřižek z měkkého materiálu (hliníku) a o malé tloušťce jednoho milimetru, nebude zásadně ovlivněna cenová a výkonnostní dostupnost lisu.

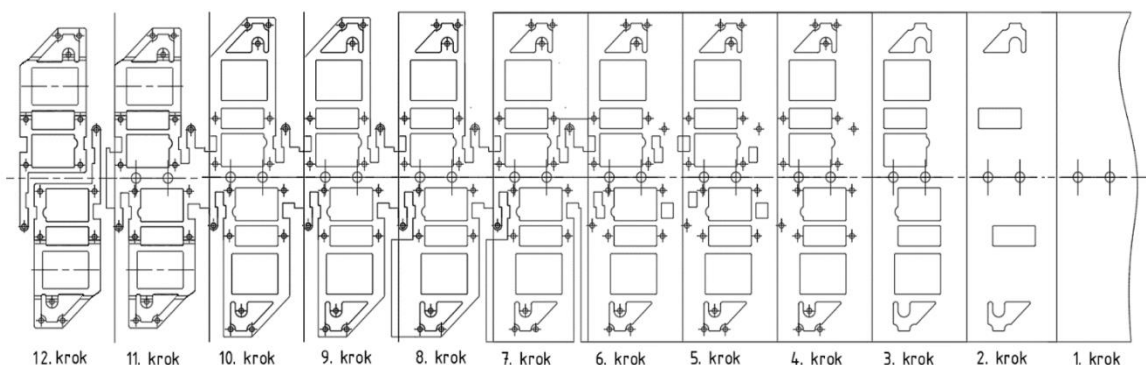


obr. 36 Uspořádání č.3

Pro nejvhodnější uspořádání dílců na pásu plechu byla zvolena třetí varianta. Ta umožňuje vyrobít celou sérii součástí v polovičním čase než u jiných rozmístění. Také využití materiálu je příznivěji ovlivněno v porovnání s jinými možnými řešeními. Konstrukce nástroje by byla stejná jako u druhé varianty, jen je rozšířena o další řadu tvářecích nástrojů.

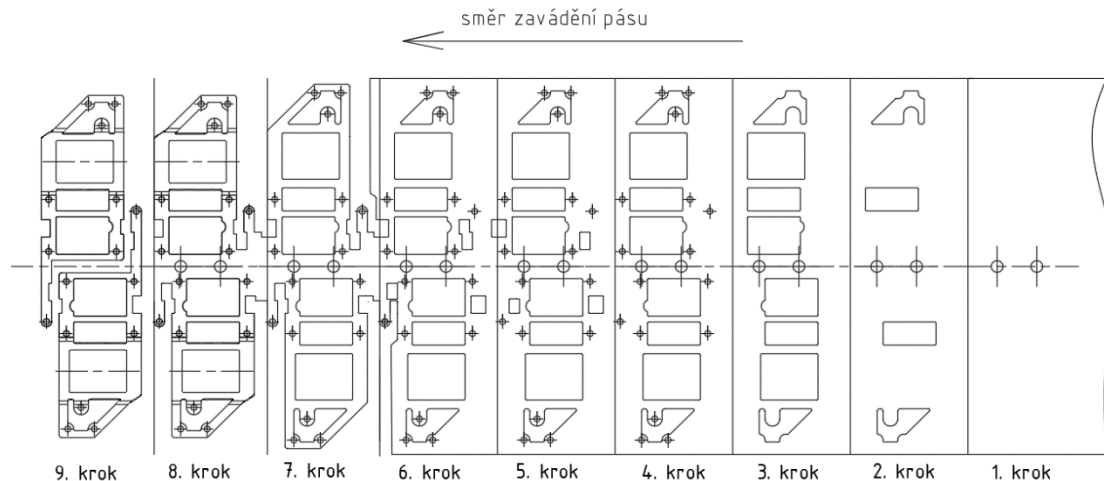
Po zvolení vhodného uspořádání dílů se stanovuje postup stříhání do několika kroků. V prvních krocích se vystřihují díry v součásti a díry pro hledáčky. Následně se ostříhne vnější kontura výstřížku. Poté dojde k vytvoření prolisu a v posledním kroku k odstřížení hotové součásti. Pro řešení dílu se stanovily dva možné výrobní postupy.

- První výrobní postup (obr. 37) se skládá ze dvanácti kroků a umožňuje jednoduchou konstrukci střížníků a střížnice. Nevýhodou této varianty je, že se obrys součásti stříhá po částech, to může mít v důsledek špatnou návaznost ploch a zhoršení kvality výstřížku.



obr. 37 Výrobní postup č.1.

- Druhý uvažovaný výrobní postup se skládá z devíti kroků (obr. 38). Vyžaduje složitější konstrukci střížníků a střížnic, nicméně dojde k obstřížení velké části obrysu součásti v jednom kroku, čímž se docílí kvalitnější plocha stříhu oproti první variantě. Také dojde ke zkrácení sdrúženého nástroje, snížení jeho hmotnosti, snadnější manipulovatelnosti, přepravě a uskladnění. Z tohoto důvodu bude pro výrobu uvažována právě tato varianta výrobního postupu.



obr. 38 Výrobní postup č.2.

S návrhem výrobního plánu také souvisí stanovení velikosti můstku **E** a postranního odpadu **F** (obr. 36). Tyto parametry se stanovují dle tabulky v příloze č.2. Z velikosti můstku a šířky součásti se následně určí délka kroku a šířka pásu. Pro řešený díl je  $E = 3 \text{ mm}$ ;  $F = 3,7 \text{ mm}$ ;  $K = 37,5 \text{ mm}$  ( $K = E + B$ );  $\check{S} = 133,4 \text{ mm}$  ( $\check{S} = A + 2 \cdot F$ ).

## 6.4 Využití materiálu a délka svitku

Pro výrobu 200 000 kusů součástí bude potřeba 100 000 kroků. V jednom kroku o šířce 37,5 mm se zhotovují dva výrobky. Z tohoto faktu budou vycházet následující výpočty. Firma Keramet Praha nabízí svitky o šířce 1000 mm, 1200 mm a 1250 mm. Vybrán byl svitek s šířkou 1250 mm ze kterého lze získat největší počet dílčích svitků s šířkou 133,4 mm. Dále společnost umožňuje navinout plech od průměru  $d_{sv}$  600 mm po  $D_{sv}$  1800 mm. Z tohoto důvodu se spočítá využití materiálu pro různé průměry svitků (obr. 40).

- Délka svitku:

$$L_{sv} = \frac{\pi}{4 \cdot t} \cdot (D - d)^2 = \frac{\pi}{4 \cdot 1} \cdot (1000 - 600)^2 = 125\,663,7 \text{ mm} \quad (6.1)$$

- Počet výrobků ze svitku:

$$n_s = \frac{L_{sv}}{K} \cdot 2 = \frac{125\,663,7}{37,5} \cdot 2 = 6\,702 \text{ ks} \quad (6.2)$$

- Plocha dílčího svitku:

$$S_{sv} = L_{sv} \cdot \check{S} = 125\,663,7 \cdot 133,4 = 16\,763\,537,6 \text{ mm}^2 \quad (6.3)$$

- Procentuální využití svitku:

$$\mu_{sv} = \frac{n_s \cdot S_v}{S_{sv}} \cdot 100 = \frac{6\,702 \cdot 1\,624,6}{16\,763\,537,6} \cdot 100 = 64,95 \% \quad (6.4)$$

- Počet potřebných svitků:

$$n_{sv} = \frac{N}{n_s} = \frac{200\,000}{6\,702} = 29,84 \Rightarrow 30 \text{ ks} \quad (6.5)$$

- Celkové procentuální využití svitků:

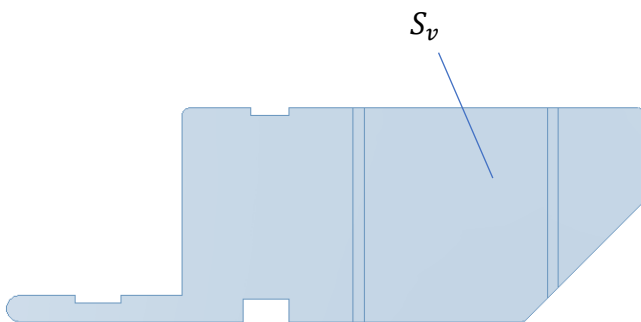
$$\mu_{sv} = \frac{N \cdot S_v}{n_{sv} \cdot S_{sv}} \cdot 100 = \frac{200\,000 \cdot 1\,624,6}{30 \cdot 16\,763\,537,6} \cdot 100 = 64,61 \% \quad (6.6)$$

Tab. 9 Porovnání délek, počtů a využití svitků dle vnějšího průměru.

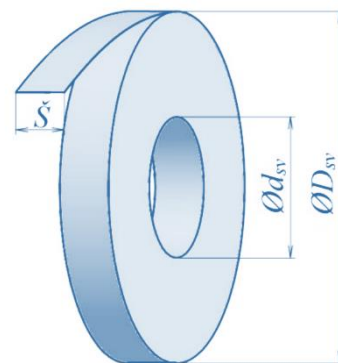
$D_{sv}$	$L_{sv}$ [m]	$n_s$ [ks]	$S_{sv}$ [m <sup>2</sup> ]	$\mu_{sv}$ [%]	$n_{sv}$ [ks]	$\mu_{sv}$ [%]
1000	125,6	6 702	16,76	64,95	30	64,61
1250	331,8	17 696	44,26	64,94	12	61,18
1700	950,3	50 682	126,77	64,91	4	60,08
1800	1 130,9	60 314	150,86	64,95	4	53,84

- Plocha výstřížku (obr. 39):

$$S_v = 1\,624,6 \text{ mm}^2 \quad (\text{určena z modelu součásti v programu Inventor})$$



Obr. 39 Plocha součásti.



Obr. 40 Schéma svitku.

- Celková váha zvolených svitků (polotovarů):

$$V_p = S_{sv} \cdot t \cdot n_{sv} = 16\,763\,537,6 \cdot 1 \cdot 30 = 502\,906\,128 \text{ mm}^3 \quad (6.7)$$

$$m_p = V_p \cdot \rho_h = 0,502\,91 \cdot 2700 = 1\,357,9 \text{ kg} \quad (6.8)$$

kde:  $V_p$  - objem svitků [m<sup>3</sup>],  
 $\rho_h$  - hustota hliníku [kg·m<sup>-3</sup>].

- Cena za polotovar, kdy dle Keramet Praha je cena za m<sup>2</sup> zvoleného hliníkového plechu při odběru 75 m<sup>2</sup> a více 640 Kč k roku 2022:

$$C_p = S_{sv} \cdot n_{sv} \cdot 640 = 16,763 \cdot 30 \cdot 640 = 321\,849,6 \text{ Kč} \quad (6.9)$$

Technologické využití materiálu vychází 64,61 % při volbě svitku s vnějším průměrem 1000 mm, zároveň se jedná o nejlepší využití materiálu ze všech zkoumaných průměrů svitků. Celkem bude potřeba 30 těchto svitků pro naplnění celé výrobní série. Při znalosti celkové plochy polotovarů bylo možné stanovit i náklady na polotovar, jenž představují 321 849,6 Kč.

## 6.5 Výpočet sil a prací

Pro správnou volbu lisu a jeho parametrů je také nutné spočítat tvárečí síly a práce. Ty se dále odvíjejí v konstrukci nástroje při stanovování tloušťky střížnice, výběru pružiny přidržovače atd. Každá dílčí síla byla z důvodu bezpečnosti zvětšena o koeficient  $k_1$ , který je závislý na velikosti otupení střížníků a střížnic. Jednotlivé střížné síly jsou zobrazeny na obr. 41 a počítány dle vztahu (3.3). Stanovení ohýbacích sil vycházelo ze vzorce (4.4).

- Výpočet střížného odporu:

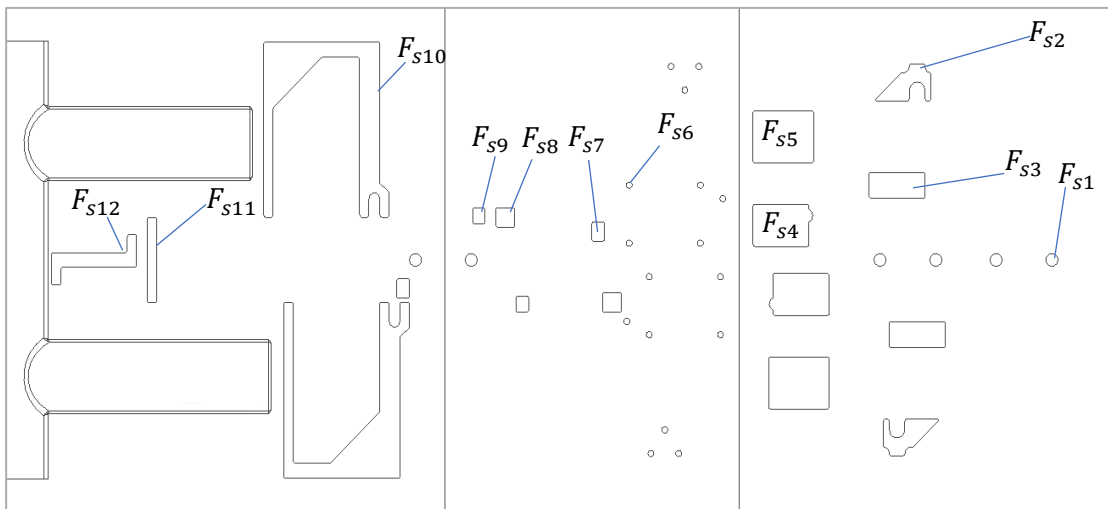
$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 90 = 72 \text{ MPa}$$

- Příklad výpočtu střížné síly:

$$F_{s1} = k_1 \cdot o \cdot t \cdot \tau_s = 1,2 \cdot 12,56 \cdot 1 \cdot 72 = 1\,085,2 \text{ N}$$

Tab. 10 Dílčí střížné síly.

Střížná síla	Hodnota [N]	Střížná síla	Hodnota [N]
$F_{s1}$	1 085,2	$F_{s7}$	1 856,3
$F_{s2}$	6 058,4	$F_{s8}$	1 597,1
$F_{s3}$	4 691,1	$F_{s9}$	1 104,2
$F_{s4}$	4 320	$F_{s10}$	14 100,5
$F_{s5}$	5 184	$F_{s11}$	5 203,2
$F_{s6}$	542,9	$F_{s12}$	5 703,2



Obr. 41 Znázornění jednotlivých střížných sil.

- Celková střížná síla:

$$\begin{aligned} F_S &= (F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_7 + F_8 + F_9 + F_{10}) \cdot 2 + F_{11} + F_{12} + 16 \cdot F_6 = \\ &= (1\,085,2 + 6\,057,4 + 4\,691,1 + 4\,320 + 5\,184 + 1\,856,3 + 1\,597,1 + \\ &\quad + 1\,104,2 + 14\,100,5) \cdot 2 + 5\,203,2 + 5\,703,2 + 16 \cdot 542,9 = 99\,555,2 \text{ N} \end{aligned}$$

- Ohybová síla pro R12:

$$F_{V1} = \frac{b \cdot t^2 \cdot c \cdot R_m}{l_v} = \frac{28 \cdot 1^2 \cdot 1,15 \cdot 90}{24} = 120,8 \text{ N}$$

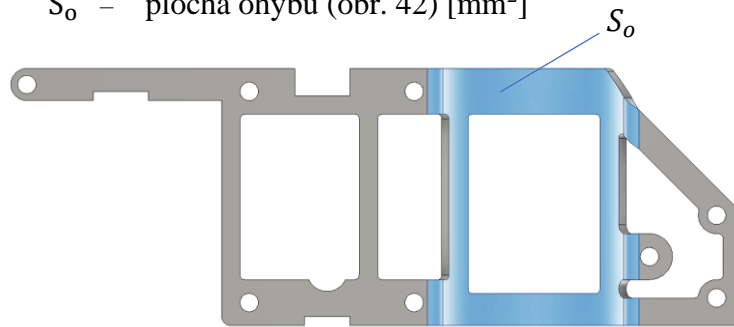
- Ohybová síla pro R1:

$$F_{V2} = \frac{b \cdot t^2 \cdot c \cdot R_m}{l_v} = \frac{28 \cdot 1^2 \cdot 1,45 \cdot 90}{1,4} = 2070 \text{ N}$$

- Síla pro kalibraci ohybu:

$$F_k = p \cdot S_o = 40 \cdot 359 = 14\,360 \text{ [N]} \quad (6.10)$$

kde:  $p$  – měrný tlak dle tab. 11 [MPa]  
 $S_o$  – plocha ohybu (obr. 42) [mm<sup>2</sup>]



Obr. 42 Plocha ohybu dle programu Inventor.

Tab. 11 Měrný tlak pro kalibraci ohybu. [27]

Materiál	t < 3 mm	t = 3 až 10 mm
	p (MPa)	
Hliník	30 ÷ 40	50 ÷ 60
Mosaz	60 ÷ 80	80 ÷ 100
Ocel, R <sub>m</sub> < 440 MPa	80 ÷ 100	100 ÷ 120
Ocel, R <sub>m</sub> > 440 MPa	100 ÷ 120	120 ÷ 150

- Celková ohybová síla:

$$F_V = F_{V1} + (F_{V2} \cdot 2) = 120,8 + (2070 \cdot 2) = 4\,260,8 \text{ N}$$

- Síla přidržovače:

$$F_P = F_V \cdot 0,25 = 4260,8 \cdot 0,25 = 1\,065,2 \text{ N} \quad (6.11)$$

- Celková tvářecí síla:

$$F_C = F_S + F_V + F_P + F_k = 99\,555,2 + 4\,260,8 + 1\,065,2 + 14\,360 = 119\,241 \text{ N}$$

- Výpočet práce při stříhání dle (3.5):

$$A_S = F_S \cdot K_A \cdot h = 99\,555,2 \cdot 0,75 \cdot 1 = 74\,666 \text{ J}$$

- Výpočet práce při ohýbání dle (4.6):

$$A_V = F_{CV} \cdot h \cdot \frac{1}{3} = 19\,686 \cdot 6,5 \cdot \frac{1}{3} = 42\,653 \text{ J}$$

Výpočet střížné a ohýbací síly byl proveden pro jednu řadu součástí a následně vynásoben dvěma pro obě řady dílců. Z toho síla pro ohyb poloměru R1 je pouze orientační z důvodu nepřesného zjištění  $l_v$  ohybnice. Finální potřebná tvářecí síla  $F_c$  je 119 241 N. Konečná práce  $A_c$  při tváření vychází 117 319 J ( $A_s + A_v$ ). Při znalosti nutné síly přidržovače se vybrala vhodná pružina, jejíž detaily jsou specifikovány v příloze č.5. Volba lisu na základě potřebné tvářecí síly je popsána v kapitole č.8.

## 6.6 Návrh střížníků a střížnic

Pro stanovení rozměrů střížných nástrojů je také nutné stanovit střížnou vůli. Výpočet střížné vůle vychází ze vztahu (3.1), který je určen pro plechy do tloušťky 3 mm. Součinitel  $c_1$  byl zvolen 0,02 jako kompromis pro dosažení kvalitní střížné plochy a optimální střížné síly.

- Výpočet střížné mezery:

$$z = \frac{v}{2} = c_1 \cdot t \cdot \sqrt{\frac{\tau_s}{10}} = 0,02 \cdot 1 \cdot \sqrt{\frac{72}{10}} = 0,0537 \text{ mm}$$

- Výpočet střížné vůle:

$$v = z \cdot 2 = 0,0537 \cdot 2 = 0,1074 \cong 0,11 \text{ mm}$$

Při návrhu rozměrů střížníků je nutná také jejich kontrola, která se provádí na otláčení  $\sigma$ . Kontrola se realizuje na nejmenším střížníku. Jedná se o střížník zhotovující díru pro šroub o průměru 2 mm s opěrnou hlavou o průměru 6 mm, která bude pod kalenou ocelovou opěrnou deskou o pevnosti 1000 a více MPa. Následně je provedena také kontrola tohoto střížníku i na vzpěr  $l_{krit}$ .

- Kontrola na otláčení:

$$\sigma = \frac{F_{s6}}{S} \leq \sigma_{dov} (1000 \text{ MPa}) \quad (6.12)$$

$$\sigma = \frac{542,9}{\frac{\pi \cdot 6^2}{4}} = 19,2 \text{ MPa} \Rightarrow \text{vyhovuje}$$

kde:  $S$  - plocha opěrné hlavy střížníku [ $\text{mm}^2$ ].

- Kontrola na vzpěr:

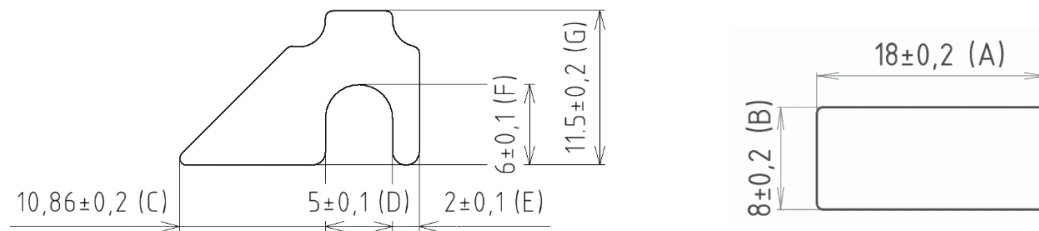
$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E_T \cdot I}{n \cdot F_{s6}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 210\,000 \cdot \frac{\pi \cdot 2^4}{64}}{2 \cdot 542,9}} = 77,4 \text{ mm} \quad (6.13)$$

kde:  $E_T$  - modul pružnosti [MPa],  
 $I$  - kvadratický moment pro kruhový průřez [ $\text{mm}^4$ ],  
 $n$  - koeficient bezpečnosti [-].

Ze získaných výsledků lze pozorovat, že k otláčení střížníku do opěrné desky nedojde. Střížník o části s průměrem 2 mm nesmí překročit délku 77,4 mm, jinak dochází k riziku jeho zlomení. Pro zvýšení bezpečnosti se jeví použít kratší délku střížné části nástroje s následným osazením na větší průměr nebo použít pouzdro, které zabráni vzpěru. Obdobným způsobem se kontrolují všechny střížníky nástroje. Jelikož však mají ostatní střížníky daleko větší rozměry, ke vzpěru u nich nedojde. Při předpokladu stříhání měkkého hliníku se také vylučuje fakt, že by došlo k otláčení jakéhokoliv z nich. [28]

S návrhem rozměrů střížníků a střížnic vycházíme z poznatků, že při vystřihování je základním rozměrem rozměr střížnice. Rozměr střížníku je pak zmenšen o střížnou vůli. Při děrování je základním rozměrem rozměr střížníku. Rozměr střížnice je pak navýšen o vůli. Jako příklad stanovení rozměrů budou použity stříhané otvory na obr. 43. K určení míry opotřebení a tolerancí nástrojů se vycházelo z normy ČSN 22 6015. [28]





Obr. 43 Otvory v dílu s rozměry třídy přesnosti m.

Tab. 12 Opotřebení a výrobní tolerance střížníků a střížnic dle ČSN 22 6015. [28]

Označení rozměru	Rozměr s tolerancí [mm]	Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance střížnice $\delta_e$	Výrobní tolerance střížníku $\delta_k$
A	$18 \pm 0,2$	0,16	0,054	0,035
B	$8 \pm 0,2$	0,16	0,054	0,035
C	$10,86 \pm 0,2$	0,16	0,054	0,035
D	$5 \pm 0,1$	0,09	0,032	0,023
E	$2 \pm 0,1$	0,09	0,032	0,023
F	$6 \pm 0,1$	0,09	0,032	0,023
G	$11,5 \pm 0,2$	0,16	0,054	0,035

Vlivem opotřebení dochází postupem času ke změně rozměrů funkčních částí nástroje. Podle toho, zda se rozměry výstřížků vlivem opotřebení nástrojů postupně zmenšují nebo zvětšují, uvažujeme pro stanovení rozměrů střížníků a střížnic předepsané vzorce. Jelikož výpočty vycházejí v tisícinách milimetru, bude jejich hodnota na výkrese zaokrouhlena na setinu milimetru pro snadnější vyrobiteľnost a kontrolu. [28]

- Příklad stanovení výrobních rozměrů nástrojů pro rozměr otvoru A:

$$A_e = \left( A_j + \frac{P}{2} + v \right)^{+\delta_e} = \left( 18 + \frac{0,16}{2} + 0,11 \right)^{+0,054} = 18,19_{-0}^{+0,054} \text{ mm} \quad (6.14)$$

$$A_k = \left( A_j + \frac{P}{2} \right)_{-\delta_k} = \left( 18 + \frac{0,16}{2} \right)_{-0,035} = 18,08_{-0,035}^{+0} \text{ mm} \quad (6.15)$$

Tab. 13 Výrobní rozměry střížníků a střížnic.

Označení rozměru	Rozměr střížnice	Rozměr střížníku
B	$8,19_{-0}^{+0,054}$	$8,08_{-0,035}^{+0}$
C	$11,05_{-0}^{+0,054}$	$10,94_{-0,035}^{+0}$
D	$4,88_{-0,032}^{+0}$	$4,96_{-0}^{+0,023}$
E	$2,16_{-0}^{+0,032}$	$2,05_{-0,023}^{+0}$
F	$6 \pm 0,032$	$6 \pm 0,023$
G	$11,69_{-0}^{+0,054}$	$11,58_{-0,035}^{+0}$

S konstrukcí nástroje také souvisí stanovení tloušťky střížnice  $H_s$ . Ta vychází ze základní metody dle Oehlera (6.17), která ovšem nezahrnuje tvar střížnice a provedení propadů v základové desce, proto bude brána pouze jako orientační. [22]

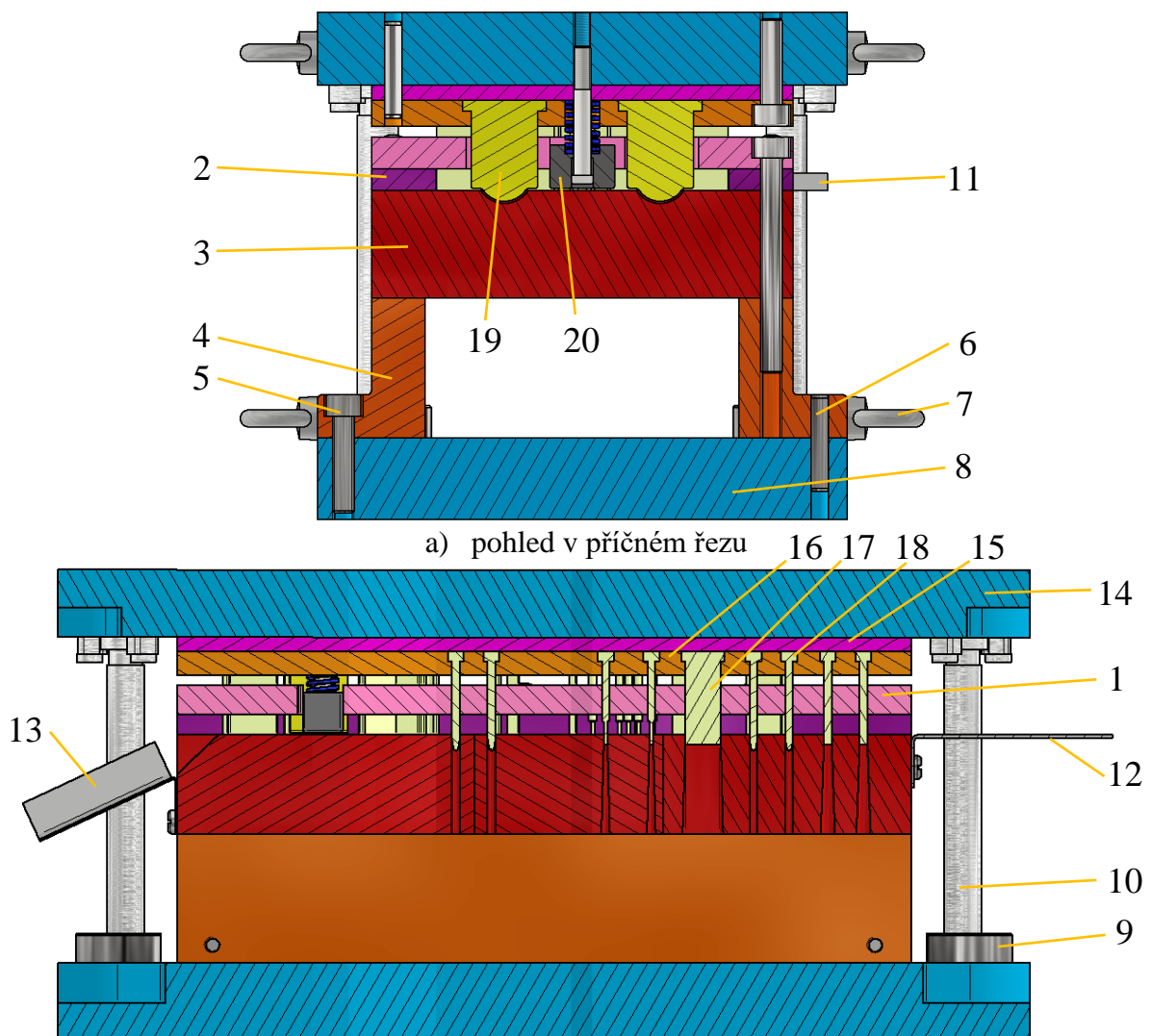
- Tloušťka střížnice:

$$H_s = \sqrt[3]{F_c} = \sqrt[3]{119\,241} = 49,2 \text{ mm} \quad (6.16)$$

## 7 KONSTRUKCE NÁSTROJE

Návrh konstrukce nástroje (obr. 44) proběhl na základě výrobního plánu. Nástroj lze rozdělit do základních dvou částí, a to do horní a spodní. Spodní část se skládá z vodící desky (1), vidících lišt (2), tří střížnic z nichž jedna plní funkci také jako ohybnice (3) a dvou podložek (4). Ty jsou k sobě spojeny pomocí šroubů (5) a ustaveny kolíky (6) do přesné polohy. Podložky slouží k vyvýšení střížnice a propadává mezi ně stříhaný odpad. Také jsou k nim připojeny čtyři oka (7) umožňující snadnější manipulaci a přepravu nástroje. Podložky jsou dále připojeny k základové desce (8), ta obsahuje pouzdra (9) pro vodící sloupky (10) a drážky sloužící k upnutí ke stolu lisu. Pro přesné zavedení pásu svitku posluhuje načínací doraz (11) a podpůrný přidržovač (12) zabraňující kroucení polotovaru při zavádění. Na výstupní straně nástroje je skluz (13) po kterém odchází hotové dílce do předpřipravené bedny.

Horní část je tvořena upínací deskou (14), která slouží k upnutí nástroje do beranu lisu, to umožňují čtyři drážky pro upínací přípravky. V rozích jsou do upínací desky zalisovány a šrouby zajištěny vodící sloupky. Pod upínací deskou je dále opěrná deska (15) s kotevní deskou (16). Ty jsou k sobě opět spojeny pomocí šroubů a ustaveny kolíky. Kotevní deska slouží pro uložení střížníků (17), hledáček (18) a ohybníků (19). Mezi ohybníky se dále nachází odpružený přidržovač (20) zajišťující nehybnost plechu při ohybu součásti. Celý nástroj je také vyobrazen jako vizualizace v příloze č. 1.



b) pohled v podélném řezu  
Obr. 44 Sdružený nástroj.

## 8 VOLBA STROJE

Byl zvolen excentrický lis CC63 (obr. 45) o jmenovité síle 630 kN, který je schopný vyvinout mnohem větší pracovní sílu, než je potřeba, ale zároveň se jedná o nejméně výkonný excentrický lis firmy ForMetal. Jedním z hlavních příčin výběru byl mimo jmenovité síly také rozměr stolu, který je kvůli rozměrnému nástroji vyžadován větší. Také bylo nutné, aby stůl a beran lisu umožňoval upínání nástroje do drážek stolu. Z důvodu velké šířky nástroje nebylo vhodné pro upínání použít stopku. Dalším zásadním parametrem pro volbu byl nutný vysoký počet zdvihů beranu za minutu pro získání nízkých výrobních časů. Mimo lisu budou výrobu doplňovat také odvíjecí zařízení, podavače a rovnačky. [26]

Do výbavy lisu patří např. automatické nebo poloautomatické nastavení zdvihu vedoucí k vysoké úspoře času při nastavování stroje, hydraulický systém proti přetížení, mimořádně kvalitní odhlučnění, modulární a programovatelný bezpečnostní systém, detekce dílů a kontrola pozice nástroje. [26]



Obr. 45 Excentrický lis CC63 [26].

Tab. 14 Technické parametry lisu. [26]

PARAMETR	Jednotka	CC63
Jmenovitá síla	kN	630
Nominální rychlost	zdvihů/min	71
Variabilní rychlost	zdvihů/min	50 ÷ 100
Nastavení zdvihu	mm	16 ÷ 100
Rozměry stolu	mm	900 x 610
Rozměry beranu	mm	560 x 490
Počet vedení	mm	6
Výkon motoru	kW	5,5
Rozměry lisu	m	1,4 x 1,55 x 2,85
Hmotnost lisu	kg	7500

## ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zaměřena na výrobu části těla RC vrtulníku sloužící ke spojení a vyztužení jednotlivých komponent vrtulníku. Pro řešenou součást byl vybrán vhodný a dostupný materiál hliník, konkrétně jeho slitina EN AW – 1050A.

Dále se řešila nejlepší a nejvýhodnější technologie výroby s ohledem na tvar součást a velikost výrobní série 200 000 kusů. Zvoleno bylo postupové stříhání ve sdruženém nástroji, které umožní vyrobít vysoký počet kusů ve velmi krátkém čase. Také požadované výrobní přesnosti jsou při výrobě touto technologií splněny. Pro správnou výrobu proběhlo ověření technologických zásad při stříhání a ohýbání. Všechny podmínky technologičnosti pro stříhání byly splněny. Podmínky pro ohyb ovšem nevyhovují všem technologickým zásadám. Vzdálenost otvoru v řešeném dílu nespĺňuje minimální vzdálenost od ramena ohybu, to při použití součásti ale nebude mít vliv na použití, a proto se tenhle nedostatek mohl zanedbat.

Pro efektivní výrobu a využití materiálu byl následně také navržen výrobní plán, který skládá dva výstřižky za sebe a umožňuje tak vyrobít velký počet součástí ještě v kratším čase. Podle plánu výroby byl také zvolen polotovar, hliníkový svitek s vnitřním průměrem 600 mm a vnějším 1000 mm.

Dalším důležitým krokem bylo provedení všech nezbytných výpočtů, jenž zahrnují stanovení délky rozvinuté součásti, odpružení, střížné a ohýbací síly, kontrolu nejmenších střížníků na vzpěr i otlacení a v neposlední řadě také určení výrobních rozměrů nástrojů. V návaznosti s výpočtovou částí byl navržen sdružený nástroj a vybrán lis, který vyhovuje potřebným tvářecím silám a umožňuje požadované upínání sdruženého nástroje do beranu lisu.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. GAJDOŠ, František et al. Teorie tváření. Vyd. 1. Brno: Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1988. 141 s.
  2. Stamping Parts. ECPlaza [online]. India: ECPlaza, 2020 [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: [https://www.ecplaza.net/products/brass-sheet-metal-stamping-parts\\_4602700](https://www.ecplaza.net/products/brass-sheet-metal-stamping-parts_4602700)
  3. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
  4. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
  5. LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3., dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999. ISBN 9788071831648.
  6. CZ FERRO – STEEL, spol. s r.o. [online]. Napajedla: CZ FERRO – STEEL, 2000 [cit. 2022-03-21]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-11373.pdf>.
  7. Feron, a.s. [online]. Ostrava: FERONA, 2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: <https://www.ferona.cz/>.
  8. ŘASA, Jaroslav a Zuzana KEREČANINOVÁ. Nekonenční metody obrábění – 5. díl. MM Průmyslové spektrum [online]. 12. 5. 2008, 5, [cit. 2011-02-06]. Dostupný z WWW: Nekonenční metody obrábění – 5. díl | MM Průmyslové spektrum (mmspektrum.com).
  9. Computer Controlled Cutting [online]. Nantes: Fab Academy [cit. 2022-03-28]. Dostupné z: <http://fabacademy.org/2021/labs/kochi/students/saheem-palayi/assignments/week3.html>.
  10. Laser cutting [online]. Karaj: Boreshlaser [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://boreshlaser.com/>
  11. Waterjet Cutting [online]. Buyuk Balikli: Mavijet, 2020 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <http://www.waterjetcuttingmachine.org/waterjet-cutting-machine-technology.html>
  12. Water Cutting [online]. Kaukauna: Performance Machine & Manufacturing [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://www.performancemach.com/water-jet-cutting>
  13. MORÁVEK, Rudolf. Nekonenční metody obrábění. 1.vyd. Plzeň: ZČU, 1994. 102 s. ISBN 80-7082-161-2.
  14. Plasma arc cutting [online]. Walton Hall: OpenLearn, 2018 [cit. 2022-03-29]. Dostupné z: <https://www.open.edu/openlearn/science-maths-technology/engineering-technology/manupedia/plasma-arc-cutting>
  15. Plasma cutting [online]. Wiesbaden: MachieMfg [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.machiemfg.com/plasma-cutting-vs-flame-cutting/>
  16. Progressive Stamping Processes [online]. Berlin: ResearchGate, 2015 [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-procedure-of-a-progressive-stamping-process\\_fig1\\_282388819](https://www.researchgate.net/figure/A-schematic-procedure-of-a-progressive-stamping-process_fig1_282388819)
  17. Conventional blanking [online]. Chicago: PRECISION SURFACING SOLUTIONS, 2022 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://www.precision-surface.com/what-is-fine-blanking.html>
  18. COLD STAMPING PARTS [online]. Taškent: Polimer Osnastka [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: <https://p-osnastka.uz/service/holodnaya-shtampovka-detalej/>
-

19. Technologie plošného tváření – stříhání [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/06.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm)
20. PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. Úvod do tváření II [online]. 2001 [cit. 2012–04-22]. Dostupné z: [http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod\\_TV2.pdf](http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf).
21. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s
22. BOBČÍK, Ladislav. Střížné nástroje pro maloseriovou výrobu. vyd. 1. Praha: SNTL, 1983, 213 s. eISBN 04-229-83
23. MACHÁČEK, Zdeněk a Karel NOVOTNÝ. Speciální technologie I: plošné a objemové tváření. Brno: Vysoké učení technické, 1986.
24. FERRUM. In: Ferrum: CNC Ohraňovací lis [online]. 2018 [cit. 2018-05-24]. Dostupné z: <https://www.ferrum-mb.cz/cnc-ohrnovaci-lis/>
25. Vlastnosti hliníkových slitin [online]. Ostrava: NPS PROAL S.R.O, 2022 [cit. 2022-04-09]. Dostupné z: <https://proal.cz/>
26. Excentrický lis CC63 [online]. HŠV stroje, 2022 [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/stroje/vystrednikove-lisy-model-cc/>
27. ČSN 22 7340. Ohýbadla: Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet. Praha: Federální úřad pro normalizaci, 1990.
28. ČSN 22 6015. Stříhadla a střížné vôle: Směrnice pro výpočet a konstrukci. Praha: Federální úřad pro normalizaci, 1977.

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	délka výstřižku	[mm]
A <sub>c</sub>	celková práce	[J]
A <sub>e</sub>	výrobní rozměr střižnice	[mm]
A <sub>k</sub>	výrobní rozměr střižníku	[mm]
A <sub>u</sub>	práce pro "U" ohyb	[J]
A <sub>v</sub>	práce pro "V" ohyb	[J]
B	šířka výstřižku	[mm]
b	šířka materiálu	[mm]
c <sub>1</sub>	součinitel pro volbu střižné mezery	[-]
c <sub>2</sub>	součinitel pro minimální ohyb	[-]
c <sub>3</sub>	součinitel výpočtu R <sub>min</sub>	[-]
C <sub>p</sub>	cena polotovaru	[Kč]
d <sub>sv</sub>	vnitřní průměr svitku	[mm]
D <sub>sv</sub>	vnější průměr svitku	[mm]
E	můstek	[mm]
E <sub>T</sub>	modul pružnosti v tahu	[MPa]
F	postranní odpad	[mm]
F <sub>c</sub>	celková tvářecí síla	[N]
F <sub>k</sub>	síla pro kalibraci ohybu	[N]
F <sub>p</sub>	síla přidržovače	[N]
F <sub>s</sub>	střižná síla	[N]
F <sub>sδ</sub>	střižná síla od zkoseného střižníku	[N]
F <sub>u</sub>	síla pro "U" ohyb	[N]
F <sub>v</sub>	síla pro "V" ohyb	[N]
h	pracovní zdvih nástroje	[mm]
H <sub>s</sub>	tloušťka střižnice	[mm]
I	kvadratický moment	[mm <sup>4</sup> ]
K	krok	[mm]
k <sub>1</sub>	součinitel otupení	[-]
k <sub>2</sub>	součinitel polohy neutrální plochy	[-]
K <sub>a</sub>	součinitel hloubky vtlačení	[mm]
l <sub>1</sub>	délka úseku	[mm]
l <sub>2</sub>	délka úseku	[mm]
l <sub>c</sub>	délka rozvinuté součásti	[mm]
l <sub>e</sub>	rameno ohybu	[mm]
l <sub>o</sub>	délka ohnutého úseku	[mm]
L <sub>sv</sub>	délka svitku	[mm]
l <sub>v</sub>	vzdálenost podpor při ohybu	[mm]
m <sub>p</sub>	celková váha pásu	[kg]
n <sub>s</sub>	počet výrobků ze svitku	[-]
n <sub>sv</sub>	počet potřebných svitků	[-]
o	obvod stříhu	[mm]
O <sub>cks</sub>	počet kroků z délky svitku	[-]
O <sub>ice</sub>	opotrebení střižnice	[%]
O <sub>st</sub>	opotrebení střižníku	[%]

Označení	Legenda	Jednotka
$p$	měrný tlak kalibrace	[MPa]
$P$	přípustná míra opotřebení	[-]
$R_e$	mez kluzu	[MPa]
$R_m$	mez pevnosti	[MPa]
$R_{max}$	maximální poloměr ohybu	[mm]
$R_{min}$	minimální poloměr ohybu	[mm]
$R_o$	poloměr ohybu	[mm]
$s$	délka stříhu	[mm]
$S_o$	plocha ohybu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{sv}$	plocha svitku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_v$	plocha výstřížku	[mm <sup>2</sup> ]
$\check{S}$	šířka svitku	[mm]
$t$	tloušťka materiálu	[mm]
$v$	střížná vůle	[mm]
$V_p$	objem pásu	[m <sup>3</sup> ]
$x$	velikost posunutí neutrální osy	[mm]
$Z$	střížná mezera	[mm]
$\alpha$	úhel ohybu	[°]
$\delta_e$	výrobní tolerance střížnice	[-]
$\delta_k$	výrobní tolerance střížníku	[-]
$\mu$	součinitel tření	[-]
$\mu_c$	celkové procentuální využití svitků	[%]
$\mu_{sv}$	využití svitku	[%]
$\rho$	poloměr neutrální vrstvy	[mm]
$+\sigma$	tahová složka napětí	[MPa]
$-\sigma$	tlaková složka napětí	[MPa]
$\tau$	smykové napětí	[MPa]
$\gamma_u$	odpružení "U" ohybu	[°]
$\gamma_v$	odpružení "V" ohybu	[°]
$\delta$	úhel stříhu	[°]
$\epsilon_{max}$	mezní prodloužení	[MPa]
$\rho_h$	hustota hliníku	[kg/m <sup>3</sup> ]

### Zkratky

Označení	Legenda
HB	Tvrдость dle Brinella

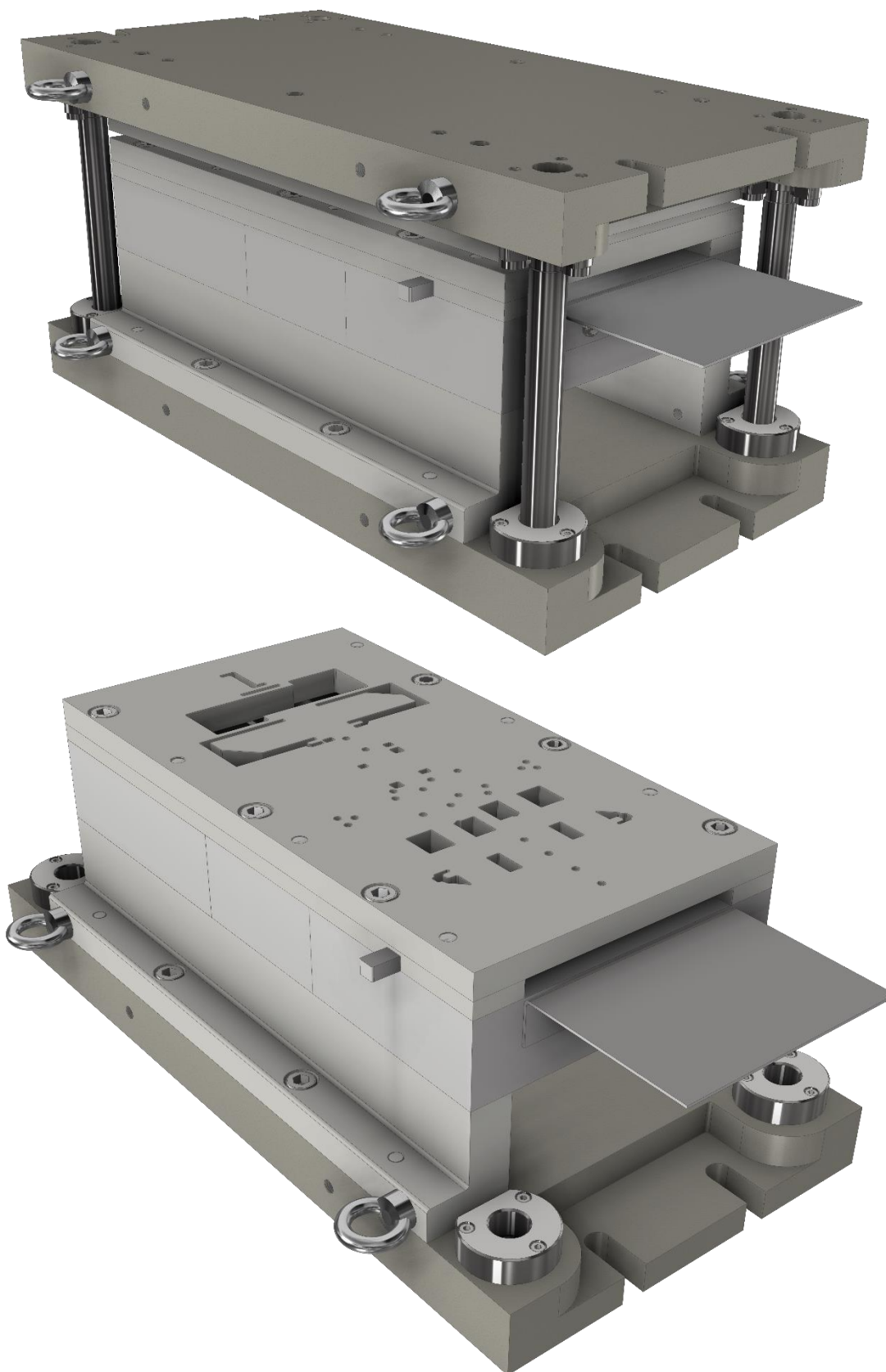


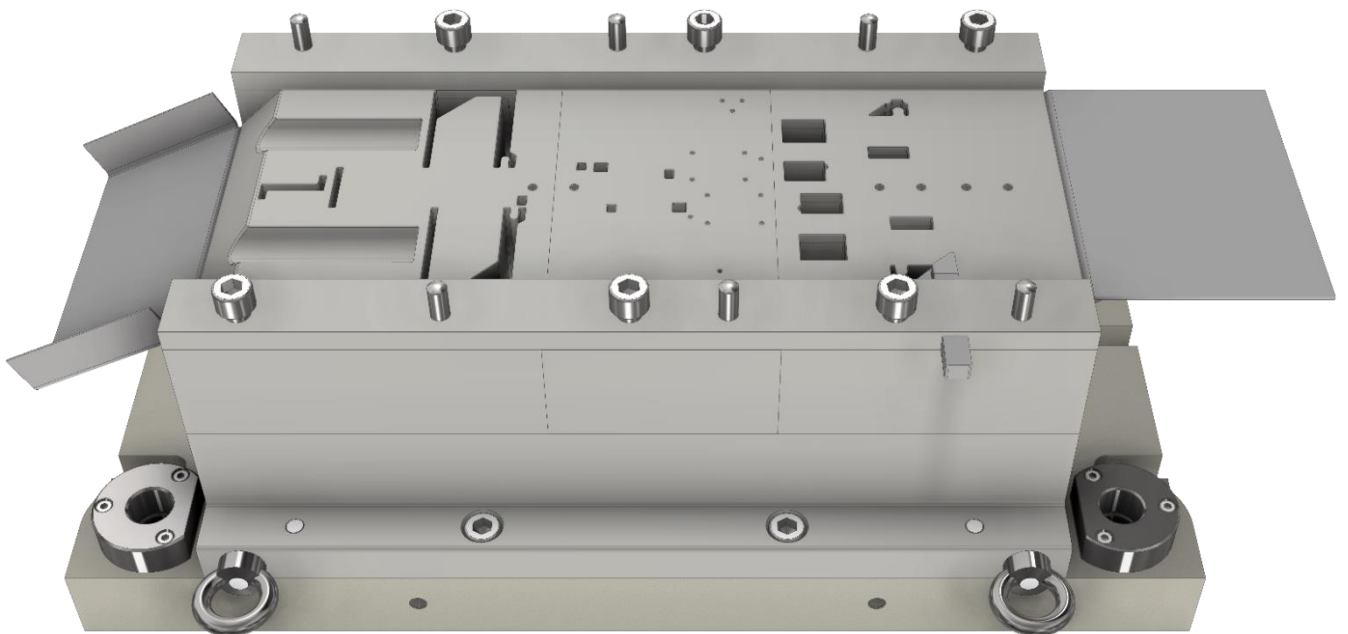
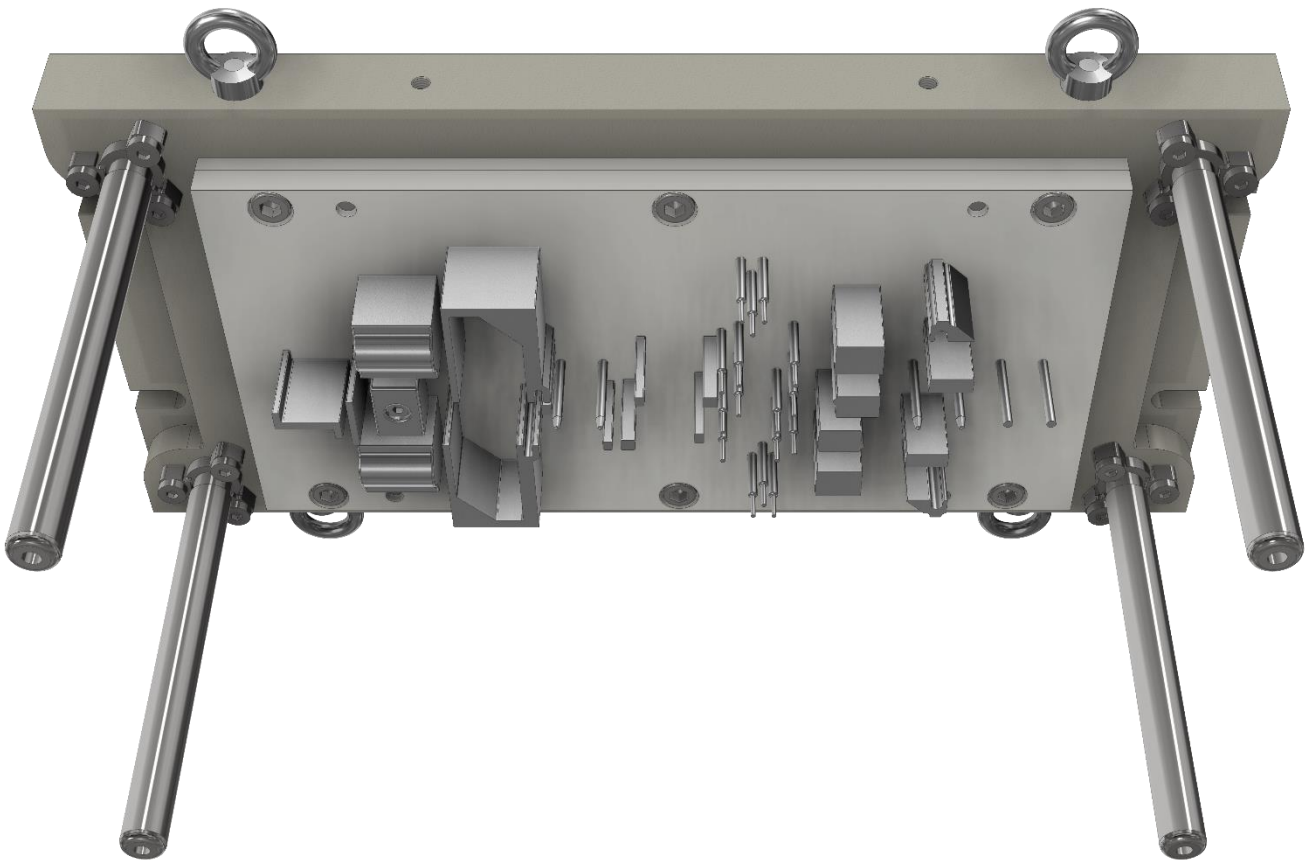
## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Vizualizace nástroje
- Příloha 2 Stanovení velikosti můstku a velikosti postranního odpadu
- Příloha 3 Stanovení součinitele  $c_2$  dle diagramu
- Příloha 4 Tabulka minimálních ramen a doporučené matrice
- Příloha 5 Zvolená pružina přidržovače

### Seznam výkresů

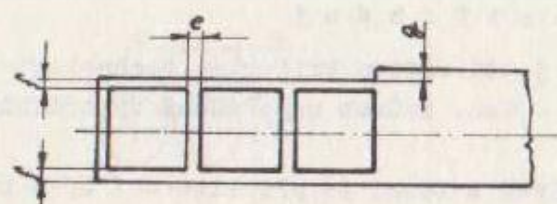
- Sdružený nástroj; 2022-BP-217329-01
- Střížník; 2022-BP-217329-02
- Střížnice; 2022-BP-217329-03
- Tělo RC vrtulníku; 2022-BP-217329-04
- Kusovník\_1; 2022-BP-217329-35
- Kusovník\_2; 2022-BP-217329-36



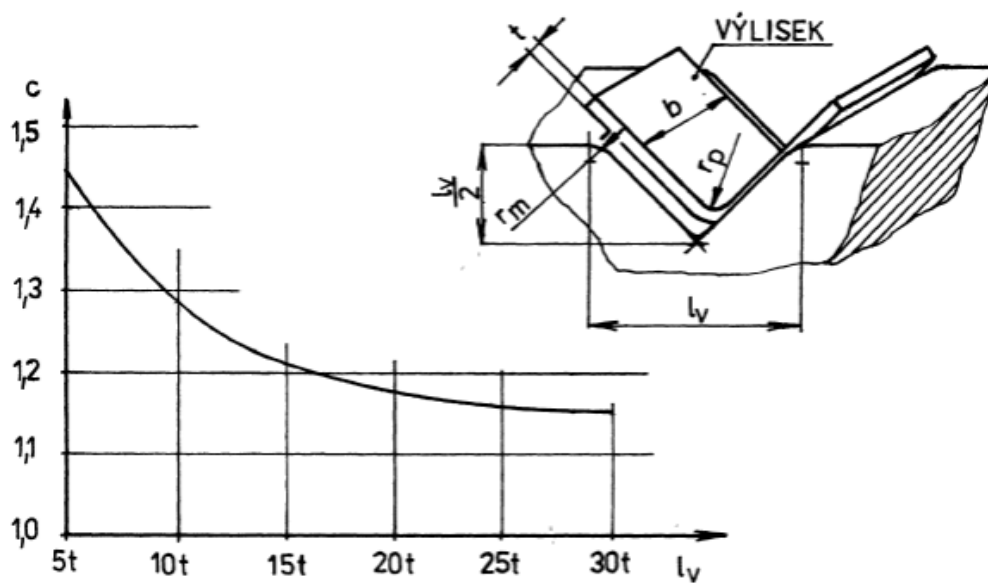


Stanovení velikosti můstku a velikosti postranního odpadu

Tab. 17

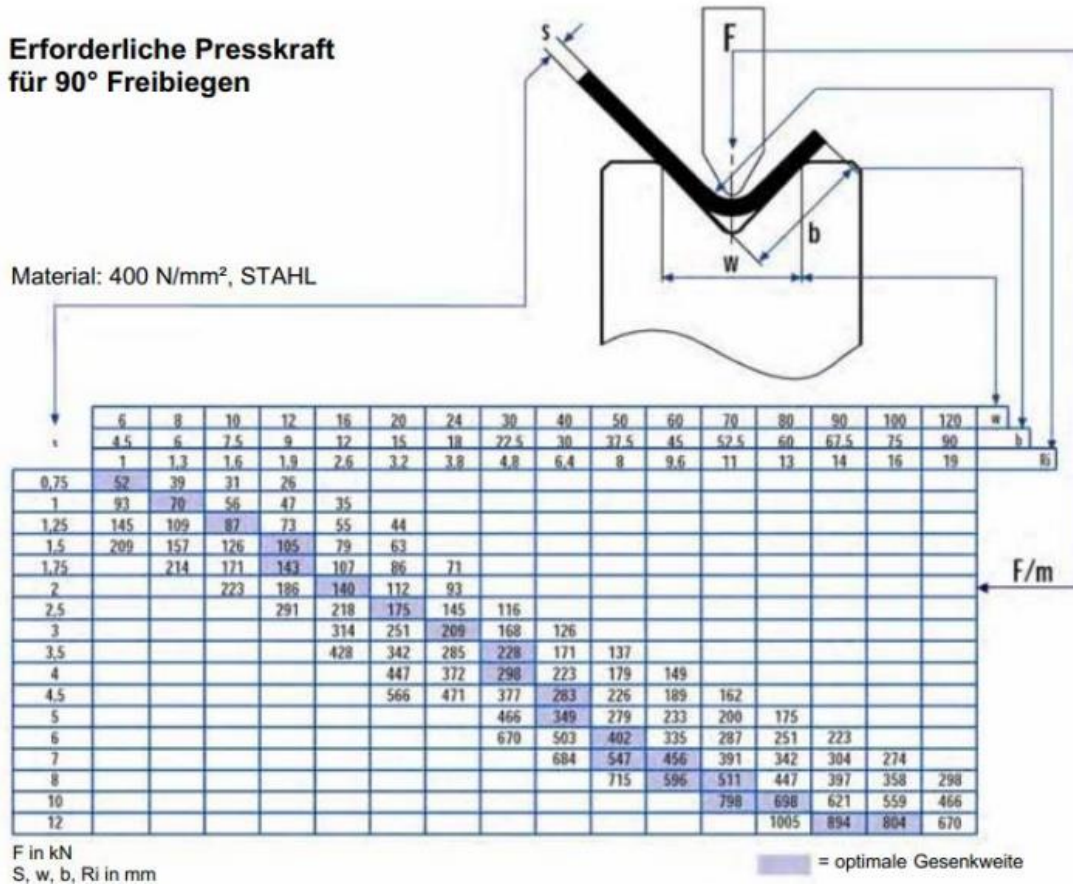


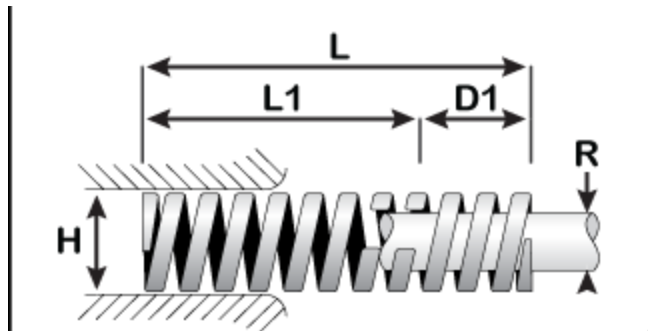
Tl. mat.	Šířka pásu											
	do 15		15 - 50		50-100		100 -200		200 -300		300 -400	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
0,1-0,9	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8	2,2	2,5	3,1				
1	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5	3	3,7	4	4,8	4,8	6
1,3	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	4,2	5,2	5,3	6,5
1,5	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	4,5	5,4	5,6	6,8
1,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	3,5	4,3	4,7	5,6	5,8	7
2	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4	5	5	6	6	7
2,2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,2	6,2	7,2
2,5	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,3	7,2
2,8	2,8	3,5	3	3,7	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,5	7,3
3	3	3,7	3,2	4	3,5	4,3	4,5	5,5	5,5	6,5	6,6	7,5
3,5			3,5	4,3	4	5	5	6	6	7	7	8,5
4			3,8	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6,7	8	8	9,3
4,5			4,0	4,8	4,5	5,7	5,5	6,8	7	8,3	8,3	9,8
5			4,5	5	5	6	6	7	7,3	8,5	8,7	10



Obr. 5

Tabulka minimálních ramen a doporučené matrice





Die Spring Type	ISO-D-306
Hole Fit, min (H) (mm)	20.000
Rod Fit, max (R) (mm)	10.000
Free Length (L) (mm)	31.999
Solid Height, Approx (mm)	23.800
Spring Rate (N/mm)	244.901
Load Length For Optimum Life, (L1) (mm)	26.57
Deflection For Optimum Life (D1) (mm)	5.44
Load at L1 (N)	1,332.24
Load Length For Long Life (L2) (mm)	25.60
Deflection For Long Life (D2) (mm)	6.40
Load at L2 (N)	1,567.6
Load Length For Max Operating Deflection (L3) (mm)	24.00
Maximum Operating Deflection (D3) (mm)	8.00
Load at L3 (N)	1,959.0