



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA DÍLCE KABELOVÉHO DNA ROZVÁDĚČE

MANUFACTURING OF A CABLE BOTTOM PART OF A SWITCHBOARD

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. František Radnický

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Řiháček, Ph.D.

BRNO 2022

## Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. František Radnický</b>
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	<b>Ing. Jan Řiháček, Ph.D.</b>
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 diplomové práce:

### Výroba dílce kabelového dna rozváděče

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o výrobu dílce pomocí technologie plošného tváření využívající sdružený nástroj. Na tuto oblast bude rovněž vypracována literární rešerše. Dále bude práce obsahovat návrh technologického postupu výroby součástí, technicko–ekonomické hodnocení a závěry se zhodnocením navrhované technologie.

#### Cíle diplomové práce:

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

#### 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.

MARCINIAK, Zdzislaw, 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 diplomové 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

RADNICKÝ František: Výroba dílce kabelového dna rozváděče.

---

Diplomová práce je zaměřena na návrh vhodné technologie pro výrobu dílce kabelového dna rozváděče vysokého napětí, který je vyráběn z hliníku EN AW-1050A. Jako polotovar je zvolen svitek plechu o tloušťce 2 mm. Výrobní série této součásti je stanovena na 300 000 kusů ročně. Pro výběr nejvhodnější technologie výroby řešené součásti bylo provedeno zhodnocení možných způsobů výroby, přičemž jako nejvýhodnější technologie je zvolena metoda sdruženého postupového nástroje, který kombinuje stříhání a ohýbání. Ke zmíněným technologiím je vypracována literární rešerše. Dále je zpracován návrh technologického i konstrukčního řešení, který zahrnuje i návrh sdruženého postupového nástroje. Jako tvářecí stroj je zvolen excentrický lis Mecânica Exacta DM 250, do kterého je nástroj upnut. V poslední fázi je provedeno technicko-ekonomické zhodnocení k ověření vhodnosti navrženého řešení.

**Klíčová slova:** plošné tváření, hliník EN AW-1050A, sdružený nástroj, stříhání, ohýbání

## ABSTRACT

RADNICKÝ František: Manufacturing of a cable bottom part of a switchboard.

---

This master's thesis is focused on design of suitable technology of cable bottom part of a switchboard, made from aluminum EN AW-1050A. As the semi-finished product is chosen the coil of sheet metal with a thickness of 2 mm. The production series of this component is 300 000 pieces per year. To select the most suitable technology for the production of solved component the evaluation of different available technologies was carried out, of which as the most appropriate method, the compound tool combining shearing and bending is selected. Literary search was created to the mentioned technologies. Furthermore, the technological and constructional solution is elaborated, which also includes the design of the combined process tool. As a forming machine was selected eccentric press Mecânica Exacta DM 250, where the compound tool is clamped. In the last phase, a technical and economic evaluation is performed to verify the suitability of the proposed solution.

**Keywords:** sheet metal forming, aluminum EN AW-1050A, compound tool, shearing, bending

---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

RADNICKÝ, František. *Výroba dílce kabelového dna rozváděče* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-02-04]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139371>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Řiháček.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Výroba dílce kabelového dna rozváděče vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 10.5.2022

.....  
místo, datum

.....  
Bc. František Radnický

---

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Janu Řiháčkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji své rodině, která mě podporovala po celou dobu studia.

---

**OBSAH**

ÚVOD .....	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Výrobní možnosti .....	11
2 LITERÁRNÍ STUDIE .....	15
2.1 Technologie stříhání .....	15
2.1.1 Rozbor stavu napjatosti .....	16
2.1.2 Střížná síla a práce .....	18
2.1.3 Střížná vůle .....	19
2.1.4 Přesnost a kvalita při stříhu .....	21
2.1.5 Technologičnost stříhaných součástí .....	21
2.1.6 Těžiště střížných sil .....	23
2.1.7 Střížný nástroj .....	23
2.2 Technologie ohýbání .....	26
2.2.1 Rozbor stavu napjatosti .....	27
2.2.2 Proces ohýbání .....	28
2.2.3 Odpružení při ohybu .....	29
2.2.4 Výchozí délka polotovaru .....	32
2.2.5 Parametry technologičnosti .....	32
2.2.6 Ohýbací síla a práce .....	34
2.2.7 Ohýbací nástroj .....	36
2.3 Tvářecí stroje .....	37
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY .....	39
3.1 Rozvinutý tvar součásti .....	39
3.2 Varianty nástřihového plánu.....	40
3.2.1 Varianta 1 .....	40
3.2.2 Varianta 2 .....	42
3.3 Varianty řešení postupového sdruženého nástroje .....	44
3.4 Technologické výpočty pro technologii stříhání .....	47
3.5 Technologické výpočty pro technologii ohýbání .....	51
3.6 Umístění stopky nástroje .....	52
3.7 Návrh sdruženého nástroje .....	53
3.8 Volba tvářecího stroje .....	56
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	58
ZÁVĚR.....	62
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	63
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	67
SEZNAM PŘÍLOH.....	70

## ÚVOD

V současnosti jsou ve strojírenství využívány pro výrobu součástí nejrůznější metodiky a technologie. Jednou z velmi používaných výrobních možností jsou i tvářecí technologie. Zde je možné využít jak objemové, tak i plošné metody. Plošným tvářením se rozumí proces, kdy je z rovinného předmětu vytvářen předmět prostorový. V praxi se konkrétně pro plošné tvářením užívá ohýbání, stříhání, tažení, děrování a obecně tedy lisování. Díky užití těchto metod lze dosáhnout konkrétního tvaru dané součásti bez markantní změny tloušťky nebo průřezu materiálu, kterým je většinou plech. [2; 3]

Při výrobě různých výrobků a součástí z plechu je nejčastěji využíváno stříhání. Během tohoto procesu je materiál narušen a vzniká různé množství odpadu. Aby byly náklady na výrobu dané součásti co nejnižší, je kladen silný důraz na správné plánování a snížení odpadu na minimum. V případě technologie ohýbání odpad nevzniká a nedochází ani k porušení materiálu. Dochází pouze k trvalé deformaci dané součásti do požadovaného tvaru. Pro tyto operace slouží řada nástrojů. Některé jsou specializované pouze pro stříhání nebo ohýbání a jiné zase umožňují provádět oba typy tvářením v jednom nástroji bez nutnosti přesunu na jiné pracoviště. Tyto nástroje mají vyšší pořizovací cenu, a proto se uplatňují především v hromadné výrobě. [4]

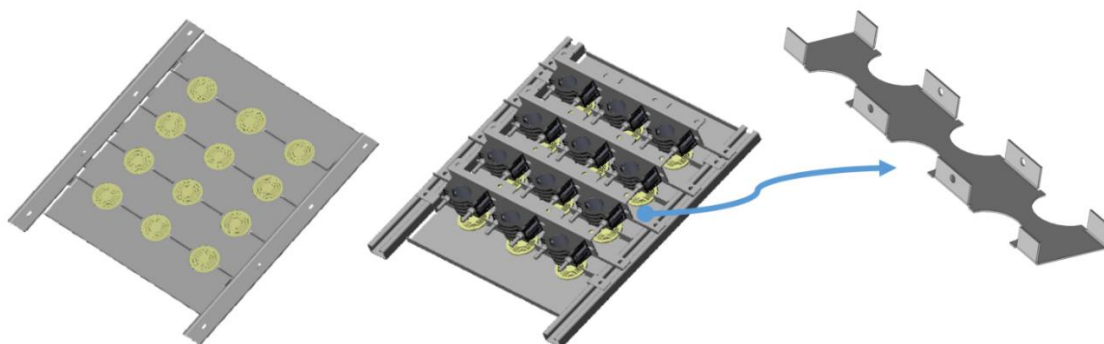
Vzhledem k tlaku na snižování nákladů a udržení standardní jakosti, je v průmyslu také kladen důraz na automatizaci a robotizaci. Proto jsou pro velkosériové výroby užívány automatizované výrobní linky. V ostatních případech se pro plošné tvářením užívají speciální tvářecí stroje využitelné v celém spektru výrobních potřeb. V případě náročnějších výrobků, vyžadujících užití více technologií, mohou být patřičné úkony prováděny v rámci několika kroků na jednom specializovaném nástroji i stroji. Na obr. 1 jsou zobrazeny součásti zhotovené plošným tvářením. [11]



Obr. 1 Součásti vyrobené plošným tvářením [1].

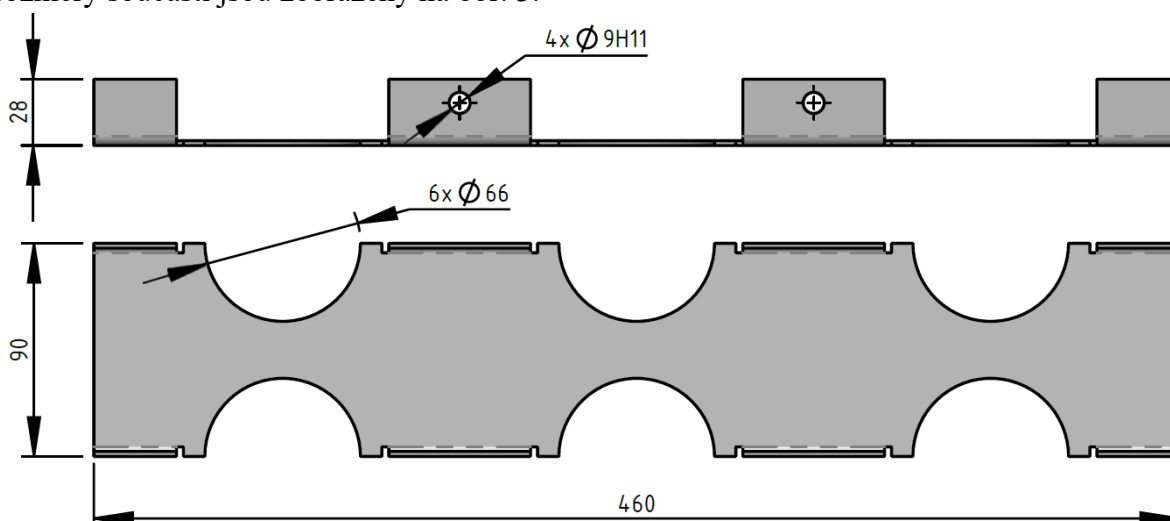
## 1 ROZBOR ZADÁNÍ

Řešenou součástí je středový dílec kabelového dna rozváděče vysokého napětí. Jedná se o opakující se dílec v různých typech rozváděčů s konstantní šířkou skříně 650 mm. Základními parametry těchto rozváděčů jsou napětí, které se pohybuje v rozmezí 12 kV ÷ 17,5 kV, a jmenovitý proud 630 A. Součást plní funkci krytu kabelů vysokého napětí a není mechanicky namáhána. V závislosti na konstrukčním řešení daného rozváděče se pohybuje počet těchto dílců. Součást má podélný tvar a její tloušťka je 2 mm. Výrobní série je stanovena na 300 000 kusů za rok. Na obr. 2 lze vidět přední i zadní pohled na sestavu kabelového dna rozváděče včetně modelu vyráběné součásti.



Obr. 2 Kabelové dno rozváděče.

Při zaměření na ohyb dílce, jsou podélné okraje ohnuty pod úhlem 90°. Na součásti se nachází 4 otvory  $\text{Ø} 9$  mm pro spojení s přiléhajícím dílcem pomocí šroubů a matic M8 včetně podložek z obou stran. Tato kabelová dna jsou konstruována jako dělená kvůli snadnější montáži, jelikož kabelové vodiče  $\text{Ø} 66$  mm mají vysokou tuhost a dají se tedy jen lehce ohnout. Pro tyto kabely slouží 6 otvorů stejného průměru k průchodu ze spodní strany směrem do rozváděče. Hlavní rozměry součásti jsou zobrazeny na obr. 3.



Obr. 3 Hlavní rozměry vyráběné součásti.

Jako vhodný materiál pro výrobu součásti je zvolen hliník EN AW-1050A, jelikož splňuje požadavek velmi dobré korozní odolnosti a je nemagnetický. Při průchodu proudy vodiči vzniká v jejich okolí magnetické pole a mohlo by dojít k nežádoucímu zahřívání rozváděče. Z tohoto důvodu je vybrán daný materiál a toto riziko je eliminováno. Je to nejčistší stav hliníku a má dobré vlastnosti pro ohýbání i svařování. Obsah hliníku je 99,5 %. Dále materiál disponuje vysokou houževnatostí a vysoce reflexním povrchem. Jedná se o materiál používaný v elektrotechnice na výrobu opláštění kabelů, transformátorů a reflektorů. Ve strojírenství se používá u konstrukčních prvků a své využití najde také v potravinářském průmyslu. [6]

Jak již bylo zmíněno výše, součást není mechanicky namáhána a pro svou funkci tedy splňuje pevností požadavky. V tab. 1 se nachází srovnání označení materiálu u zahraničních norem. Tab. 2 a 3 potom popisuje bližší specifikaci, jakožto chemické složení a mechanické vlastnosti.

Tab. 1 Orientační srovnání se zahraničními normami [5].

DIN	ČSN	EN
3.0255	42 4005	AW-1050A

Tab. 2 Chemické složení [hm. %] [6].

Si	Fe	Cu	Mn	Cr	Zn	Ti	Al
0,25	0,40	0,05	0,01	0,01	0,07	0,05	zbytek

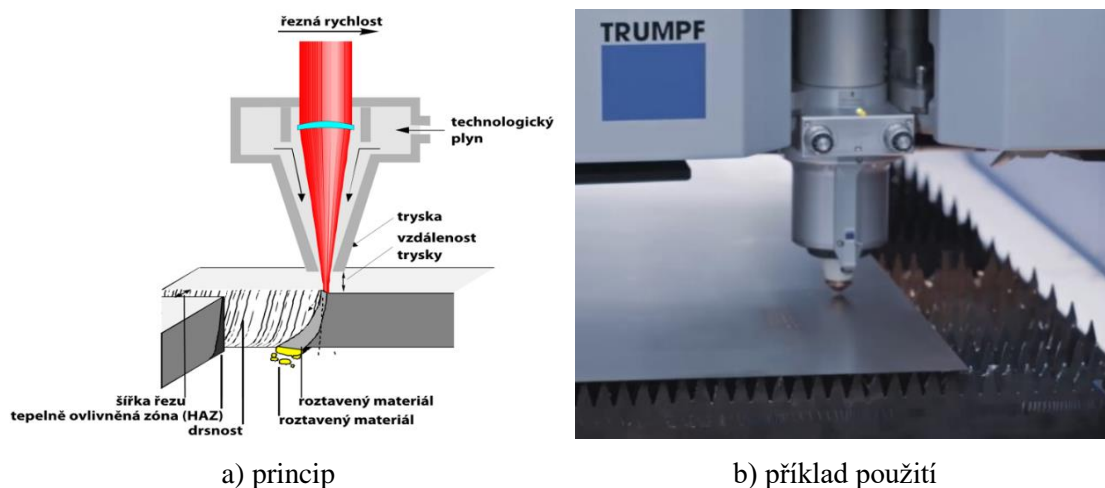
Tab. 3 Mechanické a fyzikální vlastnosti [7].

Stav	$R_{p0,2}$ [MPa]	$R_m$ [MPa]	$A_5$ [%]	$E$ [GPa]	$\rho$ [ $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ]
H14 – polotvrký	85	105 ÷ 145	4	71	2 710

## 1.1 Výrobní možnosti

Danou součást je možné vyrobít různými metodami, ať už konvenčními nebo nekonvenčními. Nejprve je nutno zhotovit rozvinutý tvar dílce, který bude následně ohnut. K dělení materiálu mohou být použity následující technologie. Následovat bude zmiňovaný ohyb, který může být proveden například na ohraňovacím lisu, kde by se dílec zhotovil do finální podoby. Tímto způsobem by však došlo k prodloužení výrobního času a navýšení nákladů na výrobu.

- Laser – umožňuje řezání kovových i nekovových materiálů různé tloušťky od 0,5 až do 30 mm. Laserový paprsek je fokusován, veden a sdružen do svazku. Po nárazu na obrobek se materiál zahřeje natolik, že se roztaví nebo odpaří, čímž vzniká vlastní řez. Při působení laseru tedy nedochází k opotřebování, deformaci nebo nežádoucímu poškození obrobku. Řezání laserem může být tavné, oxidační nebo sublimační. Tavné řezání je vhodné pro vysokolegovanou ocel, hliník, nikl a další materiály. Oxidační řezání je vhodné spíše pro středně legovanou a nelegovanou ocel. Sublimační řezání se užívá pro opracování minerálů nebo tenkých plechů. K výhodám patří vysoká řezná rychlost, malá šířka řezané spáry a možnost řezání velmi malých otvorů. Nevýhodami jsou především vysoké investiční a provozní náklady a omezení tloušťky materiálu. Vzhledem k požadovanému objemu výroby není tato metoda vhodná. Princip laserového řezání ukazuje obr. 4a a použití v praxi se nachází na obr. 4b. [15; 22]



a) princip

b) příklad použití

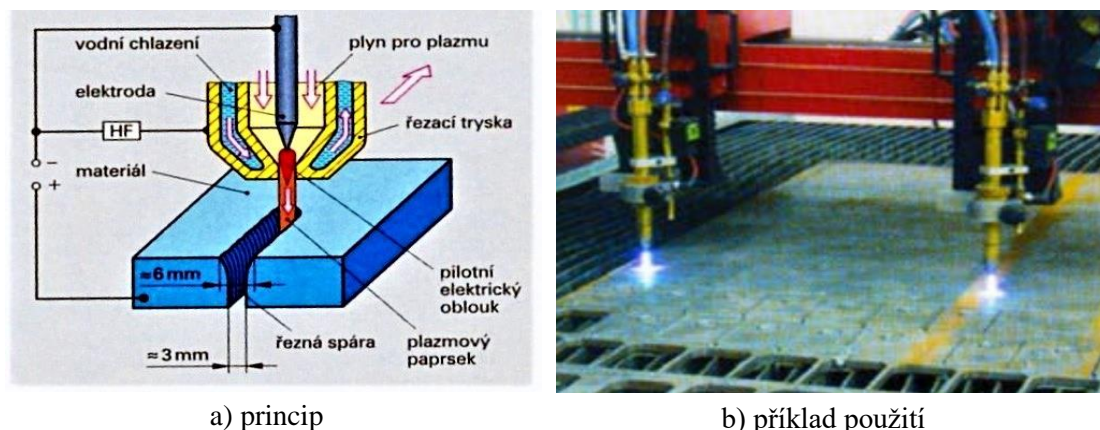
Obr. 4 Laserové řezání [15; 25].

- Vodní paprsek – lze jím řezat celou řadu materiálů v tloušťkách od 0,1 mm do 200 mm. Princip řezání vodním paprskem spočívá ve stlačení kapaliny na co nejvyšší tlak, až 6 200 barů, ve speciálním čerpadle a jejím usměrněním a zaostření vodní tryskou. Následně se přimíchává abrazivo, mezi které patří např. český granát nebo olivín. Výslednou směsí je po usměrnění v trysce prováděno řezání. Během samotného řezání nedochází k působení žádného tlaku na materiál, tudíž nehrozí riziko mikrotrhlin. Rovněž nedochází ani k tepelnému ovlivnění (studený řez) a následné deformaci. Výsledná spára je minimální, rozměrová přesnost řezu je  $\pm 0,1$  mm a umožňuje i obloukové výřezy. U hliníku jej lze použít do tloušťky 150 mm. Kvůli nedostatečné produktivitě vzhledem k objemu výroby není tato metoda zvolena. Obr. 5a ukazuje princip řezání vodním paprskem a použití v praxi se nachází na obr. 5b. [13]



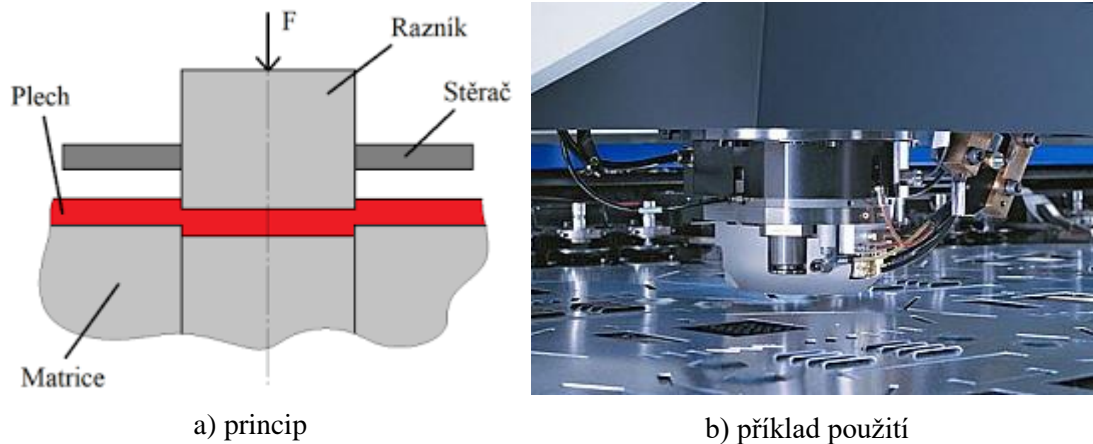
Obr. 5 Řezání vodním paprskem [13; 26].

- Plazma – jejíž princip řezání spočívá v ohřevu nebo tavení materiálu za extrémně vysokých teplot, které jsou způsobeny rozkladem molekul užitého plynu při průchodu elektrickým obloukem. Tento oblouk hoří mezi anodou, což je těleso hořáku nebo opracovávaný materiál, a netavící se wolframovou katodou. Jako plazmový plyn může být použit jednoatomový argon anebo dvouatomové plyny kyslíku, dusíku, vodíku a vzduchu. Plyn se ionizuje a disociuje energií plazmového oblouku. Řezaný materiál je tudíž taven. Výhodami jsou velký výkon při řezání tloušťky do 30 mm, vysoká řezná rychlost a při řezání pod vodou i relativně malé tepelné ovlivnění materiálu. K nevýhodám patří širší řezaná spára, zaoblení horní hrany, UV záření a úkos na řezané hraně. Tento typ řezání je vhodný pro hliník, ale musí být užitý vhodný plyn, např. směs argonu a vodíku jako řezací plyn a jako sekundární vzduch nebo dusík. Kvůli vyšší drsnosti na řezné hraně dílce není tato metoda příliš vhodná. Princip plazmového řezání se nachází na obr. 6a a příklad použití na obr. 6b. [29]



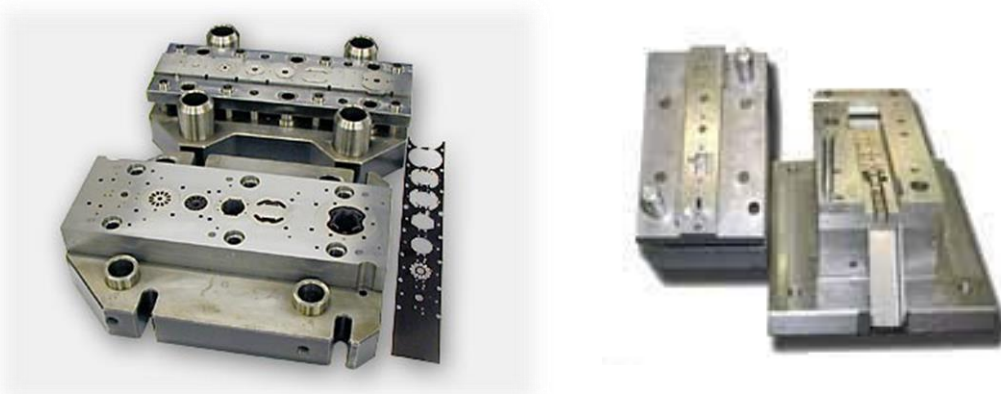
Obr. 6 Plazmové řezání [28; 29].

- Vysekávání – je technologie určená k děrování a prorážení otvorů a různých tvarů za pomoci speciálních nástrojů (raznic) na CNC stroji. Z výhod lze zmínit, že nedochází k přenosu tepla během procesu výroby. Tloušťka vysekávaného materiálu je maximálně 6 mm, což je jistou nevýhodou. Vysekávání je možné také z hliníku, ale přibližně jen do tloušťky 4 až 5 mm. Dříve bylo vysekávání značně omezeno s ohledem na dostupné technologie, ale dnes běžně nejnovější CNC stroje provádí i velmi náročné operace. Kvůli nutnému přesouvání vyseknutého tvaru do dalšího stroje, kde by se součást zhotovila do finální podoby, není tato metoda zvolena. Docházelo by k časovým prostojům, což by mělo za následek i nárůst koncové ceny dílce. Princip vysekávání ukazuje obr. 7a a použití v praxi se nachází na obr. 7b. [36]



Obr. 7 Vysekávání [4; 36].

- Postupový střížný nástroj – slouží k více operacím, přičemž jednotlivé kroky následují za sebou. To znamená, že je výrobek zhotoven postupně během více úkonů, které provádí jeden nástroj. Nejčastěji v prvním kroku nastává děrování, v druhém kroku stříhání obvodu atd. Většinou jsou tyto nástroje konstruovány jako vedené. Postupové nástroje jsou vhodné pro různé druhy materiálu, a to včetně hliníku. Z důvodu složitosti součástí není tato metoda vhodná. Na obr. 8 jsou uvedeny příklady postupových střížných nástrojů. [9; 27]



Obr. 8 Příklady postupových střížných nástrojů [30].

Vzhledem k požadovanému objemu výroby se jeví jako nejvýhodnější postupové stříhání, které se nabízí rovnou sdužit s ohýbáním. Postupový sdužený nástroj slouží k operacím různých typů ve více krocích, kdy dochází ke tvarování, stříhání, ohýbání či tažení. Všechny tyto úkony probíhají na jednom nástroji, tudíž lze celý proces provádět na jednom pracovišti, čímž odpadá manipulace s materiálem a zefektivňuje se celý proces výroby. [9; 27]

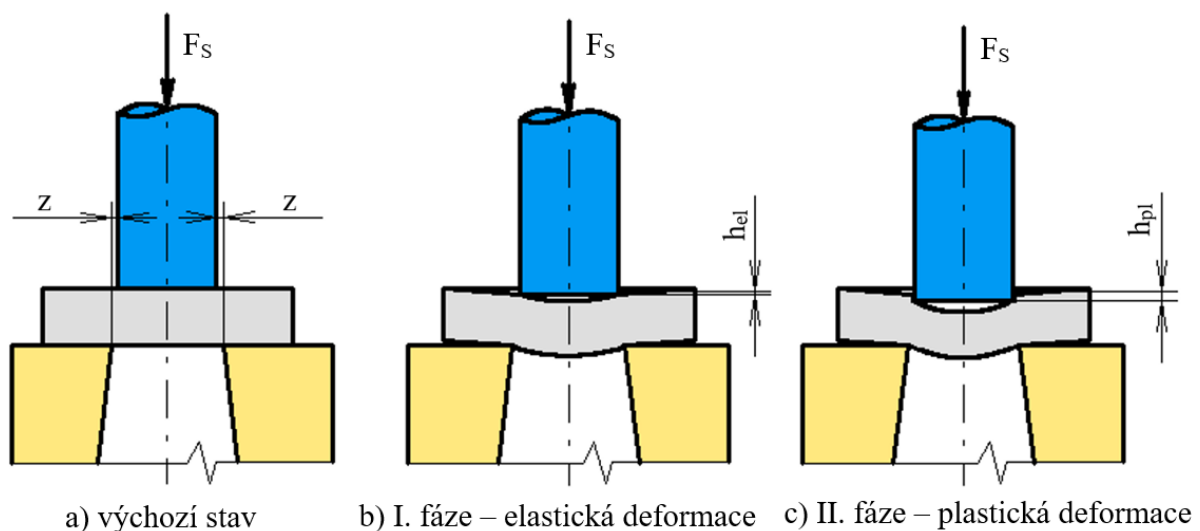
Jelikož je řešena velkosériová výroba, tedy konkrétně výrobní série 300 000 kusů ročně, je zvolena varianta sdruženého postupového nástroje, který umožní kombinaci stříhání a ohýbání. Důvodem je ekonomická a výrobní efektivita, mezi které patří například nejmenší vedlejší časy při výrobě. Je pravdou, že náklady na výrobu sdruženého postupového nástroje jsou vyšší, ale při takto vysokém objemu výroby jde o nejvýhodnější metodu z hlediska její vyšší produktivity, jelikož je součástka zhotovena na jednom nástroji. Z hlediska nákladů je rovněž výhodou možnost užití svitku zvoleného materiálu, nikoliv celé tabule plechu, kterou by bylo nutné předem nastříhat. Díky tomu lze snížit i počet dělníků potřebných pro obsluhu nástrojů a omezit manipulaci mezi pracovišti, s čímž souvisí i výrazné snížení výrobních časů. Vzhledem k důležitosti stříhání a ohýbání pro výrobu řešeného dílce budou v následující literární rešerši tyto technologie detailněji přiblíženy.

## 2 LITERÁRNÍ STUDIE

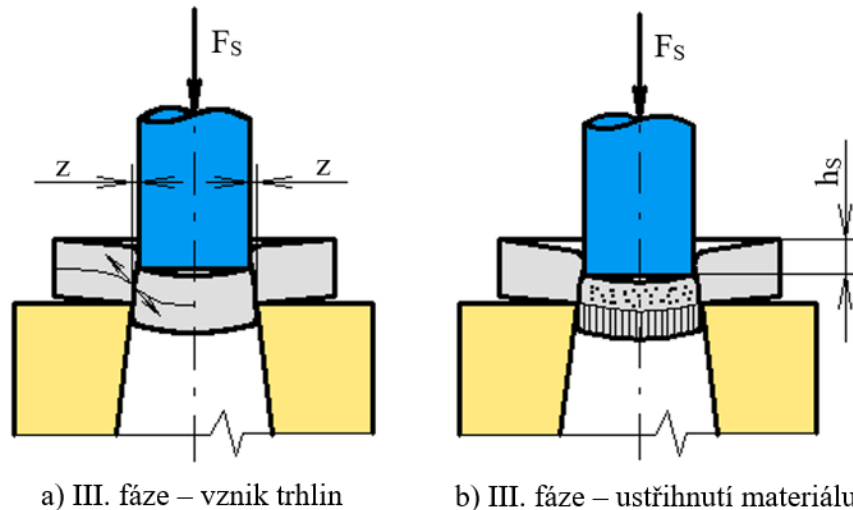
Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, pro výrobu dané součásti je nejvhodnější použít kombinaci technologií stříhání a ohýbání. Literární studie bude tedy zaměřena především na tyto technologie. V kapitole věnované technologii stříhání je popsán rozbor napjatosti, střížný odpor, střížná síla a práce, střížná vůle, přesnost a kvalita při stříhu, nástřihový plán, těžiště střížných sil a střížný nástroj. V rámci kapitoly o technologii ohýbání je zmíněn rozbor napjatosti, proces ohýbání, odpružení při ohybu, výchozí délka polotovaru, minimální a maximální poloměry ohybu, ohýbací síla a práce a ohýbací nástroje. Dále jsou také popsány tvářecí stroje, do kterých se zmiňované nástroje upínají.

### 2.1 Technologie stříhání

Stříháním se rozumí oddělení materiálu protilehlými břity nožů (střížník a střížnice) způsobujících v řezné rovině smykové napětí. Proces stříhání se dělí na tři fáze. Nejprve střížník dosedne na stříhaný polotovar (obr. 9a), přičemž z každé strany je mezi střížníkem a střížnicí tzv. střížná mezera  $z$ . V první fázi se jedná o oblast pružných neboli elastických deformací (obr. 9b). Materiál se stlačuje, ohýbá a vtlačuje se do otvoru střížnice. Výsledná hloubka vniku závisí na konkrétním stříhaném materiálu, ale průměrně se pohybuje okolo 7 % jeho tloušťky. V rámci druhé fáze dochází k přechodu z pružné na plastickou deformaci, jelikož se střížník vtlačuje do plechu, ten do otvoru střížnice, napětí překračuje mez kluzu a na střížnici a hranách střížníků se blíží mezi pevnosti (obr. 9c). Hloubka opět závisí na daném materiálu a pohybuje se mezi 10 až 25 % jeho tloušťky. Při třetí fázi vlivem vzrůstajícího napětí vznikají na hranách trhlinky (obr. 10a), které se rozšiřují až do doby, než dojde k usmýknutí (utržení) materiálu (obr. 10b). K oddělení výstřížku dojde dříve, než projde střížník celou tloušťkou materiálu, a následně je výstřížek vytlačen. Místa, kde došlo k prvním výskytům trhlin, jsou oproti ostatním střížným plochám drsnější. [4; 24; 31; 34]

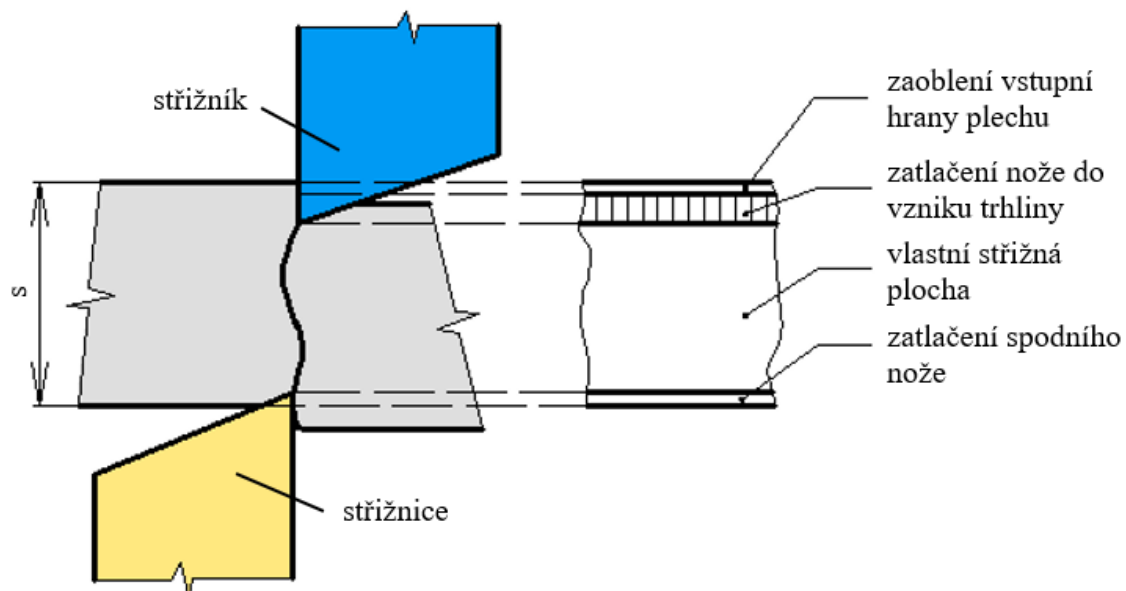


Obr. 9 První a druhá fáze stříhu [24].



Obr. 10 Třetí fáze stříhu [24].

Výsledná kvalita střížné plochy je ovlivněna celou řadou faktorů. Nejdůležitější je však velikost střížné mezery, způsob stříhání, vlastnosti stříhaného materiálu včetně jeho tloušťky a kvalita střížného nástroje. Volbou způsobu stříhání a různými konstrukčními úpravami střížného nástroje je možné ovlivnit průběh stříhání tak, aby byla zcela eliminována nekvalitní střížná plocha se širokým pásmem utržení a deformace výstřížku. Síla, při které jsou střížné nože do materiálu zatlačovány, má vzrůstající tendenci. Nejvyšší hodnoty dosahuje při oddělování materiálu a následně klesá k nule. Pokles a její rychlost ovlivňuje velikost střížné vůle apod. V okolí střížné plochy dochází v důsledku trvalé deformace ke zpevnění a snížení tvárnosti, které lze odstranit třískovým obrobením nebo žíháním. Deformační pásma při stříhání ukazuje obr. 11. Jsou to pásma zaoblení vstupní hrany plechu, pásmo zatlačení nože do vzniku trhliny, pásmo utržení neboli vlastní střížná plocha a pásmo otláčení od spodního nože. [12; 19; 24]

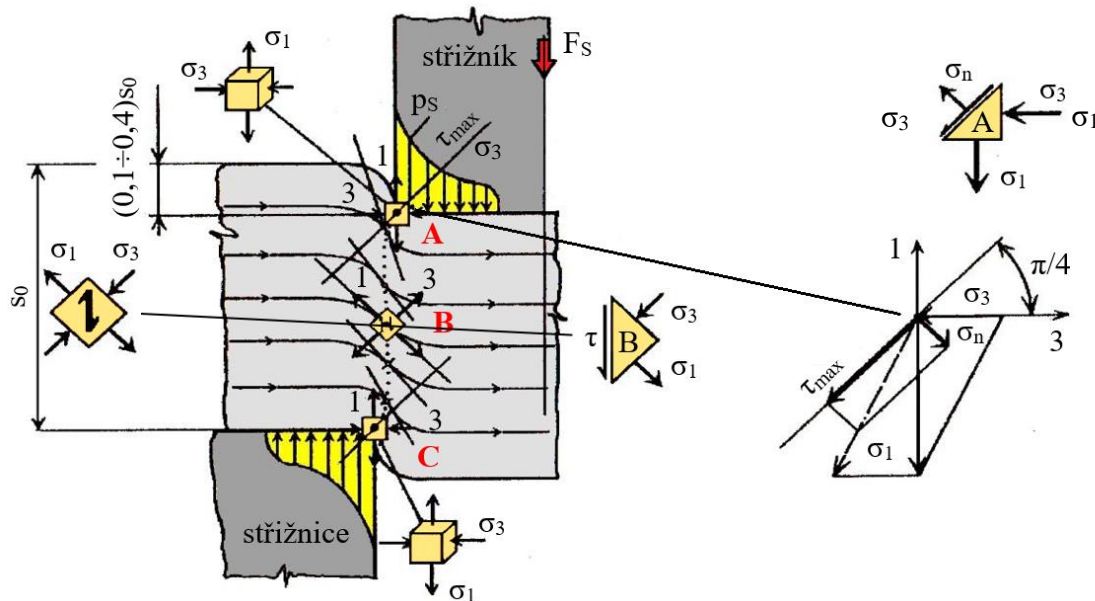


Obr. 11 Deformační pásma při stříhání [19].

### 2.1.1 Rozbor stavu napjatosti

Během procesu stříhání dochází ke vtahování materiálu mezi střížné hrany a zároveň jeho vytlačování vnikajícími břity. Tento proces je zobrazen na obr. 12. Stav napjatosti je charakteristický v bodech křivky ve tvaru písmene „S“. K největšímu tahovému napětí dochází

v bodech A a C, které leží v blízkosti střižných hran. Uprostřed křivky se nachází bod B. Jelikož je materiál svíran mezi střižnicí a střižníkem, tak dochází k postupnému zakřivování a prodlužování podélných vláken. Rovněž dochází ke změně orientace hlavních napětí, a to v důsledku změny křivosti vláken od střižných hran směrem do středu zpracovávaného materiálu, což vede k odlišnému směru a velikosti ve sledovaných bodech. V bodě B je smykové napětí kolmé k rovině plechu a obě hlavní normálová napětí jsou si rovna. Ovšem v bodech A a C je tahové napětí  $\sigma_1$  zhruba dvojnásobné oproti tlakovému napětí  $\sigma_3$ , neboli tlakové napětí  $\sigma_3$  tvoří přibližně polovinu  $\sigma_1$ . Směr a velikost smykového napětí je možno zjistit na základě Mohrových kružnic napětí a vektorového součtu hlavních normálových napětí. Normálová složka  $\sigma_n$  působí kolmo na směr  $\tau_{\max}$  a způsobuje rozevírání trhliny. [24; 41; 44]



Obr. 12 Schéma napjatosti [24].

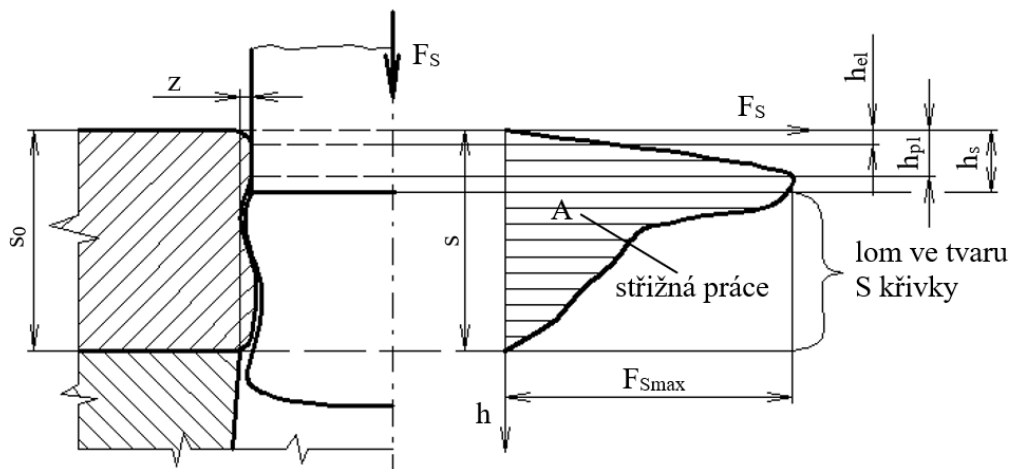
Střižný odpor je odpor, který klade materiál vůči přetvoření. Závisí především na tvaru a rozměru stříhané plochy, vlastnostech materiálu, tloušťce materiálu a konstrukci nástroje. Střižný odpor roste společně s rostoucí pevností užitého materiálu a klesající tvárností (plastickými vlastnostmi). Velikost střižného odporu se udává okolo 80 % meze pevnosti konkrétního materiálu. Do materiálu proniká střižník do určité hloubky a obecně lze říci, že pro materiály tvrdé je hloubka menší než pro materiály měkké. Střižný odpor rovněž ovlivňuje tření mezi materiálem a nástrojem. Hloubka vniknutí střižníku do materiálu mimo jiné závisí i na tloušťce stříhaného materiálu. V praxi to znamená, že hloubka vniku se zvětšuje, jestliže se tloušťka materiálu zmenšuje. Velikost tahového napětí  $\sigma_1$  a výpočet střižného odporu udává následující vzorec: [24; 31; 34]

$$\tau_s = \frac{F_s}{S_s} = \sigma_1 = 0,77 \cdot R_m \cong 0,8 \cdot R_m \text{ [MPa]}, \quad (2.1)$$

kde:  $\tau_s$  – střižný odpor [MPa],  
 $F_s$  – střižná síla [N],  
 $S_s$  – plocha stříhu [mm<sup>2</sup>],  
 $\sigma_1$  – tahové napětí [MPa],  
 $R_m$  – mez pevnosti v tahu [MPa].

### 2.1.2 Střížná síla a práce

Mezi střížníkem a střížnicí se nachází mezera, a proto střížné síly nepůsobí při procesu ideálně v jedné rovině. Střížná síla se rozkládá na složku třecí a normálovou, což způsobuje vznik jednotlivých pásem a vznik ohybových momentů na polotovaru. Střížná síla a její průběh se odvíjí od tažnosti užitého materiálu, hloubky vniknutí střížníku do materiálu a geometrie nástroje. V počátku je kov napěchován pod nástroj, čímž vzniká plastické přetvoření. V případě zmenšení střížné plochy střížná síla vzroste, jelikož dochází k lokálnímu zpevnění. Obr. 13 zobrazuje závislost střížné síly, respektive jejího průběhu na poloze střížníku. Z počátku dochází k prudkému nárůstu střížné síly, který trvá až do vytvoření prvních trhlin ve hloubce  $h_{pl}$ . V tomto okamžiku střížná síla dosahuje své maximální hodnoty. Následuje mírný pokles a po překročení hloubky  $h_s$  dochází k výraznějšímu poklesu, který je brzděn v důsledku tření mezi plochami výstřížku a původního materiálu. [9; 24; 31; 34; 46]



Obr. 13 Průběh střížné síly v závislosti na poloze střížníku [24].

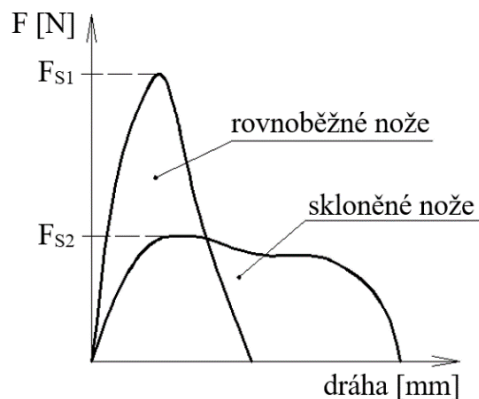
Rozdílnost střížné síly v závislosti na dráze při stříhání během užití rovnoběžných a skloněných nožů zobrazuje obr. 14a. Mezi možné způsoby snížení střížné síly lze zařadit konstrukční úpravu střížníků, a to konkrétně zešikmení střížných hran, jak je zobrazeno na obr. 14b. Výpočet střížné síly udává vztah níže. [9; 24; 31; 34; 46]

$$F_S = s \cdot L \cdot \tau_s \cdot n \text{ [N]}, \quad (2.2)$$

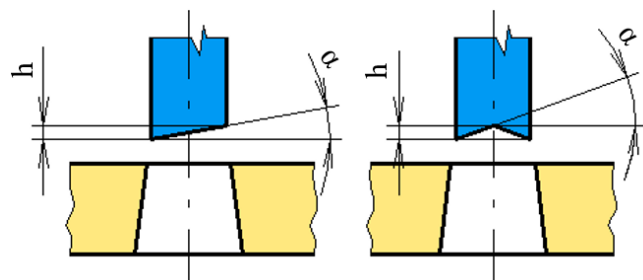
kde:  $s$  – tloušťka materiálu [mm],

$L$  – délka střížné hrany [mm],

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



a) průběh síly v závislosti na dráze stříhání



b) úpravy střížníků ke snížení střížné síly

Obr. 14 Změna střížné síly pro různou úpravu střížníků [34; 41].

K získání celkové střížné síly je dále nutno počítat se stírací silou, jelikož během stříhání děrovaný materiál přilne buď k obvodu střížníku, anebo k otvoru ve střížnici. K eliminaci nežádoucího přilnutí je potřeba vyvinout určitou sílu. Další složkou je potom síla vytlačovací, která má za cíl vytlačit výstřížky z oblasti střížnice. [9; 24; 34]

$$F_{st} = k_{st} \cdot F_S \text{ [N]}, \quad (2.3)$$

$$F_{vy} = k_{vy} \cdot F_S \cdot n_s \text{ [N]}, \quad (2.4)$$

kde:  $k_{st}$ ,  $k_{vy}$  – koeficienty, jejichž hodnoty jsou určeny v příloze 1,  
 $n_s$  – počet výstřížků ve válcové oblasti střížnice.

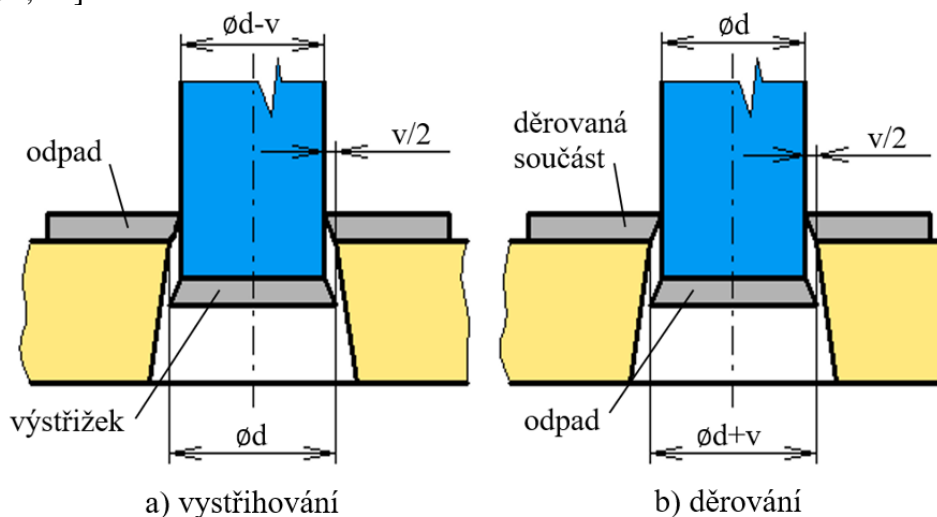
Se střížnou silou souvisí i střížná práce, která je přímo úměrná hloubce vtlačení střížníku do konkrétního materiálu a střížné síle. Určení hodnoty střížné práce slouží ke zvolení vhodného typu lisu. Vzorec se liší dle užití konkrétního typu nožů. Pro výpočet střížné práce rovnoběžnými noži je určen následující vztah:

$$A = \frac{\lambda \cdot F_{Smax} \cdot s}{1\,000} \text{ [J]}, \quad (2.5)$$

kde:  $A$  – střížná práce [J],  
 $\lambda$  – součinitel plnosti (volí se z diagramu, viz příloha 2) [-],  
 $F_{Smax}$  – maximální střížná síla [N].

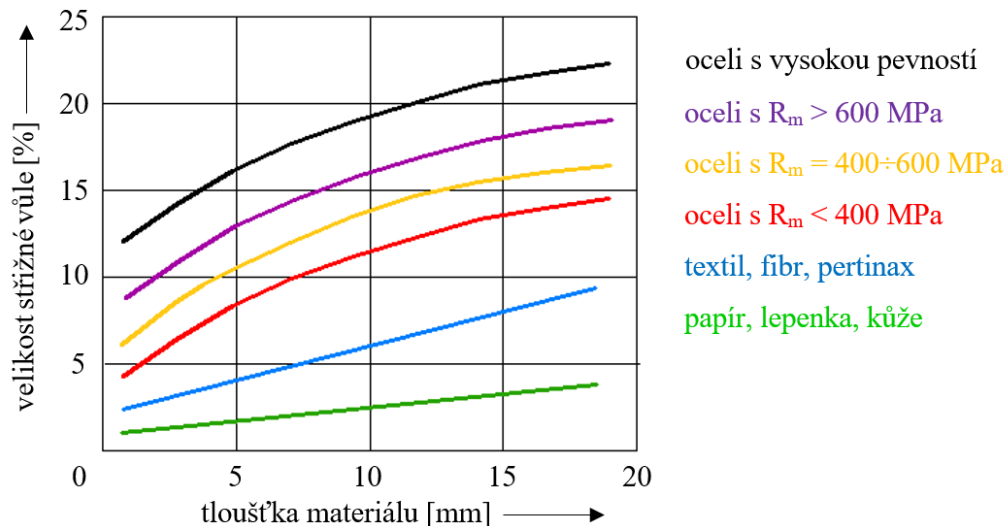
### 2.1.3 Střížná vůle

Střížná vůle  $v$  představuje rozdíl rozměrů pracovních částí střížníku a střížnice. Polovina této hodnoty je označována jako střížná mezera  $z$ , která musí být naprosto rovnoměrná a stejná, jelikož při nestejném rozložení střížné vůle vznikají na těle výstřížku ostriny, povrchové vady a střížná plocha je nekvalitní. Konkrétní velikost střížné vůle se stanovuje na úkor střížnice nebo střížníků vzhledem k požadovanému rozměru výstřížku. Obr. 15a zobrazuje, jak při přesném stříhání vnějšího obvodu je rozměr stejný jako rozměr střížnice, přičemž samotný střížník je menší o střížnou vůli. Obr. 15b naopak ukazuje, jak při děrování odpovídá rozměr výsledného otvoru i rozměru střížníku. Rozměr střížnice se v tomto případě volí větší o střížnou vůli. [4; 31; 41]



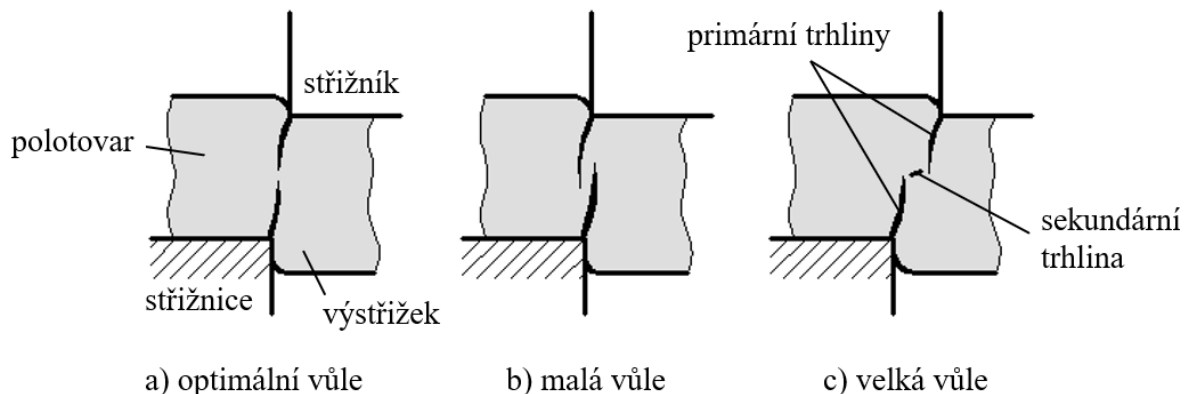
Obr. 15 Schéma střížné vůle [41].

Velikost střížné vůle závisí primárně na tloušťce a druhu použitého materiálu, přičemž optimální je vůle taková, při níž se dosáhne požadované jakosti střížné plochy při nejmenší střížné síle. Tuto závislost zobrazuje obr. 16. [4]



Obr. 16 Závislost střížné vůle na tloušťce materiálu [4].

V případě normální vůle je při stříhu vytvořena jedolitá plocha bez otřepu. To znamená, že trhliny vytvořené střížnicí i střížníkem se setkávají na stejném místě. Jestliže je vůle malá nebo velká, tak se tyto trhliny míjejí a kvalita střížné plochy je proto zhoršená. Malé střížné vůle způsobují vznik ohlazených nebo přestřížených prstenců. Velké střížné vůle mají za následek ohyb stříhané součásti. Vliv různé střížné vůle na tvorbu střížné plochy znázorňuje obr. 17. U hliníku se pohybuje střížná vůle při tloušťce materiálu do 2,5 mm okolo 4 ÷ 7 % a mezi 2,5 až 6 mm okolo 5 ÷ 9 %. Pro výpočet střížné vůle platí následující vztahy níže. [4; 46]



Obr. 17 Vliv střížné vůle na tvorbu střížné plochy [46].

Pro plechy tloušťky  $s < 3$  mm slouží vztah:

$$v = 2 \cdot z = 0,32 \cdot c_m \cdot s \cdot \sqrt{\tau_S} \quad [\text{mm}], \quad (2.6)$$

kde:  $v$  – střížná vůle [mm],

$z$  – střížná mezera [mm],

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

Pro plechy tloušťky  $s > 3$  mm slouží vztah:

$$v = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c_m \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_S} \quad [\text{mm}]. \quad (2.7)$$

### 2.1.4 Přesnost a kvalita při stříhu

Přesnost závisí na řadě aspektů, mezi něž lze zařadit druh a stav nástroje, vlastnosti materiálu a stroje, přesnost zhotovení střížnice a střížníku, ustavení polotovaru v daném nástroji, kvalitě a geometrii střížných hran a mnoho dalších. Samotný proces stříhání způsobuje drsný a mírně zkosený povrch stříhu. Kvalitu stříhu ovlivňuje primárně velikost a rovnoměrnost střížné vůle. Dalším faktorem jsou vlastnosti materiálu, přičemž rostoucí tvrdost zhoršuje finální jakost střížné plochy. Dále ji ovlivňuje rychlost stříhání, počet zdvihů, přesnost a tloušťky materiálu, stav a konstrukce stříhadla. V případě konstrukce stříhadel se obecně doporučuje pro tloušťky do 1 mm drsnost **Ra** v rozmezí  $0,4 \div 0,8 \mu\text{m}$ , pro více než 1 mm **Ra** v rozmezí  $1,6 \div 3,2 \mu\text{m}$ . U běžných typů nástrojů a tloušťky materiálu do 1 mm se u střížné plochy dosahuje **Ra** mezi  $3,2 \div 6,3 \mu\text{m}$  a u tlustších plechů **Ra** v rozmezí  $6,3 \div 12,5 \mu\text{m}$ . Závislost přesnosti vystříhovaného výrobku na přesnosti nástroje ukazuje tab. 4. [4; 16]

Tab. 4 Závislost přesnosti vystříhovaného výrobku na přesnosti nástroje [4].

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

Při stříhání materiálu o tloušťce do 4 mm a směrném rozměru stříhaného polotovaru v rozmezí 150 až 200 mm se rozměrová přesnost pohybuje okolo IT 12 až IT 15. V nástrojích se zvýšenou přesností, se zařízením k přidržení stříhaného materiálu a s vodícími stojánky, je možné dosáhnout přesnosti IT 9 až IT 11. Ve speciálních nástrojích určených pro přesné stříhání může být dosaženo přesnosti IT 6 až IT 8. [4]

### 2.1.5 Technologičnost stříhaných součástí

Z hlediska hospodárnosti je nezbytné výstřížky na zvolený pás materiálu, ať už se jedná o tabuli či svitek plechu, rozmístit tak, aby byl výsledný odpad minimální. Právě toto rozmístění je nazýváno jako nástříhový plán a jeho účelem je maximální využití užitého materiálu, snadnější manipulace při vystříhování, vystřížení více částí najednou a případně naplnění jiných požadavků, jako je především vhodný směr vláken či přesnost. Odpad může být konstrukční nebo technologický, ale v obou případech je běžnou součástí technologie stříhání, a proto musí být optimálnímu rozmístění věnována značná pozornost, jelikož materiál sám o sobě tvoří průměrně okolo  $60 \div 75 \%$  celkových nákladů. [4; 27; 31; 37]

Nástříhový plán může být řešen dvěma způsoby. Prvním z nich je početní metoda, která slouží k návrhu jednoduchých výstřížků jako jsou nejčastěji kruhové tvary. Pomocí této metody lze stanovit vhodný formát užitého materiálu pro stanovený počet výstřížků nebo naopak určit největší možný počet výstřížků z daného materiálu. Druhým způsobem je metoda empirická, která se používá pro složité tvarové součásti. [16]

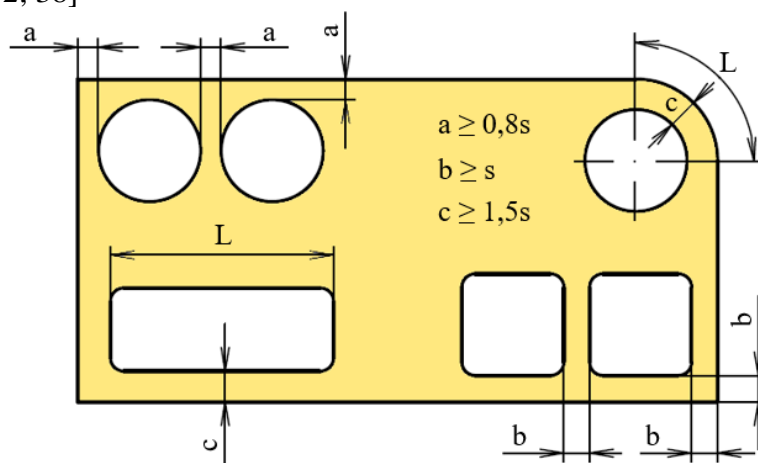
Při konstrukci nástříhového plánu platí čtyři zásady. První je užití rovnoběžníkových tvarů, jelikož kruhové obrysy výstřížku nejsou výhodné. Druhou je optimální seskupování výstřížků s ohledem na odpad. Třetí spočívá ve zvýšení využití materiálu za pomoci stříhání různých součástí na jeden zdvih. Poslední se týká větších sérií, kdy je výhodné využití více střížníků stejného tvaru, jelikož se tím docílí vystřížení více stejných výstřížků na jeden zdvih. Obecně lze říci, že s rostoucí sériovostí výroby by měla být věnována větší pozornost hospodárnosti nástříhového plánu. Výsledná volba nástříhového plánu se odvíjí od tvaru a konstrukce výrobku, dále od minimálních vzdáleností mezi jednotlivými výrobky a od kraje pásu, ale také musí být brán ohled na dodržování zásad konstrukce. Plán nástříhu může být skupinový, kam patří různé tvary a součásti jednoho výrobku, nebo kusový, ve kterém se určuje nejvýhodnější

způsob stříhání. Hospodárnost nástřihového plánu lze vyjádřit následujícím vztahem: [4; 12; 31; 49]

$$\eta = \frac{n_v \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 [\%], \quad (2.8)$$

kde:  $\eta$  – procentuální využití materiálu [%],  
 $n_v$  – počet vystřihovaných součástí [-],  
 $S_v$  – plocha součásti [mm<sup>2</sup>],  
 $S_p$  – plocha polotovaru [mm<sup>2</sup>].

Technologičnost otvorů na výstřižku je posuzována dle jejich velikosti, vzdálenosti a tvaru. Kruhové tvary jsou jednoduché oproti těm nekruhovým, a proto jsou upřednostňovány. Konkrétní tvar a velikost jednotlivých otvorů se odvíjí od zákonitostí, které určují jejich minimální možné hodnoty. Na obr. 18 se nachází schéma, kde jsou uvedeny nejmenší vzdálenosti otvorů mezi sebou a rovněž od kraje plechu. V tab. 5 se nachází některé možnosti pro uspořádání výstřižků obecných tvarů. U každého je uveden typ stříhu a druh stříhaného typu součásti. [32; 38]



Obr. 18 Minimální vzdálenosti otvorů mezi sebou a od okraje [32].

Tab. 5 Různé typy uspořádání výstřižků [38].

Typ stříhu	Druh stříhaného typu součásti	Typ stříhu	Druh stříhaného typu součásti
<p>přímý</p>	součásti pravoúhlých tvarů	<p>přímý</p>	součásti jednoduchých geometrických tvarů
<p>nakloněný</p>	součásti tvaru písmene „L“ nebo jiné složitější tvary (připouštějící mírné vady obrysu)	<p>nakloněný</p>	součásti tvaru písmene „L“ nebo jiné složitější tvary
<p>střídavý</p>	součásti tvaru písmene „T, P“ nebo jiné složitější tvary (připouštějící mírné vady obrysu)	<p>střídavý</p>	součásti tvaru písmene „T, P“ nebo jiné složitější tvary

### 2.1.6 Těžiště střížných sil

Těžiště střížných sil je základem pro správné vyvážení nástroje, tedy aby výslednice sil od všech střížníků působila v ose beranu lisu. Stopka se tedy umísťuje do této výslednice. Jestliže by došlo k umístění stopky mimo výslednici, tak by na beran lisu působil klopný moment, který způsobuje nejen menší přesnost, ale snižuje i životnost nástroje. Určení těžiště je snadné u jednoduchých součástí, jelikož těžiště se nachází v těžišti obvodu. U složitějších součástí lze pro určení těžiště využít metodu grafickou či početní, přičemž dnešní technologie umožňují výpočet těžiště přímo v konstrukčním programu právě za pomoci početní metody. V rámci grafické metody se jednotlivé síly nanášejí v libovolném měřítku z těžiště tvaru střížníků, ovšem úměrně obvodu střížníků. Za pomoci pólového obrazce se následně nalezne výslednice sil. Početní metoda vychází z podmínky pro rovnovážný stav, tedy že součet momentů sil ke zvolené ose se rovná nule. [9; 12; 38; 45; 49]

Výpočet těžiště střížných sil pomocí početní metody je určen následovně:

$$F_Y \cdot Y = F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + F_3 \cdot c + \dots + F_n \cdot z, \quad (2.9)$$

kde:  $F_Y$  – součet dílčích střížných sil [N],  
 $Y$  – vzdálenost výslednice sil od osy x [mm],  
 $a, b, c$  – vzdálenosti sil  $F_1, F_2, F_3$  od osy x [mm].

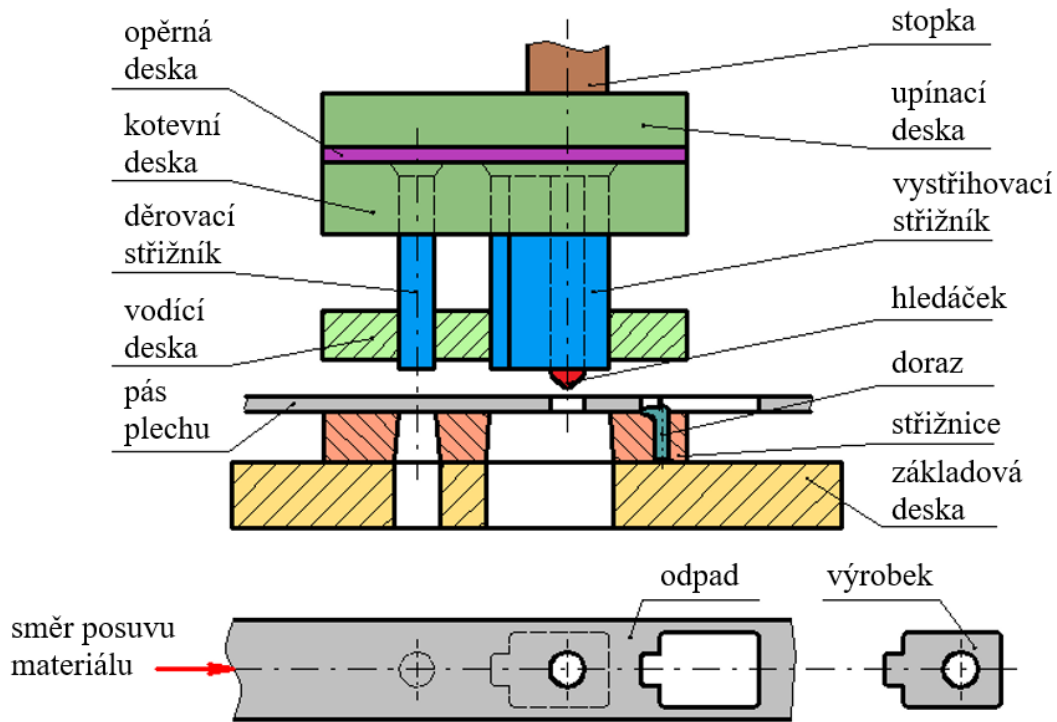
$$X = \frac{F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + F_3 \cdot c + \dots + F_n \cdot z}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n} \quad [\text{mm}]. \quad (2.10)$$

$$Y = \frac{F_1' \cdot a_1 + F_2' \cdot b_1 + F_3' \cdot c_1 + \dots + F_n' \cdot z_1}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n} \quad [\text{mm}], \quad (2.11)$$

kde:  $a_1, b_1, c_1$  – vzdálenosti sil  $F_1', F_2', F_3'$  od osy x [mm],  
 $X$  – vzdálenost výslednice sil od osy y [mm].

### 2.1.7 Střížný nástroj

Střížné nástroje mohou být jednoduché, postupové a postupové sdružené. U jednoduchých je výrobek vyhotoven jedním zdvihem. Avšak to je možné pouze v případě tvarů výstřižku, které jsou jednoduché. Postupové nástroje výrobek zhotovují postupně během více úkonů, které provádí jeden nástroj. Často v prvním kroku probíhá děrování a v druhém kroku potom stříhání součásti, a tímto způsobem se pokračuje ke zhotovení finálního výrobku. Postupové sdružené nástroje jsou navíc rozšířeny o prvky, které umožňují také ohýbání či jiné technologie. To znamená, že slouží k operacím různých typů ve více krocích, kdy dochází ke stříhání, tvarování, ohýbání či tažení. Na obr. 19 se nachází schéma postupového střížného nástroje. [31; 39; 44]



Obr. 19 Postupový střížný nástroj [44].

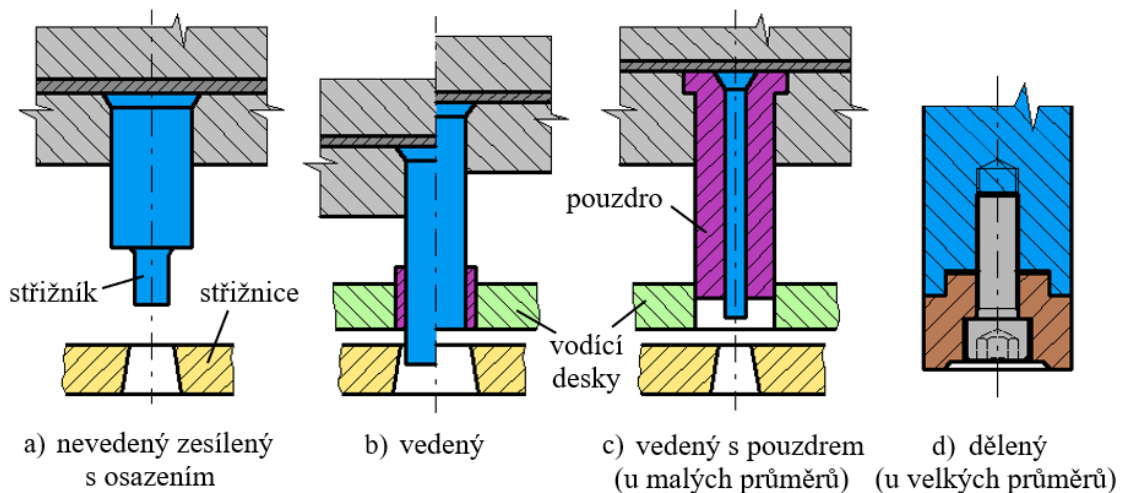
Hlavními funkčními částmi střížného nástroje jsou střížnice a střížník. Střížnicí je nazývána činná část nástroje, která je pevně připevněna k základové desce. Jakmile dojde k opotřebování, tak se hrana střížníku i střížnice zaobluje, což má negativní důsledky, jelikož střížná síla vzrůstá a zhoršuje se kvalita výsledné střížné plochy, a rovněž vzniká na výstřižku otřep. Stejně tak jako u jiných typů nožů, tak i v tomto případě lze toto opotřebení odstranit klasickým přebroušením, což nelze však uplatňovat do nekonečna. Jakmile tedy dosáhne zaoblení hodnoty  $R = 0,1 \cdot s$ , tak musí dojít k nahrazení novým nástrojem. Zkosením čela střížnice je možné snížit střížnou sílu. Střížné otvory mají různá provedení, jejichž základní podoba je uvedena v tab. 6. [9; 12; 43; 46]

Tab. 6 Střížné otvory ve střížnici [46].

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

Střížnice lze dělit dle jejich konstrukce na celistvé, skládané a vložkované. Z jednoho kusu materiálu jsou vyrobeny kalené či nekalené střížnice celistvé, které se užívají pro jednoduché a menší tvary. Při jejich konstrukci by měl být brán ohled na můstky, které vznikají mezi střížnými obvody, aby nedošlo k jejich praskání při tepelném zpracování. Mimo střížné otvory jsou jejich součástí i boční ostříhovače, dorazy a středící a upevňovací elementy. Skládané střížnice slouží pro tvarově složitější a větší výstřižky v sériové či hromadné výrobě. Vyrobeny jsou z několika částí. Střížný obvod se dělí na několik segmentů, které se uchycují do měkkých nekalených desek zalisováním. Velké střížnice se k základové desce uchycují za pomoci šroubů a kolíků. Při tepelném zpracování nevznikají velké deformace, pokud střížná hrana jednoho segmentu nepřesahuje délku 300 mm. Vzhledem k jejich charakteru jsou oproti celistvým střížnicím dražší, ale jejich údržba je snadná a životnost relativně dlouhá. Poslední zmíněnou variantou jsou střížnice vložkované, kde je oproti skládaným střížnicím navíc použita vložka, čímž se markantně zvyšuje životnost nástroje. K vložkování se přistupuje především u menších nástrojů. Vložky jsou užívány kalené nebo ze slinutých karbidů, a to nejčastěji u velkých sérií nebo pro velmi tvrdé materiály. Zajišťují se zalisováním, aby nevypadly. V případě, že se na nich nachází i nekruhový funkční otvor, tak musí být zajištěn proti pootočení, k čemuž slouží nejčastěji drážky, pera a kolíky. Jestliže dochází k časté výměně vložky, tak je vhodné uchycení kuličkou nebo šroubem. Vložka většinou přechází 3 ÷ 5 mm nad objímkou, aby bylo možné broušení. [9; 12; 27; 46]

Střížníkem je nazýván horní střížný nástroj, který je protikusem střížnice. Může být vedený, nevedený a zesílený. U vedených střížníků vodícími deskami či pouzdem hrozí menší riziko zlomení důsledkem vyosení, jelikož vedení snižuje volnou délku střížníku. Střížníky bez vedení bývají konstruovány jako válcové, případně mohou být osazené v činné části. Velké střížníky, respektive střížníky velkých průměrů nad 50 mm, bývají dvoudílné neboli dělené. Jejich střížnou část tvoří nástrojová ocel a nosnou část ocel konstrukční. U menších průměrů střížníků pod 5 mm se u stříhání tvrdých materiálů užívá zesílené vedení. Různé typy střížníků jsou zobrazeny na obr. 20. [9; 12; 44; 46]



Obr. 20 Různé typy střížníků [46].

Dále se střížníky mohou dělit dle technologického hlediska na odstříhovací a přistříhovací, odstříhovače, vystříhovací a prostříhovací. Odstříhovací a přistříhovací střížníky se užívají k odstříhování nadbytečného materiálu (odpadu) na obvodu, případně pro oddělování výstřižků z kusu plechu při poslední operaci. Odstříhovače mají pouze funkci technologickou, jelikož slouží k určení velikosti kroku nebo pro zjištění šířky výstřižku při velké toleranci šířky materiálu. Používají se dva nebo se vyrábí jako jednostranné. Vystříhovací a prostříhovací střížníky mají za úkol vystříhování (děrování) obrysů do materiálu. [12]

Do kotevní desky se ukotvují mnoha způsoby a vždy záleží na technologii výroby, velikosti střížníku a jeho tvarové složitosti či použitém materiálu polotovaru. Upevnění je v tomto případě velmi důležité, jelikož se klade vysoký důraz na kolmost a tuhost střížníku, ale rovněž se kvalitním upevněním eliminuje účinek bočních a stíracích sil. Jednoduché upnutí je za kuželovou plochu, která se vytvoří při třískovém obrábění nebo rozkýtováním horní části střížníku. K dalším způsobům patří upevnění ke kotevní desce za pomoci šroubů, klínů, upínkou nebo zalitím pryskyřicí přibližně  $2 \div 4$  mm, což je vhodné především u tvarově složitých střížníků, jelikož tento typ ukotvení patří k těm velmi jednoduchým. Tyto varianty jsou vhodné spíše pro velké střížníky. U menších střížníků postačí uchycení kuličkou (viz obr. 22), kolíkem či pojišťovacím šroubem. Kotevní deska pro střížníky s jištěním na kuličku je zobrazena na obr. 21. Břit (čelo) bývá umístěno kolmo k ose střížníku a upravuje se tak, aby se snížila potřebná třecí síla, zamezilo se přilepení výstřižku nebo se zajistilo lepší vedení střížníku. U velkých průměrů se používají vyčnívající šrouby na čele nebo odtlačovací kolíky. Konkrétně pro snížení střížné síly a zamezení klouzání střížníku po daném materiálu se čelo upravuje pomocí zkosení při děrování, anebo zkosením střížnice při vystřihování. Rovněž lze střížnou sílu snížit užitím různé délky střížníků. [9; 12; 27; 46]



Obr. 21 Kotevní deska [45].



Obr. 22 Střížník uchycený kuličkou [45].

## 2.2 Technologie ohýbání

Proces, kdy dochází k trvalé deformaci materiálu do různého úhlu ohybu s různou mírou zaoblení hran, je nazýván ohýbáním. Při tomto procesu dochází k trvalé změně tvaru materiálu (polotovaru) vlivem působení ohybového momentu od ohybové síly. Jedná se o plošné tváření, jelikož nedochází k markantní změně průřezu. Pro samotné ohnutí materiálu se používají ohýbadla, která se skládají z ohybníku a ohybnice. Výrobek je výlisek ohybek. Při ohýbání materiálu do požadovaného tvaru platí stejné zákony plasticity jako u ostatních způsobů tváření. To znamená, že při překročení konkrétní meze kluzu je dosaženo oblasti plastické deformace, kterou doprovází deformace elastická. Tvary vzniklé ohýbáním jsou rozvinutelné. U většiny materiálů se používá ohýbání zastudena, ale u křehkých nebo tvrdých materiálů se přistupuje i k ohýbání zatepla. [17; 31; 32; 35; 40]

Ohýbání lze rozdělit na několik typů. Při ohraňování je plech ohýbán v jednoúčelových ohraňovacích lisech, kdy nástroj se nazývá ohraňovadlo. Během prostého ohýbání dochází k tváření rovinné plochy v plochy různě vůči sobě orientované, a to na lisech s přidržením nebo bez přidržení. Zde se nástroj nazývá ohýbadlo. Rovnání spočívá v dostatečném vyrovnání profilů, trubek či plechů a provádí se v rovnadlech mezi rovnými či rýhovanými čelistmi nebo mezi rovnacími válci, kdy nástrojem je rovnadlo. Během obrubování jsou vystužovány okraje prostorové nebo rovinné plochy, aby se zvýšila jakost okraje. U tohoto procesu se nástroj nazývá obrubovadlo. Lemování je myšleno ohýbání prostorové nebo rovinné plochy, aby byl získán lepší vzhled, odstraněny ostré hrany a vystuženy okraje. Použitý nástroj je nazýván lemovadlo. Osazování či prosazování spočívá v ohnutí plechu promáčknutím uvnitř nebo na okraji rovinné plochy nástrojem zvaným osazovadlo. Při zkrucování je profilový nebo plochý polotovar natáčen vzhledem k sousední části kolem společné osy o konkrétně stanovený úhel

za pomoci nástroje zvaným zkrucovadlo. Drápkování spočívá v pevném spojení předehtnutých okrajů tím, že do sebe navzájem zaklesnou a následně se společně ohnou. Při tomto procesu je nástrojem drápkovadlo. Dále je možné ohýbání dělit dle užití vnějších sil potřebných pro vyvolání pohybu, a to na ohyb lokální silou nebo pomocí vnějších momentů. Ohyb lokální silou může být proveden ohybem přes hranu, a to nabalováním nebo ohybem v zápustce. Ohýbání v praxi na ohraňovacím lisu je zobrazeno na obr. 23. Příklad lemovacího stroje, který umožňuje lemování se nachází na obr. 24. [17; 31; 32]



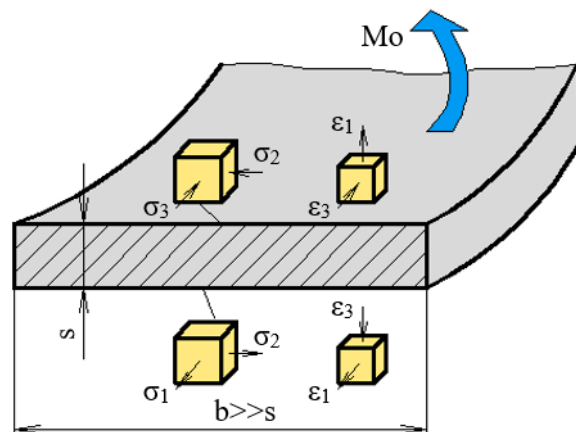
Obr. 23 Proces ohýbání [48].



Obr. 24 Lemovací stroj [33].

### 2.2.1 Rozbor stavu napjatosti

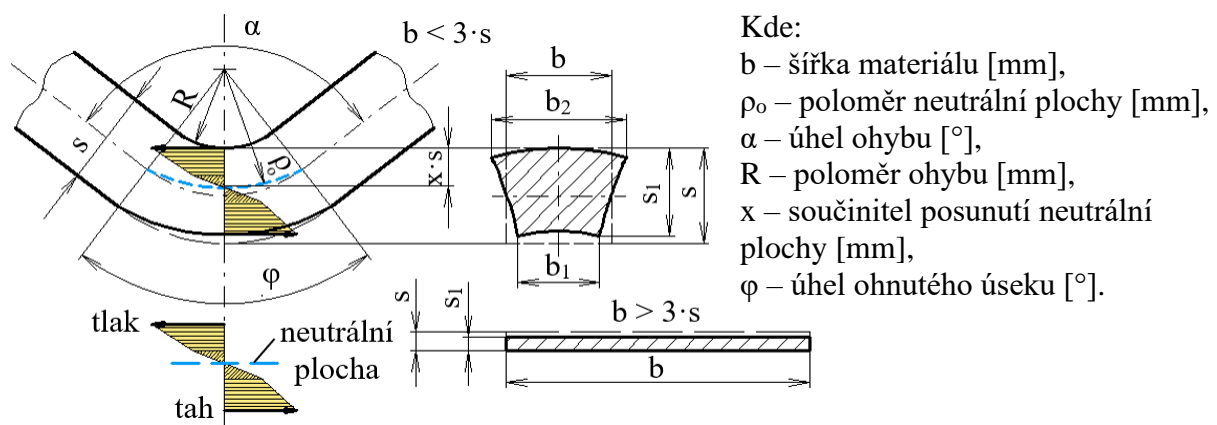
Během procesu ohýbání působí v místě ohybu prostorová napjatosti a rovinná deformace, a proto v místě ohybu vzniká tečné napětí, které mění polaritu napříč tloušťkou materiálu, a radiální napětí působící ve směru ohýbací čelisti. Při ohýbání vzniká nejprve pružná deformace. Jakmile je překročena mez kluzu v krajních vláknech, tak vzniká plastické přetvoření. Pokud narůstá ohybový moment, tak narůstá i hloubka plastického přetvoření. V krajních vláknech na vnitřní straně vzniká jednoosý tlak a na vnější straně zase jednoosý tah. Při těchto podmínkách vzniká trojosý stav přetvoření. Velmi důležitý je fakt, že během ohýbání především úzkých pásů, se šířka pásu zmenšuje na vnější straně a zvětšuje na vnitřní straně ohybu. V případě širokých pásů k příčnému přetvoření nedochází. Z toho vyplývá, že vzniká rovinný stav přetvoření. Napjatost a deformace během ohýbání širokých pásů se nachází na obr. 25. Z obrázku je zřejmé, že k deformaci v příčném směru nedochází, jelikož  $\epsilon_2 = 0$ . Pokud jde o rovinný stav deformace, tak  $\epsilon_1 = -\epsilon_3$  na tahové straně a  $-\epsilon_1 = \epsilon_3$  na straně tlakové, což potvrzuje, že v krajních vláknech působí rovinná napjatost. [8; 24; 31; 41]



Obr. 25 Deformace a napjatost během ohýbání širokých pásů [31].

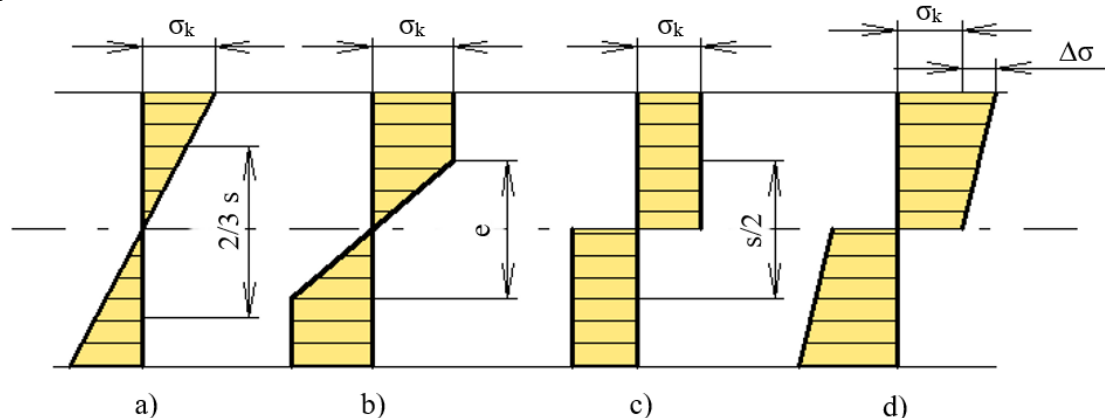
## 2.2.2 Proces ohýbání

Během tohoto procesu dochází k tlačení ohybníku na materiál ohybovou silou. Překročením meze kluzu ohýbaného polotovaru vzniká plasticko-pružná deformace. Při ohýbání jsou vrstvy užitého materiálu na vnější straně roztahovány a zkracovány v podélném směru a v příčném směru stlačovány. Ovšem na vnitřní straně ohybu v podélném směru jsou stlačovány, a naopak v příčném směru zkracovány a roztahovány. Neutrální plocha se nachází ve střední části průřezu materiálu, jelikož je zde nízké napětí, a proto nedochází k deformaci. Podle této plochy se určuje délka výchozího polotovaru ještě před samotným ohybem. Jakmile je proces ohýbání zahájen, tak se neutrální plocha posouvá směrem k vnitřní straně ohybu. Deformace je odlišná u úzkých plechů, kdy šířka polotovaru je menší než trojnásobek tloušťky, a u širokých plechů, přičemž šířka polotovaru je větší než trojnásobek tloušťky. U úzkých plechů dochází k deformaci průřezu. V případě širokých plechů se zeslabuje tloušťka v místě ohybu, ale plocha průřezu se v tomto místě v podstatě nedeformuje. Na obr. 26 se nachází průběh napětí během ohýbání, kde je zobrazen i posun neutrální plochy. [9; 14; 31; 34; 47]



Obr. 26 Průběh napětí během ohýbání [34].

Na obr. 27 se nachází několik typů deformací během ohýbání. Konkrétně na obr. 27a jde o pružnou deformaci. K té dochází v případě, dokud napětí materiálu nepřesáhne hodnotu  $\sigma_k$ . Jakmile je hodnota  $\sigma_k$  přesažena, jelikož se stále zvyšuje ohybový moment, tak vznikají plastické deformace ve vnějších vláknech, což je zobrazeno na obr. 27b. Uvnitř průřezu se nachází pásmo  $e$ , kde není překročena hodnota  $\sigma_k$ , ale jak se zvětšuje ohybový moment, tak se toto pásmo zmenšuje do doby, než dosáhne nuly. Tímto pružné pásmo zaniká a napětí se nemění, jak je zobrazeno na obr. 27c. Poslední situace je zobrazena na obr. 27d, kde jde o zpevnění materiálu, tedy velikost napětí se zvětší o  $\Delta\sigma$ . [9; 10; 19]



Obr. 27 Různé typy deformací během ohýbání [10].

Neutrální vrstva je důležitá při návrhu polotovaru ohýbané součásti. Jak již bylo zmíněno, vzniká ve střední části průřezu materiálu mezi natahovanými a stlačovanými vrstvami daného materiálu. Během ohýbání zůstává konstantní, tedy není stlačena ani natažena. U menších poloměrů ohybu je tato vrstva posunuta k vnitřnímu poloměru ohybu, a to kvůli deformaci tvaru příčného průřezu a ztenčení materiálu. U velkých poloměrů ohybu se nachází neutrální vrstva ve středu tloušťky. Z toho vyplývá, že poloha neutrální vrstvy je závislá na relativním poloměru ohybu a na součiniteli posunutí neutrální osy  $x$ . Hodnoty součinitele  $x$  se nachází v tab. 7. [9; 14; 31; 34]

Tab. 7 Hodnoty součinitele  $x$  [31].

R/s	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,5	2	3	4	nad 5
x	0,23	0,29	0,32	0,35	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,5

Určení poloměru neutrální vrstvy u velkého poloměru ohybu, kde  $\frac{R}{s} \geq 12$  [9; 34]:

$$\rho_0 = R + \frac{s}{2} \text{ [mm]}. \quad (2.12)$$

Určení poloměru neutrální vrstvy u malého poloměru ohybu [9; 34]:

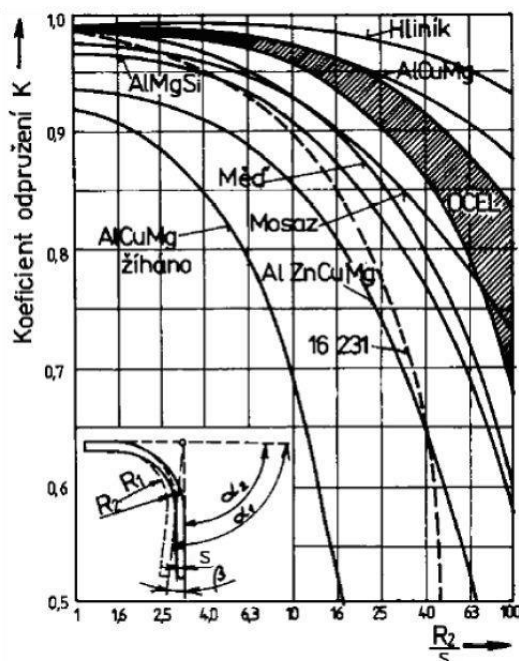
$$\rho_0 = R + x \cdot s \text{ [mm]}. \quad (2.13)$$

### 2.2.3 Odpružení při ohybu

K odpružení dochází po skončení procesu ohýbání za studena a následného odtížení, a to v důsledku pružných deformací, které jsou vratné. To znamená, že výsledný tvar polotovaru a tvar užitého nástroje ve výsledku nesouhlasí. Proto musí být odpružení při konstrukci nástroje vzato v potaz, aby bylo odpružení kompenzováno. Konkrétní velikost odpružení závisí na úhlu  $\alpha$ , mechanických vlastnostech materiálu, na poměru  $R/s$  a na konstrukci nástroje (ohýbadla). Velikost úhlu odpružení je samozřejmě možné stanovit výpočtem, ale rovněž lze použít tabulky či diagramy vycházející z praktických zkoušek. Hodnoty odpružení pro ocel, mosaz a hliník zobrazuje tab. 8. Diagram se nachází na obr. 28. [8; 9; 24; 31]

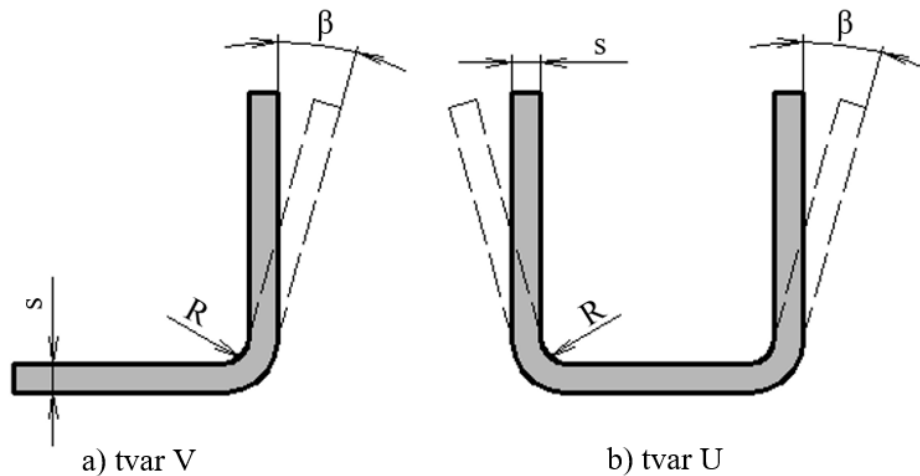
Tab. 8 Hodnoty odpružení pro vybrané materiály [31].

Druh materiálu	R/s 0,8 ÷ 2	R/s > 2
Ocel $R_m = 320$ MPa	1°	3°
Ocel $R_m = 320 \div 400$ MPa	3°	5°
Ocel $R_m = 400$ MPa	5°	7°
Mosaz měkká (tvrdá)	1° (3°)	3° (5°)
Hliník	1°	3°



Obr. 28 Diagram pro stanovení koeficientu odpružení  $k$  [24].

Odpružení závisí na konkrétním tvaru a projevuje se jako úhlová odchylka  $\beta$ . Názorné zobrazení odpružení při ohybu do tvaru V a U se nachází na obr. 29. Vzhledem k odlišnostem, které provází odpružení při ohybu do tvaru V a U, jsou pro výpočet úhlu odpružení stanoveny rozdílné výpočtové vztahy. [34]



Obr. 29 Odpružení při ohybu s úhlovou odchylkou  $\beta$  [34].

Pro výpočet úhlu odpružení pro tvar U, který se nachází vlevo na obr. 30, platí následující vztah [19]:

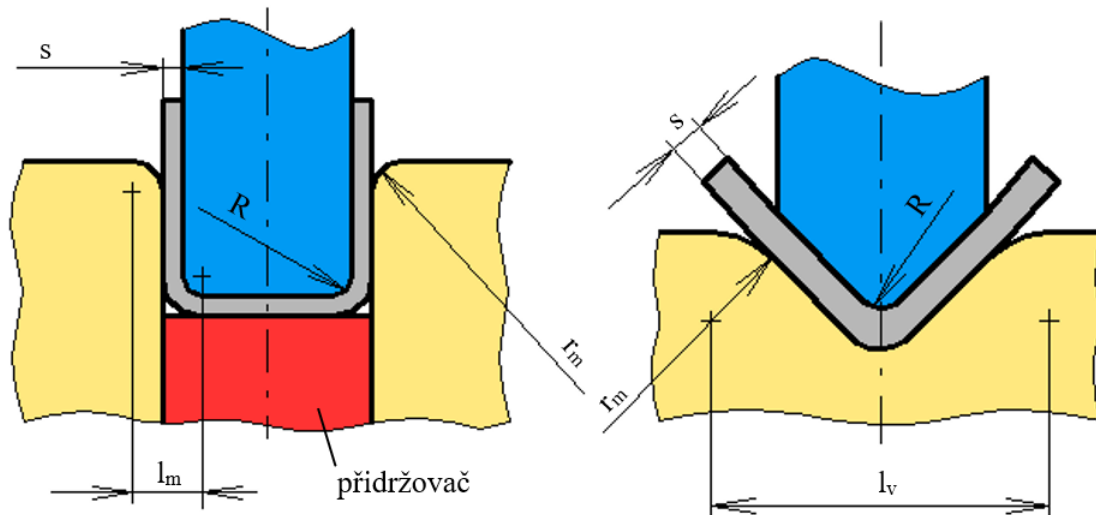
$$\operatorname{tg} \beta_U = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k_0 \cdot s} \cdot \frac{\sigma_k}{E} [^\circ], \quad (2.14)$$

kde:  $\beta_U$  – úhel odpružení pro tvar U [°],  
 $l_m$  – rameno ohybu, určí se  $r_m + r_p + 1,2 \cdot s$  [mm],  
 $k_0$  – součinitel úhlu odpružení [-],  
 $\sigma_k$  – mez kluzu materiálu [MPa],  
 $E$  – modul pružnosti v tahu [MPa],  
 $r_m$  – poloměr zaoblení pevné čelisti, určí se  $(2 \div 6) \cdot s$  [mm],  
 $r_p$  – poloměr zaoblení pohyblivé části [mm].

Pro výpočet úhlu odpružení pro tvar V, který se nachází vpravo na obr. 30, platí následující vztah [19]:

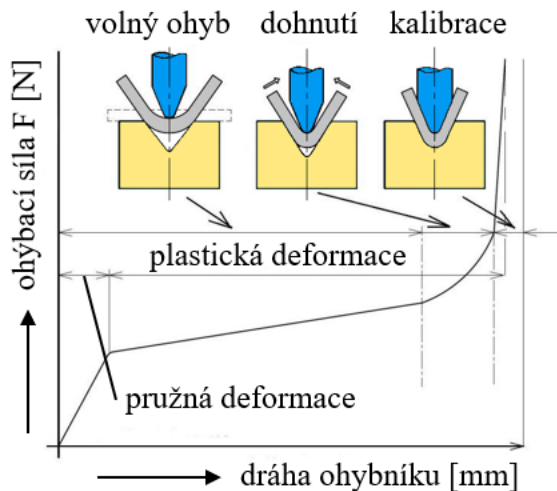
$$\operatorname{tg} \beta_V = 0,375 \cdot \frac{l_v}{k_0 \cdot s} \cdot \frac{\sigma_k}{E} [^\circ], \quad (2.15)$$

kde:  $l_v$  – vzdálenost mezi opěrami [mm],  
 $\beta_V$  – úhel odpružení pro tvar V [°].

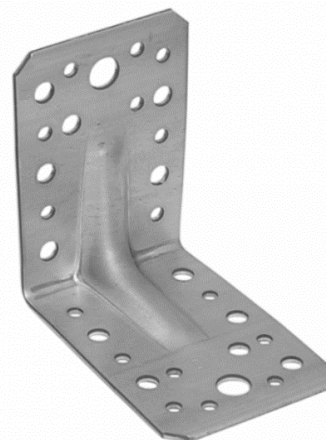


Obr. 30 Schéma ohybu do tvaru U a V [34].

Odpružení při ohybu je sice nežádoucí, jelikož mění rozměr ohýbaného polotovaru, ale jde o běžný původní jev tohoto procesu, který lze eliminovat, respektive redukovat několika způsoby. Prvním z nich je kalibrace. Jedná se o technologický postup, kdy dochází ke zpevnění materiálu v důsledku zvýšení měrného tlaku v závěrečné fázi procesu ohýbání, většinou jde o přibližně 30 %. Tím hodnota odpružení zcela vymizí nebo se sníží. Průběh ohýbací síly od volného ohybu až po kalibraci je zobrazen na obr. 31. [9; 31; 46]

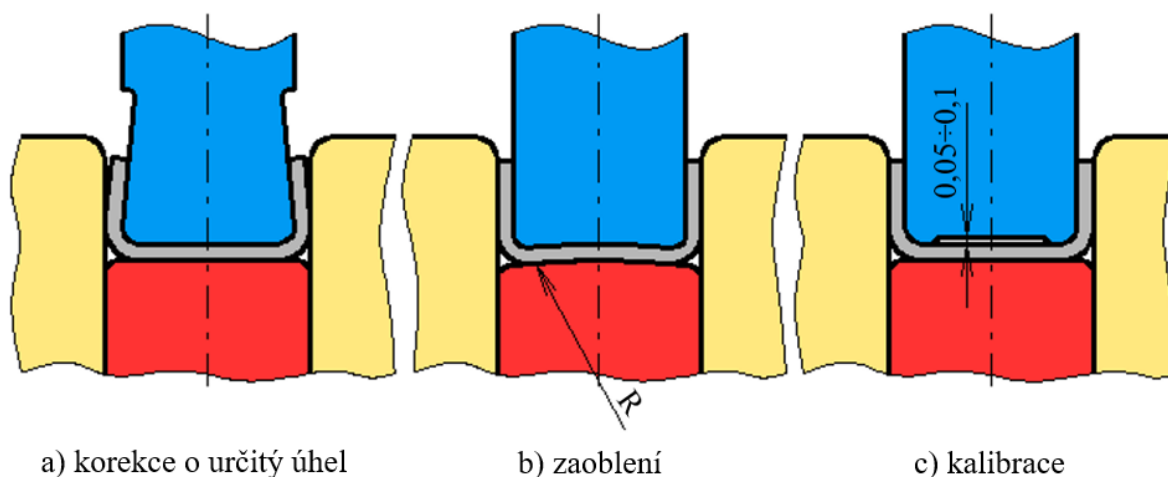


Obr. 31 Průběh ohýbací síly od volného ohybu až po kalibraci [31].



Obr. 32 Úhelník s prolisem [20].

Druhým způsobem k eliminaci odpružení je vytvoření prolisu na daném polotovaru nebo finálním výrobku. Tento výlisek zajistí v podstatě skoro nulové odpružení. Výrobek s prolisem, konkrétně úhelník, se nachází na obr. 32. Třetí způsob spočívá v konstrukčních úpravách, kterých existuje celá řada. Na obr. 33 se nachází tři možnosti úprav. Nejprve obr. 33a zobrazuje potřebu provedení korekce o určitý úhel. Jde o nejjednodušší způsob, kdy při znalosti úhlu odpružení lze zvětšit ohyb o právě tuto hodnotu. To znamená, že ohyb se provede nejen na požadovaný úhel ohnutí, ale navíc o předpokládaný úhel odpružení. Obr. 33b zobrazuje možnost zaoblení dolní strany pohyblivé čelisti a také přidržovače. Na obr. 33c se nachází varianta zpevnění materiálu v rozích za pomoci kalibrace oblasti ohybu. [9; 24; 31; 46]



a) korekce o určitý úhel

b) zaoblení

c) kalibrace

Obr. 33 Snížení úhlu odpružení za pomoci konstrukčních úprav [31].

## 2.2.4 Výchozí délka polotovaru

Celkovou délku polotovaru ještě před ohýbáním lze určit součtem všech délek oblouků ohybů a délek rovných úseků finálního výrobku. Délku oblouku ohybu je možné vypočítat za pomoci délky oblouku neutrální plochy, která závisí na úhlu ohnutého úseku a poloměru neutrální plochy. Pro délku oblouku ohybu (ohnutého úseku) platí následující vztah, přičemž pro lepší představu slouží schéma na obr. 34: [14; 18; 34]

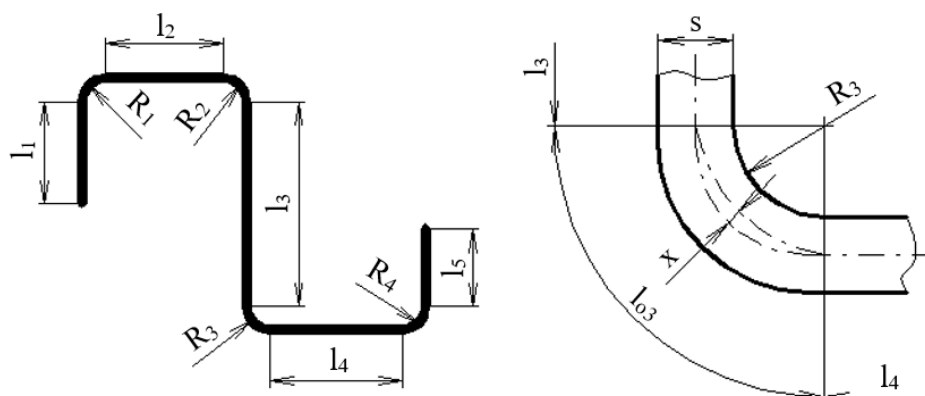
$$l_0 = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot (R + x \cdot s) \text{ [mm]}. \quad (2.16)$$

Platí, že úhel ohnutého úseku  $\varphi$  je roven úhlu ohybu  $\alpha$ , pokud se  $\varphi$  rovná  $90^\circ$ . Jestliže tomu tak není, tak platí:

$$\varphi = 180 - \alpha \text{ [}^\circ\text{]}. \quad (2.17)$$

Celkovou konečnou délku lze vypočítat jednoduše jako součet všech ohnutých i přímých úseků:

$$L_c = l_1 + l_{01} + l_2 + l_{02} + \dots + l_n \text{ [mm]}. \quad (2.18)$$



Obr. 34 Ohnutý polotovar [18].

## 2.2.5 Parametry technologičnosti

Proces ohýbání může z technologického hlediska provázet řada problémů, jako jsou nejčastěji prasknutí vlivem překročení kritického poměru a zpevňování materiálu. Rovněž může dojít ke zvlnění tenkých stěn, které se odstraňuje bočním přitlačení materiálu na nástroj nebo přidavnou tahovou silou. Proto je velmi důležité zajistit, aby nebyl překročen minimální

a maximální poloměr ohybu. Minimální, tedy nejmenší dovolený, poloměr ohybu představuje minimální vnitřní poloměr ohybu, kdy ještě nedochází k porušení ohýbaného materiálu. Jestliže by však došlo k jeho překročení, tak by na vnější straně vzniklo porušení v krajních vláknech. Závisí na konkrétním druhu materiálu, jeho tloušťce a plastičnosti, ale také na způsobu ohýbání a kvalitě povrchu. Hodnoty součinitele  $c$  různých druhů materiálů jsou zobrazeny v tab. 9. Výpočet je následující: [17; 18; 23; 24; 47]

$$R_{\min} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_{t\max}} - 1 \right) = c \cdot s \text{ [mm]}, \quad (2.19)$$

kde:  $R_{\min}$  – minimální poloměr ohybu [mm],  
 $\varepsilon_{t\max}$  – poměrná deformace [-],  
 $c$  – součinitel [-].

Tab. 9 Součinitel  $c$  u různých materiálů [23].

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

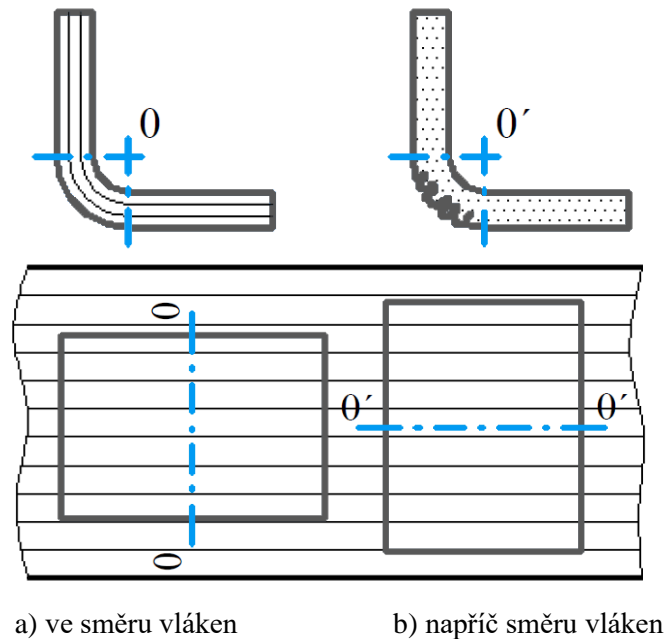
Maximální, tedy největší možný, poloměr ohybu je takový poloměr, při jehož dosažení dochází v krajních vláknech na tahové straně k trvalé plastické deformaci. Aby došlo v krajních vláknech k této deformaci neboli překročení meze kluzu materiálu, tak musí být poloměr ohybu dostatečně velký. Při příliš velkém poloměru ohybu by se po odlehčení polotovaru narovnal zase zpět, jelikož by došlo ke zpětnému odpružení na výchozí hodnotu. Vztah pro výpočet vypadá takto: [17; 18; 23; 24; 47]

$$R_{\max} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{E}{\sigma_k} - 1 \right) \text{ [mm]}, \quad (2.20)$$

kde:  $R_{\max}$  – maximální poloměr ohybu [mm].

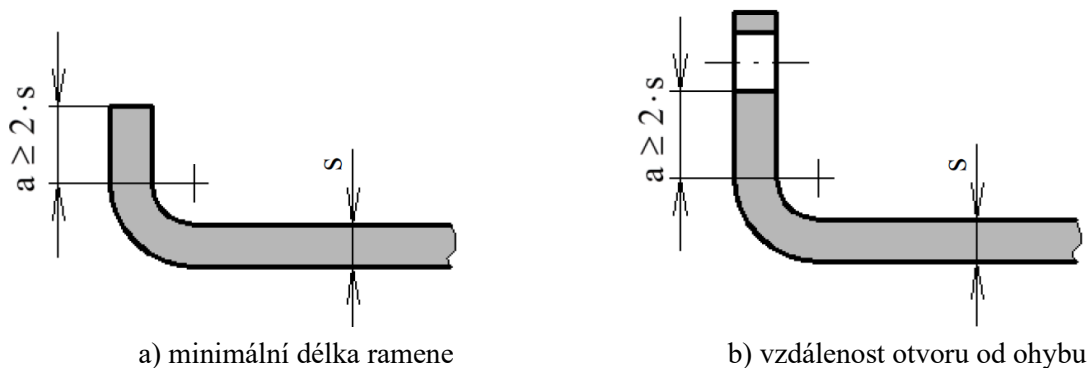
Dalším činitelem, který může výrazně ovlivnit proces ohýbání, je ohýbací vůle. Na její velikosti je závislý celý průběh a výsledek procesu. Zasahuje také do celkové velikosti ohýbací síly včetně úhlu odpružení. Ohýbací vůle je uvnitř nástroje vymezena prostřednictvím jednostranné mezery mezi ohybníkem a ohybnicí. U ohybu do tvaru V je používána velikost ohýbací vůle, která odpovídá tloušťce materiálu, tedy  $v_o = s$ . Naopak v případě ohybu do tvaru U nabývá ohýbací vůle větších hodnot, a to konkrétně  $v_o = (1,05 \div 1,15) \cdot s$  pro ocel a  $v_o = (1 \div 1,1) \cdot s$  u barevných kovů. [18; 23; 24]

Aby se zamezilo případným trhlinám ohýbané součásti, je nutno zohlednit také směr vláken použitého materiálu, který je jedním z rozhodujících faktorů. Ideálně by měla osa ohybu být kolmá na směr vláken (obr. 35a), čímž se zamezí nežádoucímu vzniku trhlin. V opačném případě, kdy je osa ohybu rovnoběžná se směrem vláken (obr. 35b), u většiny výlisků dojde k vytvoření trhlin na vnější straně ohybu. [19; 23; 31]



Obr. 35 Vliv směru vláken na ohýbání [31].

Mezi další parametr technologičnosti u ohýbaných součástí patří minimální délka ramene, která je ještě vyrobitelná pouze pomocí ohybu (obr. 36a). V případě, že je požadavek na výrobu menšího ramene než lze zhotovit, dochází nejdříve k ohnutí ramene a následně k odštíření přebytečného materiálu. Pokud se v blízké oblasti ohybu nachází otvory, i zde je předepsána minimální vzdálenost otvorů od ohybu, aby nedošlo k jejich deformaci. Tato vzdálenost musí být větší nebo rovna dvojnásobku tloušťky plechu, jak zobrazuje obr. 36b. [9; 19; 24]



Obr. 36 Další parametry technologičnosti [9].

### 2.2.6 Ohýbací síla a práce

Uskutečnění ohybu je podmíněné působením ohýbací síly, jelikož velikost se odvíjí od úhlu a způsobu ohybu, mechanických vlastností materiálu a rozměrech daného polotovaru. Stejně tak jako tomu bylo v případě výpočtu odpružení, tak i zde budou uvedeny vztahy pro výpočet ohýbací síly a práce, a to pro tvar ohybu V a U. Schéma ohybu těchto tvarů se nachází na obr. 37. [9; 21; 24; 32]

Pro ohyb do tvaru V platí [24]:

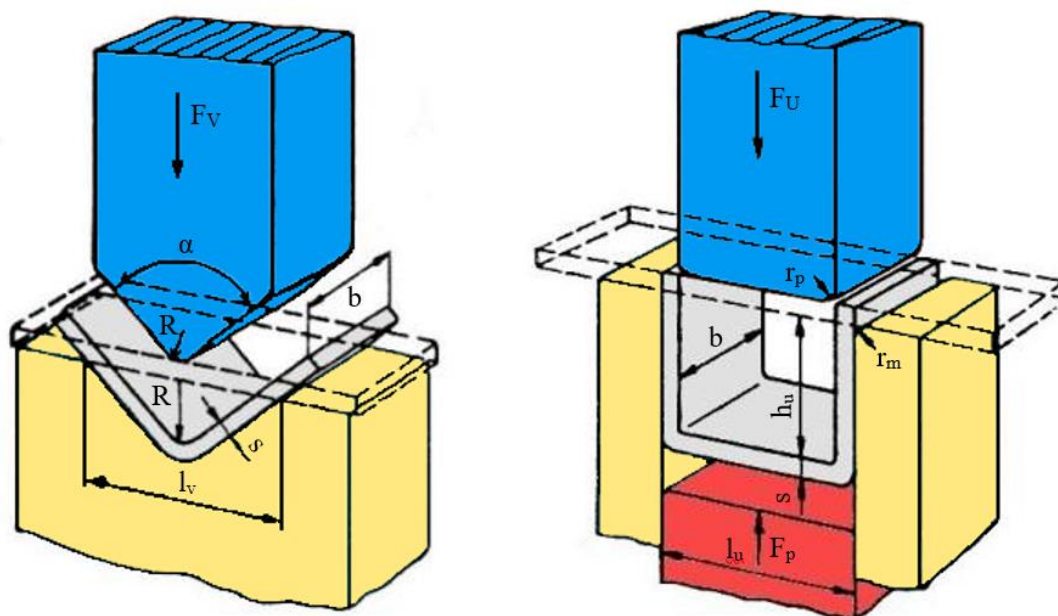
$$F_V = \frac{b \cdot s^2 \cdot \sigma_k}{2 \cdot R} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad [\text{N}], \quad (2.21)$$

kde:  $F_V$  – ohýbací síla pro ohyb do tvaru V [N].

Pro ohyb do tvaru U platí [24]:

$$F_U = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot b \cdot s^2}{l_m} \text{ [N]}, \quad (2.22)$$

kde:  $F_U$  – ohýbací síla pro ohyb do tvaru U [N],  
 $R_m$  – mez pevnosti v tahu [MPa].



Obr. 37 Schéma ohybu do tvaru V a U [32].

Pro ohýbací sílu jsou podstatné ještě další silové složky, přičemž nejvýraznější vliv má kalibrační síla. Během procesu ohýbání s kalibrací dochází k prudkému nárůstu ohýbací síly v závěrečné fázi, jelikož kalibrační tlaky jsou velmi vysoké. Proto se navyšuje vypočítaná síla až o 200 %. Rovněž je třeba počítat s tím, že pokud jde o ohýbadlo s přidržovačem, tak musí být překonána i jeho síla. Samotné přidržovače se využívají hlavně při ohybech ve tvaru U, protože brání nežádoucímu prohnutí výlisku. Právě riziko prohnutí je vyšší u ohýbání do tvaru U, než do tvaru V. Jestliže budou tyto další silové složky brány v potaz, tak bude celková ohýbací síla dána jejich součtem. Související vztahy jsou uvedeny níže. [9; 21; 24; 32]

Kalibrační síla pro ohyb do tvaru V se vypočítá ze vztahu:

$$F_{KV} = S \cdot p \text{ [N]}, \quad (2.23)$$

kde:  $F_{KV}$  – kalibrační síla pro V ohyb [N],  
 $S$  – vyrovnávaná plocha [mm<sup>2</sup>],  
 $p$  – měrný tlak [MPa].

Jestliže je polotovár ohýbáný do tvaru U také kalibrován, tak je počítáno s celkovou silou:

$$F_{CU} = 3 \cdot (F_U + F_P) \text{ [N]}, \quad (2.24)$$

kde:  $F_{CU}$  – celková síla včetně kalibrace pro U ohyb [N],  
 $F_P$  – síla přidržovače [N].

Pokud je polotovár ohýbáný společně s užitím přidržovače, tak se ohýbací síla zvýší o sílu přidržovače:

$$F_P = (0,25 \div 0,30) \cdot F_U \text{ [N]}. \quad (2.25)$$

Stejně jako síla, tak i práce závisí na tvaru ohybu. Pro ohyb do tvaru V včetně kalibrace je vztah pro výpočet požadované práce tento:

$$A_V = m \cdot F_V \cdot h_V \text{ [J]}, \quad (2.26)$$

kde:  $A_V$  – ohýbací práce pro ohyb do tvaru V [J],  
 $m$  – koeficient zaplnění diagramu ( $m = 0,33$ ) [-],  
 $h_V$  – pracovní zdvih [m].

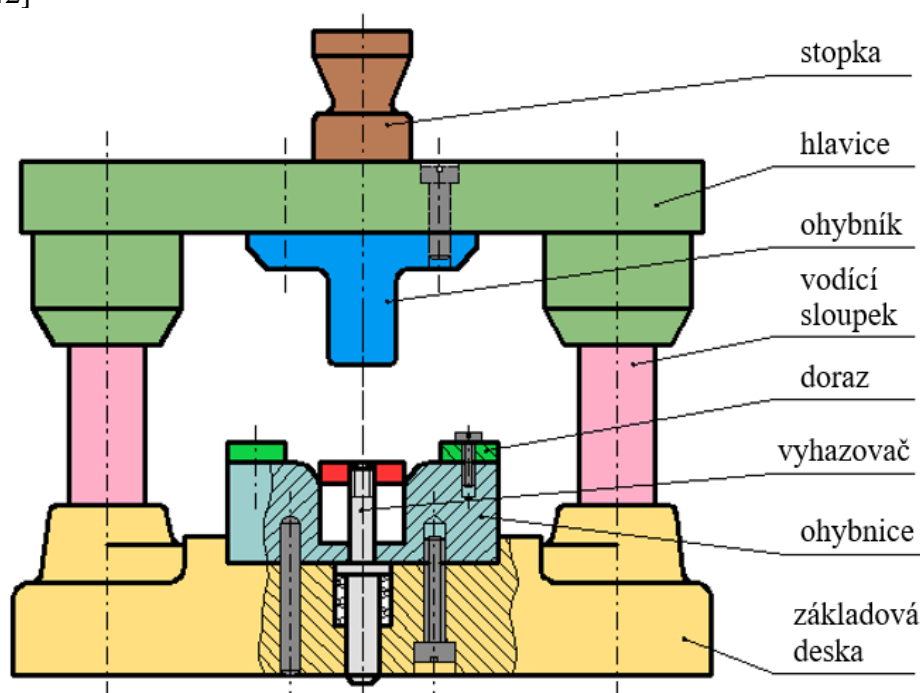
Pro ohyb do tvaru U lze vypočítat požadovanou práci následujícím způsobem:

$$A_U = m \cdot (F_U + F_P) \cdot h_U \text{ [J]}, \quad (2.27)$$

kde:  $A_U$  – ohýbací práce pro ohyb do tvaru U [J],  
 $m$  – koeficient zaplnění diagramu ( $m = 0,67$ ) [-],  
 $h_U$  – pracovní zdvih [m].

### 2.2.7 Ohýbací nástroj

Ohýbací nástroje mají relativně podobnou konstrukci jako ty střížné. Podle technologie a způsobu ohýbání se dělí na ty, které jsou určeny pro ohýbání do tvaru U, a dále na ty, jejichž konstrukce je určena pro ohyb do tvaru V. Vždy ale k samotnému ohýbání materiálu (polotovaru) dochází mezi dvěma částmi nástroje. Konkrétně jde o pohyblivou čelist, tedy ohybník, a pevnou čelist neboli ohybnice. Ohýbací nástroj, který je určen pro ohyb do tvaru U, s vedením a popisem jeho jednotlivých částí se nachází na obr. 38. Nástroj se tedy skládá ze stopky, hlavice, ohybníku, vodících sloupků, dorazů, vyhazovače, ohybnice a základové desky. [9; 31; 32; 42]



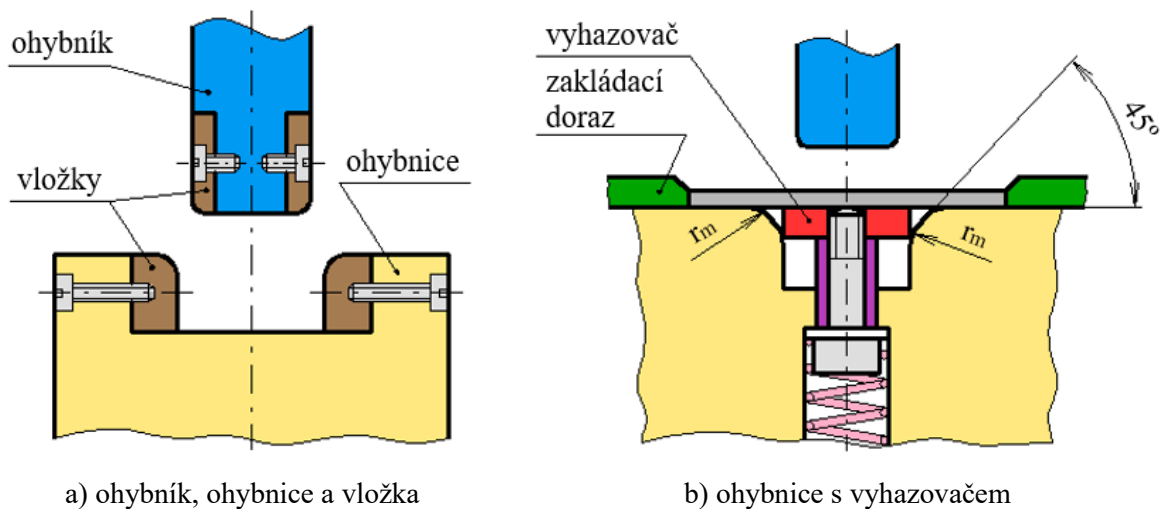
Obr. 38 Ohýbací nástroj s vedením [31].

Horní pohyblivý nástroj je nazýván ohybníkem a představuje protilehlou část ohybnice. Jeho šířka nesmí být menší, než je šířka materiálu či polotovaru, který je ohýbán. Minimálně může být stejná. Ohybníky mohou být celistvé s kalenými a leštěnými ohýbacími hranami či dělené, pro něž se užívají vložky ze slinutých karbidů nebo kalené vložky, tak jako tomu je u střížníků. Pro konstrukci ohybníků je nejčastěji volena nástrojová ocel pro práci za studena s označením 19 436 nebo 19 312, která je tepelně zpracována kalením a popouštěním na HRC 58 až 59.

Drsnost činných ploch se pohybuje v rozmezí  $Ra = 0,4$  až  $0,8 \mu\text{m}$ . Na obr. 39a je zobrazeno schéma ohybníku, ohybnice a vložky. Pro velkosériovou výrobu a přesné nástroje se používá sloupkové vedení. Speciálním typem ohybníků jsou boční ohýbací klíny. Při ohýbání působí na ohýbaný materiál kolmo na směr pohybu beranu. Ohybník bývá opatřen stopkou, která je zajištěna proti pootočení. U malých nástrojů může stopka s ohybníkem tvořit jeden kus. Většinou je poloměr zaoblení ohybníku  $r_p$  stejný jako poloměr ohybu ohýbané součásti. [12; 31; 32; 42]

Spodní částí ohýbacího nástroje je ohybnice, která bývá upevněna na základové desce. Z hlediska konstrukce může být skládaná nebo celistvá a rovněž mohou být její součásti přidržovače či vyhadzovače, jak je zobrazeno na obr. 39b. Pokud jde o materiál, tak je pro konstrukci většinou volena nástrojová ocel s označením 19 436 či 19 312, která je kalena a následně popuštěna na HRC 60 až 61. Činné plochy se opracovávají na drsnost povrchu  $Ra = 0,4$  až  $0,8 \mu\text{m}$ . Zaoblení ohybnice  $r_m$  ovlivňuje jakost ohybu a velikost ohýbací síly. Zaoblení se volí dle tloušťky plechu. Konkrétně pro tloušťku  $s < 3 \text{ mm}$  je vhodné  $r_m = (2 \div 6) \cdot s$ . U tloušťky  $s > 3 \text{ mm}$  je používána ohýbací hrana sražená pod úhlem  $45^\circ$ , přičemž jsou její přechody zaobleny poloměrem  $r_m$ . [12; 31; 32; 42]

V případě, že ohýbadla neumožňují vedení materiálu, tak se poloha plechu zajistí pomocí dorazů, které se dělí na pevné a nastavitelné. Pevné dorazy se upevňují k ohybnici prostřednictvím šroubů a kolíků. U nastavitelných dorazů lze seřídit polohu v případě tvarově obdobných součástí. Pokud by měl výlisek tendenci zůstat či se lepit na ohybník, použijí se stěrače, které tomuto nepříznivému jevu zabrání. [31; 42]



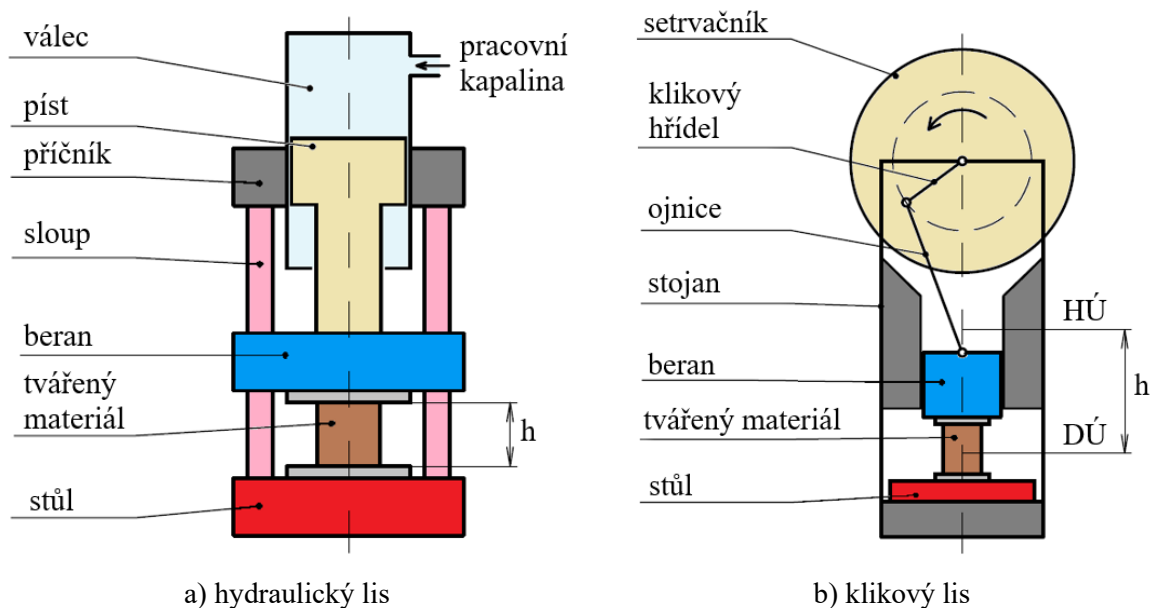
Obr. 39 Možnosti konstrukce ohybníku a ohybnice [9].

### 2.3 Tvářecí stroje

Pro strojírenskou výrobu jsou nezbytné speciální tvářecí stroje, které jsou oproti těm obráběcím o něco méně univerzální a rovněž jejich konstrukce je mnohem robustnější a tužší, ale produkují méně odpadního materiálu. Jelikož jsou nákladné a jejich seřizování časově náročné, tak je jejich užití vhodné spíše v hromadné výrobě. Tvářecí stroje obecně zpracovávají materiál za studena i za tepla. Podle relativního pohybu nástroje k tvářenému materiálu se dělí tvářecí stroje na ty s přímočarým, rotačním nebo obecným pohybem nástroje. V praxi jsou nejrozšířenější nástroje s přímočarým pohybem. Podle časového působení vnějších sil na polotovar či tvářené těleso, jsou tvářecí stroje děleny na lisí a buchary. U lisí je rychlost nástroje  $v_n = 0,25 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$  a deformační rychlost  $v_d = 0,01 \div 25 \text{ [s}^{-1}]$ . Naopak u bucharů činí rychlost nástroje  $v_n \geq 5 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$  a deformační rychlost  $v_d = 40 \div 160 \text{ [s}^{-1}]$ . [50; 51; 52]

Dále lze tvářecí stroje dělit dle druhů jejich hlavní formy užití energie, která je potřebná pro překonání přetvárného odporu materiálu, na stroje silové, energetické a zdvihové. Tvářecí stroje energetické k překonání přetvárného odporu materiálu užívají primárně kinetickou energii, tedy energii volného pádu, a to při rychlosti beranu  $v_n = 4 \div 8 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ . K nejtypičtějším zástupci této skupiny patří padací buchar. Buchary je možné rozdělit na bezšabotové protiúderové, kdy šabot nahrazuje spodní beran, a šabotové, které mají šabotu uloženou v základně nezávisle vzhledem ke stojinám pro vedení beranu a slouží pro volné kování. [51; 52]

Tvářecí stroje silové využívají primárně energii potenciální při rychlosti beranu menší než  $v_n = 0,25 \text{ [m}\cdot\text{s}^{-1}]$ . Základním parametrem u těchto strojů je síla  $F$  na beranu. Typickým zástupcem je hydraulický lis, kde síla na beranu  $F$  je konstantní a nezávislá na dráze beranu  $h$ . Tvářecí dráhou  $s$  je myšlena plastická deformace tvářeného dílce, která je omezena silou  $F$  na beranu. Popis jednotlivých částí hydraulického lisu se nachází na obr. 40a. K jejich výhodám oproti mechanickým lisům patří především nastavení libovolného pracovního zdvihu, nastavení konkrétní rychlosti v širokém rozmezí, plynulá regulace rychlosti, možnost konstruovat síly až  $10^3 \text{ MN}$ , rychlá a jednoduchá rezervace pohybu beranu, automatizace a mechanizace pracovního cyklu, možnost docílení konstantního tlaku i rychlosti beranu a možnost odebrání maximální síly v libovolném zdvihu. Nevýhodou ve srovnání s mechanickými lisy je však menší výkon, nižší produktivita, tvářecí síla musí být stanovena přesně, nemají pevnou spodní úvrat', horší účinnost, náročnější údržba a vyšší pořizovací náklady. [50; 51; 52]



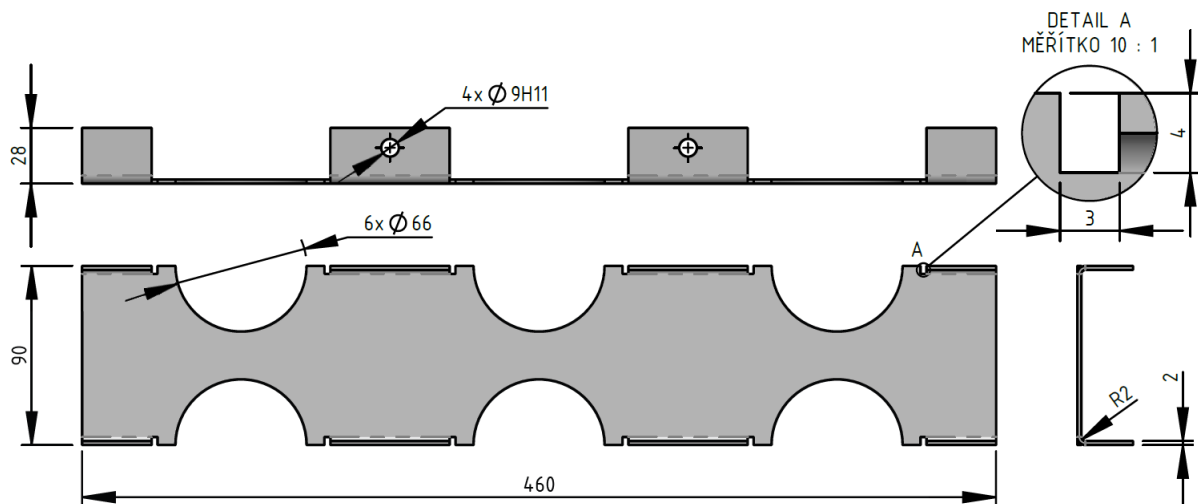
Obr. 40 Používané tvářecí stroje [51].

Tvářecí stroje zdvihové (mechanické lisy) využívají pro překonání přetvárného odporu materiálu energii potenciální i kinetickou. Jsou relativně jednoduché a mají velkou výrobnost. Nevýhodou však je, že maximální tvářecí sílu lze odebrat až před dolní úvratí. Rovněž existuje riziko nebezpečí přetížení stroje, a proto musí být použity pojistky proti přetížení. Dalším rizikem je také obtížné tváření velkou silou po delší dráze. Vždy může být lis zatížen jen takovou silou, která nepřevyší sílu jmenovitou daného stroje. Podle převodového systému se dělí na lisy klikové, výstředníkové, hřebenové, šroubové a další. Typickým zástupcem této kategorie jsou klikové lisy, kde funkcí dráhy  $h$  je síla  $F$  beranu a rychlost beranu. Popis jednotlivých částí tohoto lisu je zobrazen na obr. 40b. Pro pracovní zdvih je možné využít jen jednu čtvrtinu otáčky hřídele. [51; 52]

### 3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Jak již bylo zmíněno výše, řešenou součástí je středový dílec kabelového dna rozváděče vysokého napětí. Na základě požadavků na funkci součásti je zvolen materiál hliník EN AW-1050A o tloušťce 2 mm. Délka součásti činí 460 mm a šířka je 90 mm. Ohyb je prováděn do pravého úhlu s vnitřním rádiusem ohybu R2 mm a jedná se tedy o U ohyb. Z pohledu rozměrové přesnosti na výrobu součásti je zvolen stupeň IT 11 pro 4 otvory  $\varnothing 9$  mm a ostatní rozměry podléhají normě ČSN ISO 2768 mK čili střední stupeň přesnosti. Jelikož dílec plní funkci krytky kabelů, není potřeba více zpřesňovat toleranci.

Jako nejvhodnější technologie výroby byla s ohledem na sériovost zvolena metoda sruženého postupového nástroje, který umožňuje kombinaci technologie stříhání i ohýbání v jednom nástroji a stroji. Před samotným návrhem technologického postupu výroby se nejprve posoudí technologičnost součásti. Následovat bude volba nástřihového plánu rozvinutého tvaru dílce, který by měl s ohledem na ekonomičnost vycházet co nejvýhodněji. V konečné fázi bude proveden návrh celého nástroje, který by měl být z konstrukčního hlediska co nejjednodušší.

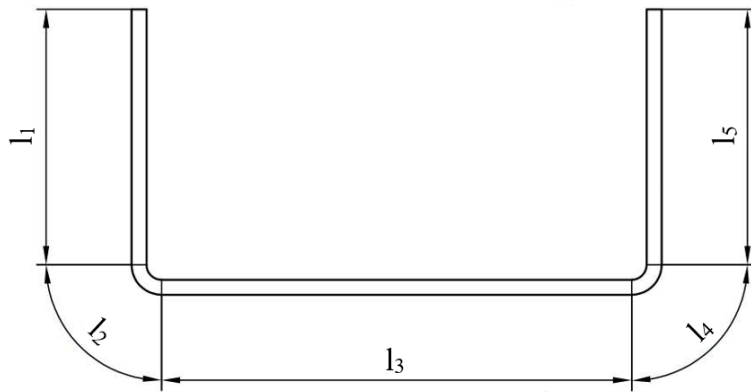


Obr. 41 Detailnější popis rozměrů součásti.

Při pohledu na součást z hlediska technologičnosti se jeví jako problematická část vykousnutí neboli odlehčení ohybu, které je znázorněno pomocí detailu A i včetně ostatních rozměrů na obr. 41. Nejmenší možný otvor, který lze zhotovit stříháním se určí ze vztahu  $\mathbf{b} \geq \mathbf{s}$ , jak je již popsáno v kapitole 2.1.5. Pokud se tedy dosadí konkrétní hodnoty, dostane se nerovnost  $3 \geq 2$ , která je splněna. Lze tedy konstatovat, že součást je plně vyrobitelná z pohledu stříhání. Vzhledem k tomu, že technologičnost ohybu plně závisí na směru vláken, bude rozebrána níže.

#### 3.1 Rozvinutý tvar součásti

Pro stanovení rozvinutého tvaru součásti je nejdříve nutno znát dílčí délky všech úseků, které zobrazuje obr. 42. Jelikož je součást symetrická, bude stačit určení pouze jedné délky oblouku. Dále je potřeba ověřit, zda je nutno uvažovat s posunutím neutrální osy. K tomu slouží poměr  $\mathbf{R/s} < 6$ . Po dosazení  $2/2 = 1 < 6$ , lze konstatovat, že nerovnost platí a uvažuje se tedy s posunutím neutrální osy. Pro výpočet budou použity vztahy 2.16, 2.17 a 2.18 z kapitoly 2.2.4. Hodnota součinitele  $\mathbf{x}$  je určena z tab. 7.



Kde:  
 $l_1, l_5 = 24 \text{ mm}$ ,  
 $l_3 = 82 \text{ mm}$ ,  
 $l_2 = l_4$ .

Obr. 42 Jednotlivé délky součásti.

- Výpočet délky oblouku:

$$\frac{R}{S} = \frac{2}{2} = 1 \rightarrow x = 0,41,$$

$$l_2 = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot (R + x \cdot s) = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot (2 + 0,41 \cdot 2) = 4,43 \text{ mm}.$$

- Celková rozvinutá délka:

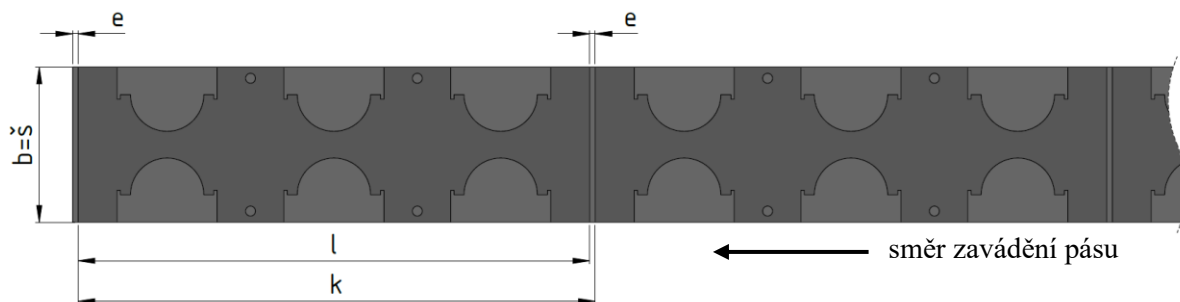
$$L_C = 2 \cdot l_1 + 2 \cdot l_2 + l_3 = 2 \cdot 24 + 2 \cdot 4,43 + 82 = 138,86 \cong 139 \text{ mm}.$$

### 3.2 Varianty nástřihového plánu

Jako polotovár je na základě objemu výroby zvolen svitek plechu, který má zpravidla vyšší procentuální využití oproti tabulím plechu. Další výhodou je potom zajištění lepší kontinuity procesu. Vyráběná součást je obdélníkového tvaru a je možno ji tedy umístit buď v podélném nebo příčném směru. K šířce součásti se zpravidla připočítává velikost postranního odpadu z obou stran, ale vzhledem k tomu, že okraje součásti netvoří funkční část, bude uvažováno s variantami bez postranních okrajů. Tím se navíc zvýší i využitelnost materiálu. Uvažované varianty uspořádání výstřižků jsou uvedeny níže.

#### 3.2.1 Varianta 1

První uvažovanou variantou rozmístění výstřižků na pásu plechu je podélné uspořádání, které znázorňuje obr. 43. Šířka součásti bude tedy rovna šířce svitku plechu. Dále je potřeba určit hodnotu můstku neboli mezeru mezi jednotlivými výstřižky. K tomu slouží diagram (viz příloha 3), ve kterém se na základě tloušťky materiálu odečte patřičná hodnota. Parametry pro spočtení využití svitku plechu pro podélné uspořádání výstřižků jsou následující:

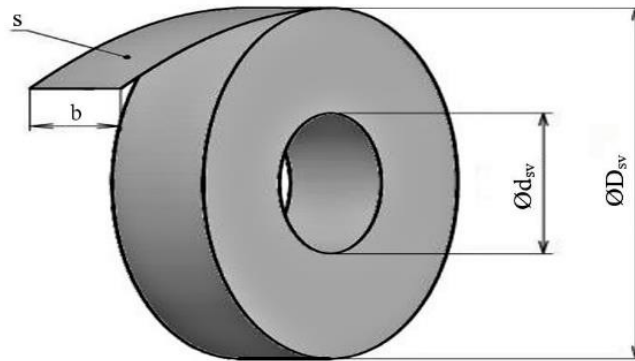


Obr. 43 Podélné uspořádání výstřižků.

- plocha výstřižku  $S_V$ , která byla spočtena v programu Autodesk Inventor 2021:  
 $S_V = 40\,057,03 \text{ mm}^2$ ,

- šířka výstřížku:  $b = \check{s} = 139 \text{ mm}$ ,
- délka výstřížku:  $l = 460 \text{ mm}$ ,
- výpočet můstku:  $e = 5 \text{ mm}$  (odečteno z diagramu, viz příloha 3, a navýšeno o 10 % kvůli měkkému materiálu),
- výpočet kroku:  $k = l + e = 460 + 5 = 465 \text{ mm}$ . (3.1)

Přibližnou hodnotu rozvinuté délky svitku lze určit na základě jeho vnějšího a vnitřního průměru. Tyto rozměry jsou udávány výrobcem. Porovnání nabízených rozměrů včetně procentuálního využití každé varianty se nachází v tab. 10 a 11. Rozměry svitku zobrazuje obr. 44.



Obr. 44 Svitek plechu [53].

- Výpočet rozvinuté délky svitku z objemu:

$$V_{SV} = V_1 - V_2 = \frac{\pi \cdot D_{SV}^2}{4} \cdot b - \frac{\pi \cdot d_{SV}^2}{4} \cdot b = \frac{\pi \cdot b}{4} \cdot (D_{SV}^2 - d_{SV}^2) \quad (3.2)$$

$$= \frac{\pi \cdot 139}{4} \cdot (1\,000^2 - 500^2) = 81\,877\,758,5 \text{ mm}^3 = 0,082 \text{ m}^3,$$

$$L_{SV} = \frac{V_{SV}}{b \cdot s} = \frac{81\,877\,758,5}{139 \cdot 2} = 294\,524,3 \text{ mm}. \quad (3.3)$$

- Počet výstřížků na jeden svitek plechu:

$$n_V = \frac{L_{SV}}{k} = \frac{294\,524,3}{465} = 633,39 \cong 633 \text{ ks}. \quad (3.4)$$

- Plocha svitku:

$$S_{SV} = L_{SV} \cdot b = 294\,524,3 \cdot 139 = 40\,938\,879,3 \text{ mm}^2. \quad (3.5)$$

- Procentuální využití svitku plechu ze vztahu 2.8:

$$\eta_{SV} = \frac{S_V \cdot n_V}{S_{SV}} \cdot 100 = \frac{40\,057,03 \cdot 633}{40\,938\,879,3} \cdot 100 = 61,94 \%. \quad (3.6)$$

- Potřebný počet svitků:

$$n_{SV} = \frac{N}{n_V} = \frac{300\,000}{633} = 473,93 \cong 474 \text{ ks}. \quad (3.7)$$

- Celkové procentuální využití svitků:

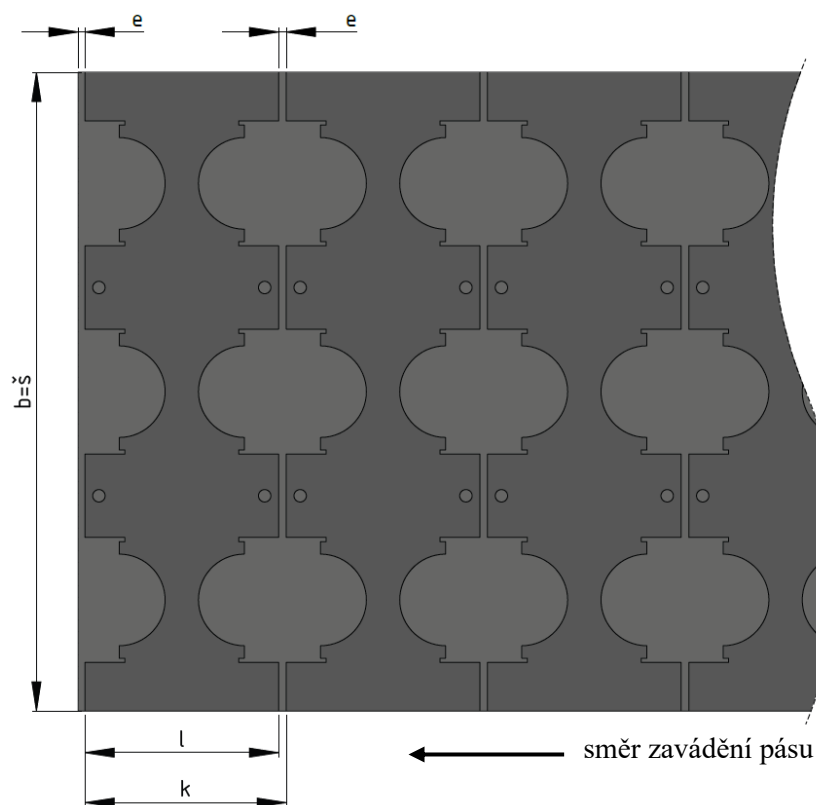
$$\eta_{\text{svc}} = \frac{N \cdot S_V}{n_{\text{sv}} \cdot S_{\text{sv}}} \cdot 100 = \frac{300\,000 \cdot 40\,057,03}{474 \cdot 40\,938\,879,3} \cdot 100 = 61,93 \%. \quad (3.8)$$

Tab. 10 Porovnání jednotlivých variant u podélného uspořádání výstřížků.

$D_{\text{sv}}$ [mm]	$d_{\text{sv}}$ [mm]	$L_{\text{sv}}$ [m]	$n_v$ [ks]	$S_{\text{sv}}$ [m <sup>2</sup> ]	$\eta_{\text{sv}}$ [%]	$n_{\text{sv}}$ [ks]	$\eta_{\text{svc}}$ [%]
1 000	500	294,52	633	40,94	61,94	474	61,93
1 100	500	376,99	810	52,40	61,92	371	61,81
1 200	500	467,31	1 004	64,96	61,91	299	61,87
1 300	500	565,49	1 216	78,60	61,97	247	61,90

### 3.2.2 Varianta 2

Druhou uvažovanou variantou rozmístění výstřížků na pásu plechu je příčné uspořádání, které znázorňuje obr. 45. Zde bude délkový rozměr součásti roven šířce svitku plechu. Pro stanovení hodnoty můstku bude opět použit diagram (viz příloha 3). Parametry pro spočtení využití svitku plechu pro příčné uspořádání výstřížků jsou následující:



Obr. 45 Příčné uspořádání výstřížků.

- šířka výstřížku:  $b = \check{s} = 460$  mm,
- délka výstřížku:  $l = 139$  mm,
- výpočet můstku:  $e = 5$  mm (odečteno z diagramu, viz příloha 3, a navýšeno o 10 % kvůli měkčímu materiálu),
- výpočet kroku:  $k = l + e = 139 + 5 = 144$  mm,

- výpočet rozvinuté délky svitku z objemu:

$$V_{SV} = V_1 - V_2 = \frac{\pi \cdot D_{SV}^2}{4} \cdot b - \frac{\pi \cdot d_{SV}^2}{4} \cdot b = \frac{\pi \cdot b}{4} \cdot (D_{SV}^2 - d_{SV}^2)$$

$$= \frac{\pi \cdot 460}{4} \cdot (1\,000^2 - 500^2) = 270\,962\,366,4 \text{ mm}^3 = 0,271 \text{ m}^3,$$

$$L_{SV} = \frac{V_{SV}}{b \cdot s} = \frac{270\,962\,366,4}{460 \cdot 2} = 294\,524,3 \text{ mm},$$

- počet výstřížků na jeden svitek plechu:

$$n_V = \frac{L_{SV}}{k} = \frac{294\,524,3}{144} = 2\,045,31 \cong 2\,045 \text{ ks},$$

- plocha svitku:

$$S_{SV} = L_{SV} \cdot b = 294\,524,3 \cdot 460 = 135\,481\,178 \text{ mm}^2,$$

- procentuální využití svitku plechu ze vztahu 2.6:

$$\eta_{SV} = \frac{S_V \cdot n_V}{S_{SV}} \cdot 100 = \frac{40\,057,03 \cdot 2\,045}{135\,481\,178} \cdot 100 = 60,46 \%,$$

- potřebný počet svitků:

$$n_{SV} = \frac{N}{n_V} = \frac{300\,000}{2\,045} = 146,70 \cong 147 \text{ ks},$$

- celkové procentuální využití svitků:

$$\eta_{SVC} = \frac{N \cdot S_V}{n_{SV} \cdot S_{SV}} \cdot 100 = \frac{300\,000 \cdot 40\,057,03}{147 \cdot 135\,481\,178} \cdot 100 = 60,34 \%.$$

Tab. 11 Porovnání jednotlivých variant u příčného uspořádání výstřížků.

$D_{SV}$ [mm]	$d_{SV}$ [mm]	$L_{SV}$ [m]	$n_V$ [ks]	$S_{SV}$ [m <sup>2</sup> ]	$\eta_{SV}$ [%]	$n_{SV}$ [ks]	$\eta_{SVC}$ [%]
1 000	500	294,52	2 045	135,48	60,46	147	60,34
1 100	500	376,99	2 617	173,42	60,45	115	60,26
1 200	500	467,31	3 245	214,96	60,47	93	60,11
1 300	500	565,49	3 926	260,12	60,46	77	60,00

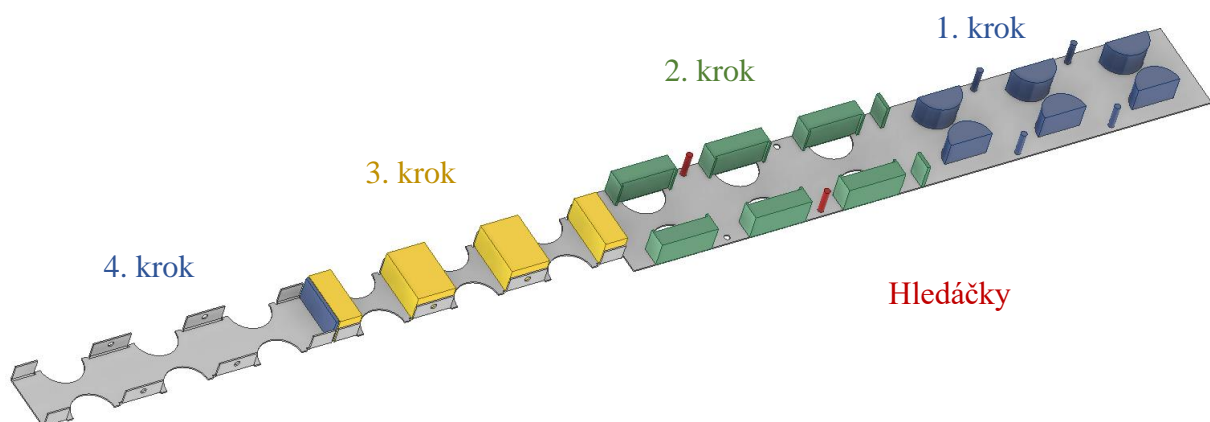
Překvapivě, svitky s větším vnějším průměrem vycházejí z hlediska procentuálního využití materiálu hůře než ty menší, a to především u varianty s příčným uspořádáním výstřížků. To může být způsobeno kvůli koncovému odpadu, který byl u rozměrnější svitků větší. Možnou nevýhodou svitku s menším vnějším průměrem je pak častější výměna na odvíjecím zařízení, která je však vykompenzována vyšší využitelností.

Dále je potřeba navrhnout několik možných variant technologického postupu výroby, ze kterých se vybere ten nejvýhodnější. Při porovnání obou variant si lze všimnout nepatrně vyššího procentuálního využití u podélného uspořádání výstřižků. Tato varianta se z hlediska konstrukčního řešení nástroje jeví sice jako nejjednodušší, ale při uvážení délky součásti a celkového počtu kroků by byl nástroj příliš dlouhý (viz varianta A). To by mělo za následek výrazné navýšení nákladů na výrobu. Nevýhodou je také orientace osy ohybu, jelikož je rovnoběžná s vlákny materiálu a mohlo by tedy docházet k tvorbě prasklin v oblasti vnější strany ohybu. U druhé varianty s příčným uspořádáním výstřižků je procentuální využití svitku plechu přibližně o 2 % nižší. Dojde však k výraznému zkrácení délky nástroje, s čímž jsou spojeny i nižší výrobní náklady. Výhoda této varianty také spočívá v dosažení kolmosti osy ohybu vzhledem ke směru vláken materiálu. Tím se sníží riziko vzniku možných defektů na vnější straně ohybu.

### 3.3 Varianty řešení postupového sdruženého nástroje

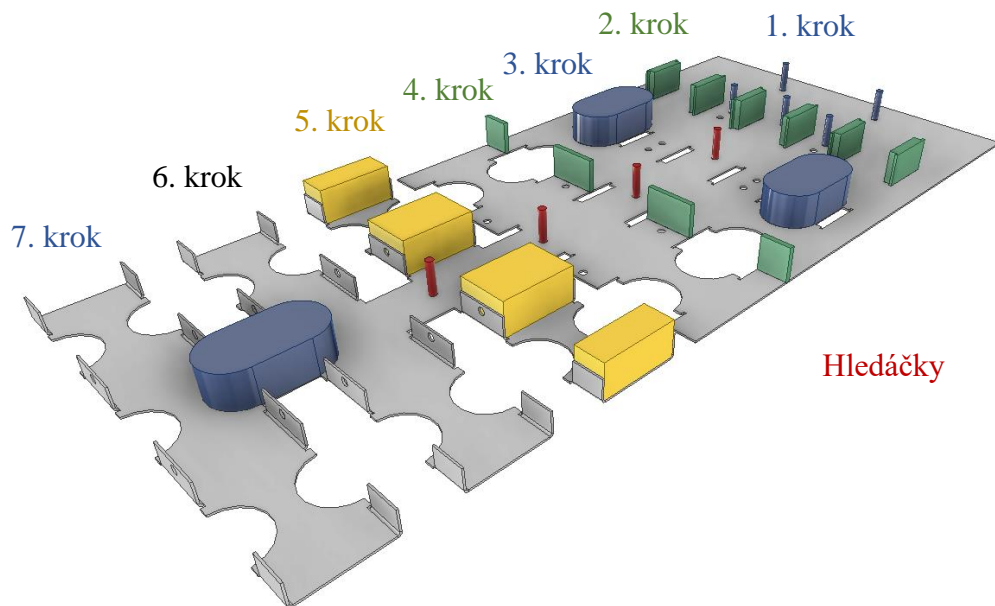
Nejprve je nutno určit, zda bude ohyb prováděn směrem nahoru nebo dolů. Z konstrukčního hlediska je za jednodušší považován ohyb dolů, u kterého se ale vyskytuje problém s posouváním materiálu uvnitř nástroje. Výhodnější variantou je tedy ohyb směrem nahoru s odpruženými zvedáky, které umožňují posun materiálu. Přidržovací síla potřebná pro ohyb se použije ke zvedání neboli vytahování pásu z ohybnice až do úrovně odpružených zvedáků. Prostřednictvím těchto zvedáků je zajištěn bezpečný posun materiálu v nástroji. Následně je uvedeno několik možných variant technologického postupu výroby, které ukazují obr. 46 až 49.

- Varianta A – přestože bylo podélné uspořádání z hlediska neekonomičnosti výše zamítnuto, je v úvodu rozboru variant řešení pro názornost též uvedena. Skládá se ze 4 základních kroků (viz obr. 46):
  - 1. krok – vystřížení čtyř funkčních kruhových otvorů  $\varnothing 9$  mm a šesti polovičních otvorů  $\varnothing 66$  mm,
  - 2. krok – zahledání do dvou otvorů z předchozího kroku, nastříhnutí můstku kvůli ohybu, vystřížení šesti otvorů tvarovými střížníky,
  - 3. krok – ohnutí součásti čtyřmi ohybníky,
  - 4. krok – odstřížení přepážky, součást jde na skluz.



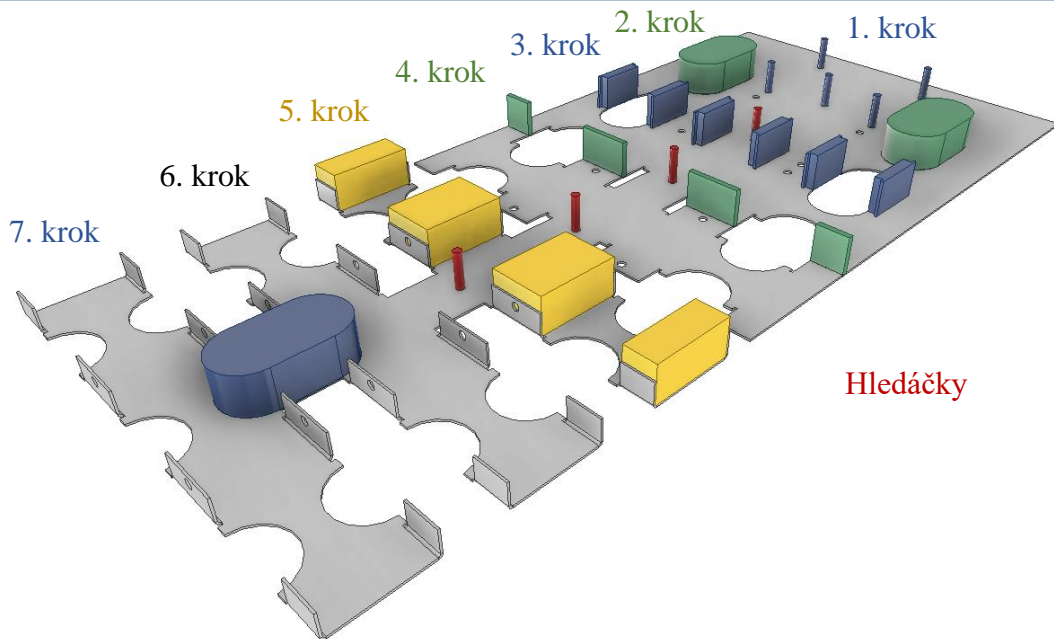
Obr. 46 Technologický postup – varianta A.

- Varianta B:
  - 1. krok – vystřížení čtyř funkčních otvorů a jednoho technologického  $\varnothing 9$  mm,
  - 2. krok – zahledání, vystřížení šesti otvorů tvarovými střížníky,
  - 3. krok – zahledání, vystřížení dvou otvorů oválnými střížníky,
  - 4. krok – zahledání, odstřížení můstku čtyřmi střížníky,
  - 5. krok – zahledání, ohyb součásti čtyřmi ohybníky,
  - 6. krok – volný krok kvůli nedostatku místa,
  - 7. krok – odstřížení přepážky spojující dva dílce, součást jde na skluz.



Obr. 47 Technologický postup – varianta B.

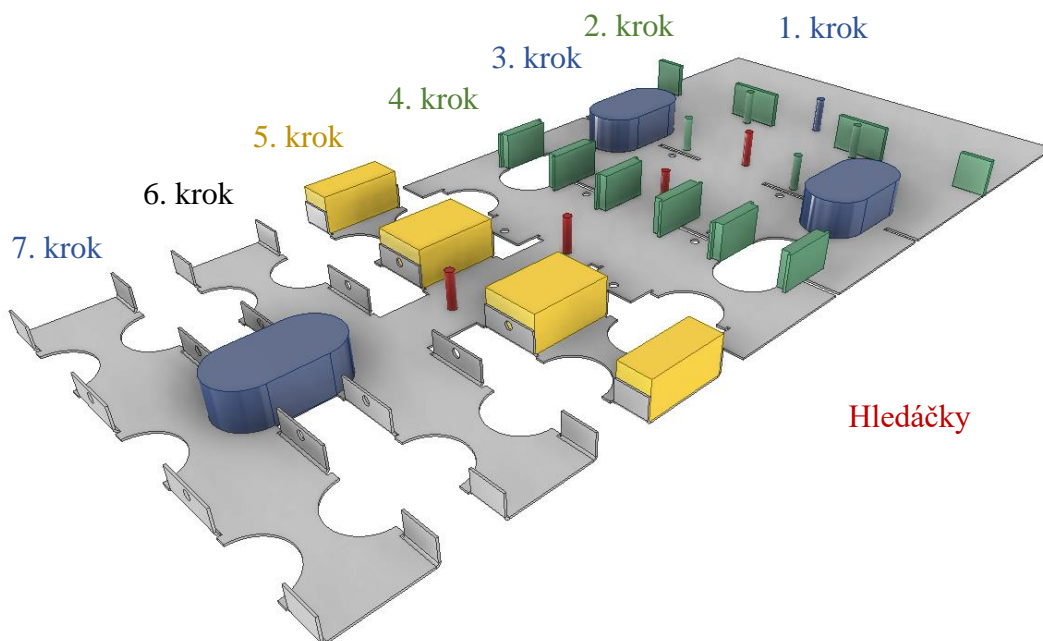
- Varianta C:
  - 1. krok – vystřížení čtyř funkčních otvorů a jednoho technologického  $\varnothing 9$  mm,
  - 2. krok – zahledání, vystřížení dvou otvorů oválnými střížníky,
  - 3. krok – zahledání, vystřížení šesti otvorů tvarovými střížníky,
  - 4. krok – zahledání, odstřížení můstku čtyřmi střížníky,
  - 5. krok – zahledání, ohyb součásti čtyřmi ohybníky,
  - 6. krok – volný krok kvůli nedostatku místa,
  - 7. krok – odstřížení přepážky spojující dva dílce, součást jde na skluz.



Obr. 48 Technologický postup – varianta C.

▪ Varianta D:

- 1. krok – vystřížení jednoho technologického tvaru  $\varnothing 9$  mm,
- 2. krok – zahledání, vystřížení čtyř funkčních otvorů  $\varnothing 9$  mm, odstřížení můstku čtyřmi střížníky,
- 3. krok – zahledání, vystřížení dvou otvorů oválnými střížníky,
- 4. krok – zahledání, vystřížení šesti otvorů tvarovými střížníky,
- 5. krok – zahledání, ohyb součásti čtyřmi ohybníky,
- 6. krok – volný krok kvůli nedostatku místa,
- 7. krok – odstřížení přepážky spojující dva dílce, součást jde na skluz.



Obr. 49 Technologický postup – varianta D.

Jak již bylo zmíněno výše, varianta A vzhledem k délce součásti a orientaci osy ohybu není vhodná. Nástroj by byl příliš dlouhý, což by negativně ovlivnilo cenu nástroje. Zbylé tři technologické postupy vycházejí tedy z příčného uspořádání výstřížků. U všech variant se vyskytuje 7 kroků, což působí jako vysoký počet, ale i tak dojde k výraznému zkrácení celkové délky nástroje. U varianty B je problém s osou ohybu vzhledem k vláknům materiálu vyřešen. V prvním a druhém kroku jsou však kruhové střížníky od tvarových střížníků v těsné vzdálenosti a mohl by nastat problém s ukotvením v kotevní desce. Varianta C je podobná variantě B, akorát došlo k prohození oválných střížníků z třetího kroku za tvarové střížníky z druhého kroku. Tím je problém s ukotvením vyřešen a střížná síla je v rámci možností rovnoměrně rozložena. U varianty D dochází v druhém kroku k odstřížení můstku, které se zpravidla provádí těsně před ohybem, aby byla co nejdéle zachována soudržnost materiálu. Na základě výše uvedeného zjištění je jako nejvýhodnější varianta pro výrobu zadaného dílce zvolena varianta C s příčným uspořádáním výstřížků s šířkou 460 mm, u které jsou splněny nejen technologické, ale i ekonomické požadavky na výrobu prostřednictvím sdruženého postupového nástroje. Nejvýhodnějším rozměrem polotovaru pro tuto variantu je svitek plechu s vnějším průměrem 1 000 mm a vnitřním průměrem 500 mm, který bude využit z 60,34 %.

### 3.4 Technologické výpočty pro technologii stříhání

Pro technologické výpočty k technologii stříhání je nejdříve nutno stanovit hodnotu střížného odporu nebo mez pevnosti ve stříhu podle vztahu 2.1. Mez pevnosti zvoleného materiálu je v rozmezí  $105 \div 145$  MPa. Z důvodu bezpečnosti bude pro výpočet uvažováno s horní hranicí tohoto intervalu, tedy  $R_m = 145$  MPa:

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 145 = 116 \text{ MPa.}$$

Na základě znalosti střížného odporu materiálu se vypočte střížná vůle podle vztahu 2.6, u kterého je koeficient  $c_m$  zvolen 0,02 z rozmezí  $0,005 \div 0,035$ :

$$v = 0,32 \cdot c_m \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} = 0,32 \cdot 0,02 \cdot 2 \cdot \sqrt{116} \cong 0,14 \text{ mm.}$$

Následně lze určit i jednotlivé střížné síly, pro které bude použit vztah 2.2 z kapitoly 2.1.2, přičemž koeficient opotřebení  $n$  je zvolen 1,3 z rozmezí  $1,2 \div 1,55$ . Zde je nutno brát v úvahu fakt, že některé ze střížníků se vzájemně překrývají, a tudíž nebude do výpočtu uvažován celý obvod daného střížníku, ale pouze obvod zmenšený o vystříženou část. Pro určení křivky stříhu u složitějších střížníků je použit program Autodesk Inventor. Jelikož má zvolený materiál nízkou mez pevnosti ve stříhu, není nutno uvažovat o variantě se zesílenými střížníky. Jednotlivé střížné síly budou tedy spočteny pro kolmé střížníky.

- Kruhový střížník o průměru 9 mm:

$$F_{S1} = s \cdot L \cdot \tau_s \cdot n = 2 \cdot 28,274 \cdot 116 \cdot 1,3 = 8\,527,4 \text{ N.}$$

- Oválný střížník o délce 120 mm a šířce 66 mm:

$$F_{S2} = s \cdot L \cdot \tau_s \cdot n = 2 \cdot 315,345 \cdot 116 \cdot 1,3 = 95\,108,1 \text{ N.}$$

- Tvarový střížník o délce 62 mm a šířce 12 mm:

$$F_{S3} = s \cdot L \cdot \tau_s \cdot n = 2 \cdot 148 \cdot 116 \cdot 1,3 = 44\,636,8 \text{ N.}$$

- Tvarový střížník o délce 62 mm a šířce 12 mm (zmenšený střížný obvod):

$$F'_{S3} = s \cdot L \cdot \tau_s \cdot n = 2 \cdot 94 \cdot 116 \cdot 1,3 = 28\,350,4 \text{ N.}$$

- Střížník na můstek o délce 35 mm (zmenšený střížný obvod):

$$F_{S4} = s \cdot L \cdot \tau_s \cdot n = 2 \cdot 70 \cdot 116 \cdot 1,3 = 21\,112,0 \text{ N.}$$

- Střížník na můstek o délce 60 mm (zmenšený střížný obvod):

$$F_{S5} = s \cdot L \cdot \tau_S \cdot n = 2 \cdot 120 \cdot 116 \cdot 1,3 = 36\,192,0 \text{ N.}$$

- Střížník na odstřížení o délce 120 mm a šířce 66 mm (zmenšený střížný obvod):

$$F_{S6} = s \cdot L \cdot \tau_S \cdot n = 2 \cdot 207,345 \cdot 116 \cdot 1,3 = 62\,535,3 \text{ N.}$$

Hodnota celkové střížné síly se určí sečtením jednotlivých střížných sil. Její hodnota je tedy rovna:

$$\begin{aligned} F_S &= 5 \cdot F_{S1} + 2 \cdot F_{S2} + 2 \cdot F_{S3} + 4 \cdot F'_{S3} + 2 \cdot F_{S4} + 2 \cdot F_{S5} + F_{S6}, & (3.9) \\ F_S &= 5 \cdot 8\,527,4 + 2 \cdot 95\,108,1 + 2 \cdot 44\,636,8 + 4 \cdot 28\,350,4 + 2 \cdot 21\,112,0 + \\ &+ 2 \cdot 36\,192,0 + 62\,535,3 = 612\,671,7 \text{ N} \cong 612,7 \text{ kN.} \end{aligned}$$

Z celkové střížné síly lze následně určit i hodnotu střížné práce dle vztahu 2.5. Součinitel plnosti je určen z diagramu na základě materiálu a tloušťky (viz příloha 2). Hodnota  $\lambda$  je tedy rovna 0,7.

$$A = \frac{\lambda \cdot F_{S\max} \cdot s}{1\,000} = \frac{0,7 \cdot 612\,671,7 \cdot 2}{1\,000} = 857,7 \text{ J.}$$

Dále se orientačně určí hodnota vytlačovací a stírací síly podle vztahů 2.3 a 2.4 z kapitoly 2.1.2. Jak již bylo zmíněno, koeficient  $n_s$  vyjadřuje možný počet výstřížku ve válcové oblasti střížnice. Při uvažování konické střížnice s fazetkou pro tloušťku plechu 2 mm je výška  $h_f$  volena v rozmezí 5 až 10 mm, jak je uvedeno v tab. 6. Stanovením výšky fazetky na 8 mm lze tedy předpokládat maximálně 4 výstřížky, které zůstanou ve střížnici. Koeficienty  $k_{vy}$  a  $k_{st}$  jsou určeny z tabulky (viz příloha 1).

- Vytlačovací síla:

$$F_{vy} = k_{vy} \cdot F_S \cdot n_s = 0,08 \cdot 612\,671,7 \cdot 4 = 196\,054,9 \text{ N.}$$

- Stírací síla:

$$F_{st} = k_{st} \cdot F_S = 0,09 \cdot 612\,671,7 = 55\,140,5 \text{ N.}$$

Celková střížná síla se potom stanoví součtem všech tří složek následovně:

$$F_{SC} = F_S + F_{vy} + F_{st} = 612\,671,7 + 196\,054,9 + 55\,140,5 = 863\,867,1 \text{ N.} \quad (3.10)$$

Dále je potřeba jednotlivé střížníky kontrolovat na otláčení kvůli vysokým hodnotám sil v oblasti upnutí. Nejprve se tedy spočítá napětí na dosedací ploše střížníku v upínací hlavici. Mezní hodnota, která nesmí být překročena, je u oceli 180 MPa. Pokud dojde k překročení této hodnoty, bude zapotřebí použít kalenou podložku, která zabrání nežádoucímu otláčení, respektive vtlačení střížníku do upínací desky. Je také nutno zohlednit vliv osazení všech střížníků, jelikož dojde k zesílení průřezu v kritickém místě. Pro zjednodušení bude uvažováno se zesílením o 3 mm na průřez u kruhového střížníku a ostatní střížníky budou mít odsazení 1,5 mm po svém obvodu, kromě tvarového střížníku, kde budou odsazeny pouze nejdelší strany s bočními stranami 3 mm kvůli snazší vyrobitelnosti. Veškeré výpočty napětí jsou provedeny dle vztahu 3.11.

- Napětí na kruhovém střížníku o průměru 9 mm:

$$\sigma_{ot1} = \frac{F_{S1}}{S_{ot1}} = \frac{8\,527,4}{\frac{\pi \cdot 12^2}{4}} = 75,4 \text{ MPa.} \quad (3.11)$$

- Napětí na oválném střížníku o délce 120 mm a šířce 66 mm:

$$\sigma_{ot2} = \frac{F_{S2}}{S_{ot2}} = \frac{95\,108,1}{7\,465,28} = 12,7 \text{ MPa.}$$

- Napětí na tvarovém střížníku o délce 62 mm a šířce 12 mm:

$$\sigma_{ot3} = \frac{F_{S3}}{S_{ot3}} = \frac{44\,636,8}{859,5} = 51,9 \text{ MPa.}$$

- Napětí na tvarovém střížníku o délce 62 mm a šířce 12 mm (zmenšený střížný obvod):

$$\sigma'_{ot3} = \frac{F'_{S3}}{S_{ot3}} = \frac{28\,350,4}{859,5} = 33,0 \text{ MPa.}$$

- Napětí na střížníku na můstek o délce 35 mm (zmenšený střížný obvod):

$$\sigma_{ot4} = \frac{F_{S4}}{S_{ot4}} = \frac{21\,112,0}{302,18} = 69,9 \text{ MPa.}$$

- Napětí na střížníku na můstek o délce 60 mm (zmenšený střížný obvod):

$$\sigma_{ot5} = \frac{F_{S5}}{S_{ot5}} = \frac{36\,192,0}{500,98} = 72,2 \text{ MPa.}$$

- Napětí na střížníku na odstřížení o délce 120 mm a šířce 66 mm (zmenšený střížný obvod):

$$\sigma_{ot6} = \frac{F_{S6}}{S_{ot6}} = \frac{62\,535,3}{7\,465,28} = 8,4 \text{ MPa.}$$

Z vypočtených hodnot dovoleného kontaktního napětí si lze všimnout, že ani jeden ze střížníků nepřesahuje mezní hodnotu 180 MPa, a proto není potřeba při konstrukci nástroje uvažovat s kalenou opěrnou deskou. Je tomu tak především z důvodu použití měkkého materiálu vyráběné součásti.

Další prováděnou kontrolou u střížníků je kontrola na vzpěr, jejímž cílem je stanovení maximální délky jednotlivých střížníků, při které z hlediska mezního stavu ještě nedojde ke ztrátě vzpěrné stability. Nejvyšší riziko zpravidla postihuje střížníky nejmenších průřezů. Délka střížníku musí být tedy menší, než je jeho spočtená kritická délka. V případě, že to z technologického hlediska není umožněno, připadají v úvahu některé z konstrukčních úprav, přičemž nejčastěji se přistupuje k zesílení průřezu daného střížníku. Dále je uvažováno, že střížníky jsou vedené ve vodící desce, a proto je použit vztah 3.12.

- Kritická délka kruhového střížníku o průměru 9 mm:

$$l_{krit1} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_k}{n_b \cdot F_{S1}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 322,06}{1,75 \cdot 8\,527,4}} = 422,99 \text{ mm,} \quad (3.12)$$

kde:  $E$  – Youngův modul pružnosti (ocel  $E = 2,1 \cdot 10^5$  MPa) [MPa],  
 $I_k$  – kvadratický moment setrvačnosti kruhového průřezu [ $\text{mm}^4$ ],  
 $n_b$  – koeficient bezpečnosti (volen v rozmezí  $1,5 \div 2$ ) [-].

$$I_k = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 9^4}{64} = 322,06 \text{ mm}^4. \quad (3.13)$$

- Kritická délka pro střižník na můstek o délce 35 mm:

$$l_{\text{krit2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_o}{n_b \cdot F_{S4}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 364,58}{1,75 \cdot 21\,112,0}} = 286,02 \text{ mm},$$

kde:  $I_o$  – kvadratický moment setrvačnosti obdélníkového průřezu [ $\text{mm}^4$ ].

$$I_o = \frac{a_o \cdot b_o^3}{12} = \frac{35 \cdot 5^3}{12} = 364,58 \text{ mm}^4. \quad (3.14)$$

Z vypočtených kritických délek obou nejmenších střižníků lze usoudit, že nehrozí ztráta vzpěrné stability ani u jednoho z nich. Při návrhu nástroje se tedy nepřekročí délka střižníků 286,02 mm, a tím bude zaručeno, že nedojde k jejich prohnutí či zlomení. Není tedy nutno provádět jakoukoliv konstrukční úpravu střižníků, a přitom lze zaručit požadovanou přesnost na výrobu součástí. Dalším potřebným parametrem pro konstrukci nástroje je výška střižnice, jejíž přibližnou velikost lze zjistit na základě vztahu 3.15. Z důvodu vyšší bezpečnosti je hodnota výšky střižnice navýšena na 45 mm.

$$H = \sqrt[3]{0,1 \cdot F_S} = \sqrt[3]{0,1 \cdot 612\,671,7} = 39,4 \text{ mm}. \quad (3.15)$$

Následně se stanoví výrobní tolerance střižníků a střižnic, jejichž hodnoty se odvíjejí od předepsaných tolerancí dané součástí. Ve výrobní dokumentaci součástí není požadavek na úpravu drsnosti povrchu, jelikož pro svou funkci krytky kabelů to není nutné a zbytečně by se prodražila výroba. Nástroj bude disponovat vodícími stojánky, a lze tedy dosáhnout stupně přesnosti IT 11. Z tab. 4 tedy vyplývá, že třída přesnosti pro střižníky a střižnice je IT 7 až IT 8. Obecně je dáno, že by se střižníky měly vyrábět s přesnější tolerancí oproti toleranci střižnic. A proto je zvolen stupeň přesnosti pro střižníky IT 7 a pro střižnice IT 8. Při zaměření na proces výroby v nástroji, je daná součást obstříhována, přičemž každý výstřížek tvoří odpad. V principu jde tedy o děrování a k tomu jsou určeny následující vztahy 3.16 a 3.17. [54]

$$\text{RAD} = (\text{JR} + \text{P})_{-\text{TA}} [\text{mm}], \quad (3.16)$$

kde: RAD – jmenovitý rozměr střižníku,  
 JR – jmenovitý rozměr součásti,  
 P – přípustná míra opotřebení,  
 TA – výrobní tolerance střižníku.

$$\text{RED} = (\text{JR} + \text{P} + v)^{+\text{TE}} [\text{mm}], \quad (3.17)$$

kde: RED – jmenovitý rozměr střižnice,  
 TE – výrobní tolerance střižnice.

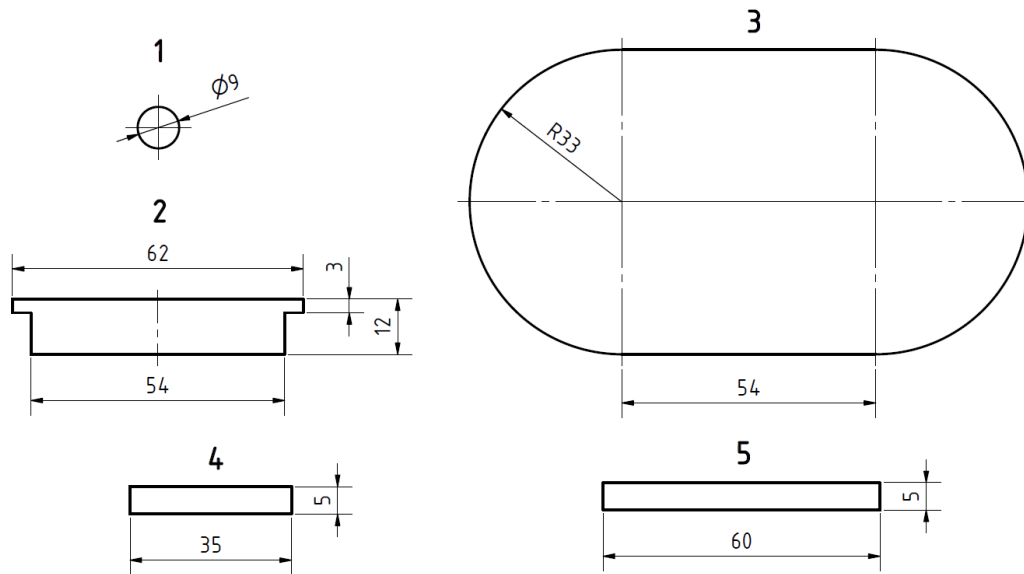
Pro každý děrovaný otvor je tedy proveden výpočet maximálního rozměru střižníku i střižnice. Veškeré střižníky včetně hlavních rozměrů jsou zobrazeny na obr. 50. Vzorový výpočet je aplikován pro otvor  $\varnothing 9$  mm. Zbývající rozměry jsou uvedeny v tab. 12. Potřebné hodnoty tolerancí jsou voleny na základě IT součásti nebo podle rozměru a ISO 2768 mK.

- Rozměr střižníku pro otvor  $\varnothing 9$  mm:

$$\text{RAD} = (\text{JR} + \text{P})_{-\text{TA}} = (9 + 0,08)_{-0,020} = 9,08_{-0,020}.$$

- Rozměr střižnice pro otvor  $\varnothing 9$  mm:

$$\text{RED} = (\text{JR} + \text{P} + v)^{+\text{TE}} = (9 + 0,08 + 0,14)^{+0,029} = 9,22^{+0,029}.$$



Obr. 50 Rozměry stříhaných otvorů.

Tab. 12 Funkční rozměry střížníku a střížnice.

Rozměry stříhaného otvoru	Max. rozměry střížníku RAD	Max. rozměry střížnice RED
1	Ø 9	Ø 9,08 <sub>-0,020</sub>
2	62	62,46 <sub>-0,120</sub>
2	54	54,46 <sub>-0,120</sub>
2	12	12,31 <sub>-0,074</sub>
2	3	3,16 <sub>-0,035</sub>
3	54	54,46 <sub>-0,120</sub>
3	R33	R33,46 <sub>-0,120</sub>
4	35	35,46 <sub>-0,120</sub>
4	5	5,16 <sub>-0,035</sub>
5	60	60,46 <sub>-0,120</sub>
5	5	5,16 <sub>-0,035</sub>

### 3.5 Technologické výpočty pro technologii ohýbání

Řešená součást je postupně děrována v nástroji a v pátém kroku dochází k ohybu do tvaru U. Aby byl tento ohyb proveden bezchybně, je potřeba provést několik technologických výpočtů, mezi které patří zejména úhel odpružení, patřičné síly při ohýbání a velikost ohýbací vůle. Při znalosti těchto hodnot lze stanovit případné korekční opatření vůči úhlu odpružení apod. Pro výpočet úhlu odpružení je použit vztah 2.14, přičemž součinitel  $k_0$  byl určen z tabulky v příloze 4 a je roven  $k_0 = 0,98$ . Jednotlivé síly vycházejí ze vztahů 2.22, 2.24 a 2.25. Velikost ohýbací práce se následně určí ze vztahu 2.27.

- Úhel odpružení při ohybu:

$$\operatorname{tg} \beta_U = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k_0 \cdot s} \cdot \frac{\sigma_k}{E} = 0,75 \cdot \frac{8,4}{0,98 \cdot 2} \cdot \frac{85}{71 \cdot 10^3} = 3,8 \cdot 10^{-3} \rightarrow \beta_U = 0,22^\circ,$$

$$l_m = r_m + r_p + 1,2 \cdot s = 4 + 2 + 1,2 \cdot 2 = 8,4 \text{ mm},$$

$$r_m = (2 \div 6) \cdot s = 2 \cdot 2 = 4 \text{ mm}.$$

- Ohýbací síla:

$$F_U = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot b \cdot s^2}{l_m} = \frac{0,4 \cdot 145 \cdot 190 \cdot 2^2}{8,4} = 5\,247,6 \text{ N.}$$

- Síla přidržovače:

$$F_P = (0,25 \div 0,30) \cdot F_U = 0,28 \cdot 5\,247,6 = 1\,469,3 \text{ N.}$$

- Celková ohýbací síla s kalibrací:

$$F_{CU} = 3 \cdot (F_U + F_P) = 3 \cdot (5\,247,6 + 1\,469,3) = 20\,150,7 \text{ N.}$$

- Ohýbací práce:

$$A_U = m \cdot (F_U + F_P) \cdot h_U = 0,67 \cdot (5\,247,6 + 1\,469,3) \cdot 0,028 = 126,0 \text{ J.}$$

- Velikost ohýbací vůle je určena na základě vztahu, jak je popsáno v kapitole 2.2.5:

$$v_o = (1 \div 1,1) \cdot s = 1,05 \cdot 2 = 2,1 \text{ mm.}$$

Dále se stanoví hodnota minimálního a maximálního poloměru ohybu na základě vztahů 2.19 a 2.20. Součinitel  $c$  byl určen z tab. 9 pro hliník a jeho velikost je  $c = 0,35$ .

- Minimální poloměr ohybu:

$$R_{\min} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_{t\max}} - 1 \right) = c \cdot s = 0,35 \cdot 2 = 0,7 \text{ mm.}$$

- Maximální poloměr ohybu:

$$R_{\max} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{E}{\sigma_k} - 1 \right) = \frac{2}{2} \cdot \left( \frac{71 \cdot 10^3}{85} - 1 \right) = 834,3 \text{ mm.}$$

Z pohledu výrobních tolerancí u ohýbání není nutno stanovovat přesné rozměry pomocí výpočtu, jelikož během ohýbacího procesu nedochází k zásadnímu opotřebení ohybníků či ohybnic. Tolerance funkčních částí nástroje je tedy stanovena na IT 8, která postačuje pro zajištění požadované přesnosti. Z výpočtů výše si lze všimnout zanedbatelné hodnoty odpružení, a proto nebude potřeba žádná z možných konstrukčních úprav nástroje. Z jisté části bude odpružení eliminováno ve fázi kalibrace. Na funkci součásti by však i nepatrné odpružení nemělo žádný vliv, jelikož dílec bude připevněn k sousednímu dílci pomocí šroubů a matic.

### 3.6 Umístění stopky nástroje

Posledním parametrem z výpočtové části je poloha stopky, která je potřebná pro zajištění správného a bezpečného chodu nástroje. Umísťuje se do působíště výslednice všech sil, tedy všech složek sil střížných a ohýbacích. V případě, že by se stopka nacházela v jiném bodě, docházelo by ke vzniku klopného momentu, a tím by se zhoršila požadovaná přesnost. Působíště je možno stanovit buď graficky, anebo pomocí výpočtu. Nejvhodnější bude použití výpočtové varianty, která vychází z momentové rovnováhy všech působících sil. Značnou výhodou u zvoleného technologického postupu je fakt, že dílec je stříhán a ohýbán symetricky, a proto není potřebný výpočet souřadnice v kolmém směru k posuvu pásu plechu. Počáteční bod je umístěn do středu prvního kruhového střížníku. Momentová rovnováha je dána rovností všech momentů dílčích sil a momentu celkové síly, jak je uvedeno ve vztahu 2.9, ze kterého se bude analogicky vycházet. Ramena momentů každé síly se nachází v těžišti patričného otvoru. Schéma k výpočtu působíště výslednice  $P$  včetně jednotlivých kót ramen momentů je zobrazeno na obr. 51. Celková síla se určí součtem všech střížných a ohýbací síly.

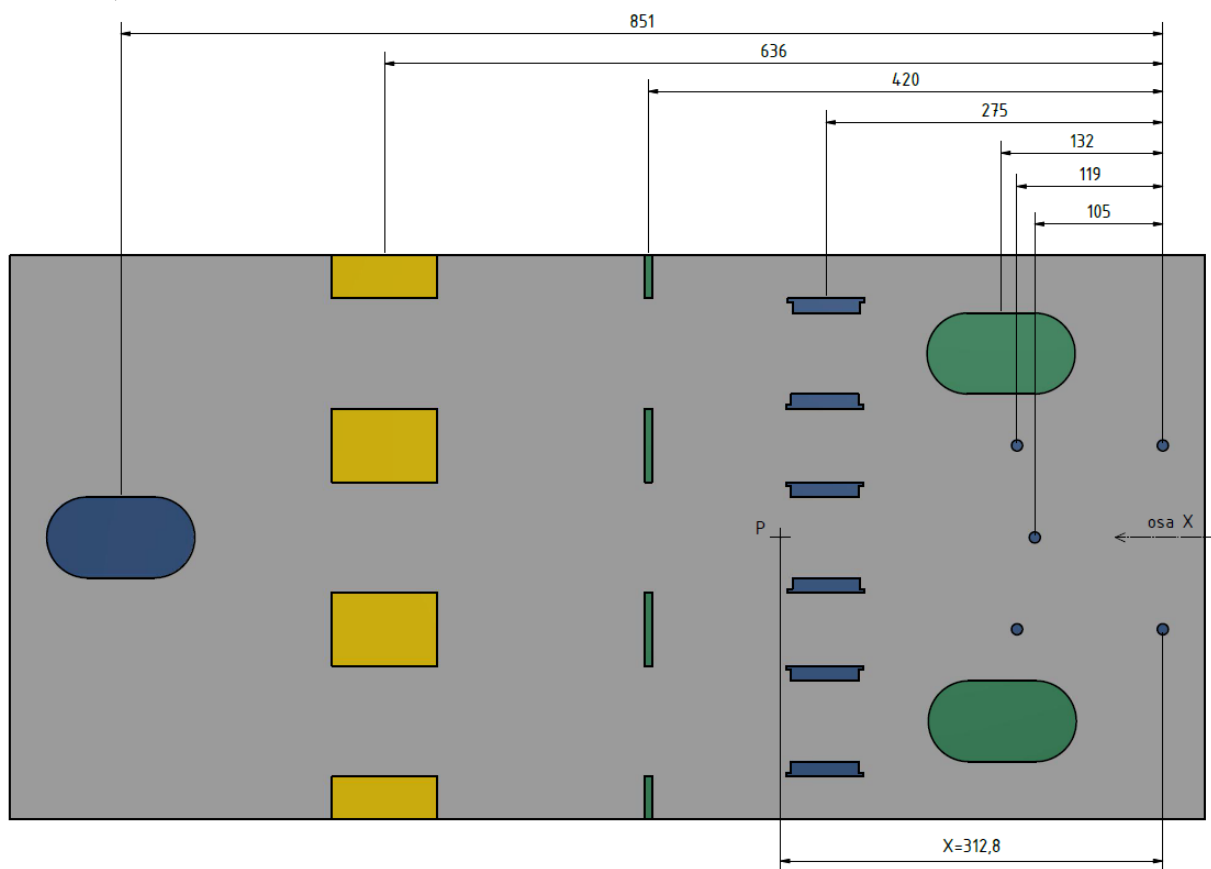
$$F_C = \sum F_i = F_S + F_{CU} = 612\,671,7 + 20\,150,7 = 632\,822,4 \text{ N}, \quad (3.18)$$

$$F_C \cdot X = F_{S1} \cdot 105 + 2 \cdot F_{S1} \cdot 119 + 2 \cdot F_{S2} \cdot 132 + 2 \cdot F_{S3} \cdot 275 + 4 \cdot F'_{S3} \cdot 275 + \\ + 2 \cdot F_{S4} \cdot 420 + 2 \cdot F_{S5} \cdot 420 + F_{CU} \cdot 636 + F_{S6} \cdot 851,$$

$$632\,822,4 \cdot X = 8\,527,4 \cdot 105 + 2 \cdot 8\,527,4 \cdot 119 + 2 \cdot 95\,108,1 \cdot 132 + 2 \cdot 44\,636,8 \cdot 275 \\ + 4 \cdot 28\,350,4 \cdot 275 + 2 \cdot 21\,112 \cdot 420 + 2 \cdot 36\,192 \cdot 420 + 20\,150,7 \cdot 636 \\ + 62\,535,3 \cdot 851,$$

$$632\,822,4 \cdot X = 197\,937\,862,1,$$

$$X = 312,8 \text{ mm}.$$



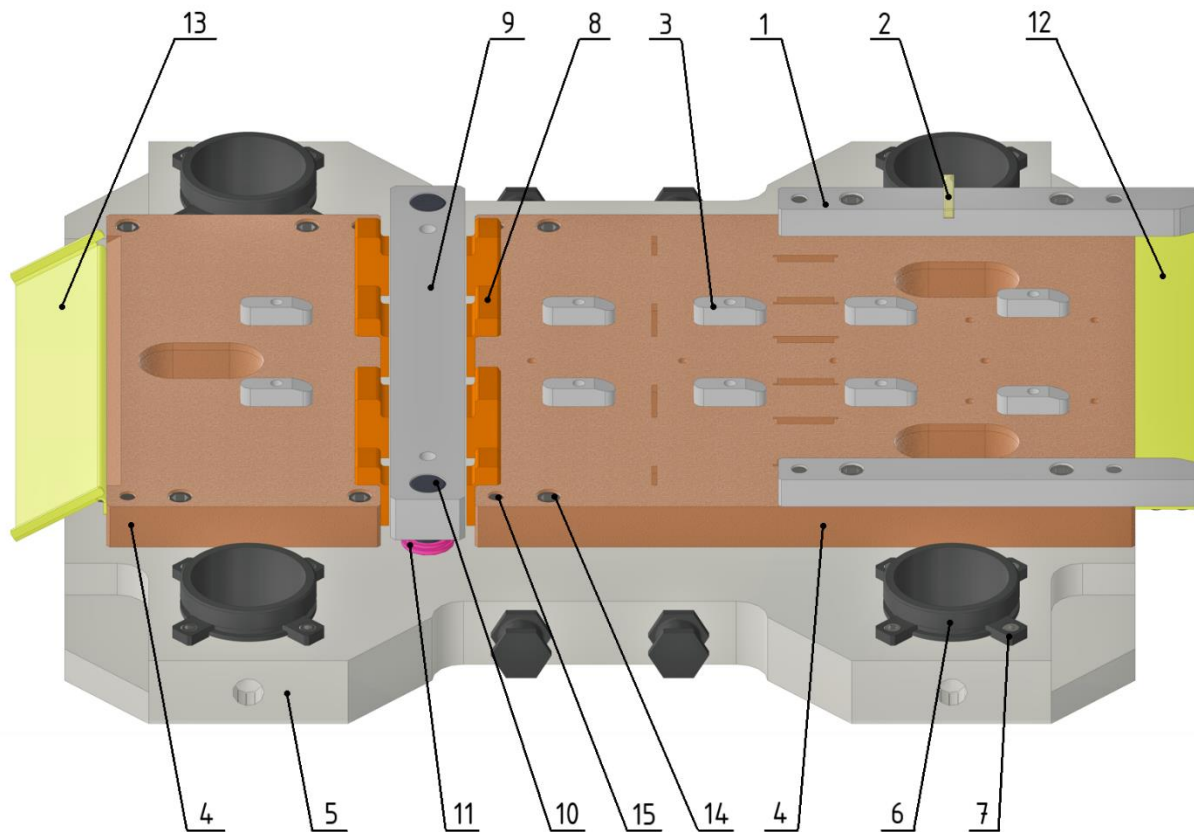
Obr. 51 Schéma pro umístění stopky nástroje.

Z výpočtu tedy vyplývá, že výsledná souřadnice působíště se nachází 312,8 mm od prvního kruhového střížníku. Do tohoto bodu bude při konstrukci a návrhu nástroje umístěna stopka, čímž bude zaručena vyváženost a přesnost nástroje.

### 3.7 Návrh sduženého nástroje

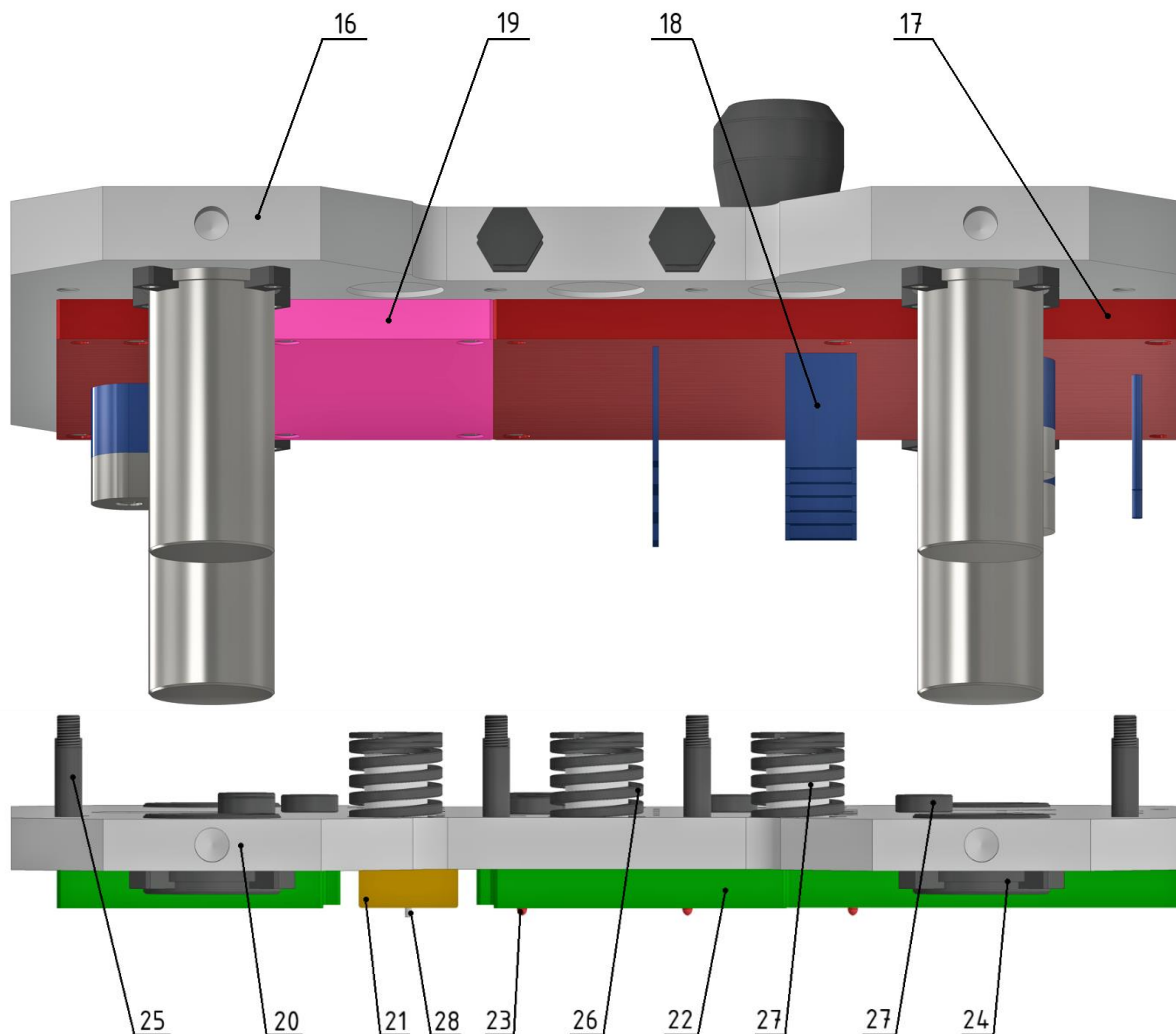
Jak již bylo zmíněno výše, pro výrobu zadaného dílce byla zvolena varianta postupového sduženého nástroje, který vyhotoví součást v sedmi krocích. S ohledem na nástřihový plán a provedené technologické výpočty byl tedy proveden jeho návrh, při kterém byl brán ohled jak na funkční, tak i ekonomickou stránku celkové výroby. Koncept nástroje byl zhotoven prostřednictvím 3D programu Autodesk Inventor 2021 včetně nezbytné výkresové dokumentace, jež se nachází v přílohách. Nástroj jako takový vychází z konstrukce lisovacích nástrojů a skládá se tedy ze dvou částí, a to horní a spodní. Spojovací materiál byl použit z DIN nebo ISO norem, svorníky s přichytkami od firmy Fibro a pružiny od firmy Eichler.

Na obr. 52 je zobrazeno uspořádání spodní části nástroje. Nejprve se zavede odvinutý pás plechu o šířce 460 mm přes rovnací a podávací zařízení pomocí vodících lišt (1) až na úroveň načínajícího dorazu (2). Následně je pás kontinuálně posouván podavačem, na kterém se nastaví velikost kroku 144 mm. Aby byl zajištěn bezpečný posuv pásu, jsou ve spodní části nástroje zabudovány odpružené zvedáky (3), které nadzdvihávají plech 20 mm nad úroveň střížnice (4). Tyto zvedáky jsou nadzvedávány dvěma pružinami a jejich zdvih je určen svorníkem. V základové desce (5) jsou vyhotoveny zvětšené otvory v návaznosti na otvory ve střížnici, kterými bude propadávat odpad stříhaného materiálu. Dále jsou v základové desce zalisována čtyři vodící pouzdra (6) pro zajištění vedení vodících sloupků, přičemž každé z nich je podepřeno čtyřmi příchýtkami (7) se šroubem. Střížnice je konstruována jako dělená, jelikož jsou v meziprostoru ukotveny ohybnice (8) a přídržovač (9), který zde plní funkci podpěry k zabránění případné deformaci dna součástí. Pohyb přídržovače je zajištěn vodícími sloupky (10) ve vodících pouzdrech (11), které jsou zalisovány v základové desce, a vinutou pružinou zabudovanou uprostřed. Maximální zdvih přídržovače je vymezen prostřednictvím dvou svorníků. Vodící lišty jsou upevněny ke střížnici šrouby a kolíky, přičemž na vstupní straně nástroje jsou přesazeny ven a ze spodní strany je přišroubován podpěrný plech (12). Na koncové straně je pak ke střížnici přišroubován skluz (13), pomocí kterého jsou hotové dílce odváděny z prostoru nástroje. Střížnice a ohybnice jsou připevněny k základové desce přes šrouby (14) a přesné ukotvení zajišťují středící kolíky (15).



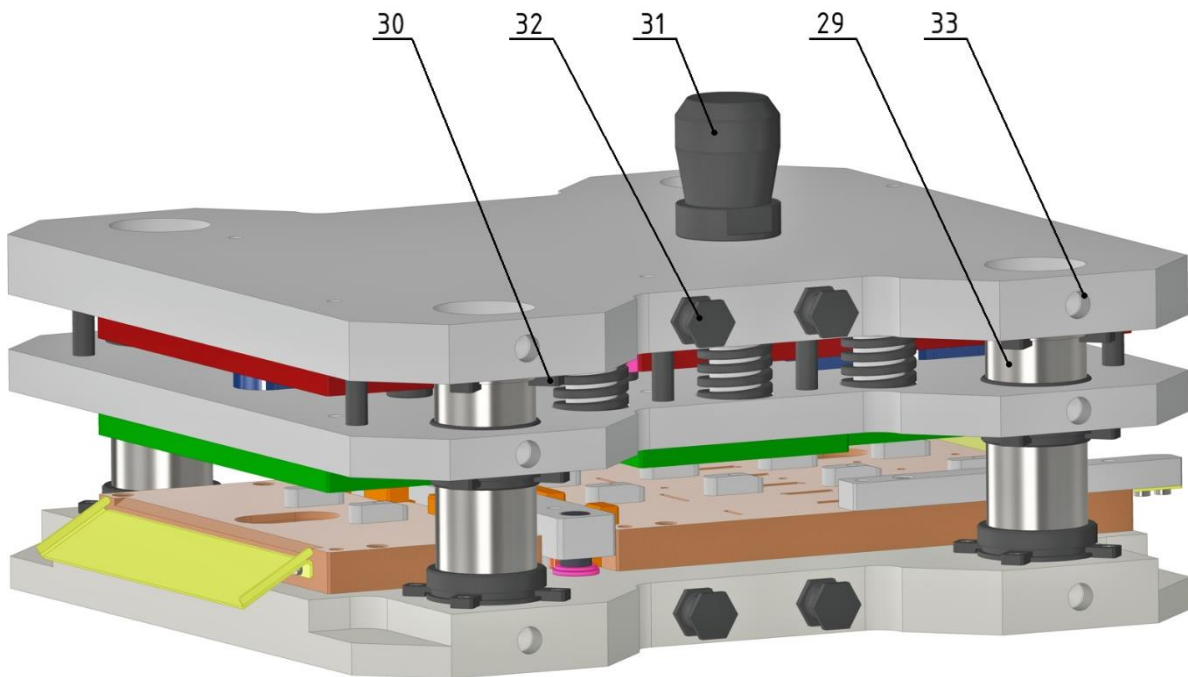
Obr. 52 Spodní část nástroje.

Horní část nástroje je obdobným způsobem zobrazena na obr. 53. Základní prvek tvoří upínací deska (16), ke které je vystředěna kolíky a přišroubována šrouby kotevní deska (17). V této desce jsou ukotveny osazené střížníky (18). Z pohledu konstrukce je kotevní deska rozdělena do dvou částí podobně jako střížnice a prostor, který se vyskytuje mezi těmito částmi, je vyplněn distanční deskou (19). Tento celek je pružně spojený s vodící deskou (20), ve které jsou přesně upevněny ohybníky (21), stěrače neboli stírací lišty (22) včetně hledáček (23), jejichž počet byl zredukován z navrhovaných čtyř na tři kusy kvůli konstrukčnímu řešení nástroje, respektive nedostatku místa. Hledáčky jako takové jsou určeny k upřesnění polohy jednotlivých operací a zamezují tak případné nepřesnosti podavače. Pohyb vodící desky je zajištěn vodícími sloupky ve vodících pouzdrech (24) a je spojena s upínací deskou osmi svorníky (25), které také plní funkci zpětného dorazu. U pracovního zdvihu nástroje nejprve dosedá stěrač s ohybníky na pás plechu. Cílem je stlačení odpružených zvedáků a přitlačení pásu plechu na úroveň střížnice, přičemž zároveň je proveden ohyb. Výhodou stírací desky při zpětném pohybu je také setření odpadního materiálu ze střížníků. Mezi vodící a upínací deskou se nachází vinuté pružiny (26), které se v konečné fázi stlačí až dojde k dosednutí výškových dorazů (27) na kotevní a distanční desku. Důsledkem toho je vysunutí střížníků ze stírací desky a jsou zhotoveny veškeré střížné operace. Stírací deska je dále opatřena oválnými otvory, do kterých zajíždí již zhotovené bočnice součásti v koncové části nástroje. Pro případ ulpívání ohnutého dílce na ohybníku jsou dva širší ohybníky ze čtyř vybaveny odlepováký (28), které tomuto nežádoucímu jevu zabrání.



Obr. 53 Horní část nástroje.

Při kompletaci obou částí nástroje je celková souosost celého kompletu zajištěna čtyřmi osazenými vodicími sloupky (29), které jsou pomocí příchytek (30) upevněny a zalisovány k upínací desce, jak je zobrazeno na obr. 54. V upínací desce je do působíště všech sil upevněna stopka nástroje (31), pomocí které dojde k vystředění horní části vzhledem k beranu lisu. Pro transportní úkony nástroj disponuje osmi nosnými čepy (32). Výška v horní poloze nástroje je 385 mm a výška sevřeného nástroje je 310 mm. Potřebný zdvih pro uskutečnění všech pracovních operací je tedy stanoven na 75 mm. Spodní část nástroje bude podepřena špalky na úroveň minimálního zdvihu stroje a připevněna ke stolu lisu upínkami. Horní část nástroje bude upevněna pomocí upínek a stopky. Pro skladování a manipulaci s nástrojem je zde zhotoveno 12 otvorů pro šrouby (33), aby byl nástroj v zajištěné poloze prostřednictvím upevňovacích lišt a nebyly neustále zatíženy pružinové segmenty.



Obr. 54 Sestavený nástroj v rozevřeném stavu.

### 3.8 Volba tvářecího stroje

K výběru tvářecího stroje je potřeba mít spočtenou celkovou velikost tvářecí síly, podle které se včetně bezpečnostní rezervy stanoví daný typ stroje. Zpravidla je jmenovitá síla stroje o 20 % vyšší než celková lisovací síla nástroje, čímž je eliminováno riziko přetížení. Dalším kritériem jsou rozměry upínacího stolu a beranu lisu, které musí být větší než jsou rozměry navrženého nástroje. Důležitá je také hodnota sevření lisu a velikost zdvihu. Z pohledu potřebných sil ke stlačení pružin v nástroji jsou uvažovány již spočtené hodnoty sil, jako je síla vytlačovací a stírací viz kapitola 3.4. Síly na stlačení odpružených zvedáků, které nadzvedávají pás plechu lze z důvodu nízkých hodnot zanedbat. Přehled složek všech sil vypadá následovně:

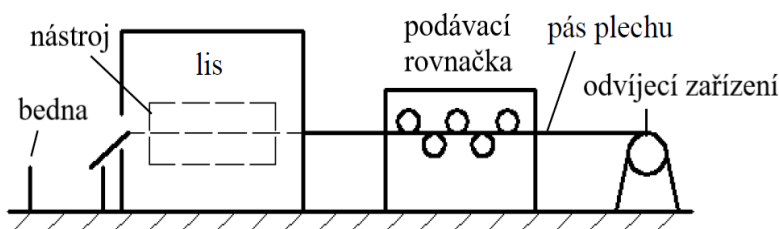
- celková střižná síla:  $F_S = 612\,671,7\text{ N}$ ,
  - vytlačovací síla:  $F_{vy} = 196\,054,9\text{ N}$ ,
  - stírací síla:  $F_{st} = 55\,140,5\text{ N}$ ,
  - ohýbací síla s kalibrací:  $F_{CU} = 20\,150,7\text{ N}$ ,
- 
- celková lisovací síla:  $F_{CL} = 884\,017,8\text{ N}$ .

Vhodným typem tvářecího stroje, jež splňuje všechny požadavky, se nabízí excentrický lis firmy Mecânica Exacta model DM 250 (obr. 55), který se používá pro náročné a přesné výrobní procesy. Výhodou je i možnost integrace lisu do linek pro práci se svitky. Stroj vyniká dlouhou životností, vysokou základní vybaveností a uživatelsky přívětivým ovládáním. Všestrannost lisu zajišťuje i možnost úpravy stolu lisu a beranu dle požadavků na danou výrobu. Součástí stroje je i vyvážecí dopravníkový pás na hotové dílce, pomocí kterého jsou součásti odváděny do bedny. [55]

Výrobní linka bude složena z odvíjecího zařízení, ze kterého se pás plechu odvíjí do podávací rovnačky. Následně je pás plechu v podávací rovnačce narovnan a posouván o konkrétní nastavenou hodnotu kroku, která v tomto případě činí 144 mm. Dále pás plechu vstupuje do lisu, kde je upnut sdrúžený postupový nástroj, ze kterého vypadávají hotové dílce na dopravníkový pás a do bedny. Zmiňované odvíjecí zařízení včetně podávací rovnačky budou použity od stejné firmy Mecânica Exacta, která je nabízí jakožto dovybavení ke zvolenému lisu. Schéma celé výrobní linky je znázorněno na obr. 56. Technické parametry zvoleného lisu jsou zobrazeny v tab. 13.



Obr. 55 Excentrický lis Mecânica Exacta DM 250 [55].



Obr. 56 Schéma celé výrobní linky.

Tab. 13 Technické parametry zvoleného lisu Mecânica Exacta DM 250 [55].

Parametr	Hodnota	Jednotka
Kapacita	2 500	[kN]
Energie pro průběžnou činnost	25	[kJ]
Energie pro jednotlivý zdvih	50	[kJ]
Rychlost	40	[cyklů/min]
Rozsah nastavení rychlosti	25 ÷ 60	[cyklů/min]
Rozsah nastavení výšky zdvihu	25 ÷ 200	[mm]
Rozměry stolu (šířka x hloubka)	1 900 x 1 150	[mm]
Rozměry beranu (šířka x hloubka)	1 900 x 1 150	[mm]
Uzavřená výška (min. vzdálenost beran – stůl)	500	[mm]
Průchod mezi bočnicemi (šířka x výška)	720 x 400	[mm]
Pracovní výška	1 080	[mm]
Počet vedení	8	[-]
Výkon motoru	30	[kW]
Celkový příkon	37,5	[kW]
Napětí	400/50	[V/Hz]
Rozměry (šířka x hloubka x výška)	3,1 x 2,35 x 5,1	[m]
Hmotnost	45 500	[kg]

## 4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro ověření navrhovaného řešení výroby je nutné provést technicko-ekonomické zhodnocení. Z hlediska technického zhodnocení jsou brány v potaz rozměry nástroje a jeho upnutí do zvoleného lisu. Jelikož jsou rozměry nástroje 1 020 x 960 mm a rozměry stolu lisu 1 900 x 1 150 mm, je zřejmé, že nástroj lze do prostoru lisu bezpečně umístit. Rozsah nastavitelné výšky zdvihu je umožněn v rozmezí 25 až 200 mm, tudíž zvolený zdvih 75 mm lze nastavit. Uzavřená výška stroje neboli minimální vzdálenost beranu od stolu lisu je 500 mm, a proto vzhledem k výšce sevřeného nástroje 310 mm je nutno nástroj podepřít špalky, aby bylo možné uskutečňovat pracovní zdvihy nástroje.

Z pohledu ekonomického zhodnocení je nutno stanovit veškeré náklady, jež jsou spojeny s danou výrobou zadaného dílce. Jak již bylo zmíněno výše, velikost stanovené výrobní série činí 300 000 kusů ročně. Kompletní výrobní náklady lze rozdělit do jednotlivých podskupin, tedy na náklady nástroje, materiál, mzdy, spotřebu energie a režii.

Náklady na nástroj spočívají ve stanovení jeho výrobní ceny, která je zpravidla u této technologie vysokou počáteční investicí. Do těchto nákladů jsou zahrnuty náklady na vývoj, konstrukci, technologii výroby, tepelné zpracování vybraných částí nástroje a samotnou výrobu. Pro určení přesné hodnoty by byl nutný detailní rozbor a cenový návrh od některé z firem zabývajících se výrobou tvářecích nástrojů, což však nelze zrealizovat, a proto bude cena nástroje stanovena odhadem na základě cen obdobných nástrojů jako  $N_n = 750\,000$  Kč.

Náklady na materiál budou určeny na základě aktuální ceny svitků plechu z materiálu EN AW-1050A o tloušťce 2 mm, které budou přesně stříhány na náviny o šířce 460 mm. Pro výrobu dané série je zapotřebí 147 svitků o vnějším průměru 1 000 mm a vnitřním průměru 500 mm. U daného svitku je potřeba určit jeho hmotnost pomocí spočteného objemu v kapitole 3.2 a jeho hustoty  $\rho = 2\,710$  kg/m<sup>3</sup>.

$$m_{SV} = V_{SV} \cdot \rho = 0,271 \cdot 2\,710 = 734,41 \text{ kg.} \quad (4.1)$$

Hmotnost všech potřebných svitků je dána vztahem:

$$m_{SVC} = m_{SV} \cdot n_{SV} = 734,41 \cdot 147 = 107\,958,27 \text{ kg.} \quad (4.2)$$

Cena materiálu EN AW-1050A při tomto počtu svitků byla stanovena firmou AL INVEST Břidličná, a.s. na 170 Kč/kg vč. DPH a stříhaný odpad materiálu bude zpětně vykoupěn za cenu 52 Kč/kg. Na základě těchto hodnot lze vypočítat celkové náklady na materiál, které je nutno vynaložit.

$$N_{SV} = C_m \cdot m_{SVC} = 170 \cdot 107\,958,27 = 18\,352\,906 \text{ Kč,} \quad (4.3)$$

kde:  $N_{SV}$  – náklady na potřebné svitky [Kč],

$C_m$  – cena materiálu [Kč/kg].

$$m_{odp} = m_{SVC} - N \cdot m_S = 107\,958,27 - 300\,000 \cdot 0,217 = 42\,858,27 \text{ kg,} \quad (4.4)$$

kde:  $m_{odp}$  – hmotnost odpadu [kg],

$m_S$  – hmotnost jedné součásti [kg].

$$P_{odp} = m_{odp} \cdot C_{odp} = 42\,858,27 \cdot 52 = 2\,228\,630 \text{ Kč,} \quad (4.5)$$

kde:  $P_{odp}$  – příjem z prodeje odpadu [Kč],

$C_{odp}$  – výkupní cena odpadu [Kč/kg].

$$N_{mc} = N_{SV} - P_{odp} = 18\,352\,906 - 2\,228\,630 = 16\,124\,276 \text{ Kč}, \quad (4.6)$$

kde:  $N_{mc}$  – celkové náklady na materiál [Kč].

Dalšími náklady jsou náklady na mzdy dělníka, který bude obsluhovat danou výrobní linku. Jak již bylo řečeno, linka je složena z odvíjecího zařízení, podávací rovnačky a samotného lisu. Z hlediska směnového času je běžně uvažováno s 8 hodinami, přičemž 7,5 hodiny je pracovní doba a 0,5 hodiny je přestávka na oběd. Čistě výrobní čas je vlivem seřizovacích a kontrolních činností dělníka kratší a bude tedy uvažováno s 6,5 hodiny.

- Počet součástí vyrobených za hodinu:

$$n_{sh} = n_{zd} \cdot 60 = 40 \cdot 60 = 2\,400 \text{ ks/hod}, \quad (4.7)$$

kde:  $n_{zd}$  – počet zdvihů lisu (viz tab. 13) [ $\text{min}^{-1}$ ].

- Počet součástí vyrobených za směnu:

$$n_{ssm} = n_{sh} \cdot t_v = 2\,400 \cdot 6,5 = 15\,600 \text{ ks/směna}, \quad (4.8)$$

kde:  $t_v$  – uvažovaný výrobní čas [hod].

- Počet směn potřebný na zhotovení celé série:

$$n_{sm} = \frac{N}{n_{ssm}} = \frac{300\,000}{15\,600} = 19,2 = 20 \text{ směn}. \quad (4.9)$$

- Počet pracovních hodin na zhotovení celé série:

$$n_h = n_{sm} \cdot t_p = 20 \cdot 7,5 = 150 \text{ hod}. \quad (4.10)$$

- Přímé náklady na mzdy spojené s platy příslušných pracovníků:

$$N_{pmz} = n_h \cdot C_d = 150 \cdot 180 = 27\,000 \text{ Kč}, \quad (4.11)$$

kde:  $C_d$  – hodinová hrubá mzda obsluhujícího pracovníka [Kč].

K celkovým přímým nákladům na mzdy je také nutno zahrnout sociální a zdravotní pojištění hrazené zaměstnavatelem. Výši obou typů pojištění lze stanovit na základě již spočtené hrubé mzdy. Sociální pojištění ze strany zaměstnavatele za zaměstnance je aktuálně 24,8 % a zdravotní pojištění 9 %.

- Náklady na sociální pojištění:

$$N_{soc} = 0,248 \cdot N_{pmz} = 0,248 \cdot 27\,000 = 6\,696 \text{ Kč}. \quad (4.12)$$

- Náklady na zdravotní pojištění:

$$N_{zdr} = 0,09 \cdot N_{pmz} = 0,09 \cdot 27\,000 = 2\,430 \text{ Kč}. \quad (4.13)$$

- Celkové náklady na přímé mzdy:

$$N_{pmzc} = N_{pmz} + N_{soc} + N_{zdr} = 27\,000 + 6\,696 + 2\,430 = 36\,126 \text{ Kč}. \quad (4.14)$$

Dále je potřeba určit energetické náklady, respektive spotřebu elektrické energie, která vychází z hodnoty příkonu jednotlivých zařízení ve výrobní lince. Hodnota celkového příkonu zvoleného lisu Mecànica Exacta DM 250 je 37,5 kW, jak je zřejmé z tab. 13. Spotřeba elektrické energie u ostatních zařízení ve výrobní lince není zjištěna, a proto s ní nebude ve výpočtu uvažováno. Cena elektrické energie za 1 kWh se odvíjí od velikosti firmy, odebraného množství, a především dle konkrétního tarifu od dodavatele. Ve výpočtu bude uvažováno se smluvní cenou 5 Kč/kWh. Na základě těchto stanovených údajů lze potom určit náklady na elektrickou energii.

$$N_{en} = P_L \cdot C_{el} \cdot n_h = 37,5 \cdot 5 \cdot 150 = 28\,125 \text{ Kč}, \quad (4.15)$$

kde:  $C_{el}$  – cena elektrické energie [Kč/kWh].

Mezi poslední uvažované náklady patří režijní náklady, což jsou v podstatě nepřímé výdaje celého podniku a nedají se přiřadit ke konkrétnímu produktu. V této položce nákladů jsou zahrnuty všechny náklady související s provozem a řízením daného podniku. Jedná se především o energetické výdaje či platy vedoucích a administrativních pracovníků. Jelikož nejsou tyto údaje zjištěny, režie se určí na základě procentuální hodnoty z celkových přímých nákladů na mzdy. Zvolená hodnota pro výrobní režii je 350 % a pro správní režii 120 %.

- Náklady na výrobní režii:

$$N_{vr} = 3,5 \cdot N_{pmzc} = 3,5 \cdot 36\,126 = 126\,441 \text{ Kč}. \quad (4.16)$$

- Náklady na správní režii:

$$N_{sr} = 1,2 \cdot N_{pmzc} = 1,2 \cdot 36\,126 = 43\,351 \text{ Kč}. \quad (4.17)$$

- Celkové náklady na režie:

$$N_{rc} = N_{vr} + N_{sr} = 126\,441 + 43\,351 = 169\,792 \text{ Kč}. \quad (4.18)$$

V případě, že jsou známy jednotlivé náklady, lze určit výrobní cenu jedné součásti, a to z podílu celkových nákladů a výrobní série. Poté se stanoví tržní cena součásti, která bude navýšena o přírůžku zisku 20 %. V závislosti na této hodnotě jsou určeny také celkové tržby za celou sérii.

$$N_{vc1} = \frac{\sum N_i}{N} = \frac{N_n + N_{mc} + N_{pmzc} + N_{en} + N_{rc}}{N}, \quad (4.19)$$

kde:  $N_{vc1}$  – výrobní cena jedné součásti [Kč/ks],

$$N_{vc1} = \frac{750\,000 + 16\,124\,276 + 36\,126 + 28\,125 + 169\,792}{300\,000} \cong 57 \text{ Kč/ks}.$$

$$N_{tc1} = 1,2 \cdot N_{vc1} = 1,2 \cdot 57 = 68,4 \text{ Kč/ks}, \quad (4.20)$$

kde:  $N_{tc1}$  – tržní cena jedné součásti [Kč/ks].

$$T_c = N_{tc1} \cdot N = 68,4 \cdot 300\,000 = 20\,520\,000 \text{ Kč}, \quad (4.21)$$

kde:  $T_c$  – tržby za celou sérii [Kč].

V závěrečné fázi je nutno veškeré náklady rozdělit na fixní a variabilní, aby bylo následně možné graficky posoudit ziskovost neboli výdělečnost v závislosti na objemu výroby, a to pomocí určení bodu zvratu. Fixní náklady jsou nezávislé na množství vyrobených součástí a patří sem tedy náklady na režii a náklady na výrobu nástroje. Náklady variabilní jsou výdaje, které se mění s objemem výroby, a proto mezi ně lze zařadit náklady na materiál, elektrickou energii výrobní linky a také mzdy pracovníků. Tuto položku nákladů je nutno zohlednit k jedné vyrobené součásti. [56]

- Fixní náklady:

$$N_{fix} = N_{rc} + N_n = 169\,792 + 750\,000 = 919\,792 \text{ Kč}. \quad (4.22)$$

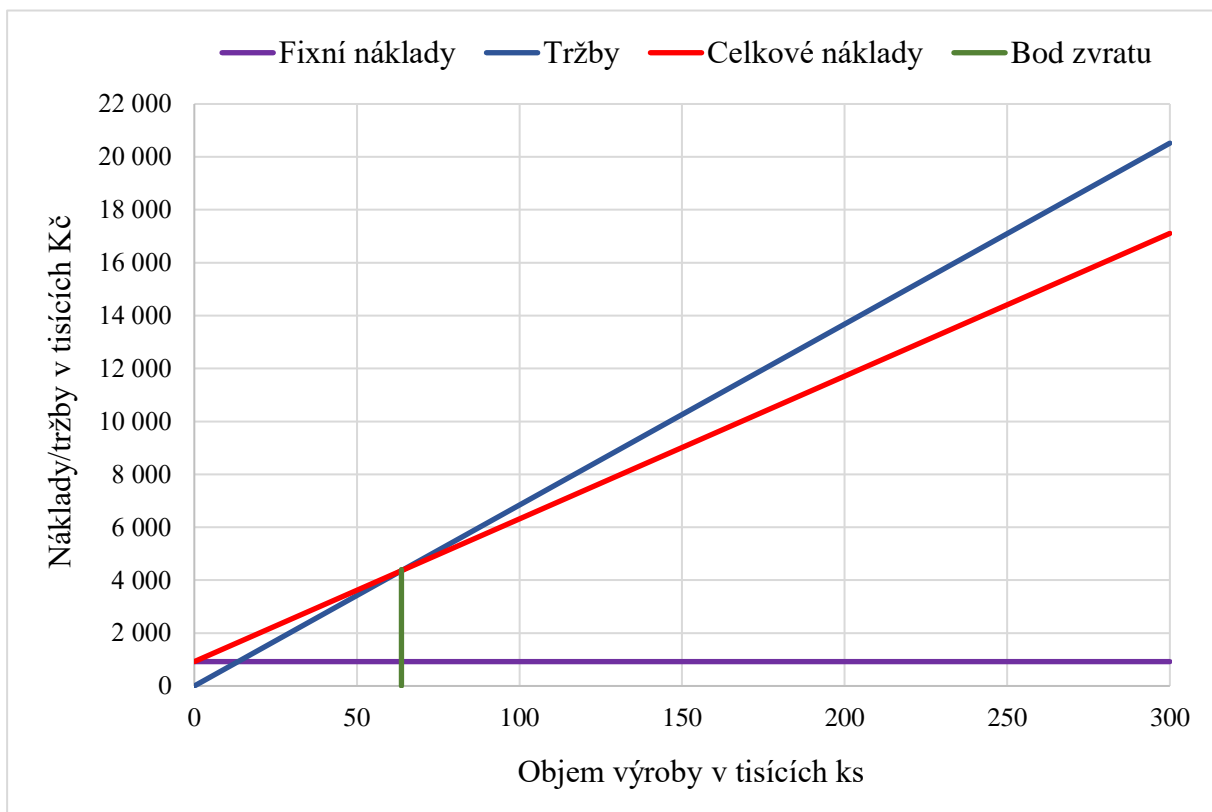
- Variabilní náklady:

$$N_{var} = \frac{N_{mc} + N_{pmzc} + N_{en}}{N} = \frac{16\,124\,276 + 36\,126 + 28\,125}{300\,000} = 53,96 \text{ Kč/ks}. \quad (4.23)$$

Následně je tedy možné stanovit tzv. bod zvratu, který nastane při takovém počtu vyrobených součástí, kdy se tržby rovnají nákladům a zisk je nulový [56]. Stanovením tohoto bodu lze určit, zda bude daná výroba ztrátová nebo zisková. V případě, že by se bod zvratu nacházel při takovém počtu vyrobených kusů, který by byl vyšší než objem dané série, výroba by byla ztrátová. V opačném případě, kdy se bod zvratu nachází při počtu vyrobených kusů menším, než je objem dané série, výroba je zisková a vyplatí se ji uskutečnit. Grafické znázornění bodu zvratu je zobrazeno na obr. 57.

- Bod zvratu:

$$B_{zv} = \frac{N_{fix}}{N_{tc1} - N_{var}} = \frac{919\,792}{68,4 - 53,96} = 63\,698 \text{ ks.} \quad (4.24)$$



Obr. 57 Bod zvratu.

Z dosažených výsledků je patrné, že z ekonomického hlediska byla zvolená technologie výroby součástí sdruženým postupovým nástrojem navržena správně. Daná výroba je zisková již od 63 698 vyrobených kusů. Z celkových tržeb a nákladů lze potom rozdílem určit výsledný roční zisk. Jedná se však pouze o orientační částku, jelikož získání přesné hodnoty by vyžadovalo znalost všech potřebných parametrů a výpočet by byl značně složitější.

$$Z_c = T_c - N_c = T_c - (N_{fix} + N_{var} \cdot N), \quad (4.25)$$

$$Z_c = 20\,520\,000 - (919\,792 + 53,96 \cdot 300\,000) = 20\,520\,000 - 17\,107\,792,$$

$$Z_c = 3\,412\,208 \text{ Kč.}$$

---

## ZÁVĚR

Cílem předkládané diplomové práce bylo navrhnout vhodnou technologii výroby zadaného dílce kabelového dna rozváděče, který plní funkci krytky kabelů. Jako vhodný materiál pro výrobu dílce byl z funkčních důvodů zvolen hliník EN AW-1050A, který bude dodáván ve formě svitku plechu o tloušťce 2 mm.

Po zhodnocení možných způsobů variant byla vzhledem k velikosti výrobní série zvolena metoda sdruženého postupového nástroje, který kombinuje technologii stříhání s ohýbáním. Na tyto technologie byla zpracována literární rešerše. Při návrhu nástřihového plánu a volbě uspořádání výstřižků na pásu plechu bylo vycházeno z procentuálního využití materiálu, ale především z možné celkové délky nástroje. Při podélném uspořádání vzhledem k délce součásti by byl nástroj příliš dlouhý, což by značně prodražilo výrobu, a proto byla zvolena varianta s příčným uspořádáním výstřižků. Následně byly stanoveny možné varianty konstrukčního řešení nástroje, kdy jako nejvhodnější byla shledána varianta C kvůli rovnoměrnému rozmístění všech střižníků. K této variantě byly provedeny kontrolní a technologické výpočty jak pro střižnou, tak i ohýbací část. Z rovnováhy momentů všech působících sil byla stanovena poloha stopky nástroje.

Na základě celkové lisovací síly, která je rovna 884 017,8 N a vnějších rozměrů navrženého nástroje byl zvolen excentrický lis Mecânica Exacta DM 250, který splňuje silové i prostorové požadavky. Kvůli problematickému posouvání pásu plechu v nástroji po provedeném ohybu dílce bylo zhotoveno vedení prostřednictvím odpružených zvedáků v celé délce nástroje. Z výpočtů procentuálního využití materiálu vycházel nejvýhodněji svitek s největším průměrem 1 000 mm a standardním vnitřním průměrem 500 mm, který bude přesně stříhán na náviny o šířce 460 mm. Na výrobu požadované série je potřeba 147 svitků, které budou využity ze 60,34 %.

Technicko-ekonomické zhodnocení prokázalo ziskovost zvolené technologie výroby. Z technického hlediska lze nástroje bezpečně upnout do dutiny lisu a nastavit hodnotu zdvihu 75 mm. V ekonomické části byly stanoveny celkové náklady na výrobu jednoho dílce, které jsou 57 Kč. Po přičtení marže 20 % pro výrobce k této ceně je cena dílce 68,4 Kč, což při uvažované roční sérii 300 000 kusů představuje čistý zisk 3 412 208 Kč. Po vyrobení 63 698 součástí dochází k bodu zvratu a daná výroba se stává ziskovou.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *Vlastnosti lisovaných a ohýbaných dílů* [online]. Pfalzgrafeweiler: Gutekunst Formfedern, 2021 [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://info.formfedern.com/cs/vlastnosti-lisovanych-a-ohybanych-dilu/>
  2. *Lexikon* [online]. Praha: Infocube, 2019 [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: <https://www.oneindustry.cz/lexikon/>
  3. *Plošné tváření titanu a jeho slitin* [online]. Praha: Technický týdeník, 2016 [cit. 2021-12-12]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/plosne-tvareni-titanu-a-jeho-slitin\\_16621.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/plosne-tvareni-titanu-a-jeho-slitin_16621.html)
  4. *Akademie tváření: Strihání* [online]. Praha: MM Průmyslové spektrum, 2010 [cit. 2021-12-18]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani>
  5. Značení hliníku. *ALMS s.r.o.* [online]. [cit. 2021-02-19]. Dostupné z: <http://www.alms-brno.cz/produkty/1-hlinik/>
  6. Hliníkový plech EN AW 1050A. *IMC Slovakia s.r.o.* [online]. [cit. 2021-12-19]. Dostupné z: <https://www.hlinikbronz.cz/en-aw-1050a/>
  7. Aluminium alloy 1050A H14. *Aalco Metals Limited* [online]. [cit. 2021-12-19]. Dostupné z: [https://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-1050A-H14-Sheet\\_57.ashx](https://www.aalco.co.uk/datasheets/Aluminium-Alloy-1050A-H14-Sheet_57.ashx)
  8. MARCINIAK, Zdislaw et al. *Mechanics of Sheet Metal Forming*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 07-506-5300-00.
  9. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
  10. BAREŠ, Karel. *Lisování*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1971.
  11. ŠŮSTEK, Roman. *Přístup ke stanovení výchozí ceny ohraňovacího lisu*. In: Sborník příspěvků konference Junior Forensic Science Brno 2018. Brno: VUT, 2018. ISBN: 978-80-214-5621-1.
  12. KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT Praha, 1993. ISBN 80-01-01003-1.
  13. *Vodní paprsek* [online]. Praha: Technoart [cit. 2021-12-20]. Dostupné z: <https://cero.cz/wp-content/uploads/2019/04/8f431796d060c808cdd82186be91a0b8.pdf>
  14. ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. *Příručka pro lisování za studena: Určeno techn. pracovníkům kovodělného prům. všech kategorií a studujícím prům. učilišť kovodělného směru všech stupňů*. Praha: SNTL, 1959.
  15. *Laserové řezání jako bezkontaktní proces oddělování* [online]. Praha: TRUMPF, 2021 [cit. 2021-12-20]. Dostupné z: [https://www.trumpf.com/cs\\_CZ/reseni/pouziti/laserove-rezani/](https://www.trumpf.com/cs_CZ/reseni/pouziti/laserove-rezani/)
  16. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání v příkladech - stříhání plechu*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013a. ISBN 978-80-248-3016-2.
  17. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání - teoretický základ*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013b. ISBN 978-80-248-3015-5.
  18. GAJDOŠ, František. *Technologie tváření kovů* [online]. Brno: VUT [cit. 2022-01-10]. 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)
-

- 
19. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
  20. *Úhelník s prolisem - KP* [online]. České Budějovice: JH SYSTEMS, 2016 [cit. 2022-01-14]. Dostupné z: <https://vruty-fischer.cz/15816-uhelnik-s-prolisem-kp.html>
  21. ČSN 22 7340. *Tvářecí nástroje - ohýbadla: všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. Vyd. 16.11.1990.
  22. *Laserové řezání* [online]. Praha: Techportal, 2022 [cit. 2022-01-14]. Dostupné z: [https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR\\_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a\\_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrOHEn2FFltCydCHgU9pxzteaFCBcB3dohQA](https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrOHEn2FFltCydCHgU9pxzteaFCBcB3dohQA)
  23. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. *Technologie tváření* [online]. Brno: VUT, 2006 [cit. 2022-01-14]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie\\_tvareni/index.htm](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/index.htm)
  24. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
  25. Seriál na téma lasery. *LAO – lasery a optika* [online]. 2013 [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>
  26. Princip řezání. *BRIKLIS spol. s r.o.* [online]. 2022 [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: <http://wcm.cz/technologie-rezani-vodnim-paprskem/princip-rezani>
  27. HLUCHÝ, Miroslav, KOLOUCH, Jan a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie - 2*. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-718-3244-8.
  28. Řezání plazmovým hořákem. *eStránky.cz* [online]. 2021 [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: <https://tch2.estranky.cz/fotoalbum/fotoalbum/nekonvencni-metody/rezani-plazmovym-horakem.jpg.html>
  29. HLAVATÝ, Ivo. *Laserové a plazmové řezání* [online]. 2009 [cit. 2022-01-14]. Dostupné z: <http://staryweb.ivohlavaty.cz/2009Svarovani/16-17-83-84.pdf>
  30. Střížné nástroje. *Nástrojárna PROTOOL s.r.o.* [online]. 2014 [cit. 2022-02-18]. Dostupné z: [http://www.vyrobaforem.cz/cs/strizne\\_nastroje.html](http://www.vyrobaforem.cz/cs/strizne_nastroje.html)
  31. LENFELD, Petr. *Část I - Tváření kovů* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2022-01-14]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/obsah\\_kovy.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/obsah_kovy.htm)
  32. BAREŠ, Karel a kol. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971.
  33. *Lemovací stroje* [online]. Měšice: Formetal, 2022 [cit. 2022-01-15]. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/stroje/lemovaci-stroje/>
  34. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Brno: CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
  35. IKUMAPAYi, Omolayo et al. *A Brief Overview of Bending Operation in Sheet Metal Forming* [online]. Singapore: Springer Nature Singapore, 2020 [cit. 2022-01-15]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/344417527\\_A\\_Brief\\_Overview\\_of\\_Bending\\_Operation\\_in\\_Sheet\\_Metal\\_Forming](https://www.researchgate.net/publication/344417527_A_Brief_Overview_of_Bending_Operation_in_Sheet_Metal_Forming)
  36. *Děrování plechů CNC stroji* [online]. Brno: MAJER-KOVO [cit. 2022-01-15]. Dostupné z: <https://www.majerkovo.cz/cs/sluzby/sluzby/derovani-plechu-cnc-strojij>
-

- 
37. GILLBERG, Linus a Christoffer SANDBERG. *Developing design guidelines for load carrying sheet metal components with regards to manufacturing method* [online]. Stockholm: Royal Institute of Technology, 2017 [cit. 2022-01-17]. Dostupné z: <https://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:1198837/FULLTEXT01.pdf>
  38. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha, 1980.
  39. SINGH, K. Prashant. *Manufacturing Science I* [online]. Lucknow: University of Lucknow [cit. 2022-01-17]. Dostupné z: [https://www.lkouniv.ac.in/site/writereaddata/siteContent/202004032250570818Prashant\\_engg\\_Manufacturing\\_sheet\\_metal\\_3.pdf](https://www.lkouniv.ac.in/site/writereaddata/siteContent/202004032250570818Prashant_engg_Manufacturing_sheet_metal_3.pdf)
  40. DIEGEL, Olaf. *Bend Works - The fine-art of Sheet Metal Bending* [online]. Complete Design Services, 2002 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: <https://www.micro-machine-shop.com/Sheet%20Metal%20Bending.pdf>
  41. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření I*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
  42. KUBÍČEK, Miroslav. *Konstrukce ohýbacích nástrojů* [online]. Brno: Střední průmyslová škola a Vyšší odborná škola technická Brno, 2014 [cit. 2022-01-19]. Dostupné z: [https://www.sokolska.cz/DUMy/STT,%20KOM/VY\\_32\\_INOVACE\\_20-14.pdf](https://www.sokolska.cz/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_20-14.pdf)
  43. BÍLIK, Jozef et al. *Technológia tvárnenia - návody na cvičenia (skriptum)*. Bratislava: STU v Bratislave, 2004. ISBN 80-227-2099-2.
  44. DILLINGER, Josef. *Moderní strojírenství pro školu i praxi*. Praha: Europa Sobotáles, 2007. ISBN 978-80-86706-19-1.
  45. *Střížníky a hledáčky s jištěním na kuličku, kotevní desky a nářadí pro montáž* [online]. Benátky nad Jizerou: Dayton Progress, 2013 [cit. 2022-01-20]. Dostupné z: <https://adoc.pub/ball-lock-stiniky-a-hledaky-s-jitnim-na-kuliku-kotevni-desky.html>
  46. BŘEZINA, Richard a Jiří PETRUŽELKA. *Úvod do tváření II*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 2002. ISBN 80-248-0068-3.
  47. HOSFORD, William a Robert CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-00452-8.
  48. *Zámečnictví, svařování, zpracování plechů* [online]. Chvalčov: WASHINA Engineering, 2017 [cit. 2022-01-20]. Dostupné z: <http://www.washina.cz/obsah/nabidka/zamecnictvi-svarovani-zpracovani-plechu>
  49. TSCHÄTSCHE, Heinz. *Metal formingpractise: processes - machines - tools*. New York: Springer-Verlag, 2006. ISBN 35-403-3216-2.
  50. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení - část Tvářecí stroje* [online]. Brno: VUT v Brně, 2002 [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs\\_vyrobní\\_stroje\\_a\\_zarizeni\\_novotny.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs_vyrobní_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf)
  51. KOUKAL, Jaroslav a Richard BŘEZINA. *Výrobní stroje tvářecí a svařecí*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 1999. ISBN 80-7078-589-6.
  52. POKORNÝ, Přemysl. *Výrobní stroje II - mechanické lisy* [online]. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 1998 [cit. 2022-02-16]. Dostupné z: [http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobní\\_stroje/tvareci.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobní_stroje/tvareci.pdf)
-

53. Pásky válcované za studena. *AL INVEST Břidličná, a.s.* [online]. [cit. 2022-02-20]. Dostupné z: [https://www.alinvest.cz/attachments/article/79/Pasy\\_za\\_studena\\_CZ\\_curves.pdf](https://www.alinvest.cz/attachments/article/79/Pasy_za_studena_CZ_curves.pdf)
54. ČSN 22 6015. *Lisovací stroje. Stříhadla a střížné vůle. Směrnice pro výpočet a konstrukci.* Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1977.
55. Excentrické lisy Mecânica Exacta, modely DM. *Formetal – Plechotvářecí stroje* [online]. [cit. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/stroje/vystrednikove-lisy-model-dm/>
56. Bod zvratu. *Wikipedie* [online]. [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Bod\\_zvratu](https://cs.wikipedia.org/wiki/Bod_zvratu)
57. Vzduchem izolovaný rozváděč UniGear 550. *ABB* [online]. [cit. 2022-04-16]. Dostupné z: <https://new.abb.com/medium-voltage/cs/rozvadece/vzduchem-izolovane-rozvadece/iec-a-dalsi-standardy/vzduchem-izolovany-rozvadec-unigear-550>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	Střížná práce	[J]
A <sub>5</sub>	Tažnost	[%]
A <sub>U</sub>	Ohýbací práce pro U-ohyb	[J]
A <sub>V</sub>	Ohýbací práce pro V-ohyb	[J]
b	Šířka materiálu	[mm]
B <sub>ZV</sub>	Bod zvratu	[ks]
c	Koeficient pro určení minimálního poloměru ohybu	[-]
c <sub>m</sub>	Součinitel závislý na druhu stříhání	[-]
C <sub>d</sub>	Hodinová hrubá mzda obsluhujícího dělníka	[Kč]
C <sub>el</sub>	Cena elektrické energie	[Kč/kWh]
C <sub>m</sub>	Cena materiálu	[Kč/kg]
C <sub>odp</sub>	Výkupní cena odpadu	[Kč/kg]
d <sub>sv</sub>	Vnitřní průměr svitku	[mm]
D <sub>sv</sub>	Vnější průměr svitku	[mm]
e	Velikost můstku	[mm]
E	Youngův modul pružnosti v tahu	[MPa]
F	Síla na beranu	[N]
F <sub>CL</sub>	Celková lisovací síla	[N]
F <sub>CU</sub>	Ohýbací síla s kalibrací	[N]
F <sub>KV</sub>	Kalibrační síla pro V ohyb	[N]
F <sub>P</sub>	Síla přidržovače	[N]
F <sub>st</sub>	Stírací síla	[N]
F <sub>s</sub>	Střížná síla	[N]
F <sub>SC</sub>	Celková střížná síla	[N]
F <sub>U</sub>	Ohýbací síla pro U-ohyb	[N]
F <sub>vy</sub>	Vytlačovací síla	[N]
F <sub>V</sub>	Ohýbací síla pro V-ohyb	[N]
h	Dráha beranu	[mm]
h <sub>el</sub>	Výška elastické deformace	[mm]
h <sub>f</sub>	Výška fazetky ve střížnici	[mm]
h <sub>pl</sub>	Výška plastické deformace	[mm]
h <sub>s</sub>	Výška potřebná k ustříhnutí materiálu	[mm]
h <sub>u</sub>	Výška pracovního zdvihu pro U-ohyb	[mm]
h <sub>v</sub>	Výška pracovního zdvihu pro V-ohyb	[mm]
H	Minimální výška střížnice	[mm]
I <sub>k</sub>	Kvadratický moment setrvačnosti kruhového průřezu	[mm <sup>4</sup> ]
I <sub>o</sub>	Kvadratický moment setrvačnosti obdélníkového průřezu	[mm <sup>4</sup> ]
k	Velikost kroku	[mm]
k <sub>st</sub>	Koeficient pro určení stírací síly	[-]
k <sub>vy</sub>	Koeficient pro určení vytlačovací síly	[-]
k <sub>0</sub>	Součinitel úhlu odpružení	[-]
l	Délka výstřížku	[mm]
l <sub>krit</sub>	Kritická délka střížníku	[mm]
l <sub>m</sub>	Vzdálenost mezi opěrami při U-ohybu	[mm]
l <sub>v</sub>	Vzdálenost mezi opěrami při V-ohybu	[mm]
L	Délka křivky stříhu	[mm]

$L_{SV}$	Délka svitku	[mm]
$m$	Koeficient zaplnění diagramu	[-]
$m_{odp}$	Hmotnost odpadu	[kg]
$m_s$	Hmotnost jedné součásti	[kg]
$m_{SV}$	Hmotnost svitku plechu	[kg]
$m_{SVC}$	Hmotnost všech svitků plechu	[kg]
$n$	Koeficient zahrnující opotřebení nástroje	[-]
$n_b$	Koeficient bezpečnosti	[-]
$n_h$	Potřebný počet pracovních hodin pro zhotovení celé série	[h]
$n_s$	Počet výstřižků ve válcové oblasti střížnice	[ks]
$n_{sm}$	Potřebný počet směn pro zhotovení celé série	[směny]
$n_{SV}$	Potřebný počet svitků pro zhotovení celé série	[ks]
$n_v$	Počet vystřihovaných součástí	[ks]
$n_{zd}$	Počet zdvihů lisu při stálém chodu	[min <sup>-1</sup> ]
$N$	Počet součástí v roční výrobní sérii	[ks]
$N_c$	Celkové náklady	[Kč]
$N_{en}$	Náklady na energie	[Kč]
$N_{fix}$	Fixní náklady	[Kč]
$N_{mc}$	Celkové náklady na materiál	[Kč]
$N_{pmz}$	Přímé náklady na mzdy	[Kč]
$N_{pmzc}$	Celkové přímé náklady na mzdy	[Kč]
$N_{rc}$	Celkové náklady na režie	[Kč]
$N_{soc}$	Náklady na sociální pojištění pracovníků	[Kč]
$N_{sr}$	Náklady na správní režii	[Kč]
$N_{SV}$	Náklady na potřebné svitky	[Kč]
$N_{tc1}$	Náklady na výrobu jedné součásti včetně zisku	[Kč]
$N_{var}$	Variabilní náklady	[Kč]
$N_{vc1}$	Výrobní náklady jedné součásti	[Kč]
$N_{vr}$	Náklady na výrobní režii	[Kč]
$N_{zdr}$	Náklady na zdravotní pojištění pracovníků	[Kč]
$p$	Měrný tlak	[MPa]
$P$	Poloha působíště výslednice sil	[mm]
$P_L$	Příkon lisu	[kW]
$P_{odp}$	Příjmy z prodeje odpadu	[Kč]
$r_m$	Poloměr zaoblení pevné čelisti	[mm]
$r_p$	Poloměr zaoblení pohyblivé části	[mm]
$R$	Poloměr ohybu	[mm]
$R_a$	Střední aritmetická úchylka profilu	[ $\mu$ m]
$R_m$	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
$R_{max}$	Maximální poloměr ohybu	[mm]
$R_{min}$	Minimální poloměr ohybu	[mm]
$s$	Tloušťka materiálu	[mm]
$S_{ot}$	Průřez střížníku v místě upnutí	[mm <sup>2</sup> ]
$S_p$	Plocha polotovaru	[mm <sup>2</sup> ]
$S_S$	Plocha stříhu	[mm <sup>2</sup> ]
$S_v$	Plocha součásti	[mm <sup>2</sup> ]
$\check{s}$	Šířka výstřižku	[mm]
$t_p$	Pracovní čas v jedné směně	[h]
$t_v$	Výrobní čas v jedné směně	[h]
$T_C$	Celkové tržby za celou sérii	[Kč]

$v$	Střižná vůle	[mm]
$v_d$	Deformační rychlost	[s <sup>-1</sup> ]
$v_n$	Rychlost nástroje	[m·s <sup>-1</sup> ]
$v_o$	Ohýbací vůle	[mm]
$V_{SV}$	Objem svitku	[mm <sup>3</sup> ]
$x$	Součinitel posunutí neutrální plochy	[-]
$X$	Souřadnice působíště výslednice sil	[mm]
$z$	Střižná mezera	[mm]
$Z_c$	Celkový roční zisk	[Kč]
$\alpha$	Úhel ohybu	[°]
$\beta_U$	Úhel odpružení při U-ohybu	[°]
$\beta_V$	Úhel odpružení při V-ohybu	[°]
$\varepsilon_{tmax}$	Poměrná deformace	[-]
$\eta$	Procentuální využití materiálu	[%]
$\eta_{SV}$	Procentuální využití svitku plechu	[%]
$\eta_{SVC}$	Procentuální využití všech svitků plechu	[%]
$\lambda$	Součinitel plnosti diagramu	[-]
$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\rho$	Hustota materiálu	[kg·m <sup>-3</sup> ]
$\rho_o$	Poloměr neutrální plochy	[mm]
$\sigma_k$	Napětí na mezi kluzu	[MPa]
$\sigma_n$	Normálové napětí	[MPa]
$\sigma_{ot}$	Napětí na rozhraní střižníku a upínací desky	[MPa]
$\sigma_1$	Tahové napětí	[MPa]
$\sigma_3$	Tlakové napětí	[MPa]
$\tau_S$	Střižný odpor	[MPa]
$\varphi$	Úhel ohnutého úseku	[°]

### Zkratky

Označení	Legenda
IT	International Tolerance

## SEZNAM PŘÍLOH

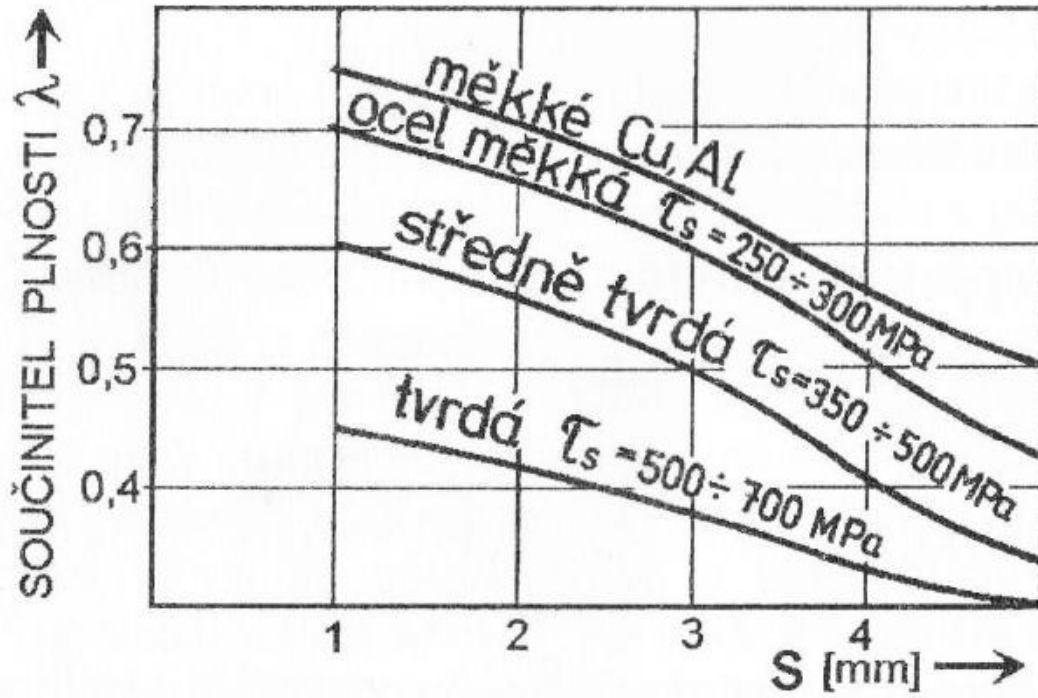
- Příloha 1      Hodnoty koeficientů pro výpočet vytlačovací a stírací síly
- Příloha 2      Diagram pro určení součinitele plnosti  $\lambda$
- Příloha 3      Nomogram pro určení velikosti můstku a šířky okraje
- Příloha 4      Tabulka součinitele  $k_0$  pro výpočet úhlu odpružení
- Příloha 5      Ukázka vzduchem izolovaného rozváděče vysokého napětí

### Seznam výkresů

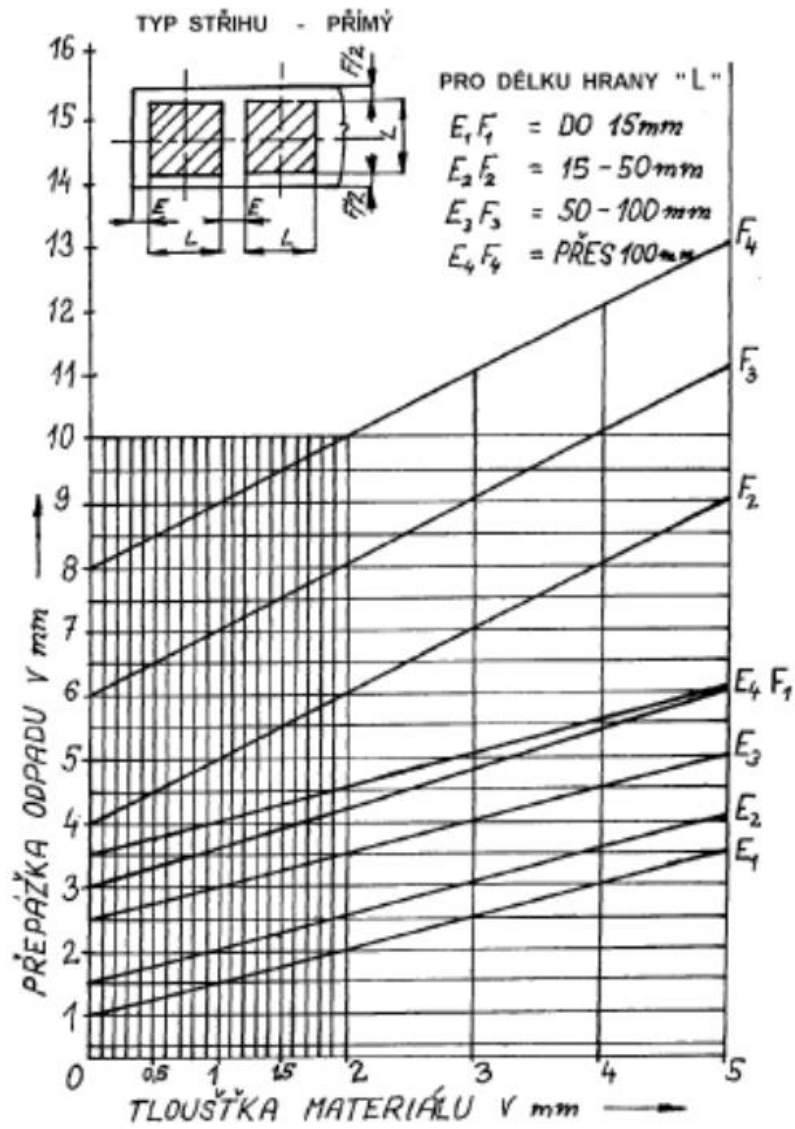
- Dílec kabelového dna rozváděče; 2022-DP-201289-01
- Sestava sdruženého nástroje; 2022-DP-201289-02
- Horní část nástroje; 2022-DP-201289-03
- Spodní část nástroje; 2022-DP-201289-04
- Střížnice 2; 2022-DP-201289-05
- Střížník tvarový; 2022-DP-201289-06
- Ohybnice 1; 2022-DP-201289-07
- Ohybník 1; 2022-DP-201289-08

Hodnoty koeficientů pro výpočet vytlačovací a stírací síly [41]

<b>Tloušťka plechu <math>s</math></b>	<b>Koeficient <math>k_{st}</math></b>	<b>Koeficient <math>k_{vy}</math></b>
$s < 1 \text{ mm}$	0,02 ÷ 0,08	0,05 ÷ 0,10
$s = 1 \div 5 \text{ mm}$	0,06 ÷ 0,12	
$s > 5 \text{ mm}$	0,08 ÷ 0,15	

Diagram pro určení součinitele plnosti  $\lambda$  [24]

Nomogram pro určení velikosti můstku a šířky okraje [18]



Tabulka součinitele  $k_0$  pro výpočet úhlu odpružení [21]

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

Ukázka vzduchem izolovaného rozváděče vysokého napětí [57]

