



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## NÁVRH VÝROBY NÁSTĚNNÉHO DRŽÁKU

PRODUCTION CONCEPT OF WALL MOUNTING BRACKET

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Tesař

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2023

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Michal Tesař</b>
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Michaela Císařová, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2022/23

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

## Návrh výroby nástěnného držáku

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby nástěnného držáku pro upevnění kompaktní skříňě rozvaděče. Literární rešerše bude zaměřena na vhodnou technologii plošného tváření. Výstupem bude návrh postupu výroby součásti, návrh tvářecího nástroje a volba vhodného stroje.

### Cíle diplomové práce:

Téma diplomové práce je zaměřeno na technologii výroby nástěnného držáku z ocelového plechu. V práci bude vypracována aktuální literární studie se zaměřením na zvolené technologie plošného tváření, dále bude obsahovat návrh postupu výroby součásti včetně návrhu nástroje a lisovacího stroje, technologické výpočty a závěry se zhodnocením navrhované technologie.

### Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 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.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-72-1-579-6.

TSCHÄETSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. Springer Berlin Heidelberg, New York, 2006. 404 s. ISBN 3-540-33216-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

---

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Práce se zabývá řešením návrhu výroby držáku kompaktních skříní rozváděcích boxů. Výrobní série byla stanovena na 400 000 ks/rok. Součást bude vyráběna z oceli DC01 o tloušťce 2 mm. Ekvivalentem je ocel 11 321. Z možných variant výroby byla vybrána technologie postupového sruženého nástroje. Upořádání výlisku na pás plechu je dvouřadé uspořádání, kdy se budou vyrábět dvě součásti zároveň. Jako polotovar je vybrán svitek plechu o přesných rozměrech. Součinitel využití materiálu je 80,18 %. Součást je vyráběna v 8 krocích, přičemž pro tuto variantu byly provedeny potřebné technologické a konstrukční výpočty. Celková síla na výrobu součásti je 1 240 kN. Stroj je vybrán excentrický klikový lis od firmy Formetal s.r.o., s označením CC 160. Po samotné výrobě budou součásti ještě galvanicky zinkovány.

### Klíčová slova

plošné tváření, ocel DC01, postupový sružený nástroj, stříhání, ohýbání

## ABSTRACT

The thesis deals with the solution of the design of the production of a holder for compact switchgear cabinets. The production series was set at 400,000 pcs/year. The part will be made from DC01 steel with a thickness of 2 mm. The equivalent is steel 11 321. Of the possible production variants, the technology of the progressive forming tool was chosen. The arrangement of the blank on the sheet metal strip is a two-row layout, where two components will be produced at once. A coil of sheet metal with exact dimensions was chosen as the semifinished product. The material utilization coefficient is 80.18 %. The part is manufactured in 8 steps and the necessary technological and structural calculations were made for this variant. The total force to produce the part is 1,240 kN. The machine selected is an eccentric crank press from the company Formetal s.r.o., with the designation CC 160. After the actual production, the components will still be galvanized.

### Keywords

sheet metal forming, DC01 steel, progressive forming tool, shearing, bending

---

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

TESAŘ, Michal. *Návrh výroby nástěnného držáku* [online]. Brno, 2023. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149280>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Michaela Císařová.

---

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh výroby nástěnného držáku vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

Brno, 24.5.2023

.....  
místo, datum

.....  
Michal Tesař

---

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Michaele Císařové, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině a mé přítelkyni za podporu během celého studia.

---

**OBSAH**

Zadání práce	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
ÚVOD .....	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI .....	10
1.1 Varianty výroby .....	11
2 TECHNOLOGIE VÝROBY .....	13
2.1 Stříhání .....	13
2.1.1 Střížná plocha .....	15
2.1.2 Střížná vůle .....	15
2.1.3 Nástřihový plán.....	16
2.2 Ohýbání .....	18
2.2.1 Určení poloměru neutrální vrstvy .....	19
2.2.2 Minimální a maximální poloměr ohybu .....	20
2.2.3 Odpružení po ohybu .....	21
2.3 Síly a práce .....	21
2.3.1 Střížná síla a práce .....	22
2.3.2 Ohýbací síla a práce.....	24
2.3.3 Působíště síly .....	27
2.4 Nástroje .....	28
2.4.1 Střížné nástroje .....	29
2.4.2 Ohýbací nástroje .....	33
2.4.3 Materiály funkčních částí nástroje.....	35
2.5 Stroje .....	35
2.6 Technologičnost .....	37
3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI .....	39
3.1 Rozvinutý tvar .....	41
3.2 Rozmístění součásti .....	42
3.3 Volba výchozího polotovaru .....	43
3.4 Postup výroby .....	46
3.5 Tvářecí síly a práce.....	48
3.5.1 Určení působíště síly .....	53
3.6 Návrh funkčních částí.....	54
3.7 Volba tvářecího stroje .....	56
3.8 Konstrukce nástroje .....	58
ZÁVĚR.....	62
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratek	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	

## ÚVOD

V současné době jsou technologie a jejich výrobky nedílnou součástí každodenního života. Existuje mnoho technologií zaměřených na výrobu a zpracování kovů. Mezi nejstarší, ale stále se rozvíjející metody, patří technologie tváření, která je jednou z nejproduktivnějších technologií beztržiskového zpracování kovů. Jde o výrobní proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru polotovaru nebo výrobku. Hlavní podstatou tváření je vznik plastických deformací, které nastávají při dosažení napětí většího, než je mez kluzu. Díky této technologii se nejen získá požadovaný tvar, ale také se dosahuje lepších mechanických a fyzikálních vlastností tvářeného materiálu. [1; 2; 3]

Tváření lze rozdělit například podle teploty, při které se materiál tváří, a to na tváření za tepla, poloohřevu nebo za studena. Dále jej lze rozdělit na objemové a plošné. U objemového tváření je převládající stav deformace a napjatosti prostorový (objemový). Do této kategorie patří například válcování, kování (volné, zápusťkové) nebo protlačování. U tváření plošného je převládající stav deformace a napjatosti rovinný (plošný). Do tohoto odvětví spadá například tažení, ohýbání, stříhání apod. Často se jednotlivé metody kombinují, aby bylo dosaženo požadovaného výrobku. Příklady vyrobených součástí pomocí plošného tváření lze vidět na obrázku 1. [1; 4]

Cílem této diplomové práce je navrhnout optimální technologii výroby pro zvolenou součást. Je nutné zvážit nejen výběr vhodného materiálu, který bude vyhovovat požadavkům, ale také navrhnout spolehlivou a funkční technologii, se kterou souvisí i návrh a konstrukce tvářecího nástroje a volba vhodného stroje.

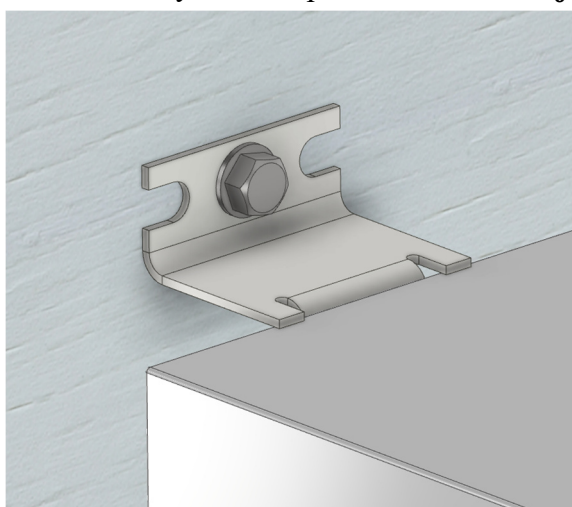


Obr. 1 Příklady součástí vyrobených plošným tvářením [5; 6; 7].

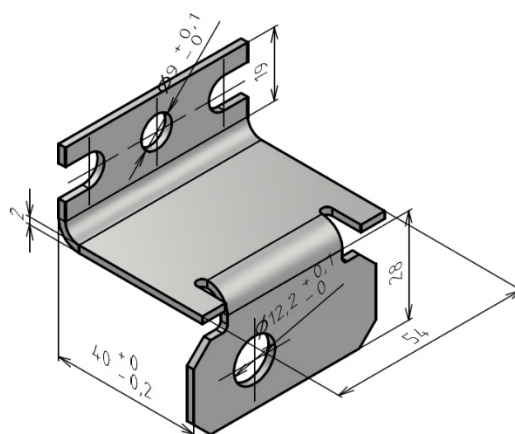
## 1 ROZBOR SOUČÁSTI

Zvolená součást je držák, který se používá na kompaktní skříně pro rozváděče (obr. 2). Tento komponent se používá pro snadnou montáž nástěnných skříní jednou osobou i ve stísněných prostorech. Upevňuje se pomocí samořezného šroubu do otvoru ze zadní strany skříně. Dalším řešením připevnění skříně na držák, je za pomoci šroubu a matice. Následně se celá skříň s držákem připevní na zeď pomocí šroubu. Roční produkce této součásti je stanovena na 400 000 kusů ročně. [8]

Držák je prostorová součást se dvěma 90° ohyby, viz obr. 3. Oba ohyby mají poloměr 4 mm. Dále jsou zde dva otvory pro šrouby, jeden o velikosti 12,2 mm a druhý pro upevnění na zeď s průměrem 9 mm. Šířka součásti je 54 mm. Důležitým rozměrem držáku je vůle, kterou vymezuje mezi stěnou a skříní, která činí 40 mm. Tento rozměr byl zvolen kvůli lepšímu proudění vzduchu, který lze využít jako chladicí médium pro lepší odvod tepla z boxu skříně. Součást bude vyráběna z plechu o tloušťce  $s_0 = 2$  mm. [8]



Obr. 2 Nástěnný držák [8].



Obr. 3 Model nástěnného držáku.

Výchozím materiálem pro výrobu bude ocel DC01 válcovaná za tepla. Mechanické vlastnosti a chemické složení tohoto materiálu lze vidět v tabulce 1. Ekvivalentem je ocel 11 321. Tyto plechy jsou vhodné pro tváření za studena, lakování a pokovování v tavenině. Materiál není korozivzdorný, proto bude potřeba provést povrchovou úpravu pro zajištění ochrany materiálu. Vzhledem k tvaru součásti a velikosti série bude povrchová úprava řešena galvanickým zinkováním, které bude prováděno až po samotném tváření. Povrchová úprava se provádí na elektrovodivých materiálech, které jsou zapojeny jako katoda. Na nich se elektrochemicky vyloučí zinkový povlak, který slouží jako anoda. Tloušťka povlaků se obvykle pohybuje v rozmezí 8 – 15  $\mu\text{m}$ . Dále se na vyloučený povrch nanáší pasivační vrstva. Tato vrstva má za úkol zabránit korozi povlaku a zvýšit tím i jeho životnost. [9; 10; 11; 12]

Tab. 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení oceli DC01 [10].

Mechanické vlastnosti					
Mez kluzu $R_e$ [MPa]		Mez pevnosti $R_m$ [MPa]		Tažnost $A_5$ [%]	
280		410		28	
Chemické složení					
$C_{\max}$ [%]	$Mn_{\max}$ [%]	$Si_{\max}$ [%]	$Al_{\min}$ [%]	$P_{\max}$ [%]	$S_{\max}$ [%]
0,12	0,6	-	-	0,045	0,045

## 1.1 Varianty výroby

Pro výrobu zvoleného dílce je nutné určit vhodnou výrobní metodu. Nabízí se použití klasických konvenčních technologií, jako je stříh a ohyb v nástroji, ale také je možné použít i nekonvenční metody pro vyřezání obrysu za pomoci laseru, popřípadě vodního paprsku. Každá z těchto technologií má své výhody a nevýhody, které je nutné vzít v úvahu při výběru optimálního řešení. Možnosti, jakými lze součást vyrobit jsou [13]:

- Řezání za pomoci nekonvenčních technologií a následné ohnutí v ohýbadle.

Laserový paprsek je nekonvenční metoda výroby, která umožňuje řezat jak kovové, tak i nekovové materiály. Na obrázku 4 je možné vidět laserový paprsek při řezání. Princip metody spočívá v soustředění energie elektromagnetického záření viditelného světla na velmi malou plochu. Na této ploše dochází k přeměně světelné energie na tepelnou, čímž dojde k zahřání materiálu natolik, že se roztaví nebo odpaří. Výhodou je vysoká přesnost a rozmanitost materiálů, které lze takto dělit. Metoda umožňuje řezání velmi složitých tvarů bez potřeby širší řezné mezery, než je samotný paprsek. Jako další výhodu lze uvést, že metoda je bezkontaktní, tudíž nedochází k opotřebení nástroje. Nicméně, v místě řezu vzniká tepelně ovlivněná oblast, která zhoršuje vlastnosti materiálu. Jako další nevýhodu lze považovat pořizovací cenu laseru. Pomocí laseru je vyřezán pouze rozvinutý tvar součásti. Dále by bylo nutné ji přemístit do ohýbacího nástroje, což z hlediska velikosti série není vhodné. [1; 14; 15]

Další možností je využít pro výrobu technologii vodního paprsku. Metodu je možné vidět na obrázku 5. Podstatou metody je obrušování děleného materiálu vlivem tlaku vodního paprsku. V případě zpracování měkkých materiálů je použit čistý vodní paprsek, pro kovové materiály se používá vodní paprsek s přísadou abraziva. Zdrojem vysokého tlaku jsou speciální vysokotlaká čerpadla, která si liší příkonem a průtokem vody. Paprsek vzniká v řezací hlavě zakončené tryskou. Takto je možné řezat veškeré materiály a obdobně jako u výše zmíněné metody nedochází ke kontaktu nástroje s materiálem, tudíž nedochází k jeho opotřebení. Dále u metody nedochází k tepelnému ovlivnění materiálu, a tudíž zde nevzniká vnitřní napětí způsobené teplem. Problém je ale v přítomnosti vody, která je v kontaktu s děleným materiálem, a mohla by na něj mít negativní dopad. [1; 15; 16]



Obr. 4 Řezání laserem [17].



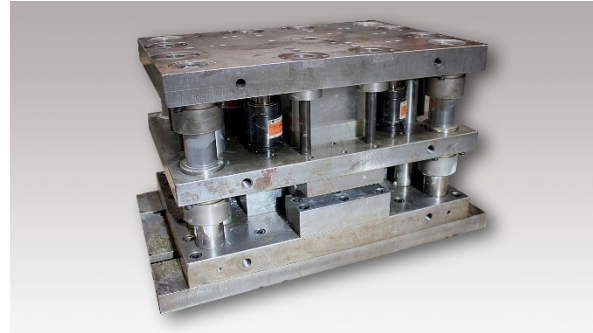
Obr. 5 Řezání vodním paprskem [18].

- Vysekávání na vysekávacích automatech je velmi podobné technologii stříhání. Dochází k beztržskému dělení materiálu podél určité křivky stříhu. Výstřižek se zhotovuje z tabule plechu, která může mít tloušťku maximálně 6 mm a je připevněna ke stroji za pomoci programovatelných klapek. Pro vysekávání se používají CNC hydraulické vysekávací lis. Vysekávací stroj je vidět na obrázku 6. Metoda je velmi produktivní a je vhodná pro tvarově složité výstřižky. Své uplatnění ale má především v malosériové výrobě, kde se vyrábí více typů výrobků. [1; 3; 19]

- Postupové stříhání (obr. 7) a následné ohnutí v ohýbadle probíhá tak, že pás plechu je postupně posouván do nástroje, kde v řadě několika po sobě jdoucích kroků vznikne hotová součást. Na jeden zdvih nástroje se tedy provede více operací. Tento nástroj je vhodný pro velké série, neboť jeho pořízení je velice nákladné. Avšak stejně jako v předchozích variantách je ještě nutno takto vystříženou součást vložit do ohýbacího nástroje. Toto je nevhodné hlavně z důvodu manipulace s materiálem mezi jednotlivými pracovišti, čímž dojde k prodloužení výrobního času. [1; 3; 20; 26]

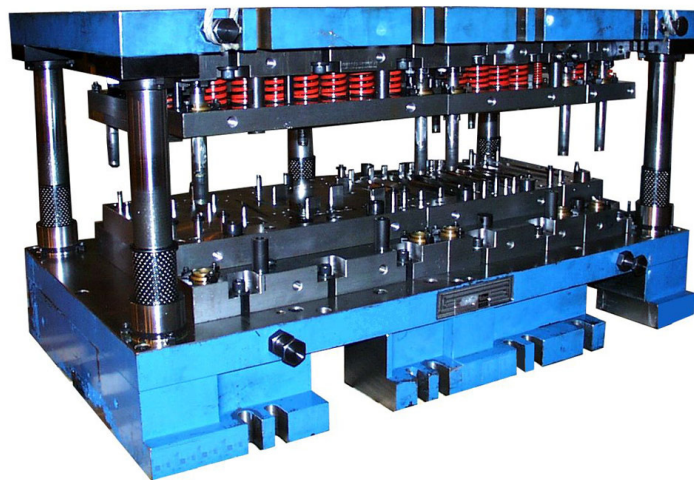


Obr. 6 Vysekávací stroj [21].



Obr. 7 Postupový střížný nástroj [22].

- Sdružený nástroj má značnou výhodu oproti předešlým variantám (obr. 8). Při jeho použití je možné kombinovat (sdružit) několik technologií najednou. Lze v jednom nástroji sestavit jak potřebný tvar výstřížku, tak i ohyb, případné prolisy, lemy apod. Tím, že je součást zhotovována pouze v jednom nástroji, se značně zefektivní výroba. Odpadá problém s manipulací výlisků mezi nástroji. Jeho hlavní výhodou je vysoká produktivita za použití pouze jednoho nástroje. Hlavní nevýhodou je jeho pořizovací cena, proto je nástroj vhodný použít pro velké série. [3; 20; 23]



Obr. 8 Postupový sdružený nástroj [24].

Jako nejvhodnější varianta výroby pro zhotovení dílu byl z výše uvedených, vybrán sdružený nástroj. S ohledem na velikost série a zároveň na to, že ke zhotovení součásti je potřeba jak technologie stříhání, tak ohýbání, bude vhodné použít pouze jeden nástroj.

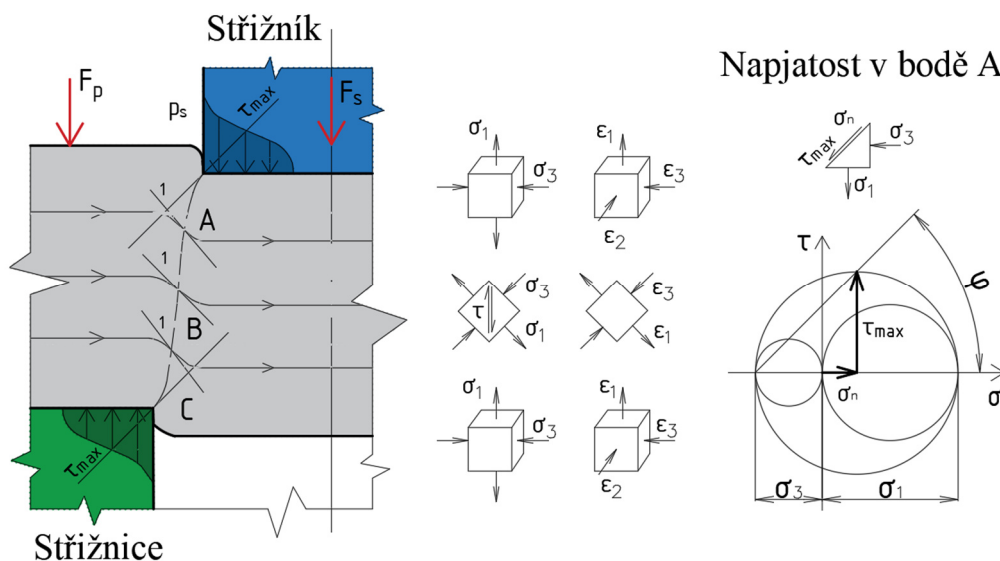
## 2 TECHNOLOGIE VÝROBY

Varianta výroby daného dílce bude s použitím sduženého nástroje. Tento nástroj bude sdužovat operace stříhání a ohýbání. Touto kombinací metod je možné vyrobit řadu strojírenských součástí, a proto je také ve velké míře používána. Tato kapitola bude zaměřena právě na problematiku stříhání a ohýbání. [13; 25]

### 2.1 Stříhání

Technologie stříhání je jedna ze základních operací v oblasti dělení materiálu. Jedná se o proces, u kterého se záměrně porušuje soudržnost materiálu, což je jediný tvářecí postup s tímto účelem. Stříháním lze vytvářet jak polotovary pro další zpracování, tak i hotové součástky. Mezi používané polotovary patří tabule plechu, svitky a také různé profily. Kromě klasického stříhání existují i další operace, jako například děrování, vystřihování, ostříhování nebo přistříhování, podle toho, jakým způsobem dochází k odstraňování materiálu. Materiál je oddělován dvěma protilehlými břity, které působí na plech. K jeho porušení dochází v tzv. střížené rovině, kde působí střížně-smyková napětí. Samotný proces tedy začíná dosednutím střížníku na stříhaný materiál, kterým je v tomto případě plech umístěný na střížnici, a končí porušením neboli lomem v ohnisku plastické deformace. [4; 25; 26]

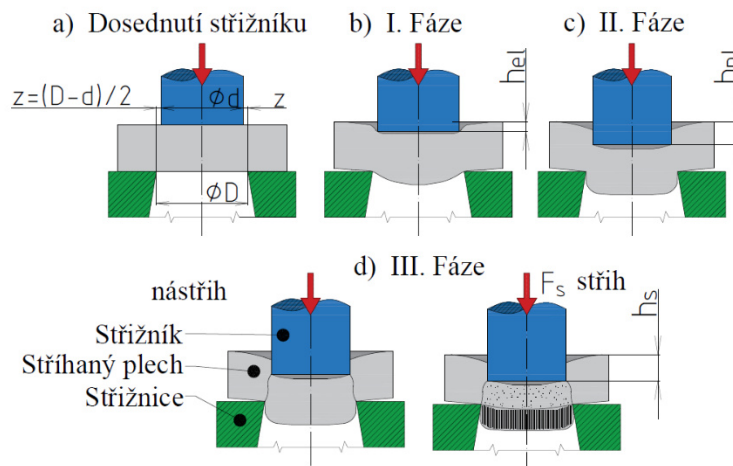
Při uzavřeném vystřihování a děrování, kdy obrys nože tvoří uzavřenou křivku, se materiál mezi střížnými hranami natahuje a současně vytlačuje do stran, čímž se vytvoří prostor pro vnikající břity. Na obrázku 9 lze vidět, že v bodech **A** a **C**, těsně u střížných hran střížníku a střížnice, dochází k dvouosému stavu napětí. V těchto bodech je největší tahové hlavní napětí  $\sigma_1$ , které je ve stejném směru jako směr pohybu nástroje. Zároveň působí tlakové napětí  $\sigma_3$ , které, jak ukázaly praktické zkoušky, je přibližně polovinou velikosti  $\sigma_1$ . Protože hlavní napětí  $\sigma_2$  je při stříhání nulové, předpokládá se v těchto bodech rovinný stav napjatosti. Napětí  $\sigma_1$  a  $\sigma_3$  jsou různě velká, a proto je hodnota středního napětí  $\sigma_s$  nenulová. To znamená, že složka deviátoru napětí  $D_{\sigma_2}$  bude nenulová a v těchto bodech bude docházet k prostorovému stavu deformace. Díky různým velikostem hlavních složek napětí, jak ukazují Mohrovy kružnice napětí, zde působí kolmo na rovinu maximálního smykového napětí kladná normálová složka  $\sigma_n$ , která se podílí na rozevírání a šíření trhlin. Poměr hlavních napětí  $\sigma_1$  a  $\sigma_3$  se směrem do středu střížné plochy postupně mění a právě uprostřed (v bodě **B**) jsou absolutní hodnoty těchto napětí stejné. Z toho vyplývá, že napětí  $\sigma_2$  je zde nulové, a tudíž jsou splněny podmínky prostého smyku. [2; 4; 9; 25]



Obr. 9 Schéma napjatosti a deformace při běžném uzavřeném stříhání [2].

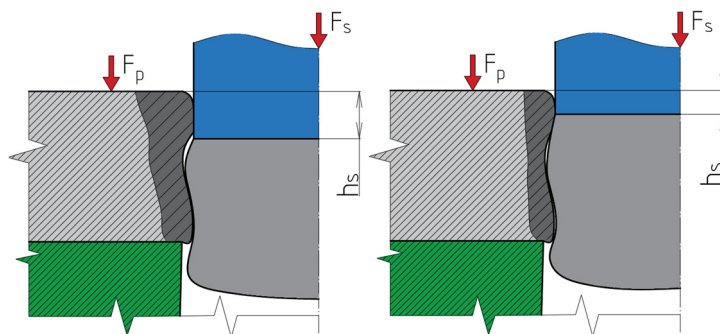
Jak se napětí v materiálu vlivem pohybu nožů zvyšuje, dosahuje kritické hodnoty, čímž dojde ke vzniku trhlin, které se šíří až do okamžiku odtržení. Na obrázku 10 je možné vidět, že proces stříhání v nástroji lze rozdělit do tří fází [2; 4; 26]:

- první fáze – fáze nastává v okamžik, kdy dojde k dosednutí střížníku na stříhaný materiál. Střížník pružně vniká do stříhaného materiálu, který se vtlačuje do otvoru střížnice. Hloubka vniku závisí na mechanických vlastnostech materiálu. Běžně se vnik pohybuje okolo 5 až 8 % tloušťky materiálu. [2; 4; 26]
- druhá fáze – napětí ve směru vnikání je vyšší, než je mez kluzu děleného materiálu. Dochází zde k trvalé deformaci materiálu, při níž vniká střížník do hloubky pásma, která je v rozmezí od 10 do 25 % tloušťky stříhaného materiálu v závislosti na jeho mechanických vlastnostech. [2; 4; 26]
- třetí fáze – napětí roste až do hodnot meze pevnosti ve stříhu  $\tau_s$ . Zde se objevuje tzv. nástřih, to znamená vytvoření prvních trhlinek. Trhliny jsou podporovány tahovým normálovým napětím ve směru vláken v materiálu. Trhlinky rychle pokračují v růstu, dokud nedojde k jejich propojení a oddělení výstřížku. [2; 4; 26]



Obr. 10 Průběh stříhání s normální střížnou vůlí [2].

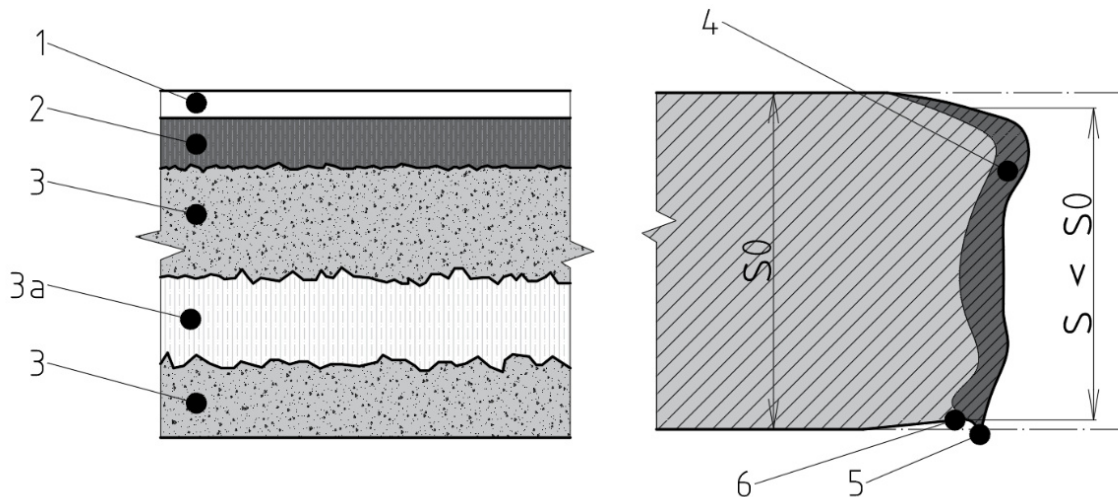
Kromě mechanických vlastností materiálu závisí rychlost tvorby a šíření trhlin i na velikosti střížné vůle mezi střížníkem a střížnicí. U tvrdých a křehkých materiálů je druhá i třetí fáze stříhu velmi krátká, materiál se odděluje téměř okamžitě. V tomto případě dochází k rychlému oddělení při malém vniku střížných hran, které odpovídá hloubce  $h_s = 0,1 \cdot s_0$ . U měkkých a houževnatých materiálů je tomu naopak. Šíření trhlin je pomalejší a hloubka vniku střížných hran bývá okolo  $h_s = 0,6 \cdot s_0$ . Další vliv na stříhání má i rychlost pohybu střížníku. Na následujícím obrázku 11 je možné vidět, jak se projeví změna rychlosti pohybu střížníku pro stejný materiál. Při malé rychlosti stříhání je možné pozorovat pásmo plastického stříhu širší než při stříhání s velkou rychlostí. Tato rychlost se projeví i na šířce pásma zpevnění. [2; 4; 26]



Obr. 11 Změna tvaru střížné plochy se změnou rychlosti stříhání [4].

### 2.1.1 Střížná plocha

Po oddělení materiálu vzniká střížná plocha. Její kvalitu a tvar ovlivňuje několik faktorů. Jedná se například o velikost střížné mezery, respektive vůle, charakteristiky stříhaného materiálu, rychlost stříhu a tvar střížných hran. Při střížném procesu vzniká geometrie a tvar střížné plochy s charakteristickým tvarem písmene „S“. Při pohledu na střížnou plochu lze vidět, že se skládá z několika oblastí, jak je znázorněno na obrázku 12. Je zde možné vidět oblast pružného vnikání nástroje do materiálu (1). Další oblastí je oblast plastického stříhu, která je hladká a lesklá a vzniká díky plastické deformaci, popř. plastickým stříhem (2). Třetí oblastí, je oblast lomu, kde dochází k lomu a tvar této oblasti je ovlivněn velikostí střížné vůle (3). Další oblast, která se nachází mezi oblastmi lomu, je oblast otěru (3a). Ta vzniká důsledkem tření při protlačování výstřížku střížníkem skrz střížnici. Poté se zde nachází oblast zpevnění, která dosahuje u měkkých ocelových plechů 20 až 30 % tloušťky plechu (4). Dále je zde patrný otřep (5). U něj platí, že čím je větší otupení spodního nože a čím je materiál tvárnější, tím je otřep větší. Jako poslední oblast, která je patrná na střížné ploše, je vtisk spodního nože (6). Čím je větší úhel čela spodního nože, tím snáze dojde k natlačení nože do stříhaného materiálu. [3; 4; 9; 26; 27]

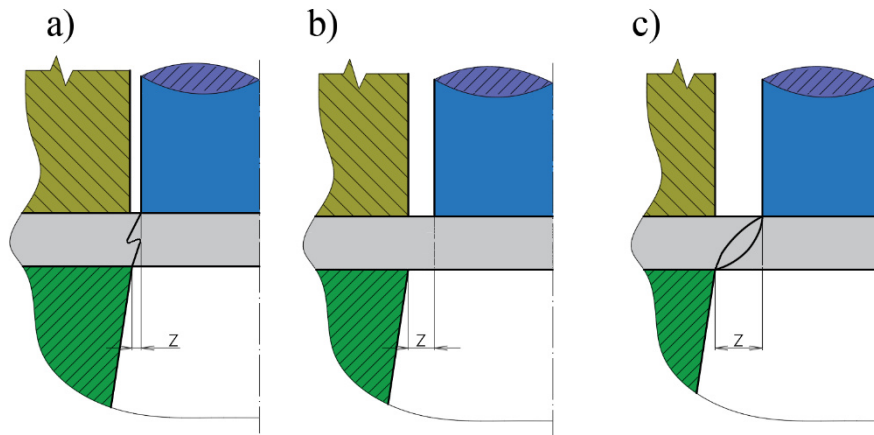


Obr. 12 Vzhled střížné plochy [27].

### 2.1.2 Střížná vůle

Střížná vůle určuje rozdíl rozměrů pracovních částí střížníku a střížnice. Vezme-li se jednostranný rozdíl (polovina střížné vůle), mluví se o tzv. střížné mezeře. Správně zvolená velikost této mezery má významný vliv na jakost stříhu, životnost nástroje, spotřebu energie atd. Zásadní je také fakt, že střížná mezera musí mít ve všech místech stříhu stejnou velikost. Pokud by tomu tak nebylo, mohou vznikat povrchové vady, ostřiny, což povede k nekvalitní střížné ploše. [4; 28; 29]

Velikost střížné vůle ovlivní rozměry střížníku (popř. střížnice), a to tím způsobem, že v případě děrování se volí střížná vůle na úkor střížnice a při vystřihování se volí střížná vůle na úkor střížníku. Střížná mezera má vliv i na kvalitu střížné plochy. Pokud se zvolí optimální velikost (obr. 13b), trhliny, které se budou šířit od hran vnikajících nožů, se potkají a vznikne kvalitní střížná plocha. Pokud se ovšem zvolí nevhodně, například že mezera bude příliš malá (obr. 13a), tak se tyto trhliny nepotkají a vznikne zde tzv. zátrh a střížná plocha nebude kvalitní. Nebo druhá varianta nevhodně zvolené velikosti střížné mezery je, že se zvolí příliš velká (obr. 13c) a trhliny se šíří k druhé straně plechu a nikde se neprotnou. [3; 4; 9; 28]



Obr. 13 Vliv střížné mezery  $z$  na kvalitu střížné plochy [27].

Velikost střížné vůle závisí především na druhu a tloušťce stříhaného materiálu. Jak již bylo zmíněno, ovlivňuje nejen kvalitu střížné plochy, ale má také vliv na velikost střížné síly. Optimálně zvolená střížná vůle je především taková, u které se dosáhne požadované jakosti střížné plochy při nejmenší střížné síle. Střížná síla a práce rostou s malou střížnou vůlí. V takových situacích dochází k takzvanému dvojnásobnému až vícenásobnému stříhu, a to má za následek snížení kvality střížné plochy. Naopak výhodou by mohlo být snižování ohybu v první fázi stříhu. Velké střížné vůle mohou způsobit ohyb stříhané součástí. [27; 28]

Velikost střížné vůle lze určit řadou způsobů, kdy ten nejrychlejší způsob je procentuálně vyjádřen z tloušťky materiálu. Při konvenčním stříhání se velikost vůle pohybuje přibližně okolo 3 až 20 % tloušťky materiálu. Další možností je stanovení pomocí výpočtu. [4; 29]

Pro stříhání materiálu s tloušťkou  $s_0 \leq 3$  mm se velikost vypočítá jako [28]:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,32 \cdot c \cdot s_0 \cdot \sqrt{\tau_s}, \quad (2.1)$$

kde:  $v$  – střížná vůle [mm],  
 $z$  – střížná mezera [mm],  
 $c$  – koeficient závislý na stupni stříhu  $c = (0,005 \text{ až } 0,025)$  [–],  
 $s_0$  – tloušťka stříhaného materiálu [mm],  
 $\tau_s$  – pevnost materiálu ve stříhu [MPa],

Pro stříhání materiálu s tloušťkou  $s_0 > 3$  mm se velikost střížné vůle vypočítá jako [28]:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,32 \cdot (1,5 \cdot c \cdot s_0 - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s}. \quad (2.2)$$

### 2.1.3 Nástřihový plán

Z hlediska využitelnosti materiálu se klade velký důraz na rozmístění výstřížku na pás plechu tak, aby odpad byl co nejmenší, jelikož náklady na materiál tvoří značnou část nákladů. Toto rozmístění na pás plechu se označuje jako nástřihový plán. Jeho cílem je zejména zajistit maximální využití materiálu, snadnou manipulaci při vystřihování (krátký krok, vystřihování více součástí najednou apod.), popřípadě splnit i jiné technologické požadavky, jako je přesnost, vhodný směr vláken apod. Za ideální využití materiálu je považováno, pokud se dosáhne celkového využití více než 70 %. Je třeba věnovat větší pozornost na hospodárnost nástřihového plánu, čím větší se vyrábí série. V sériových a hromadných výrobcích je výhodnější používat polotovary ve formě svítku, což umožňuje automatizovat jeho podávání. Na druhou stranu pro malé série, je výhodnější využít tabuli plechu, která je nástřihována na pásy za pomoci tabulových nůžek. Volba nástřihového plánu závisí jednak na tvaru konstrukce výrobku, a jednak na dodržování zásad konstrukce, jako je minimální vzdálenost mezi výrobky a od okraje pásu. [27; 30; 31]

Při návrhu umístění výstřížku na pás plechu, je třeba počítat s hlavními rozměry výstřížku. Dále je nutné určit velikost můstku (přepážky)  $e$  a velikost postranního odpadu  $f$ . Z těchto rozměrů se totiž dále stanovuje šířka pásu  $\check{S}$  a velikost kroku  $K$ . Přepážku a boční odpad lze úplně vynechat, čehož se často využívá při velkých sériích, protože je tak možné dosáhnout výrazného snížení nákladů na materiál. Velikost kroku je hodnota, o kterou se pás plechu vždy posune při zdvihu nástroje a spočítá se jako [27; 30; 31]:

$$K = B + e, \quad (2.3)$$

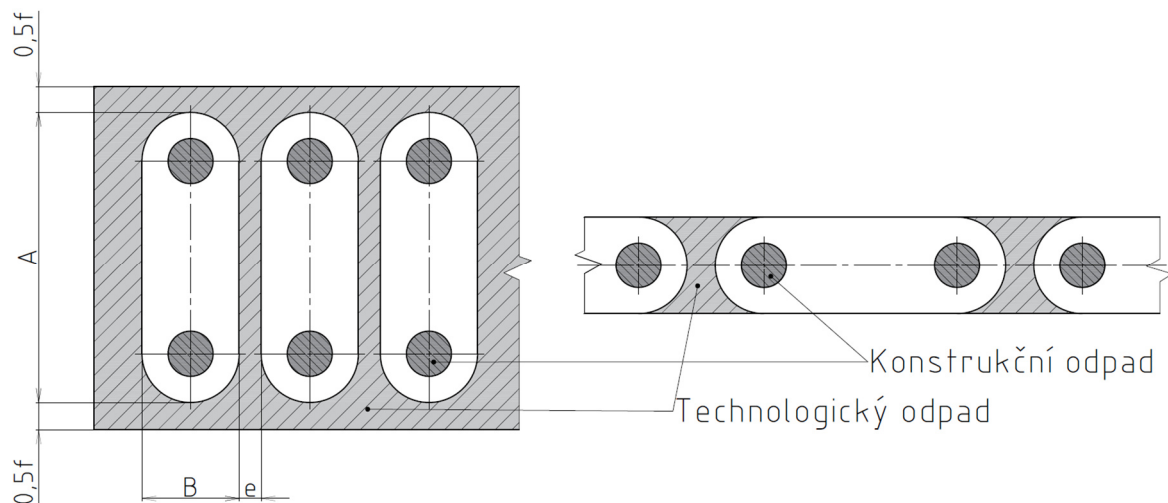
kde:  $K$  – velikost kroku [mm],  
 $B$  – délka výstřížku [mm],  
 $e$  – velikost můstku [mm].

Dále se spočítá šířka pásu plechu jako:

$$\check{S} = A + f, \quad (2.4)$$

kde:  $\check{S}$  – šířka pásu [mm],  
 $A$  – výška výstřížku [mm],  
 $f$  – velikost postranního odpadu [mm].

Celkový odpad lze dělit na technologický a konstrukční, jak je možné vidět na obr. 14. Technologický odpad je závislý na rozmístění výstřížku na pásu plechu, a naopak konstrukční odpad je závislý na tvaru výstřížku. [30; 31; 32]



Obr. 14 Rozmístění výstřížku na výchozím materiálu [30].

Dále se musí určit celková hospodárnost nástřihového plánu. Podle zvoleného polotovaru se určuje tzv. součinitel využití materiálu tabule plechu  $\mu_t$  anebo součinitel využití materiálu svitku  $\mu_{sv}$  [1]:

$$\mu_t = \frac{S_{PS} \cdot n_T}{S_T} \cdot 100, \quad (2.5)$$

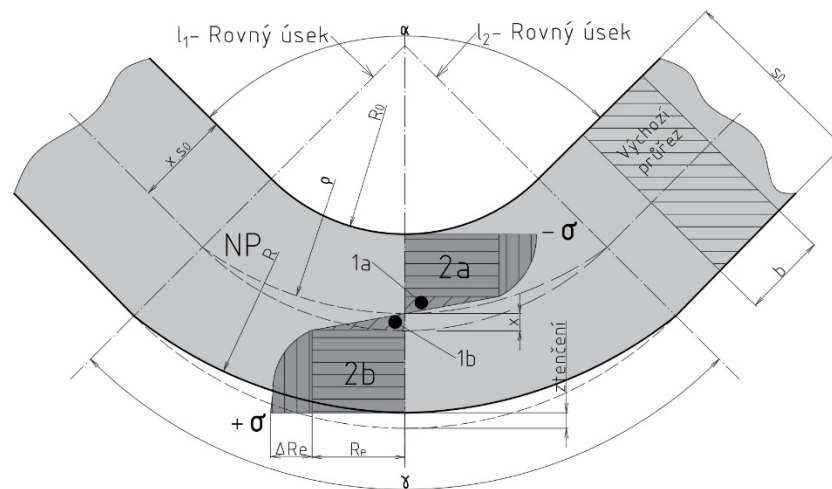
kde:  $S_{PS}$  – plochy výstřížku [mm<sup>2</sup>],  
 $n_T$  – počet výstřížků z tabule plechu [ks],  
 $S_T$  – plocha tabule [mm<sup>2</sup>].

$$\mu_{sv} = \frac{S_{PS} \cdot n_S}{S_S} \cdot 100, \quad (2.6)$$

kde:  $n_S$  – počet výstřížků ze svitku [ks],  
 $S_S$  – plocha svitku [mm<sup>2</sup>].

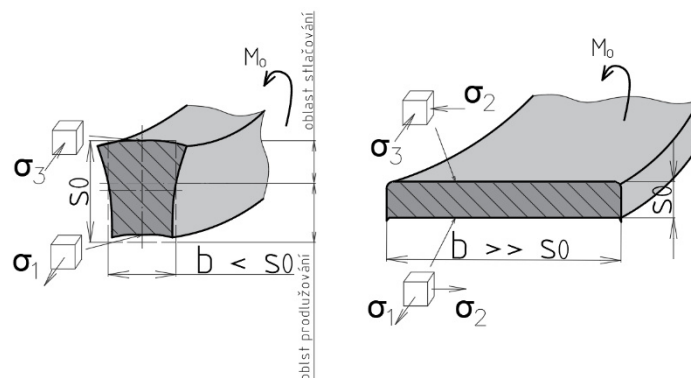
## 2.2 Ohýbání

Ohýbání je, stejně jako stříhání, klasifikováno jako technologie plošného tváření. Na rozdíl od stříhání je nežádoucí porušit soudržnost materiálu. Ohýbání je technologický proces, při kterém dochází k trvalé deformaci materiálu a při kterém se vlivem lokálních sil nebo ohybových momentů trvale mění křivost součástí z plechu, tyčí a drátů. Ohýbáním se obecně zmenšuje poloměr zakřivení až do jeho minimální hodnoty na hranici mezní hodnoty deformace za studena, nebo se naopak poloměr zvětšuje a dochází k rovnání. V průběhu ohýbání dochází ke změně křivosti polotovaru. Materiál je namáhán jak tlakovým, tak i tahovým napětím, viz obrázek 15. Tyto dvě oblasti jsou rozděleny tzv. neutrální plochou. V této oblasti je napětí rovno nule. Čím více je polotovar ohnut, tím se tato plocha posouvá blíže k tlakové straně (vnitřní strana ohybu). Při ohýbání v materiálu lze rozlišit celkově tři pásma. Na vnitřní straně ohybu je pásmo trvalého spěchování, uprostřed je pásmo pružných deformací a na vnější straně ohybu je pásmo trvalého prodloužení. U ohybu nesmí nastat situace, kdy materiál přesáhne hodnotu meze pevnosti, neboť by to vedlo k porušení soudržnosti materiálu. [2; 13; 33]



Obr. 15 Schéma ohýbání [34].

Při ohýbání se rozlišuje ohýbání úzkých tyčí obdélníkového průřezu, kdy je jejich šířka menší než tloušťka, a ohýbání širokých polotovarů (obr. 16). V prvním případě je napětí ve směru šířky zanedbatelné ( $\sigma_2 = 0$  MPa) a napětí v krajních vláknech na vnější straně tedy odpovídá jednoosému tahu a na vnitřní straně jednoosému tlaku s trojosým stavem deformace. Ve druhém případě, tj. při ohýbání širokých plechů, je zabráněno deformaci v příčném směru  $\epsilon_2 = 0$  a z rovinného stavu deformace plyne, že na tahové straně bude  $\epsilon_1 = -\epsilon_3$ , a na tlakové  $-\epsilon_1 = \epsilon_3$ . Tomuto odpovídá rovinná napjatost v krajních vláknech, jak je znázorněno na obrázku 16. [2; 9; 13; 34]



Obr. 16 Schéma napjatosti při ohybu tyčí a širokých pásů [2].

### 2.2.1 Určení poloměru neutrální vrstvy

V tzv. neutrální vrstvě, se mění hodnota napětí z tahového na tlakové. Neutrální vrstva je hranicí mezi vrstvou prodlužování a stlačování, kde jsou radiální napětí z rovnic stejná. Její umístění je ovlivněno různými stupni zúžení průřezu v různých místech ohýbání, takže pro praktické výpočty se její poloha nahrazuje kružnicovým obloukem  $\rho_n$ . Velikost oblouku lze vyjádřit jako geometrický průměr vnitřního a vnějšího poloměru ohýbání. Pokud se bude zvětšovat zakřivení, posouvá se neutrální vrstva směrem k vnitřní straně ohybu. Je nutné poznamenat, že geometrický průměr je vždy menší než průměr aritmetický, což plyne z matematického vyjádření. [2; 35]

Tento oblouk se vypočítá z následujícího vztahu [2]:

$$\rho_n = \sqrt{R_o \cdot R}, \quad (2.7)$$

kde:  $R_o$  – poloměr ohybu [mm],  
 $R$  – vnější poloměr ohýbané součásti [mm].

Pro stanovení rozvinuté délky polotovaru se musí určit plocha nulového prodloužení. Zde nedochází k žádné deformaci, tudíž je možné konstatovat, že její délka bude stejná jako délka neohnutého materiálu. Při větším poloměru ohybu, kde platí  $R/s_0 \geq 6$ , se neutrální vrstva posune minimálně a lze posun zanedbat. [2; 34; 35]

Poloměr plochy nulového prodloužení je možné spočítat z následujícího vztahu [2]:

$$\rho_0 = R_0 + \frac{s_0}{2}, \quad (2.8)$$

U menších poloměrů ohybu, kde relativní poloměr je  $R/s_0 < 6$ , již dojde k výraznějšímu posunu neutrální vrstvy. Ve výpočtu je tzv. součinitel ztenčení průřezu  $z_z$  a součinitel rozšíření průřezu  $z_r$ . Pokud se ohýbají pásy plechu, kde platí, že jejich šířka je větší než trojnásobek tloušťky plechu, lze součinitel rozšíření průřezu zanedbat. [2; 34]

U praktických výpočtů se velmi často uvažuje poloměr plochy nulového prodloužení [2]:

$$\rho_0 = \left(R_0 + \frac{s_0}{2}\right) \cdot z_z + z_r = R_0 + x \cdot s_0, \quad (2.9)$$

kde:  $z_z$  – součinitel ztenčení průřezu [-],  
 $z_r$  – součinitel rozšíření průřezu [-],  
 $x$  – součinitel posunutí plochy nulového prodloužení [mm].

Hodnoty součinitele posunutí nulového prodloužení je možno vyčíst z následující tabulky 2, která vychází z poměru poloměru ohybu a tloušťky materiálu. [34; 36].

Tab. 2 Hodnoty součinitele posunutí [36].

$R_0/s_0$	0,1	0,25	0,50	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
$x$	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486

S použitím hodnoty poloměru plochy nulového prodloužení lze vypočítat délku oblouku ohnuté části, která lze následně použít pro určení rozvinuté délky [23]:

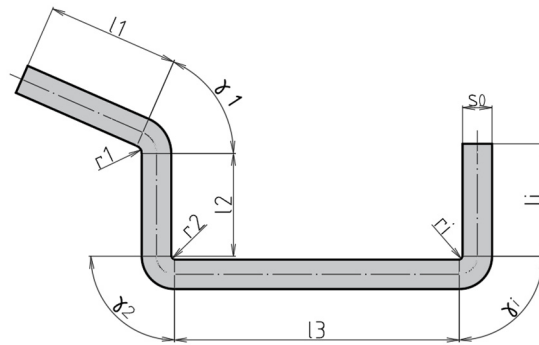
$$l_{oi} = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho_0, \quad (2.10)$$

kde:  $\gamma$  – úhel ohnuté části [°],  
 $\gamma = 180 - \alpha$ , (2.11)  
 kde:  $\alpha$  – úhel ohybu [°].

Délka polotovaru se vypočítá jako součet délek rovných úseků a délek ohnutých částí [34]:

$$l_c = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^m l_{oi}, \quad (2.12)$$

kde:  $l_i$  – délky rovných úseků [mm],  
 $l_{oi}$  – délky ohnutých částí [mm].



Obr. 17 Určení délky polotovaru [23].

### 2.2.2 Minimální a maximální poloměr ohybu

Pro výrobu součásti je nutné zkontrolovat, zda nedojde k porušení materiálu v důsledku ohýbání. Mohlo by se stát, že součást bude ohnuta na menší poloměr, než je minimální poloměr ohybu  $R_{min}$ . V takovém případě by na vnější tahové straně došlo k překročení meze pevnosti a vznikly by zde trhliny, které by vedly k porušení lomem. Hodnota minimálního poloměru závisí nejen na plastických vlastnostech materiálu, ale také na úhlu ohybu, tloušťce, zpevnění materiálu a orientaci vláken (anizotropii). Pro výpočet minimálního poloměru se vychází z poměrné deformace v krajních vláknech. [2; 23; 34; 35]

Hodnotu minimálního poloměru ohybu je možné vypočítat z následujícího vztahu [2]:

$$R_{min} = \frac{s_0}{2} \left( \frac{1}{\varepsilon_{max}} - 1 \right) = c_o \cdot s_0, \quad (2.13)$$

kde:  $\varepsilon_{max}$  – maximální poměrná deformace v krajních vláknech na tahové straně [-],  
 $c_o$  – součinitel určující min. poloměr [-]; pro měkkou ocel  $c_o = (0,5 - 0,6)$ .

Hodnota součinitele určující minimální poloměr ohybu je závislá především na volbě ohýbaného materiálu a její hodnotu je možné vyčíst z následující tabulky 3 [34].

Tab. 3 Materiálová konstanta  $c_o$  [34].

Materiál	Ocel	Mosaz	Hliník	Dural	Měď
Konstanta $c_o$	0,5 – 0,6	0,3-0,4	0,35	3-6	0,25

Při výrobě dílu ohýbáním je nutné sledovat i maximální poloměr ohybu  $R_{max}$ . Pokud by poloměr ohybu překročil tuto hodnotu, znamenalo by to, že v krajních vláknech na vnější tahové straně nebude dosaženo meze kluzu daného materiálu  $R_e$ , tudíž by zde nedošlo k trvalé plastické deformaci. Materiál by se pohyboval pouze v oblasti Hookova zákona a po uvolnění zatěžující síly by se polotovár vrátil do původního tvaru. [2; 23; 35]

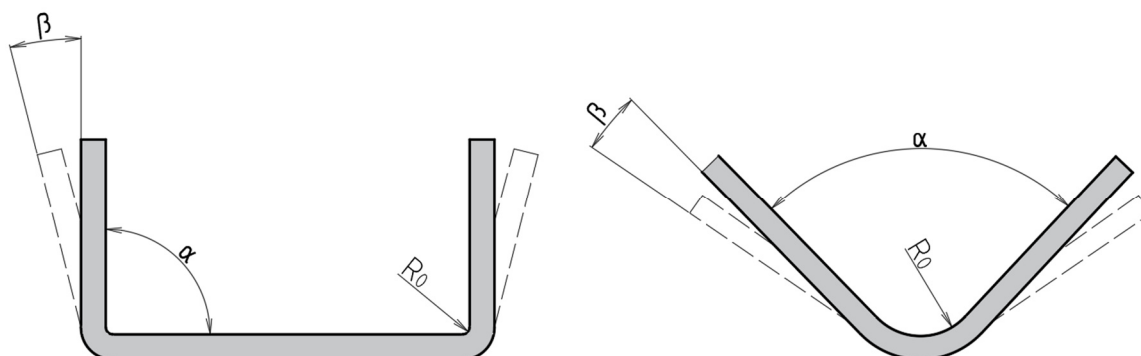
Maximální poloměr ohybu lze vyjádřit jako [2]:

$$R_{max} = \frac{s_0}{2} \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right), \quad (2.14)$$

kde:  $E$  – modul pružnosti v tahu [MPa],  
 $R_e$  – mez kluzu v tahu [MPa].

### 2.2.3 Odpružení po ohybu

V procesu ohýbání je neodmyslitelnou součástí odpružení. U jiných technologií je možné odpružení zanedbávat, ale při ohýbání má významný vliv, proto je důležité s ním při návrhu nástroje počítat. Odpružení vzniká kvůli elastické složce deformace, která vrací nezdeformovaná vlákna zpět do původního stavu. To se projeví změnou úhlu ohybu o úhel  $\beta$ , viz obrázek 18. Aby se dosáhlo požadovaného úhlu ohybu, je nutné tento úhel zvětšit právě o velikost odpružení. Velikost odpružení ovlivňuje několik faktorů. Základními faktory jsou materiálové vlastnosti ohýbané součásti, tloušťka výchozího materiálu  $s_0$ , úhel ohybu  $\alpha$  a velikost poloměru ohybu  $R_0$ . S rostoucí tloušťkou materiálu a klesajícím poloměrem ohybu se odpružení snižuje. Velikost odpružení lze stanovit pomocí diagramů, tabulek, nebo výpočtů, které závisí na tom, zda se jedná o ohyb do tvaru  $V$  nebo do tvaru  $U$ . [2; 23; 35; 37; 38]



Obr. 18 Odpružení při ohybu [4].

Velikost odpružení pro ohyb do tvaru  $V$ , se určí z následujícího vztahu [38]:

$$\beta = \arctg \left( 0,375 \cdot \frac{l_v}{k_\beta \cdot s_0} \cdot \frac{R_e}{E} \right), \quad (2.15)$$

kde:  $\beta$  – úhel odpružení [°],  
 $l_v$  – vzdálenost ohýbacích hran [mm],  
 $k_\beta$  – koeficient určující polohu neutrální plochy [-],  
 $k_\beta = 1 - x$ .

$$(2.16)$$

Velikost odpružení při ohýbání do tvaru  $U$  se vypočítá [38]:

$$\beta = \arctg \left( 0,75 \cdot \frac{l_u}{k_\beta \cdot s_0} \cdot \frac{R_e}{E} \right) \quad (2.17)$$

kde:  $l_u$  – vzdálenost mezi středy zaoblení ohybnice a ohybníku [mm],  
 $l_u = R_0 + r_m + 1,15 \cdot s_0$ ,

$$(2.18)$$

kde:  $r_m$  – poloměr zaoblení ohybnice [mm].

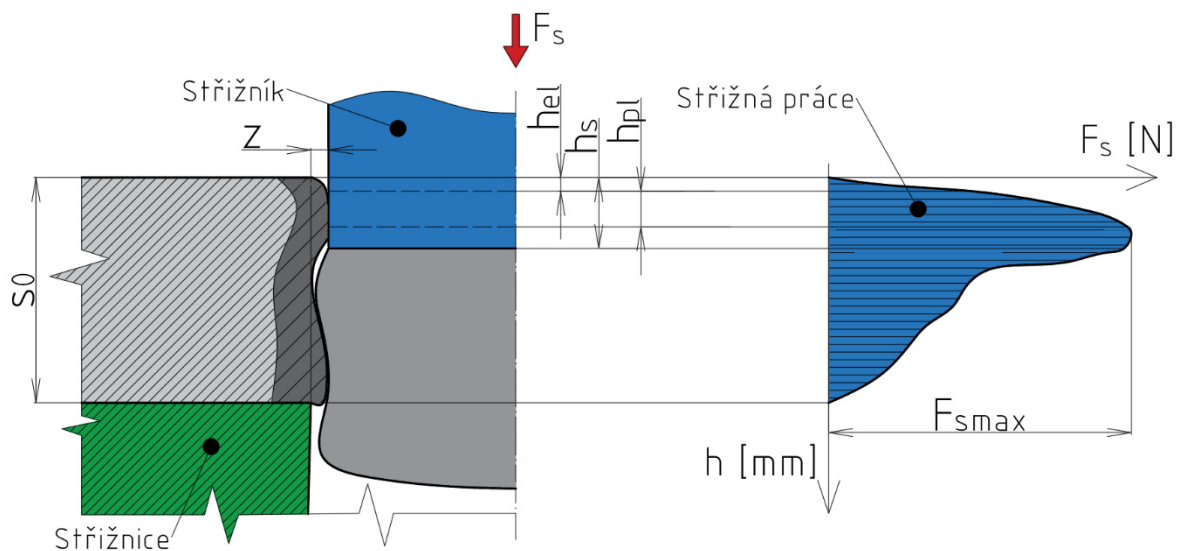
Při správném navržení nástroje bude třeba vzít v úvahu právě i odpružení. Pokud je technologie ohýbání optimalizována, tloušťka materiálu se během ohýbání nemění (případně dojde k minimálním změnám). [9; 33]

## 2.3 Síly a práce

Pro správný návrh technologického procesu stříhání je také nutné znát velikost všech působících sil. Součást bude vyráběna za pomoci sdruženého nástroje, který v tomto případě kombinuje technologie stříhání a ohýbání. Celková síla a práce, která bude potřeba na určení lisu, se bude skládat ze dvou složek, tj. ze složky střížné a ohybové. [4; 23]

### 2.3.1 Střížná síla a práce

Na obrázku 19 lze pozorovat charakteristický průběh střížné síly při stříhání materiálu. Počáteční nárůst síly je způsoben pružným pronikáním břitu do materiálu na krátké dráze, která se označuje jako  $h_{el}$ . Přestože se střížná plocha zmenšuje, dochází k nárůstu síly vlivem deformačního zpevnování materiálu. Růst síly dále pokračuje i v oblasti plastické deformace na dráze  $h_{pl}$ . Při plastické deformaci se síla zvyšuje až do určitého maxima, kdy se v materiálu objeví vznik nástřihu (první porušení trhlinami). V tomto okamžiku dojde k mírnému poklesu síly, až po hloubku vniknutí  $h_s$ , kde nastane oddělení materiálu, což má za následek vznik charakteristického „S“ tvaru lomu. Poté dochází k oddělování výstřížku s výrazným poklesem síly až k nule. Během této fáze lze pozorovat vliv tření mezi oddělenými plochami, což se projeví mírnějším poklesem síly. Je třeba poznamenat, že kvůli vzdálenosti mezi střížníkem a střížnicí, střížné síly nepůsobí ideálně v rovině, ale rozkládají se na tečnou a normálovou složku. Silová dvojice mezi střížníkem a střížnicí navíc způsobuje nežádoucí ohýbání a tvorbu jednotlivých pásem na povrchu střížné plochy. [4; 9; 23; 26; 29; 40]



Obr. 19 Znáornění průběhu střížné síly [29].

Velikost střížné síly se dá stanovit výpočtem [26]:

$$F_s = s_0 \cdot l \cdot n \cdot \tau_s, \quad (2.19)$$

kde:  $l$  – délka střížné hrany [mm],

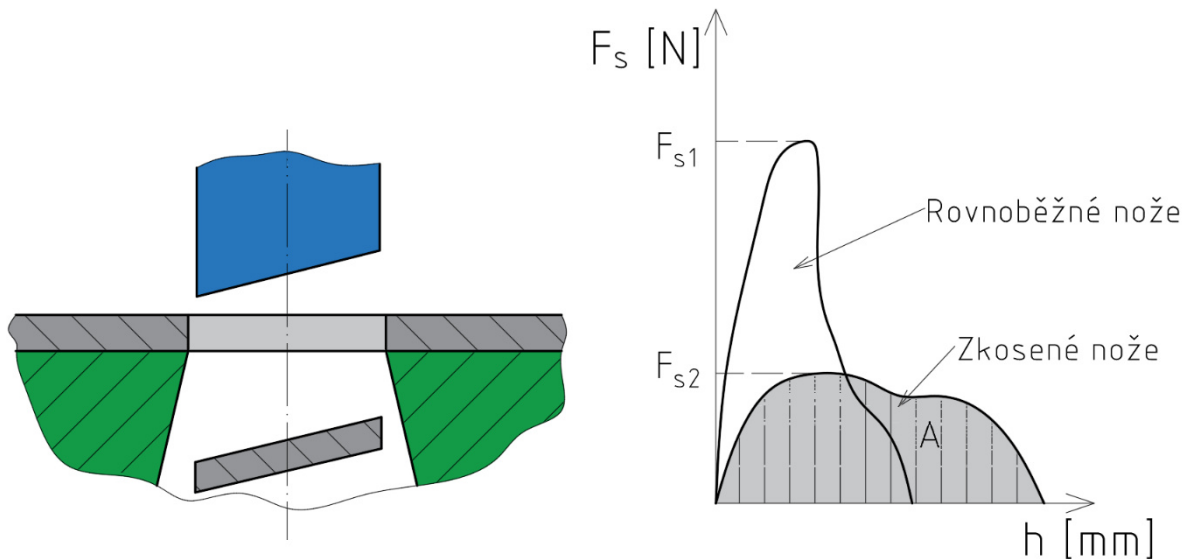
$n$  – součinitel otupení nástroje (1,1 až 1,3) [-].

Pokud by byla použita varianta stříhání se šikmými noži, výpočet střížné síly by potom byl v následujícím tvaru [26]:

$$F_s = s_0^2 \cdot n \cdot \tau_s \cdot \frac{1}{\operatorname{tg}(\alpha')}, \quad (2.20)$$

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

Střížníky mají ve většině případů čelo rovné a kolmé k ose střížníku. Nicméně je možné tuto konstrukci upravit a vychýlit ostří střížníku i střížnice pod určitým úhlem, čímž lze snížit maximální střížnou sílu. Při stříhání postupuje střížník do materiálu postupně, čímž se zmenšuje střížná plocha, a tedy i síla. Touto úpravou lze dosáhnout snížení střížné síly až o 30 %, avšak hodnota střížné práce zůstane stejná. Zkosení nožů ale může vést k mírnému ohnutí odděleného materiálu, což lze považovat jako nevýhodu této úpravy. Rozdíly mezi silami při stříhání s rovnoběžnými noži a se zkosenými noži lze vidět na obrázku 20. [13; 23; 24; 40]



Obr. 20 Znárodnění stříhání se zkosenými noži [13].

Velikost střížné síly je přímo úměrná velikosti střížného odporu, který materiál klade proti vnikání střížného nástroje a představuje napětí na střížné ploše, které musí být překonáno, aby došlo k oddělení materiálu. Velikost střížného odporu je zejména ovlivněna mechanickými vlastnostmi stříhaného materiálu. Nicméně další faktory, jako je střížná vůle, geometrie a konstrukce nástroje nebo tloušťka stříhaného materiálu, mají také vliv na jeho velikost. Pokud by byl použit stejný materiál s různou tloušťkou, odpor by se snižoval s rostoucí tloušťkou, což je způsobeno tím, že tlustší materiály vykazují vyšší tvárnost a relativně menší zpevnění. Dále je střížný odpor výrazně ovlivněn střížnou vůlí, kdy optimální velikost střížné vůle vede k minimálnímu střížnému odporu. Tření mezi polotvarem a nástrojem má také významný vliv na velikost střížného odporu. [3; 4; 23]

Obvykle se jeho velikost pro ocel určuje z následujícího vztahu [4]:

$$\tau_s = (0,75 \div 0,9) \cdot R_m \cong 0,8 \cdot R_m, \quad (2.21)$$

kde:  $R_m$  – mez pevnosti [MPa].

Je možné ale využít i empirického vztahu, který má pro ocel následující tvar [3]:

$$\tau_s = 110,0 + 0,560 \cdot R_m, \quad (2.22)$$

Při stříhání působí ještě další dvě síly. Jsou to síly, které jsou potřebné k setření vystřihovaného materiálu ze střížníku a síla potřebná k protlačení výstřížku střížnicí. Při vystřihování materiál ulpí vlivem pružné deformace na střížníku a je potřeba se jej zbavit a vyvinout určitou sílu, která tento výstřížek setře. Její velikost je závislá především na druhu materiálu, tloušťce polotovaru, geometrii výstřížku, velikosti střížné vůle anebo třeba na mazání. [4; 39]

Síla pro setření se určí z empirického vztahu [39]:

$$F_{st} = c_{st} \cdot F_s, \quad (2.23)$$

kde:  $c_{st}$  – koeficient stírání, závislý na druhu materiálu [-].

Jako další síla, která zde působí, je síla na protlačení výstřížku střížnicí. Lze ji označit jako sílu protlačovací, která se spočítá z následujícího vztahu [39]:

$$F_{pr} = c_{pr} \cdot F_s, \quad (2.24)$$

kde:  $c_{pr}$  – koeficient protlačování, závislý na druhu materiálu [-].

Velikost koeficientů stírání a protlačování je možné určit za pomoci následující tabulky 4.

Tab. 4 Hodnoty koeficientů stírání a protlačování [39].

Materiál		$c_{st}$	$c_{pr}$
Ocel	do 1 mm	0,02 – 0,12	0,005 – 0,08
	1 až 5 mm	0,06 – 0,16	0,005 – 0,08
	nad 5 mm	0,08 – 0,20	0,005 – 0,08
Mosaz		0,06 – 0,07	0,04
Slitiny Al		0,09	0,02-0,04

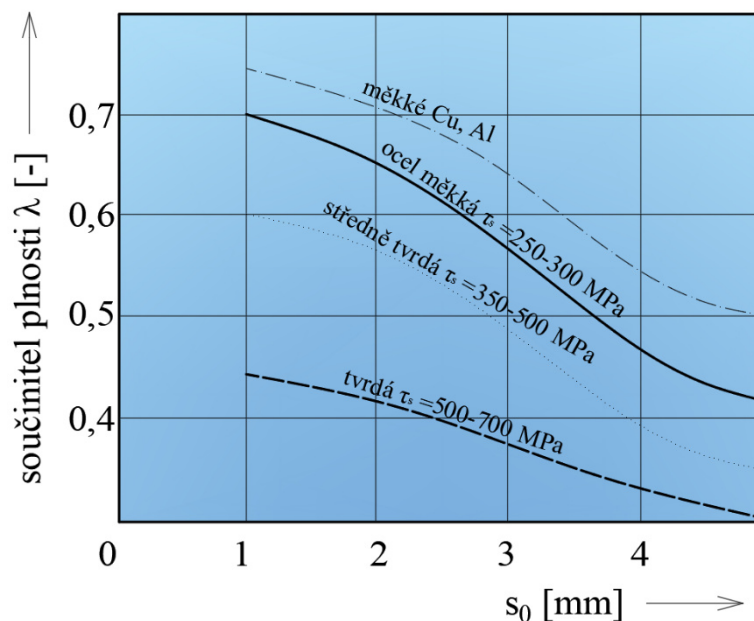
Při stříhání s rovnoběžnými noži je velikost střížné práce učena plochou pod křivkou závislosti střížné síly na dráze nástroje. Ačkoli by bylo teoreticky možné provést numerickou integraci křivky, aby se zjistila hodnota práce, v praxi se častěji vypočítává pomocí součinitele plnosti. Tento součinitel je ovlivněn jak vlastnostmi, tak tloušťkou stříhaného materiálu. Konkrétně se jedná o podíl plochy, na které síla působí, k celkové ploše. [2; 35]

Hodnota střížné práce je poté určena vztahem [2]:

$$A_s = \frac{\lambda \cdot F_{smax} \cdot s_0}{1\,000} \quad (2.25)$$

kde:  $\lambda$  – součinitel plnosti diagramu [-],  
 $F_{smax}$  – maximální střížná síla [N].

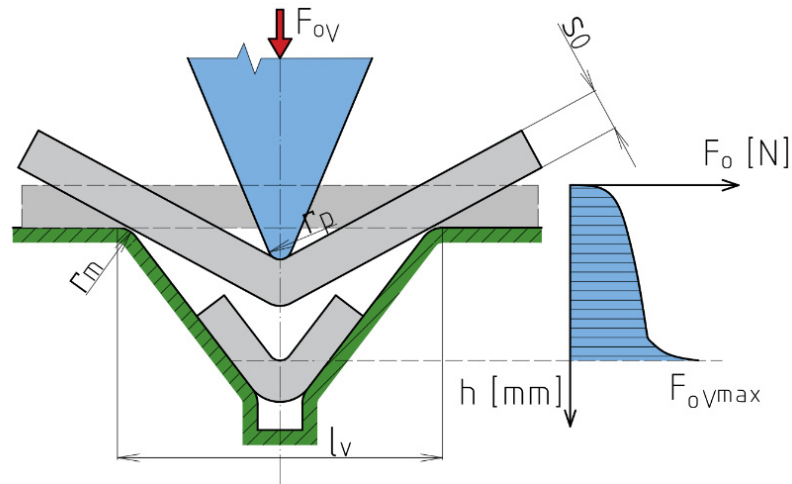
Součinitel plnosti diagramu  $F - s_0$ , je pro některé materiály určen grafem, který je možné vidět na obrázku 21. [2]



Obr. 21 Grafické stanovení součinitele plnosti [2].

### 2.3.2 Ohýbací síla a práce

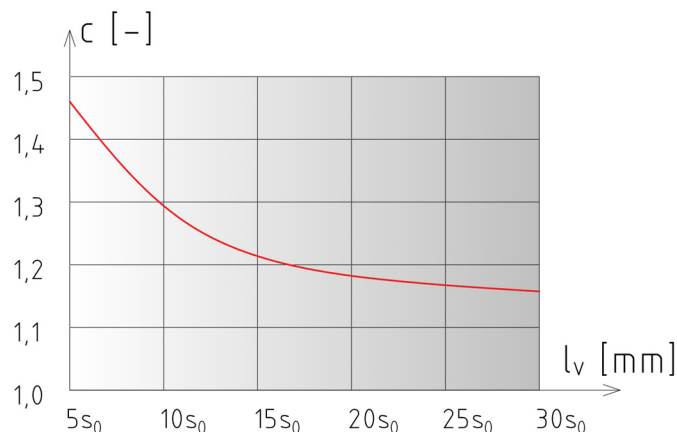
Pro dosažení úplnosti výsledků je nezbytné stanovit i ohýbací sílu a práci, které mají taktéž vliv na výběr vhodného stroje. Výpočet i průběh síly jsou ovlivněny typem ohybu, a to buď do tvaru  $V$  nebo tvar  $U$ . Průběh síly při ohybu do tvaru  $V$  lze vidět na následujícím obrázku 22. V první fázi se zde pozoruje prudký nárůst síly, který trvá až do okamžiku, kdy je překročena mez kluzu. Poté již síla roste pomaleji a téměř lineárně. [37; 40; 41]


 Obr. 22 Průběh ohýbací síly do tvaru  $V$  [37].

Pokud se jedná o ohyb do tvaru  $V$ , jde vlastně o ohýbání osamělou silou. Dle normy ČSN 22 7340 má vzorec následující tvar [41]:

$$F_{oV} = \frac{c_n \cdot R_m \cdot b_v \cdot s_0^2}{l_v} \quad (2.26)$$

kde:  $c_n$  – součinitel podle diagramu na obr. 23 [-],  
 $b_v$  – šířka ohybu [mm].



Obr. 23 Součinitel z normy ČSN 22 7340 [41].

Potřebná síla k vyrovnání výlisku – kalibraci v závěru zdvihu lisu se vypočítá ze vzorce [41]:

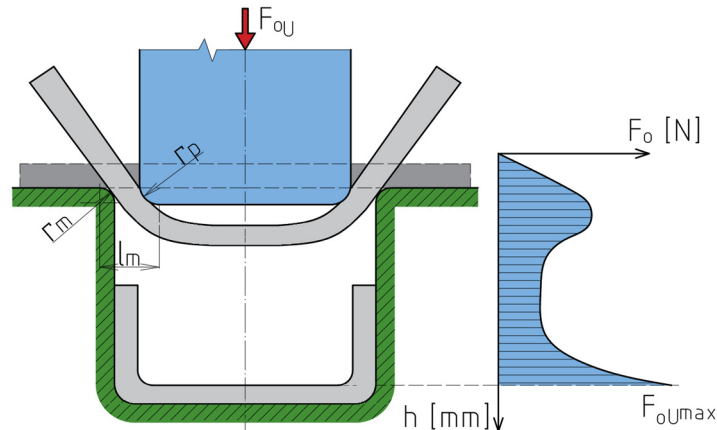
$$F_V = S_V \cdot p, \quad (2.27)$$

kde:  $S$  – vyrovnávaná plocha [mm<sup>2</sup>],  
 $p$  – měrný tlak [MPa].

Tato síla může být dále navýšena v závislosti na tom, zda se v konečné fázi ohýbání bere v úvahu tření a kalibrace. Celková ohybová síla se tedy určí ze vztahu [41]:

$$F_{cV} = F_{oV} + F_V, \quad (2.28)$$

Jako druhý je ohyb do tvaru  $U$ . Průběh ohýbací síly je možné vidět na následujícím obrázku 24. V prvním okamžiku, stejně jak tomu bylo u  $V$  ohybu, dochází k prudkému nárůstu ohýbací síly až do překročení meze kluzu. Následně je lehký pokles, který je způsoben poklesem deformace. V tomto okamžiku se materiál spíše vtahuje do prostoru ohybu než je deformován. V posledním úseku opět dochází k významnému nárůstu síly, a to vlivem kalibrace [37; 40; 41].


 Obr. 24 Průběh ohýbací síly do tvaru  $U$  [37].

Pro ohýbání materiálu do tvaru  $U$  se používá obdobný vzorec jako u varianty do tvaru  $V$ . Rozdílem je, že polotovar je uvažován jako nosník na dvou podporách, který je zatížen dvěma silami v důsledku rovného čela ohybníku. [9; 41]

Dle normy ČSN 22 7340 má vzorec následující tvar [41]:

$$F_{oU} = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot b_u \cdot s_0^2}{l_u}, \quad (2.29)$$

kde:  $b_u$  – součet všech šířek ohybů [mm].

V případě ohybu pásu upnutého jedním koncem, jak je znázorněno na následujícím obrázku 25, se jedná o ohyb volného ramene a je možné sílu spočítat dle vztahu [39]:

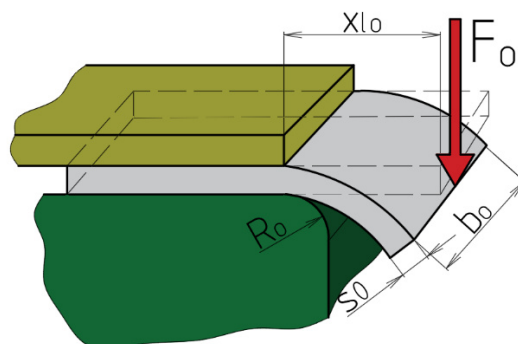
$$F_{oL} = \frac{b_o \cdot s_0^2}{6 \cdot x_{lo}} \cdot R_m \cdot (1,5 + \varepsilon_p), \quad (2.30)$$

kde:  $b_o$  – šířka ohybu [mm],

$x_{lo}$  – délka ohýbaného ramene [mm]

$\varepsilon_p$  – trvalá poměrná deformace krajních vláken,

$$\varepsilon_p = \frac{1}{2 \cdot \frac{R_o}{s_0} + 1}. \quad (2.31)$$



Obr. 25 Ohyb jednostranně upnutého pásu [39].

Celkovou ohýbací sílu je ještě nutné zvětšit o sílu přidržovače, ten zároveň slouží jako vyhazovač. Tato síly se vypočítá se vztahu [41]:

$$F_{po} = (0,25 \div 0,3) \cdot F_{oi}, \quad (2.32)$$

kde:  $F_{oi}$  – ohybová síla, dle druhu ohýbání [N].

Při ohýbání s kalibrací je nutno počítat s celkovou silou, která se vypočítá jako [41]:

$$F_{kal} = F_{oi} \cdot (2,0 \div 2,5). \quad (2.33)$$

Celková ohýbací síla se poté spočítá jako součet všech složek:

$$F_{co} = F_{oi} + F_{po} + F_{kal}. \quad (2.34)$$

Práce při ohýbání je součin celkové síly, dráhy a součinitele plnosti [41]:

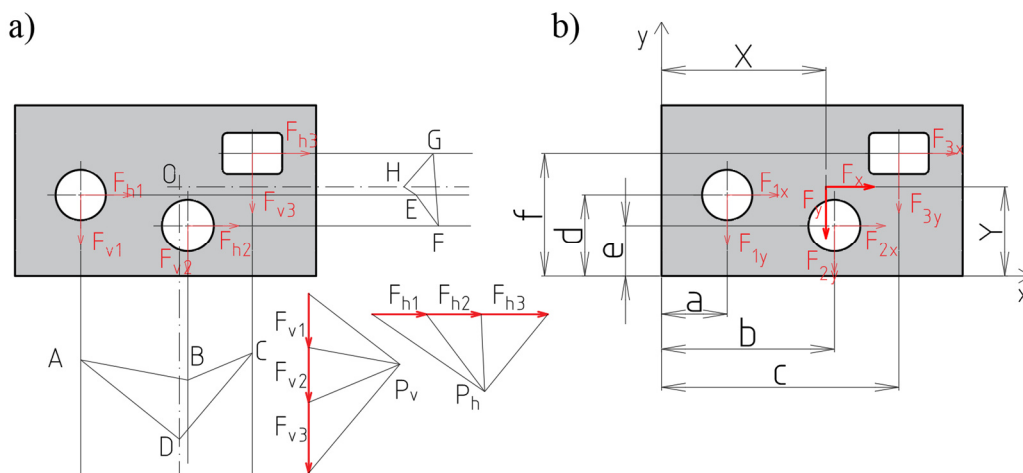
$$A_o = \frac{F_{co} \cdot h_o \cdot \lambda_o}{1000}, \quad (2.35)$$

kde:  $h_o$  – výška pracovního zdvihu [mm],  
 $\lambda_o$  – součinitel plnosti při ohýbání ( $\lambda_o = 0,5 \div 0,65$ ) [-].

### 2.3.3 Působíště síly

K navržení nástroje je nutné zjistit působíště síly. Nástroj se do stroje umístí například za pomoci upínací stopky, kterou je vhodné dát právě do působíště sil. Nebo je možné nástroj upnout za pomoci upínek. Každopádně je nutné docílit, aby působíště sil bylo v ose lisu a nebude docházet k nežádoucímu zatěžování stroje od výsledného momentu síly. Takové zatížení by vedlo ke zhoršení přesnosti výlisků, snížení životnosti nástroje a předčasnému opotřebením lisu. [38; 42]

Působíště sil se zjistí buď výpočtem nebo graficky. Podmínkou je, aby tloušťka a mechanické vlastnosti výrobku byly ve všech místech stejné. Velikost střížných sil bude přímo úměrná obvodu děrovaného otvoru. Grafické řešení (obr. 26a) probíhá tím způsobem, že velikosti jednotlivých střížných sil jsou vyneseny kolmo k půdorysu nástroje ve svislém směru, a to v měřítku do jejich působíště. Tyto síly jsou označeny indexem „y“. Dále se zvolí pól  $P_y$ . Začátky a konce sil se spojí s pólem, a tím vznikne tzv. pólový obrazec. Dále jsou protaženy jednotlivé nositelky sil. Na jedné z nich je vybrán libovolně bod  $A$ . Tímto bodem je následně vedena rovnoběžka s úsečkou pólového obrazce spojující koncový bod  $F_{y1}$  s pólem  $P_y$ . V bodě, kde je protnuta nositelka síly  $F_{y2}$ , je označen bod  $B$ , u něhož se pokračuje obdobným způsobem. Opět se z něj vede rovnoběžka s další úsečkou obrazce mezi koncovými body  $F_{y2}$  a  $P_y$ , kdy vznikne bod  $C$ . Takto se postup opakuje, dokud není obrazec zcela uzavřen. Posledním vytvořeným průsečíkem, označeným bodem  $D$ , prochází hledaná výslednice ve směru  $y$ . Tento postup se opakuje i ve směru  $x$ . Ke konci se obě výslednice protnou v bodě  $O$ , který je hledaným působíštěm výsledné síly. [38; 42; 43]



Obr. 26 Určení těžiště [42].

Druhá metoda (obr 26b), kterou lze použít při výpočtu těžiště, je početní. Metoda je výhodnější při velkém počtu sil. Vychází se zde z podmínky, která platí pro rovnovážný stav, tj. že součet momentů sil ke zvolené přímce je roven nule. Po úpravách rovnic a vyjádření neznámé ze vzorce se spočítá vzdálenost těžiště od počátku zvoleného souřadného systému ve směru osy  $x$  jako [42]:

$$X = \frac{F_{x1} \cdot x_1 + F_{x2} \cdot x_2 + F_{x3} \cdot x_3}{F_{x1} + F_{x2} + F_{x3}}, \quad (2.36)$$

kde:  $F_{xi}$  – síly ve směru osy  $x$  [N],  
 $x_i$  – vzdálenost působíště sil od počátku ve směru  $x$  [mm].

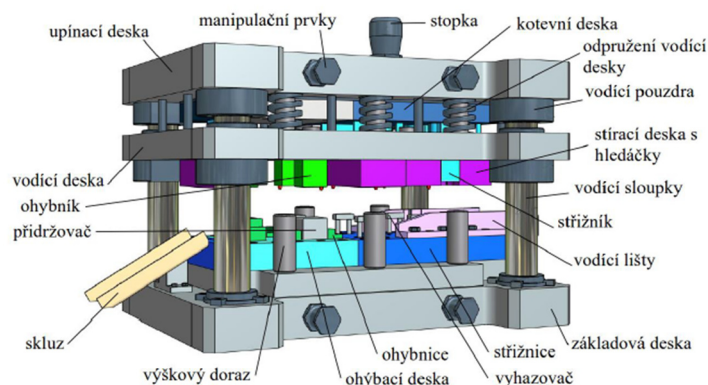
Vzdálenost těžiště od počátku zvoleného souřadného systému ve směru osy  $y$  se spočítá jako [42]:

$$Y = \frac{F_{y1} \cdot y_1 + F_{y2} \cdot y_2 + F_{y3} \cdot y_3}{F_{y1} + F_{y2} + F_{y3}}, \quad (2.37)$$

kde:  $F_{yi}$  – síly ve směru osy  $y$  [N],  
 $y$  – vzdálenost působíště sil od počátku ve směru  $y$  [mm].

## 2.4 Nástroje

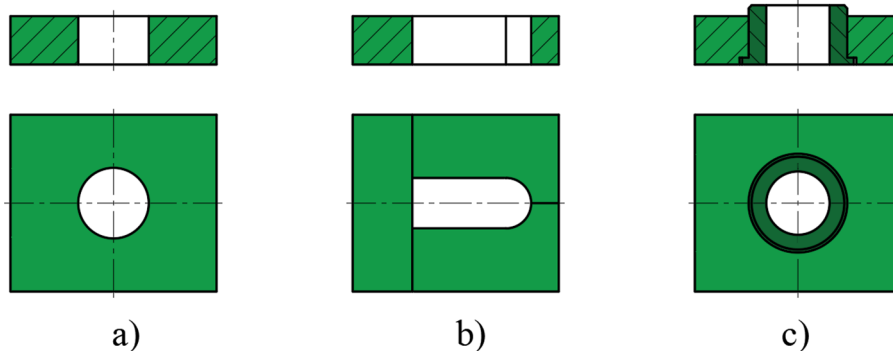
U postupového sdruženého nástroje, jak již název naznačuje, se provádí více tvářecích operací, které jsou sdruženy do jednoho nástroje. Díky tomu odpadá potřeba manipulovat s materiálem mezi více nástroji a vše lze vyrábět pouze v jednom. Nástroj se skládá ze dvou polovin (obr. 27), přičemž obě poloviny je nutné opatřit manipulačními prvky pro lepší manipulaci s nástrojem. Vodící sloupky zajišťují vyšší přesnost vůči horní a spodní polovině nástroje a jsou vedeny v jednotlivých deskách pomocí vodících pouzder. Ve spodní polovině se nachází základová deska, na kterou se umísťují střížnice. Pokud jde o ohýbací operace, jsou zde umístěné ohýbací desky, na kterých jsou za pomoci šroubů připevněny ohybnice. Přidržovač brání zdeformování rovné části výlisku a vodící lišty slouží pro lepší a přesnější zavádění pásu plechu do nástroje. Horní polovina nástroje se skládá z upínací desky, která slouží k upnutí nástroje do stroje za pomoci upínací stopky nebo upínku. Kotevní deska je připevněna na upínací desku pro upnutí střížníků a ohybníků. Mezi těmito deskami se často nachází kalená podložka, aby nedocházelo k otlacení střížníků a ohybníků do upínací desky. Vodící deska zajišťuje vedení funkčních částí nástroje pro vyšší přesnost a stírací deska slouží k setření polotovaru z funkčních částí nástroje. Hledáčky mohou být zabudovány pro zvýšení přesnosti nástroje. Vodící lišty a podpěrný plech jsou důležité pro správné zavedení materiálu. Tyto nástroje se obzvláště uplatňují u dílů s vysokou sériovostí. Celkově lze konstatovat, že postupový sdružený nástroj přináší výrazné výhody z hlediska efektivity a přesnosti výroby. [9; 13; 23; 34; 35]



Obr. 27 Postupový sdružený nástroj [35].

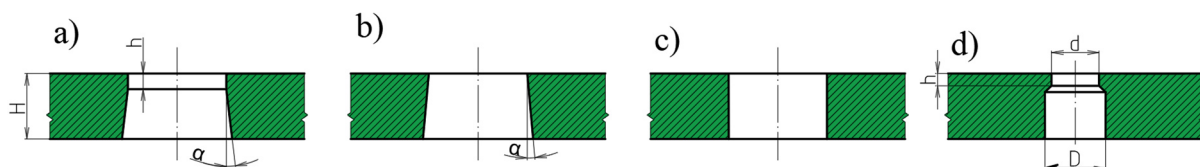
### 2.4.1 Střížné nástroje

Pro návrh střížných nástrojů jsou klíčovými konstrukčními faktory tvar střížných částí a vůle v nástroji. Nezbytnou podmínkou pro správnou funkci střížných nástrojů je zajistit jejich dostatečnou tuhost a přesnost. Tvary střížných částí jsou ovlivněny především velikostí série, ale také tvarem a velikostí vyráběné součásti. Střížnice jsou jednou z hlavních součástí střížných nástrojů a upevňují se na základovou desku. Základní rozdělení střížnic je na střížnice celistvé (obr. 28a), složené (obr. 28b) a vložkované (obr. 28c). Celistvé střížnice jsou vyráběny z jednoho kusu nástrojové oceli a využívají se především pro vystřihování jednoduchých a menších tvarů. Složené střížnice se skládají z několika částí. I když jsou náklady na výrobu vyšší, výrazně se zvyšuje životnost nástroje a výroba je snadnější a přesnější. V případě poškození některé části střížnice se vymění pouze poškozená část. Tento typ střížnice se nejčastěji využívá pro stříhání složitých tvarů a najde uplatnění při sériové nebo hromadné výrobě. Části střížnice jsou obvykle zalisovány do měkké (nekalené) ocelové desky. Výhodou je také snazší kalení jednotlivých dílů. Vložkované střížnice jsou vyrobeny z desky z konstrukční ocele, do které jsou zalisovány nebo jinak upínány kalené vložky z nástrojové oceli nebo slinutých karbidů. Tím se výrazně sníží pořizovací cena nástroje a naopak se zvýší jeho životnost. Dále se usnadní výměna poškozených částí. Vložka navíc lehce vyčnívá nad desku (3 – 5 mm), což usnadňuje jejich přebroušení. [1; 23; 35; 38; 43]



Obr. 28 Možnosti konstrukce střížnic [3].

Dále se střížnice dají rozdělit podle jejich geometrie (otvorů) na několik typů, a to na střížnice s fazetkou (obr. 29a), s úkosem (obr. 29b), bez úkosu (obr. 29c), anebo s válcovým rozšířením (obr. 29d). Střížnice s fazetkou se používají především pro velké série výroby. Při vstupu do střížnice je umístěna tzv. fazetka, která zajišťuje stejný rozměr i po několika přebroušeních střížné hrany a její výška se pohybuje mezi 5 až 10 mm. Následně tato část přechází do kuželové části, kde je úhel zkosení roven  $\alpha = (3 \div 5)^\circ$ . Střížnice s úkosem jsou naopak vhodné především pro menší výrobní série, kde je požadována běžná přesnost. Úhel zkosení se pohybuje v rozmezí  $(30 - 45)'$ . Dalším typem jsou střížnice bez úkosů, které se používají v případech, kde je potřeba zajistit, aby se výstřížek vysouval zpět ze střížnice pomocí vyhazovače. Poslední variantou jsou střížnice s válcovým rozšířením, které se používají především pro děrování součástek s průměrem menším než 5 mm. Stejně jako v první variantě střížnice, i zde se nachází fazetka, díky které nedochází ke zmenšení rozměrů při přebroušení. [1; 38; 43]



Obr. 29 Geometrie funkčních částí střížnice [38].

Pro správnou konstrukci střížnice je nutné před vyrobením zkontrolovat její tloušťku, protože působením sil zde dochází k namáhání ohybem a je nutné předejít její deformaci. [1; 43]

Minimální tloušťka střížnice se tedy spočítá jako [39]:

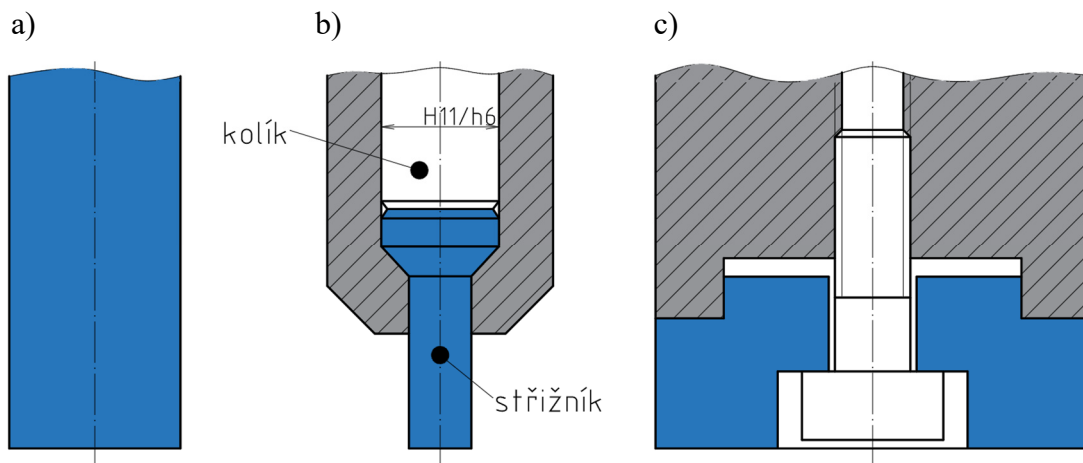
$$H_{min} = \sqrt{\frac{1,5 \cdot F_{smax}}{\sigma_{odov}}}, \quad (2.38)$$

kde:  $\sigma_{odov}$  – dovolené ohybové napětí [MPa]; hodnota napětí se pohybuje v rozmezí:  
 $\sigma_{odov} = (300 \div 400)$  MPa,

Obvykle lze použít jednodušší vztah, který slouží pro rychlou kontrolu [39]:

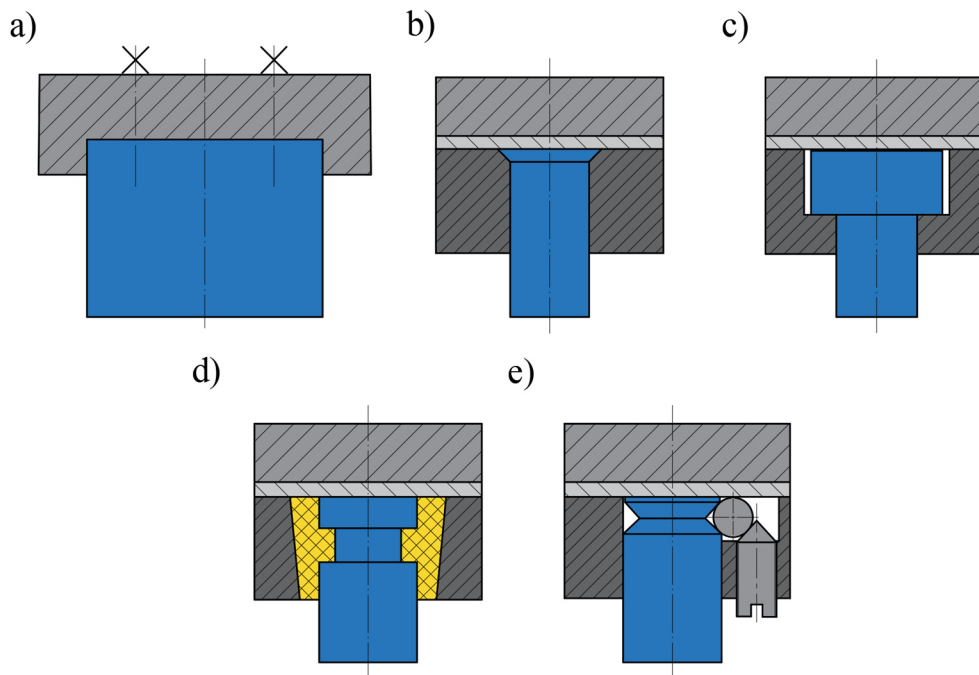
$$H_{min} = \sqrt[3]{F_{smax}}. \quad (2.39)$$

Střížné nástroje jsou vybaveny dalšími funkčními částmi zvanými střížníky, které jsou protikusem ke střížnici a skládají se ze tří částí, a to z tvarové části, hlavy a dříku. Tvarová část odpovídá tvaru výstřížku. Hlava střížníku by měla být co největší, aby byla zajištěna co největší tuhost při upnutí. Střížníky jsou upevněny v horní části nástroje v kotevní desce. Stejně jako u střížnic jsou střížníky klasifikovány podle konstrukce na tři typy, kterými jsou střížníky celistvé, dělené pro malé rozměry a dělené pro velké rozměry. Pro malé a středně velké součásti se doporučuje vyrábět střížník celistvý z jednoho kusu nástrojové oceli (viz obrázek 30a), což usnadní výrobu, nicméně cena takového střížníku bude vyšší kvůli použití dražšího materiálu. Dělený střížník (viz obrázek 30b) je vhodný pro malé rozměry a skládá se z pracovní části z nástrojové oceli nebo slinutého karbidu a těla z konstrukční oceli s cílem zvýšit vzpěrnou stabilitu. Pro velké rozměry se doporučuje použít také dělený střížník, který však má jinou konstrukci (viz obrázek 30c), ale také napomáhá ušetřit náklady za nástrojovou ocel. [23; 35; 38; 43]



Obr. 30 Konstrukce střížníků [24].

Pro zajištění toho, aby nedocházelo k vytažení střížníků a aby byla zajištěna i dostatečná kolmost a tuhost, je nutné střížník správně upevnit do kotevní desky. Existuje několik způsobů, jak toho dosáhnout. Na obrázku 31 jsou znázorněny některé z možností. Jedním z možných a nejčastěji používaných způsobů, je upnutí střížníku za jeho válcovou hlavu (obr. 31c). Dále je možné upnout střížníky za pomoci roznytování horní části střížníku (obr. 31b). Pro rychlou výměnu je možné použít například rychloupínací kuličku (obr. 31e). Mezi speciální způsoby lze zařadit zalití, které se provádí kupříkladu za pomoci pryskyřice (obr. 30d). U střížníků velkých rozměrů je možné využít připevnění pomocí šroubů (obr. 31a). [24; 35; 38; 43]



Obr. 31 Způsoby upínání střížníků [24].

Střížníky je nutné zkontrolovat pomocí pevnostních výpočtů, aby nedošlo k jejich vzpěru, popřípadě k jejich zlomení. Kontrola na tlak a vzpěr se provádí u střížníku s nejmenším průřezem. Kontrola pevnosti střížníku se provede tak, že vypočtená hodnota se porovná s hodnotou dovoleného namáhání na tlak. [38]

Vzorec na výpočet kontroly střížníku má následující tvar [38]:

$$\sigma_d = \frac{F_s}{S_{st}} < \sigma_{dov}, \quad (2.40)$$

kde:  $S_{st}$  – plocha střížníku [ $\text{mm}^2$ ],

$\sigma_{dov}$  – dovolené tlakové napětí [MPa];  $\sigma_{dov} = (1600 \div 2000)$  MPa.

Dále je třeba zkontrolovat tzv. otláčení, tedy zda osazený střížník bude potřebovat opěrnou kalenou desku, aby nedošlo k otláčení upínací části do podložky, a to za pomoci vztahu [38]:

$$\sigma_{od} = \frac{F_s}{S_d} < \sigma_{dovOS}, \quad (2.41)$$

kde:  $S_d$  – plocha osazeného průřezu střížníku [ $\text{mm}^2$ ],

$\sigma_{dovOS}$  – dovolené napětí na dosedací ploše [MPa].

Vztah pro určení kritické délky střížníku, u které by mohlo dojít ke ztrátě vzpěrné stability, je uvedený níže. Kontrola se provádí zpravidla u dlouhých střížníků malých průměrů. Jedná se o délku střížníku, která není vedena v nástroji. [3; 38]

Kritická délka střížníku se spočítá ze vztahu [38]:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_{ks} \cdot F_s}}, \quad (2.42)$$

kde:  $I$  – moment setrvačnosti určitého průřezu [ $\text{mm}^4$ ],

$n_{ks}$  – koeficient bezpečnosti [-].

Pro stanovení rozměrů funkčních částí nástroje, tedy střížníku a střížnice, se používá norma ČSN 22 6015. Rozměry těchto částí jsou ovlivněny velikostí střížné vůle. Výpočet rozměrů se

rozděljuje podle toho, zda se jedná o děrování nebo vystřihování. Při vystřihování (obr. 32a) se rozměry střížnice řídí dle rozměrů výstřížku, avšak její rozměr je zvětšen o přídavek na opotřebení, což je minimální rozměr výstřížku. Jednotlivé velikosti tolerančních polí při výrobě střížníku, respektive střížnice lze vidět na obrázku 32. [3; 28]

Pro výpočet střížníku se používá následující vztah [28]:

$$A_k = \left( A_j - \frac{P}{2} - v \right)_{-\delta_k}, \quad (2.43)$$

kde:  $A_k$  – jmenovitý rozměr střížníku [mm],  
 $A_j$  – jmenovitý rozměr výstřížku [mm],  
 $P$  – přípustná míra opotřebení [mm],  
 $\delta_k$  – tolerance střížníku [mm].

Pro střížnici [28]:

$$A_e = \left( A_j - \frac{P}{2} \right)^{+\delta_e}, \quad (2.44)$$

kde:  $A_e$  – jmenovitý rozměr střížnice [mm],  
 $\delta_e$  – tolerance střížnice [mm].

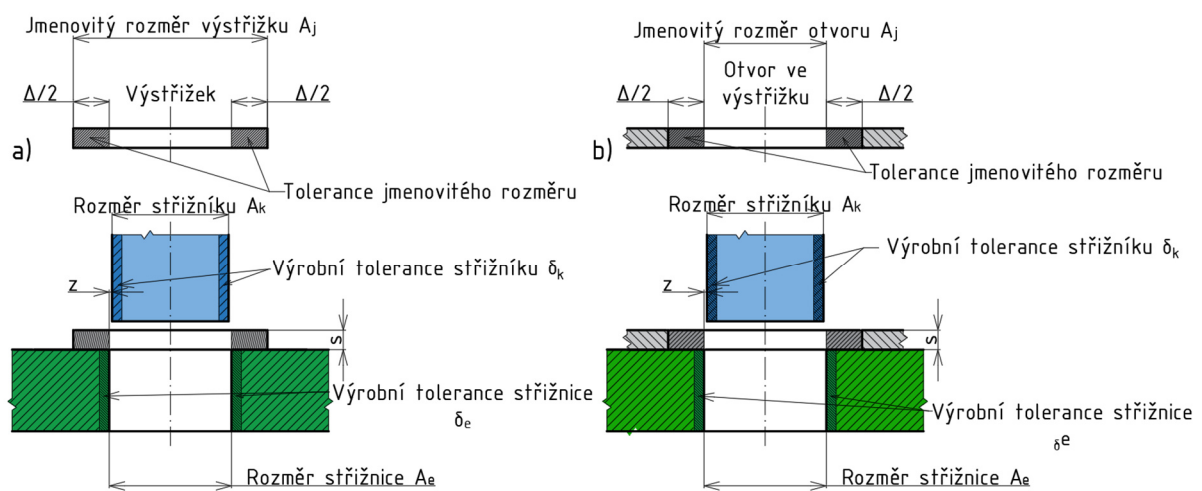
U děrování (obr. 32b) se vychází naopak z rozměru střížníku, který bude určovat rozměr děrované díry. Střížník se bude vlivem opotřebení zmenšovat, tudíž rozměr nového střížníku by měl odpovídat maximálnímu jmenovitému rozměru výstřížku. [3; 28]

Rozměry střížníku se tedy vypočítají ze vztahu [28]:

$$A_k = \left( A_j + \frac{P}{2} \right)_{-\delta_k}. \quad (2.45)$$

Rozměry střížnice se určí jako [28]:

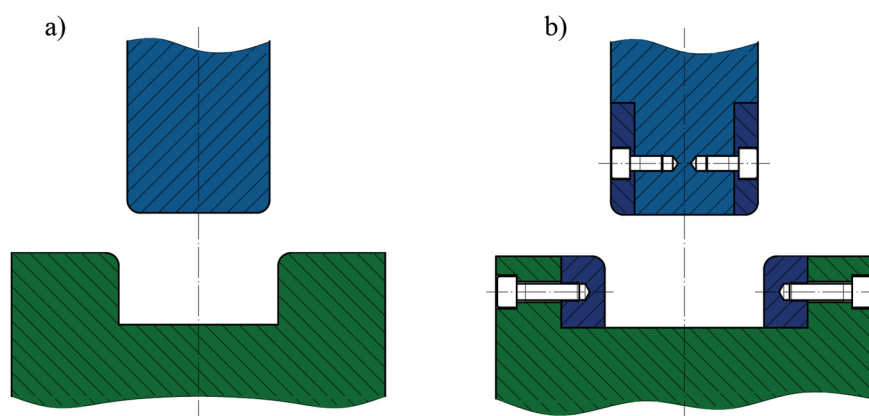
$$A_e = \left( A_j + \frac{P}{2} + v \right)^{+\delta_e}. \quad (2.46)$$



Obr. 32 Velikost tolerančních polí při výrobě střížníku, resp. střížnice [28].

## 2.4.2 Ohýbací nástroje

V obdobné podobě jako u stříhání, se v případě ohýbání součástí vyskytují dvě hlavní pracovní části nástroje: ohybník, tj. pohyblivá ohýbací čelist, a ohybnice. Konstrukce ohýbacích nástrojů je především závislá na tvaru ohýbané součásti a na rozložení napětí a deformace. Funkční části nástroje se dají rozdělit na nástroje pro ohyb do tvaru  $U$  a nástroje pro ohýbání do tvaru  $V$ . Podobně jako v případě nástrojů u stříhání, lze ohýbací nástroje rozdělit (z hlediska konstrukce) na celistvé (obr. 33a), které jsou vyrobeny z jednoho kusu nástrojové oceli, nebo na vložkované (obr. 33b), u kterých je tělo vyrobeno z levnější konstrukční oceli a části, které jsou v kontaktu s materiálem a tváří ho, jsou vyrobeny z nástrojové oceli. V případě rozměrově větších nebo velmi namáhaných nástrojů je vložkování výhodné, aby bylo možné vyměnit pouze tyto části a nemusel se vyrábět nový nástroj. Vložkované části se ve většině případů upevňují za pomoci šroubů. [37; 38; 43]



Obr. 33 Ohýbací nástroj [3].

Šířka ohybníku musí být minimálně rovna šířce ohýbané součásti. Pracovní hrany ohybníku jsou kalené a leštěné. Poloměr zaoblení těchto hran, označený jako  $r_p$ , je ve většině případů takový, aby odpovídal poloměru ohýbané součásti. V některých případech se však tento poloměr upravuje s ohledem na odpružení. Kvalitu ohybu a potřebnou ohýbací sílu ovlivňuje poloměr zaoblení pracovní hrany ohybnice  $r_m$ , která se volí v rozmezí  $(2 \div 6)$  násobku tloušťky materiálu, pro materiál s tloušťkou do 3 mm. Pokud je tloušťka materiálu větší než 3 mm, je vhodné srazit hrany pod úhlem  $45^\circ$  a přechody zaoblit poloměrem  $r_m$ . Výška sražené hrany by měla být přibližně stejná, jako poloměr, kterým je hrana zaoblena. Doporučené velikosti zaoblení a hloubky pevné čelisti v závislosti na tloušťce materiálu a délce ramene součásti je možné vidět v následující tabulce 5. [9; 23; 38; 41; 43]

Tab. 5: Zaoblení a hloubka pevné čelisti [38].

Délka ramene $a$ [mm]	Tloušťka materiálu $s_0$ [mm]								
	do 0,5			0,5 až 2			2 až 4		
	$l_0$ [mm]	$r_m$ [mm]	$c_s$ [-]	$l_0$ [mm]	$r_m$ [mm]	$c_s$ [-]	$l_0$ [mm]	$r_m$ [mm]	$c_s$ [-]
10	6	3	0,1	10	3	0,1	10	4	0,08
20	8	3	0,1	12	4	0,1	15	5	0,08
35	12	4	0,15	15	5	0,1	20	6	0,08
50	15	5	0,2	20	6	0,15	25	8	0,1
75	20	6	0,2	25	8	0,15	30	10	0,1
100	-	-	-	30	10	0,15	35	12	0,1

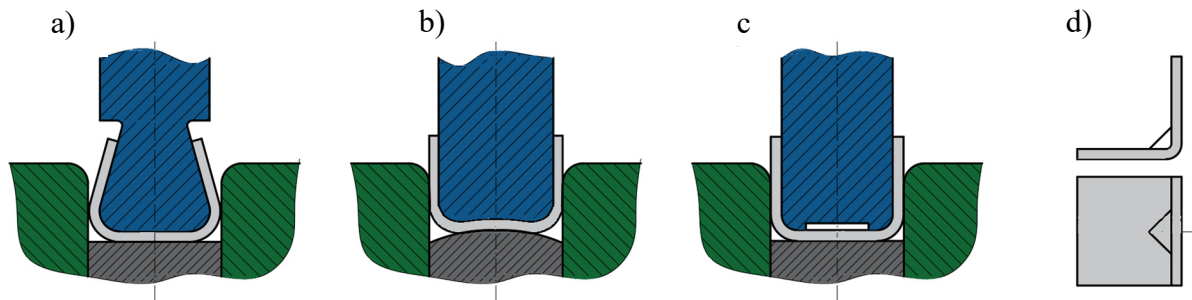
Podobně jako u stříhání, i zde se stanovuje vůle mezi ohybníkem a ohybnicí. Při ohýbání do tvaru  $V$  a podobných ohybů se šikmými nebo oblými rameny se vůle mezi pohyblivou a pevnou čelistí rovná tloušťce ohýbaného materiálu. U ohybu do tvaru  $U$  závisí vůle především na tloušťce a toleranci tloušťky a také na délce ramene ohýbané součásti. [23; 38; 43]

Pro ohyb do tvaru  $U$ , se velikost vůle stanoví ze vzorce [38]:

$$v_o = (s_0 \div s_{max}) + c_o \cdot s_0, \quad (2.47)$$

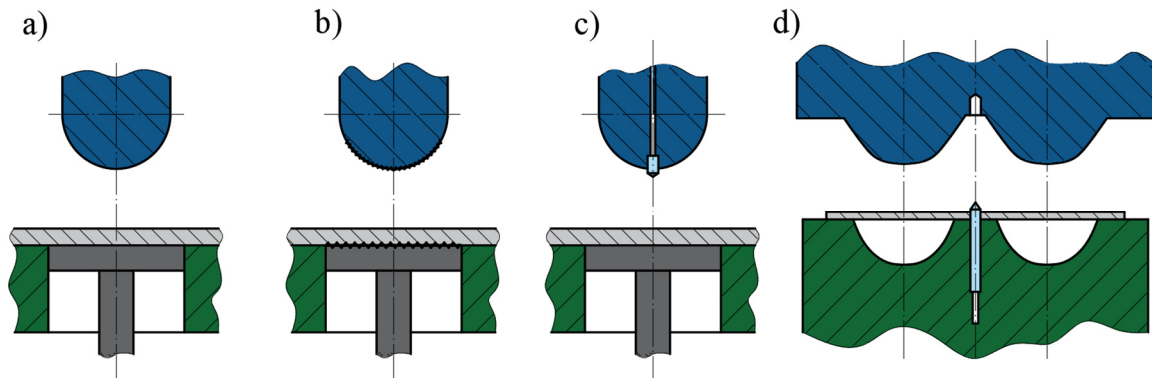
kde:  $s_{max}$  – největší tloušťka plechu (jmenovitá tloušťka + horní úchylka) [mm],  
 $c_s$  – součinitel vyjadřující vliv tření ohýbané součásti o ohybnici s ohybníkem na délku ramene (viz tabulka 5) [-].

U ohýbání je doprovodný jev tzv. odpružení, které nelze nikdy zcela eliminovat. Jeho velikost lze však vhodnou úpravou nástroje snížit. Jednou z možností je ohnout materiál více, a to o velikost odpružení (obr. 34a). Druhou možností je zaoblení dolní strany pohyblivé čelisti a přidržovače poloměrem  $R$  (obr. 34b). Tento postup je vhodný pouze pro součásti, u nichž zdeformované dno není problém. Třetí možností je použití odlehčeného ohybníku (obr. 34c), čímž se dosáhne větší deformace v místě ohybu a zpevnění materiálu v tomto místě vzroste. Další možností je vylišování výztužných žebrování v místě ohybu (obr. 34d). [3; 37; 43]



Obr. 34 Možnosti úprav ohýbadel pro eliminaci odpružení [41].

Při ohýbání nesymetrických výrobků může docházet k posuvu materiálu k jedné straně, čímž vznikne nepřesný ohyb. Tento nežádoucí efekt lze eliminovat několika způsoby. Jedním z nich je využití vyššího tlaku přidržovače (obr. 35a), nebo zdrsnění povrchu ohybníku, popřípadě přidržovače (obr. 35b). Další metodou je zalisování kalených špiček do ohybníku nebo přidržovače, které se při ohybu vtlačí do ohýbaného materiálu (obr. 35c). Kromě toho lze ohýbanou součást zajistit i pomocí jednoho nebo více kolíků, které jsou umístěny v některé z funkčních částí ohýbadla, což zabrání posuvu součásti během ohýbání. (obr. 35d). [3; 38]



Obr. 35 Schéma zamezení posunutí polotovaru [38].

### 2.4.3 Materiály funkčních částí nástroje

Při konstrukci tvářecích nástrojů je klíčové zohlednit požadavky na jednotlivé části nástroje. Je nezbytné volit materiály, které budou odpovídat potřebné pevnosti a tvrdosti v průběhu samotného tvářecího procesu, přičemž výrobní náklady nesmí být příliš vysoké. Pro výrobu sdužených nástrojů se obvykle používají konstrukční oceli, šedé litiny a nástrojové oceli. Konstrukční oceli jsou vhodné pro části nástrojů, které nejsou v přímém kontaktu s materiálem, a kde není požadována vysoká pevnost a tvrdost. Tyto materiály jsou vhodné pro části, které nejsou opotřebovány v průběhu tvářecího procesu. Šedé litiny se často používají pro základové části nástrojů, jako jsou základové a upínací desky a vodící stojany. Dále je lze využít například pro výrobu přídržovačů. Nástrojové oceli jsou vhodné pro části nástrojů, které vyžadují dostatečnou pevnost, tvrdost a odolnost proti opotřebování. Přehled vhodných materiálů pro jednotlivé části nástroje lze nalézt v tabulce 6. [32; 38; 43]

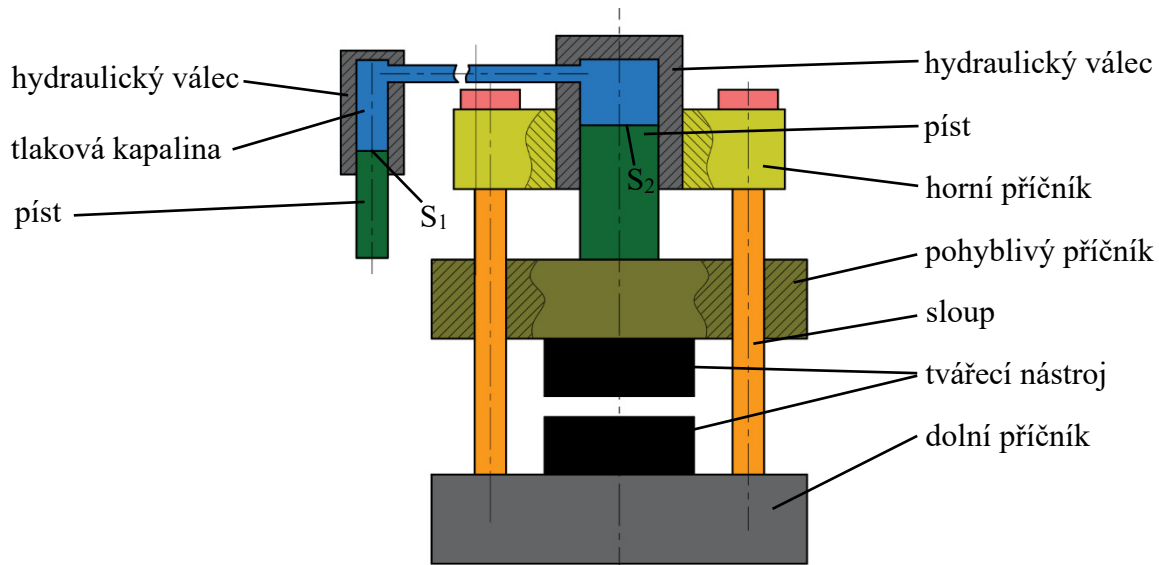
Tab. 6 Materiály a jejich tepelné zpracování pro tvářecí nástroje [38].

Část nástroje	Materiál	Tepelné zpracování
Vodící stojánky – desky, sloupky, pouzdra	42 2456, 42 2661, 11 500, 12 061, 14 220	cementováno do hl. 0,5 mm HRC = 60 – 62
Stopky	11 600	
Střížníky	19 191, 19 321, 19 436, 19 437, 19 421	HRC = 61 – 63
Střížnice	19 191, 19 3212, 19 436, 19 437, 19 421	HRC = 60 – 62
Dorazy	12, 061, 19 312, 19 191, 19 436	HRC = 56 ± 2
Pouzdra ke střížníkům	19 312	HRC = 52 – 56
Vodící, kotevní a upínací desky	11500, 12 050	
Upínky	11 500	
Stírače	12 061, 19 191	
Vodící lišty	11 600, 14 220	cement., HRC = 60 – 62
Hledáčky	14 220, 19 191, 19 421	HRC = 56 – 60
Ohybníky, ohybnice	19 191, 19 3212, 19 436, 19 437, 19 421	HRC = 55 – 60
Tělesa přídržovačů	422 456	
Pružiny	12 060, 12 090, 14 260	

## 2.5 Stroje

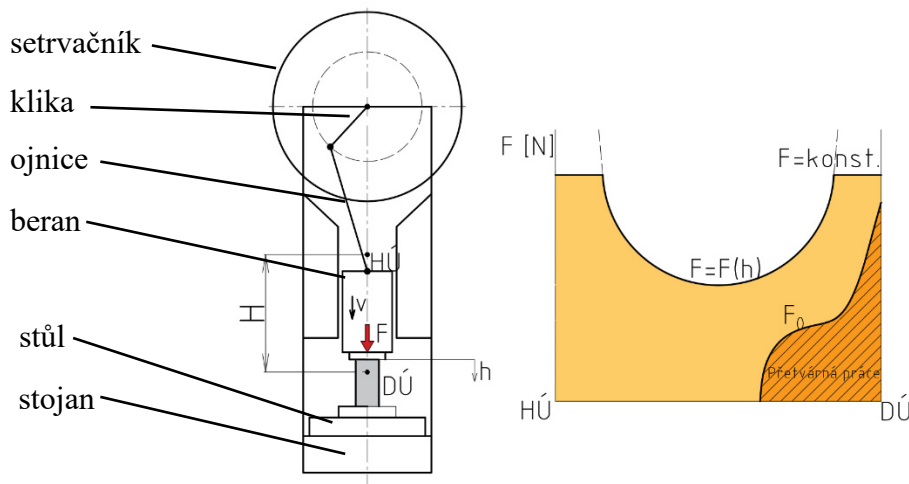
Tvářecí stroje se dle relativního pohybu nástroje k tvářenému materiálu rozdělují na stroje s přímočarým pohybem nástroje a na stroje s rotačním nebo obecným pohybem nástroje. Pro účely plošného tváření se využívají stroje s přímočarým pohybem nástroje, u nichž beran vykonává přímočarý vratný pohyb mezi horní a dolní úvratí (HÚ a DÚ). Polotovar se umísťuje mezi jednotlivé díly nástroje, které jsou připevněny na beranu a na stole. Beran s nástrojem se pohybuje z výchozí polohy z nulové rychlosti a v okamžiku kontaktu s materiálem se pohybuje rychlostí  $v$ . Síla  $F$  na beranu překonává tvářecí sílu, což vede k plastické deformaci výchozího materiálu. Tento tvářecí proces končí v dolní úvratí při nulové rychlosti nástroje. Tvářecí stroje pro plošné tváření lze dále rozdělit na dvě skupiny podle druhu hlavní formy využití energie, a to na silové a zdvihové stroje. [44; 45; 46; 47]

Silové stroje využívají potenciální energii k překonání deformačního odporu materiálu při malých rychlostech beranu, které jsou menší než  $0,25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Mezi tuto kategorii tvářecích strojů se řadí například hydraulické lisy, jejichž síla  $F$  působící na beranu je konstantní a nezávisí na dráze beranu  $h$ . Tvářecí dráha, tedy míra plastické deformace tvářeného tělesa, je omezena touto silou  $F$ . Hydraulické lisy fungují na základě Pascalova principu, kdy se využívá rovnoměrného šíření tlaku v kapalině. Stroj obsahuje tlakovou jednotku, která přivádí tlakovou kapalinu do hydraulických válců. Tyto válce obsahují pohyblivé písty, z nichž jeden má větší styčnou plochu  $S_2$  a druhý menší plochu  $S_1$ . Protože tlak u obou pístů je stejný, ale jejich plochy jsou různé, působí na píst s větším průměrem větší síla než na píst s menším průměrem. Obrázek 36 ukazuje schéma hydraulického lisu. [3; 9; 45; 46]



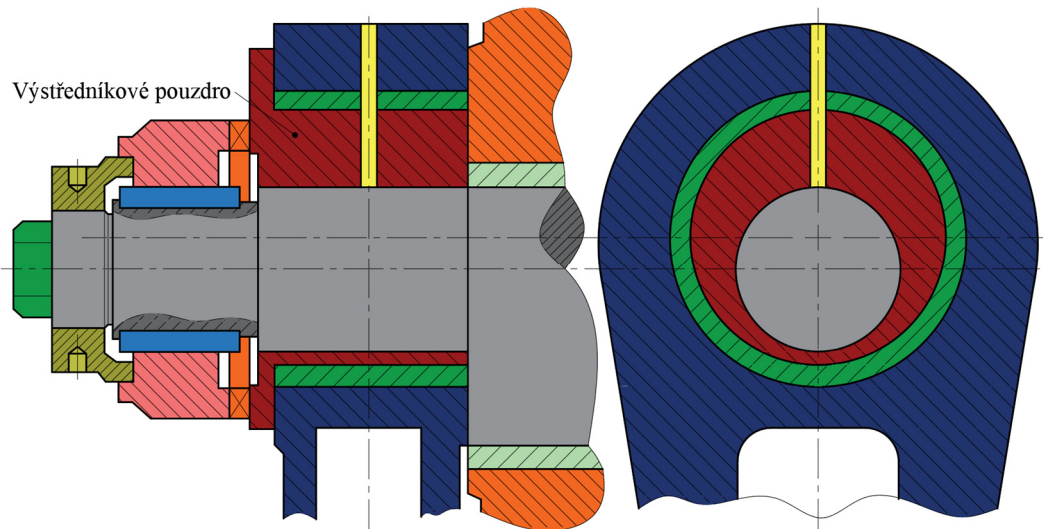
Obr. 36 Schéma hydraulického lisu [3].

Zdvihové stroje využívají ke své funkci obě základní formy energie, a to energii potenciální i kinetickou, pro překonání přetvárného odporu. Přenos těchto forem energií je uskutečněn mechanismem, který má jeden stupeň volnosti, tedy s pevnou kinematickou vazbou mezi vstupním a výstupním členem. Mezi tyto stroje se typicky řadí klikové lisy (obr. 37), u kterých síla  $F$  na beranu a rychlost beranu, jsou funkcí dráhy  $h$ . Z toho vyplývá, že základní parametry zdvihových tvářecích strojů jsou jmenovitá síla  $F_0$  a dráha  $h$ , na které může tato síla působit. Tvářecí síla dosahuje svého maxima v krajních úvratích a uvažuje se zde jako konstantní hodnota. [9; 45; 46]



Obr. 37 Klikový lis [46].

Při plošném tváření se ve velké míře využívají výstředníkové lisy. K přenosu síly se využívá výstředníkového mechanismu, který se skládá z výstředníkového hřídele, ojnice a beranu. Stroje pracují obdobně jako klikové lisy, avšak umožňují nastavení velikosti zdvihu pomocí změny excentricity hlavního hřídele s využitím výstředníkového pouzdra (obr. 38). Díky této vlastnosti lze výstředníkové lisy snadno přizpůsobit konkrétním potřebám. Obvykle se umísťují výstředníkové hřídele v příčné poloze, ale lze použít i varianty s podélnou polohou. [9; 47]



Obr. 38 Změna zdvihu výstředníkovým pouzdrům [47].

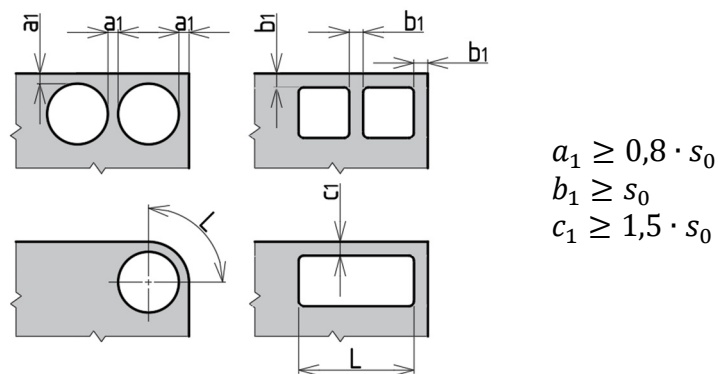
## 2.6 Technologičnost

Při návrhu výroby součásti je nutné zkontrolovat, zda daná součást splňuje technologičnost vzhledem ke zvolené technologii, aby bylo možné součást vyrobit a zároveň, aby součást splňovala svou funkčnost. Technologičnost součásti závisí na konstrukci a stavu nástroje, jakým způsobem je zajišťována poloha plechu při stříhání a dále také, jaký druh materiálu je stříhán. [3; 9; 20; 29; 38]

Technologické zásady pro stříhání, které je nutné dodržet, jsou [3; 9; 20; 29; 38]:

- vyhnout se ostrým rohům v otvorech, pokud je možné, tak volit rohy výstřižku zkosené nebo zaoblené,
- volit materiál, který má mez pevnosti do 1 200 MPa,
- vyhýbat se tolerancím rovinnosti a kolmosti na výstřižku, která se vlivem ohybového momentu těžko dodržuje,
- při děrování upřednostňovat kruhové otvory,
- vhodně zvolit vzdálenosti mezi otvory a vnějšími obrysy, nebo mezi otvory,
- běžná přesnost součástí při vystřihování se pohybuje v rozmezí IT12 až IT14, při stříhání ve stříhadlech se zvýšenou přesností, čehož lze docílit například za pomoci vodícího stojánku, hledáčku apod., je přesnost IT9 až IT11. Popřípadě technologií přesného stříhání lze docílit přesnosti IT6 až IT8,
- výstupky, musí mít minimální šířku alespoň  $s_v = 1,5 \cdot s_0$  a výška  $v_v = 1,2 \cdot s_0$ ,
- vhodně zvolit jakost povrchu střížné plochy, kde ustřižená část mívá drsnost  $R_a = 3,2 \div 6,3 \mu\text{m}$ ,
- navrhnout optimálně nástřihový plán tak, aby využití materiálu bylo alespoň 70 %, při stříhání kruhových otvorů se výrazně sníží využití materiálu,

- nejmenší zhotovitelné otvory, které je možné vyrobit do měkké a středně měkké oceli, jsou  $\varnothing d = s_0$ . Jejich minimální polohy od okraje plechu a od sebe jsou zakótovány v následujícím obrázku 39.

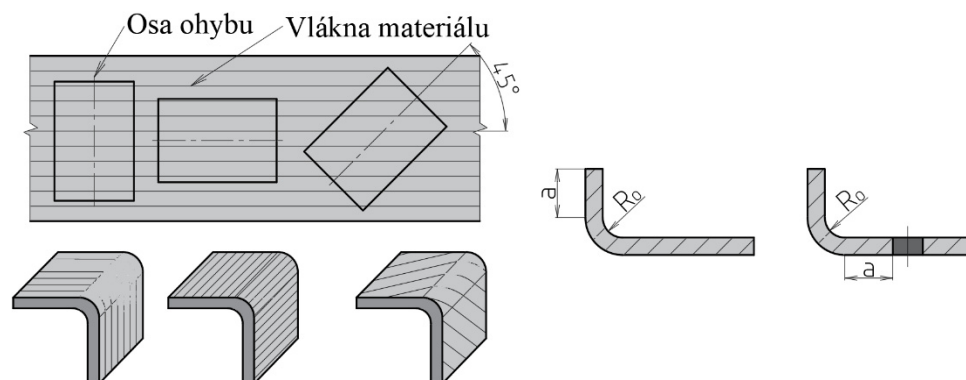


Obr. 39 Technologičnost stříhaných součástí [3].

Dále je nezbytné prověřit vhodnost technologičnosti součástí pro technologii ohýbání.

Zásady, které se musí dodržet, jsou [3; 9; 20; 38]:

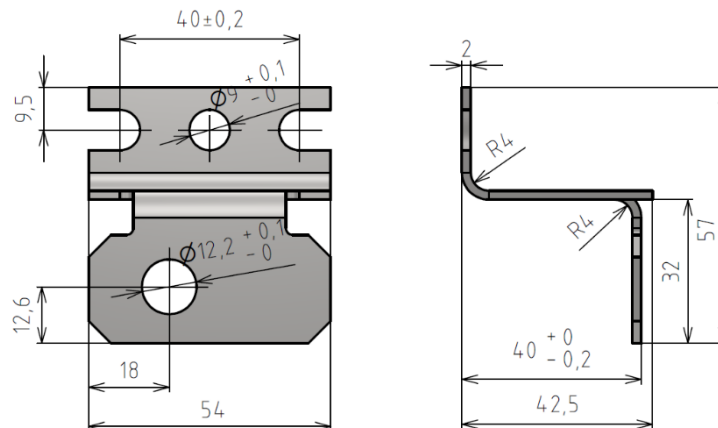
- poloměr ohybu volit pokud možno malý, aby bylo zmenšeno odpružení, a přitom však respektovat minimální úhel ohybu,
- musí se brát ohled i na anizotropii plechu neboli průběh vláken vzhledem k umístění čáry ohybu (obr. 40),
- ohyb se nemůže umísťovat na kraj materiálu, tj. rameno musí mít určitou délku:
  - nejmenší délka ramene  $a$  musí být  $a = 2 \cdot s_0$ . Při menším požadavku je nutné rameno nejdříve ohnout a až potom přebytek materiálu odstranit,
- aby nedošlo ke zdeformování vystřiženého otvoru, je nutné tyto otvory umístit dostatečně daleko od osy ohybu:
  - minimální vzdálenost umístění otvoru od osy ohybu je  $a = 2 \cdot s_0$ . Pokud by bylo potřebné tyto otvory umístit blíže k ose ohybu, je opět nezbytné je vyrobit až po ohnutí,
- součásti s velkým poloměrem ohybu je nutné v místě ohybu vyztužit žebry,
- v místě ohybu dochází ke ztenčování tloušťky materiálu, přípustná hodnota ztenčení je 20 %,
- dále je důležité kontrolovat velikost maximálního a minimálního dovoleného poloměru ohybu.



Obr. 40 Technologičnost ohýbaných součástí [38].

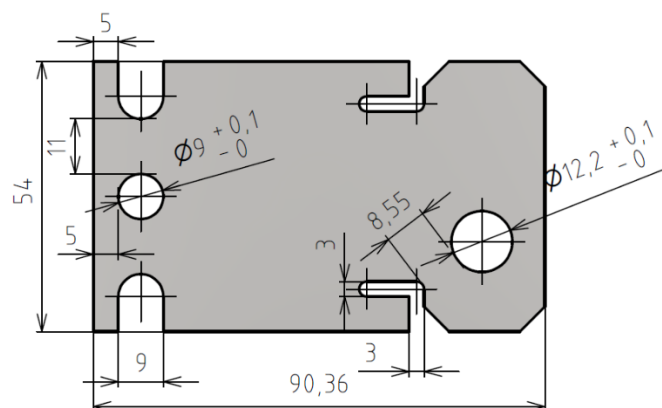
### 3 NÁVRH VÝROBY SOUČÁSTI

Řešenou součástí je držák kompaktních skříní rozváděcích boxů, který bude vyráběn pomocí sduženého nástroje kombinujícího technologii stříhání a ohýbání. Tento postup výroby nabízí výhody vzhledem k sériové výrobě, která je 400 000 kusů ročně. Materiál vybraný pro výrobu této součástky je válcovaný plech za studena DC01 s tloušťkou 2 mm, ekvivalentem tohoto materiálu je ocel 11 321. Po výrobě bude součást galvanicky zinkována a bude aplikována pasivační vrstva pro zlepšení její korozivzdornosti. Základní rozměry držáku jsou znázorněny na obrázku 41. Součást rovněž disponuje netolerovanými rozměry, které však splňují mezní úchytky stanovené normou na výkrese ČSN ISO 2768-mK.



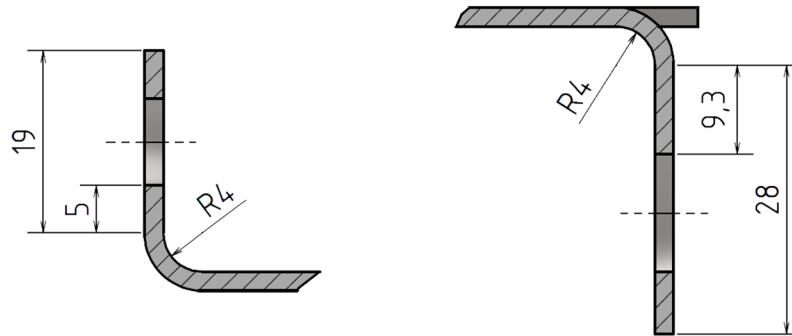
Obr. 41 Základní rozměry držáku.

Před samotným návrhem výroby je zásadní provést kontrolu technologičnosti součásti. To zahrnuje hodnocení tvaru dílů, velikosti otvorů a jejich vzdálenosti od okrajů, které se budou vyrábět stříháním, stejně jako mechanické vlastnosti materiálu. Mez pevnosti pro materiál DC01 je  $R_m = 410$  MPa a maximální povolená hodnota pro stříhání je 1 200 MPa. Velikost otvorů a jejich vzdálenost od okrajů jsou zobrazeny na obrázku 42. Minimální zhotovitelný otvor má velikost  $\varnothing d = s_0 = 2$  mm v měkké a středně měkké oceli. Menší z kruhových otvorů má průměr  $\varnothing 9$  mm, což splňuje podmínky. Podélný otvor o šířce 3 mm je dalším kritickým místem, kde by mohlo dojít k porušení materiálu. Minimální hodnota pro správné vystřížení je  $0,8 \cdot s_0 = 0,8 \cdot 2 = 1,6$  mm, což je také splněno. Posledním faktorem, který musí být zkontrolován, je vzdálenost mezi kruhovým otvorem o průměru  $\varnothing 11,6$  mm a podélným otvorem 3 mm, která musí být alespoň  $a_1 = 0,8 \cdot s_0 = 0,8 \cdot 2 = 1,6$  mm, což je splněno, protože na součásti je vzdálenost 8,55 mm. Při konstrukci nástroje bude použit vodící stojánek a hledáčky, což zajistí přesnost stříhání v rozsahu IT9 – IT11, a tudíž všechny rozměry budou vzhledem k předepsané přesnosti vyrobitelné.



Obr. 42 Velikost otvorů a jejich umístění.

V následujícím kroku je nutno ověřit technologické požadavky pro ohýbání materiálu. Kontrolované hodnoty je možné vidět na obrázku 43. Minimální délka ramene by měla činit  $a = 2 \cdot s_0 = 2 \cdot 2 = 4 \text{ mm}$ . V prvním případě se délka ramene rovná 19 mm a ve druhém 28 mm. Dále je nezbytné ověřit vzdálenost otvorů od místa ohybu, aby se zabránilo deformaci vystřiženého otvoru. Tato hodnota se vypočítá stejným způsobem jako minimální délka ramene, která je 4 mm. U menšího otvoru je vzdálenost od osy ohybu 5 mm a u většího otvoru 9,3 mm.



Obr. 43 Technologičnost ohybu.

Následující krok spočívá v ověření dodržení minimálního a maximálního poloměru ohybu pro danou tloušťku plechu. Minimální poloměr byl stanoven na základě vztahu (2.13):

$$R_{min} = \frac{s_0}{2} \left( \frac{1}{\varepsilon_{max}} - 1 \right) = c_o \cdot s_0 = 0,6 \cdot 2 = 1,2 \text{ mm}$$

kde:  $c_o$  – bylo zvoleno  $c_o = 0,6$ .

Maximální poloměr ohybu je dle vztahu (2.14):

$$R_{max} = \frac{s_0}{2} \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{2}{2} \left( \frac{2,1 \cdot 10^5}{280} - 1 \right) = 749 \text{ mm}$$

kde:  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ ; modul pružnosti v tahu pro oceli,

$R_e = 280 \text{ MPa}$ ; mez kluzu v tahu, viz tabulka 1.

Zhotovený dílec je z hlediska tvaru a materiálu vhodný pro výrobu s ohledem na technologické požadavky. V tomto konkrétním případě lze konstatovat, že všechny kontrolované rozměry jsou v souladu s požadavky pro výrobu.

Při ohýbání není možné se vyhnout doprovodnému jevu odpružení. Přestane-li na ohýbanou součást působit síla, materiál má snahu se vrátit do původního stavu, jak již bylo v práci zmíněno. Při návrhu je proto nutné s tímto jevem počítat a číselně jej stanovit. Odpružení lze vypočítat za pomoci vzorce (2.17):

$$\beta_{1+2} = \arctg \left( 0,75 \cdot \frac{l_u}{k_\beta \cdot s_0} \cdot \frac{R_e}{E} \right) = \arctg \left( 0,75 \cdot \frac{14,3}{0,555 \cdot 2} \cdot \frac{280}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 0^\circ 44'$$

dle vztahu (2.18) se hodnota  $l_u$  stanoví jako:

$$l_u = R_o + r_m + 1,15 \cdot s_0 = 4 + 8 + 1,15 \cdot 2 = 14,3 \text{ mm}$$

$$r_m = (2 \div 6) \cdot s_0 = 4 \cdot s_0 = 4 \cdot 2 = 8 \text{ mm}$$

dle vztahu (2.16) je  $k_\beta$ :

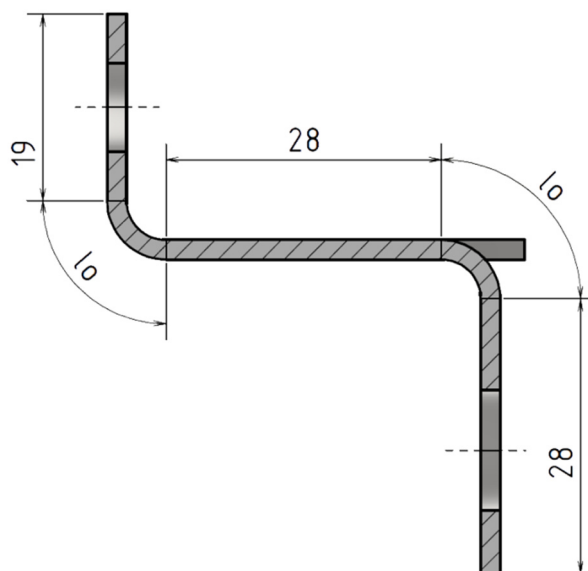
$$k_\beta = 1 - x = 1 - 0,445 = 0,555.$$

Hodnota odpružení bude pro oba ohyby stejná, neboť u obou variant je vzdálenost ohýbacích hran stejná.

### 3.1 Rozvinutý tvar

Pro účely správného stanovení výroby je nezbytné získat rozvinutý tvar součásti, přičemž u ohnutých částí dochází k posunu plochy nulového prodloužení, jak již bylo popsáno. U rovných úseků je možné použít délku zakótovanou na výkrese. Vypočtené hodnoty lze následně porovnat s hodnotami změřenými pomocí rozvinutí v CAD softwaru Inventor 2022.

V tomto konkrétním případě jsou na součásti zhotoveny dva identické ohyby s velikostí úhlu  $90^\circ$  o stejném poloměru  $R_0 = 4$  mm. Pro zjištění rozvinutého tvaru je nezbytné zjistit délky oblouků  $l_o$  v ploše nulového prodloužení, jak ukazuje obrázek 44.



Obr. 44 Rozměry pro výpočet rozvinutého tvaru.

Nejprve musí být stanoven součinitel posunutí  $x$ , který je možné určit z tabulky 2. Nejprve je ale nutné stanovit poměr poloměru ohybu ku tloušťce materiálu:

$$\frac{R_0}{s_0} = \frac{4}{2} = 2 \rightarrow x = 0,445 \quad (3.1)$$

Pokud je určen koeficient posunutí, lze vypočítat poloměr plochy nulového prodloužení pomocí vztahu (2.9):

$$\rho_0 = R_0 + x \cdot s_0 = 4 + 0,445 \cdot 2 = 4,89 \text{ mm}$$

S tímto výsledkem je možné stanovit velikost oblouku v místě ohybu dle vzorce (2.10):

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho_0 = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 4,89 = 7,68 \text{ mm}$$

Úhel ohnuté části spočítá dle vztahu (2.11):

$$\gamma = 180 - 90 = 90^\circ$$

Následně lze za pomoci rovnice (2.12) stanovit délku rozvinutého polotovaru v ose nulového prodloužení:

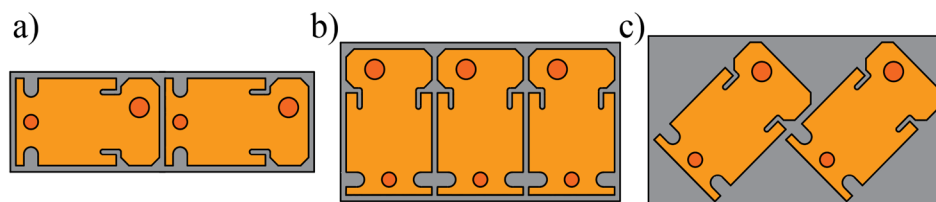
$$l_c = \sum_{i=1}^n l_i + \sum_{j=1}^m l_{jo} = 2 \cdot 7,68 + 19 + 28 + 28 = 90,36 \text{ mm}$$

Tato hodnota odpovídá i hodnotě, která byla zjištěna na za pomoci CAD Softwaru, takže při volbě polotovaru bude možné počítat s celkovou délkou rozvinutého tvaru součásti zaokrouhleného na  $l_c = 90,4$  mm.

### 3.2 Rozmístění součástí

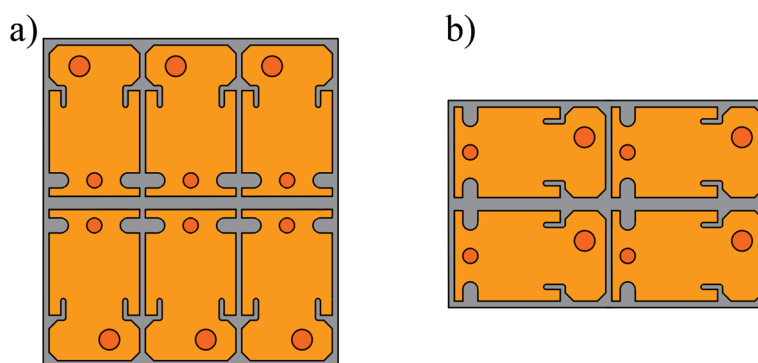
Aby bylo docíleno správného a účinného využití materiálu, je nutné správně navrhnout rozložení výstřižku na pás plechu. Bez správného nástřihového plánu by bylo velmi obtížné vyrobit co nejvíce součástí z co nejmenšího množství materiálu, což může vést až k nadměrné ztrátě, a tím ke zvýšení nákladů na výrobu. Možná rozmístění výstřižků jsou:

- podélné (obr. 45a) – kratší strana výstřižku je umístěna v kolmém směru na směr pohybu pásu plechu. Toto umístění je vhodné z hlediska malé šířky pásu plechu. Dále obrovská výhoda této varianty je směr ohybů, který je kolmý na směr vláken materiálu. Avšak jejich vyrobení by bylo velmi obtížné, z důvodu zachování spojitosti pásu plechu, a tudíž i z hlediska jeho posouvání.
- příčné (obr. 45b) – delší strana je kolmá ke směru posuvu pásu plechu, dojde k navýšení šířky pásu a osa ohybu bude rovnoběžná se směrem vláken. Tento způsob má výhodu v tom, že umožňuje snadnější posouvání pásu po ohnutí ramen.
- šikmé (obr. 45c) – uspořádání má výhodu v tom, že osa ohybu nebude nikdy v podélném směru. Nicméně tato varianta by byla pro konstrukci nástroje obtížná a bylo by složité docílit spojení pásu mezi jednotlivými operacemi.



Obr. 45 Rozmístění součástí.

- dvouřadé uspořádání – součást je relativně jednoduchá, neboť jsou zde pouze dva ohyby. Díky této jednoduchosti připadá v úvahu i dvouřadé uspořádání. Navíc se díky tomu zvýší produkce, protože se v každé operaci budou vytvářet dvě součásti zároveň. Nevýhodou tohoto provedení je zvětšení nástroje kvůli větší šířce pásu. Dále dojde k nárůstu sil, a tudíž bude potřeba použít stroj, který disponuje větší silou. Je možné zvolit příčné (obr. 46a) nebo podélné uspořádání (obr. 46b), stejně jako u jednořadého uspořádání.



Obr. 46 Rozmístění součástí.

Z výše uvedených variant se jeví jako nejméně vhodné šikmé uspořádání, neboť by zde docházelo ke složitému spojení mezi jednotlivými operacemi a nevyhovovalo by ani obdélníkovému tvaru součástí. Již na první pohled se tedy nabízí použít podélné nebo příčné uspořádání. Z těchto variant je méně vhodné použití podélného uspořádání, a to právě kvůli obtížnému posouvání po zhotovení ohybu. Proto bylo vybráno uspořádání příčné a vzhledem k požadované velikosti série, která činí 400 000 kusů ročně, se vyplatí využít dvouřadé uspořádání.

### 3.3 Volba výchozího polotovaru

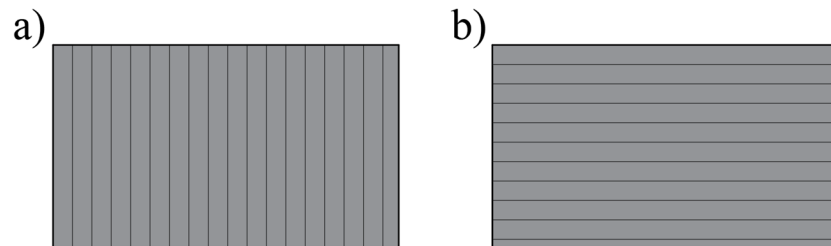
Při výběru výchozího polotovaru lze zvolit jednu ze dvou možností. Buď lze využít tabuli plechu, která se následně rozstříhne na tabulových nůžkách na pásy plechu o přesně dané šířce, nebo lze použít svitek plechu. Při volbě polotovaru se nejprve určí šířka pásu a délka kroku. Dílec má delší stranu o délce  $A = 90,4$  mm, kratší stranu o délce  $B = 54$  mm a tloušťku plechu  $s_0 = 2$  mm. Podle přílohy 2 je šířka můstku mezi jednotlivými operacemi  $e = 3,5$  mm a šířka postranního odpadu  $f = 7,6$  mm. Z toho lze vypočítat velikost kroku podle vztahu (2.3):

$$K = B + e = 54 + 3,5 = 57,5 \text{ mm}$$

Šířku pásu plechu lze určit ze vztahu (2.4):

$$\check{S} = A + f = 90,4 + 7,6 = 98 \text{ mm}$$

Velikost kroku je tedy stanovena na  $K = 57,5$  mm a šířka pásu  $\check{S} = 98$  mm. Dále je nutné znát plochu výstřížku, bez vnitřních otvorů, která byla zjištěna za pomoci softwaru Inventor Professional 2022. Tato plocha je  $S_{PS} = 4521,2 \text{ mm}^2$ . Tabule plechu jsou dodávány v konkrétních rozměrech. Běžně jsou k dostání tyto tři varianty, které mají rozměry 1000 x 2000 mm, 1250 x 2500 mm nebo 1500 x 3000 mm. Výpočty budou provedeny pro variantu tabule 1000 x 2000 mm. Tuto tabuli je možné rozdělit dvěma způsoby, a to příčně (obr. 47a) anebo podélně (obr. 47b). [31]



Obr. 47 Varianty dělení tabule plechu.

Nejprve se spočítá, kolik pásů plechu je možné vyrobit z jedné tabule. Jelikož se bude používat dvouřadé uspořádání součástí na pás, vynásobí se šířka pásu  $\check{S}$  dvěma. Počet pásů se pak vypočítá podle následujícího vzorce:

$$p_{\check{S}l} = \frac{2000}{\check{S} \cdot 2} = \frac{2000}{98 \cdot 2} = 10,2 \text{ ks} \quad (3.2)$$

Počet pásů plechu, který se zhotoví z tabule, pokud se bude dělit v příčném směru, je 10 kusů. Dalším krokem je určení počtu výstřížků z jednoho pásu plechu. I zde je nutné započítat dvouřadové uspořádání výstřížků, což znamená, že počet kusů z jednoho pásu se zdvojnásobí. Vztah pro výpočet počtu kusů je následující:

$$p_{kl} = \frac{1000}{K} = \frac{1000}{57,5} = 17,39 \text{ ks} \quad (3.3)$$

V jedné řadě se vyrobí 17 kusů, ale výslednou hodnotu je ještě zapotřebí vynásobit dvěma. Poté bude celkový počet kusů z jednoho pásu 34.

Dalším krokem je počet kusů, který se vejde na tabuli plechu:

$$n_{cl} = p_{\check{S}l} \cdot p_{kl} = 10 \cdot 34 = 340 \text{ ks} \quad (3.4)$$

Z těchto hodnot se poté stanoví, dle vztahu (2.5) součinitel využití materiálu tabule plechu:

$$\mu_{tl} = \frac{S_{PS} \cdot n_T}{S_T} \cdot 100 = \frac{4\,521,2 \cdot 340}{2\,000 \cdot 1\,000} \cdot 100 = 76,86 \%$$

Celkové využití první varianty je 76,86 %.

V druhé variantě se uvažuje podélné dělení plechu na kratší pásy. Počet pásu tedy bude dle vztahu (3.2):

$$p_{sII} = \frac{1000}{\check{s} \cdot 2} = \frac{1000}{98 \cdot 2} = 5,1$$

Počet pásů z jedné tabule je 5 ks u varianty podélného dělení tabule. Dále se opět stanoví, kolik je možné vyrobit z jednoho pásů počet kusů:

$$p_{kII} = \frac{2000}{K} = \frac{2000}{57,5} = 34,78 \text{ ks}$$

V jedné řadě bude vyrobeno 34 kusů, avšak tuto zaokrouhlenou hodnotu je dále zapotřebí vynásobit opět dvěma z již zmíněného důvodu dvouřadého uspořádání. Počet kusů z jednoho pásu byl tedy zvolen na 68 kusů. Poté se stejně jako v první variantě určí počet kusů, které se vyrobí z jedné tabule:

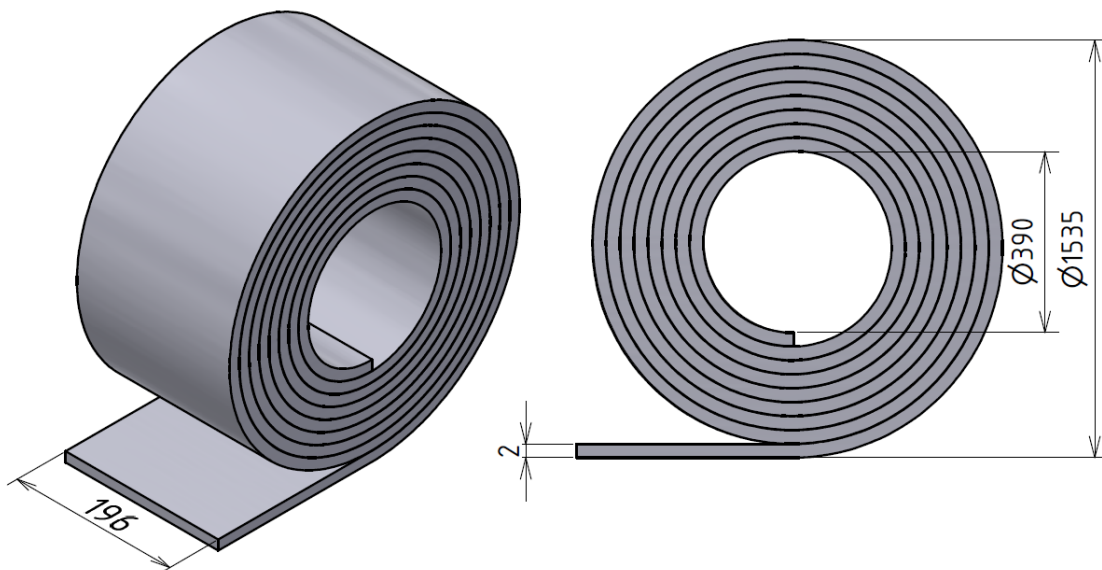
$$n_{cII} = p_{sI} \cdot p_{kI} = 5 \cdot 68 = 345 \text{ ks}$$

Jako poslední se určí dle vztahu (2.6) součinitel využití materiálu tabule plechu:

$$\mu_{tII} = \frac{S_{PS} \cdot n_T}{S_T} \cdot 100 = \frac{4\,521,2 \cdot 345}{2\,000 \cdot 1\,000} \cdot 100 = 77,99 \%$$

U druhé varianty je součinitel využití materiálu 77,99 %.

Třetí možností, kterou lze využít, je použití svitku jako výchozí polotovaru. Tloušťka plechu navinutého materiálu do svitku bude odpovídat i tloušťce vyráběné součásti, tj. 2 mm. Šířka svitku bude také odpovídat požadované šířce, která je  $b_{sv} = 196$  mm. Využití této metody výroby však vyžaduje také odvíjecí a rovnací zařízení, které bude schopné zasouvat svitek do nástroje. Výběr odvíjecího a rovnacího zařízení byl proveden z portfolia firmy P/A Bohemia s.r.o., která disponuje několika zařízeními. Technické specifikace těchto zařízení se liší v závislosti na maximální váze svitků, šířce pásů a rozsahu tlouštěk pásů. Dále se jednotlivá zařízení liší podle možného vnitřního a vnějšího průměru svitku. Pro účely výpočtů byly zvoleny odvíjecí a rovnací zařízení střední řady MD, kde bude počítáno s maximálním možným vnějším průměrem a minimálním vnitřním průměrem svitku. Technické specifikace těchto zařízení jsou uvedeny v příloze 2. Vzorový výpočet bude proveden pro model RS 127 – 65, na kterém se použije svitek s vnitřním průměrem  $d_{sv} = 390$  mm a vnějším průměrem  $D_{sv} = 1\,535$  mm. Rozměry svitku je možné vidět na obrázku 48. [48]



Obr. 48 Rozměry svitku.

Pro využití materiálu ve formě svitku, se nejdříve spočítá jeho hmotnost, která se stanoví z následujícího vztahu:

$$\begin{aligned} m_{sv} &= \frac{\pi \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4} \cdot b_{sv} \cdot \rho_{ocel} = \\ &= \frac{\pi \cdot (1\,535^2 - 390^2)}{4} \cdot 196 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 2\,663,49 \text{ kg}, \end{aligned} \quad (3.5)$$

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

$d_{sv}$  – vnitřní průměr svitku [mm],

$b_{sv}$  – šířka svitku [mm],

$\rho_{ocel}$  – hustota oceli [ $\text{kg} \cdot \text{mm}^{-3}$ ];  $\rho_{ocel} = 7,85 \cdot 10^{-6} \text{ kg} \cdot \text{mm}^{-3}$ .

Ze známé hmotnosti svitku, je možné vypočítat jeho délku:

$$l_{sv} = \frac{m_{sv}}{b_{sv} \cdot s_0 \cdot \rho_{ocel}} = \frac{2\,663,49}{196 \cdot 2 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6}} = 865\,881,32 \text{ mm} \quad (3.6)$$

Z výsledné délky jednoho svitku se stanoví obsah plochy, kterým svitek disponuje:

$$S_{sv} = l_{sv} \cdot b_{sv} = 865\,557,86 \cdot 196 = 169\,712\,738,9 \text{ mm}^2 \quad (3.7)$$

Následně se spočítá, obdobně jako u tabule plechu, kolik je možné zhotovit součástek z jednoho svitku. Počet součástek z jednoho svitku se spočítá ze vztahu:

$$n'_{vsv} = \frac{L_{sv}}{K} = \frac{865\,557,86}{57,5} = 15\,053,18 \text{ ks} \quad (3.8)$$

Zde je nutné poukázat na to, že se jedná pouze o počet kusů, který by byl vyroben bez dvouřadého uspořádání výlisků na plechu. Problém však spočívá v tom, že konec svitku nebude možné nijak zasouvat dále do nástroje, proto je nutné odečíst od této hodnoty ještě 10 kusů. U jednořadého upořádání se bude uvažovat s hodnotou  $n_{vsv} = 15\,053 - 10 = 15\,043$  ks. Poté bude celkový počet svitků potřebných ke zhotovení celé série:

$$n_{sv} = \frac{N}{n_{vsv} \cdot 2} = \frac{400\,000}{15\,043 \cdot 2} = 13,3 \text{ ks} \quad (3.9)$$

K vyrobení 400 000 kusů bude zapotřebí 13 celých svitků. Na vyrobení zbylého počtu kusů se použije jeden neúplný svitek. Z ekonomického hlediska se nevyplatí zakoupit na zbylý počet kusů další celý svitek. Dodavatel je totiž schopný navinout pouze potřebnou délku materiálu, která se spočítá jako:

$$\begin{aligned} l_n &= \frac{[N - p_{cs} \cdot n_{vsv} \cdot 2]}{2} \cdot K + e = \\ &= \frac{400\,000 - 13 \cdot 15\,043 \cdot 2}{2} \cdot 57,5 + 3,5 = 255\,361 \text{ mm}, \end{aligned} \quad (3.10)$$

kde:  $p_{cs}$  – počet celých svitků [ks].

Jako poslední je tedy možné vypočítat využití svitku, který se provede z následujícího vztahu:

$$\mu_{sv} = \frac{2 \cdot n_{vsv} \cdot S_{ps}}{S_{sv}} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 15\,043 \cdot 4\,521,2}{169\,712\,738,9} \cdot 100 = 80,18 \% \quad (3.11)$$

Součinitel využití materiálu, v případě že se použije svitek je 80,18 %.

Jednotlivé hodnoty součinitelů využití materiálu je možné vidět v následující tabulce 7.

Tab. 7 Využití materiálu jednotlivých variant.

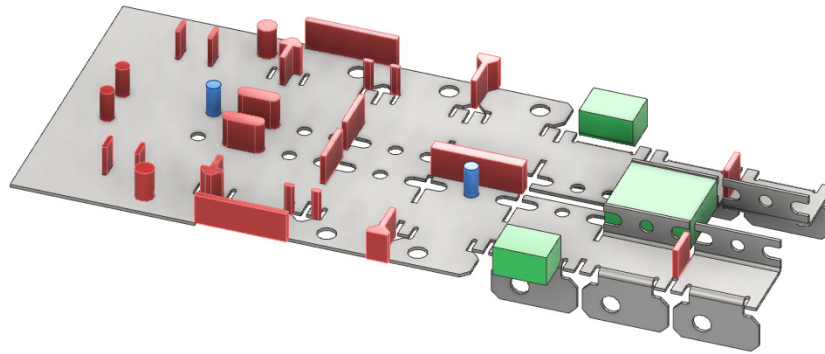
Tabule						
Rozměry tabule [mm]	1000 x 2000		1250 x 2500		1500 x 3000	
Dělení	Příčné	Podélné	Příčné	Podélné	Příčné	Podélné
Koeficient využitelnosti materiálu	76,86 %	77,99 %	74,65 %	74,65 %	78,37 %	73,14 %
Svitek						
Vnitřní průměr [mm]	390		375		250	
Vnější průměr [mm]	1535		1445		1220	
Počet celých sviteků [ks]	13 + 1		15 + 1		20 + 1	
Koeficient využitelnosti materiálu	80,18 %		80,17 %		80,15 %	

V tabulce 7 lze vidět, že nejhoršího využití materiálu je dosaženo v případě podélného dělení tabule 1 500 x 3 000. Celkově lze pozorovat, že využitelnost tabulí plechu není taková jako v případě použití svitku. Kromě toho je manipulace s tabulemi nevhodná zejména při práci s velkými sériemi. V případě sviteků je nejvhodnější použít svitek, který má vnitřní průměr 390 mm a vnější průměr 1 535 mm, a u kterého je využitelnost materiálu až 80,18 %. Lze tedy konstatovat, že nejvhodnější bude použití právě tohoto svitku pro výrobu.

### 3.4 Postup výroby

Po výběru vhodného polotovaru je nezbytné zvážit optimální výrobní postup pro zhotovení součásti. Pro minimalizaci nákladů je třeba promyslet proces takovým způsobem, aby se počet nutných operací snížil na minimum. Příliš mnoho operací by vedlo ke zvýšení nákladů na výrobu nástroje, jehož rozměry by se zvětšily a bylo by nutné zvolit i stroj, který by takový nástroj dokázal upnout. Zároveň je nutné dbát na dostatečný prostor mezi jednotlivými funkčními částmi nástroje, aby bylo možné je bez problému upnout v kotevní desce. Dále je třeba mít na paměti, že příliš složité tvary střížníků mohou způsobit potíže při výrobě a zároveň by se příliš rychle opotřebovávaly. V návrzích jsou vyznačeny střížníky červenou barvou, ohybníky zelenou a hledáčky modrou. Byly navrženy tři různé varianty pro výrobu součásti:

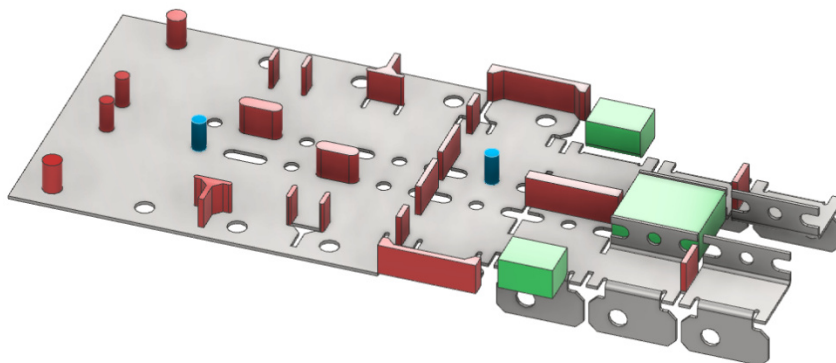
- Varianta 1 – součást bude vyráběna v 7 krocích. Kroky, které budou prováděny, je možné vidět na obrázku 49. U této varianty jsou uvažovány operace symetricky k ose pásu plechu. Jednotlivé kroky půjdou v následujícím pořadí:
  - 1. krok – dochází k děrování otvoru  $\varnothing 9$  mm a malého oválného otvoru,
  - 2. krok – dojde k děrování otvoru  $\varnothing 12,2$  mm a druhého malého oválného otvoru,
  - 2. až 3. krok – zde se zhotoví část postranního obrysu součásti za pomoci tvarového střížníku a zároveň se zhotoví i velký oválný otvor,
  - 3. krok – odstříhne se postranní odpad na pásu plechu,
  - 3. až 4. krok – zde se bude stříhat další část obrysu součásti,
  - 4. krok – dojde k vystříhnutí rádiusu uvnitř součásti,
  - 4. až 5. krok – zhotoví se poslední část postranního obrysu součásti, která je potřebná pro vyhotovení ohybů za pomoci tvarového střížníku,
  - 5. krok – rozstřížení vnitřní přepážky, která se nachází mezi součástmi,
  - 6. krok – ohnutí delšího ramene součásti,
  - 7. krok – ohnutí kratšího ramene a odstřížení součásti.



Obr. 49 Výrobní postup – varianta 1.

Tato varianta je výhodná z hlediska symetričnosti celého děje. Všechny nástroje jsou zrcadlově uspořádané vůči středové ose pásu plechu, a tudíž nebude docházet k nesymetrickému zatěžování stroje. Jako nevhodné lze považovat příliš složité tvary střížníků v 2. až 3. kroku, které zhotovují zešikmení součásti a zároveň zhotovují postranní obrys součásti.

- Varianta 2 – tato varianta počítá s výrobou součásti na 7 kroků. Postup výroby je možné vidět na obrázku 50. Jednotlivé kroky půjdou v takovémto pořadí:
  - 1. krok – dochází k prostřížení otvorů  $\varnothing 9$  mm a  $\varnothing 12,2$  mm,
  - 2. krok – zde bude použit hledáček do otvoru  $\varnothing 9$  mm,
  - 2. až 3. krok – dojde k odstřížení postranního tvaru součásti za pomoci tvarového střížníku a zároveň se zhotoví i velký oválný otvor,
  - 3. krok – prostřížení dvou malých oválných otvorů na obou součástech,
  - 3. až 4. krok – je stejný jako u mezikroku 2. až 3., avšak na druhé součásti,
  - 4. krok – zhotovení posledního malého oválného otvoru,
  - 5. krok – odstřížení postranního odpadu tvarovým střížníkem, který zároveň zhotoví zešikmení rohů, a zároveň dojde k odstřížení postranního obrysu,
  - 6. krok – ohnutí delšího ramene součásti a rozstřížení vnitřní části, které je potřebné pro zhotovení druhého ohybu,
  - 7. krok – ohnutí kratšího ramene a odstřížení přepážky.



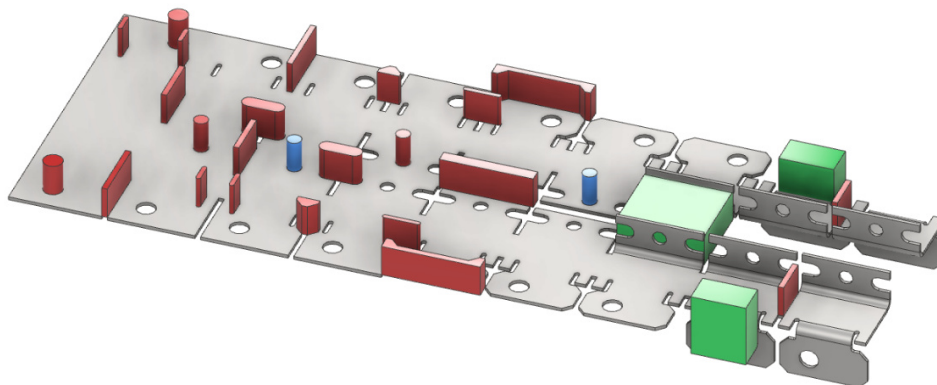
Obr. 50 Výrobní postup – varianta 2.

Tato varianta je vhodná zejména, co se týče počtu kroků. Součást je možné vyrobit na 7 kroků. Jako nevhodné lze považovat tvarový střížník, který děruje součást v 2. až 3. mezikroku a současně i ve 3. až 4. mezikroku. Jako další nevýhodu lze považovat i velmi blízké uspořádání střížníků, které zhotovují postranní obrys součásti v 5. kroku.

- Varianta 3 – tato varianta bude součást vyrábět v 8 krocích. Dojde k navýšení počtu operací, ale uspořádání střížníků bude dále od sebe. Je zde i nahrazen střížník na

ostřížení postranního odpadu tvarovým střížníkem. Výrobní postup je možné vidět na obrázku 51. Tento postup už nebude prováděn symetricky a bude rozdělen do těchto kroků:

- 1. krok – dochází k prostřížení otvorů  $\varnothing 12,2$  mm a u levé součásti dojde k prostřížení malých oválných otvorů,
- 1. až 2. krok – rozstřížení první části postranního obrysu,
- 2. krok – prostřížení malého oválného otvoru a otvoru  $\varnothing 9$  mm na pravé součásti,
- 2. až 3. krok – rozstříhnutí další části postranního obrysu a děrování velkého oválného otvoru na levé součásti,
- 3. krok – prostřížení posledního malého oválného otvoru a zároveň zde bude použit hledáček do otvoru  $\varnothing 9$  mm,
- 3. až 4. krok – zde bude vystřížené zešikmení za pomoci tvarového střížníku a děrování velkého oválného otvoru na pravé součásti,
- 4. krok – v tomto kroku dojde k děrování otvoru  $\varnothing 9$  mm na levé součásti,
- 5. krok – odstraní se postranní odpad a zároveň se zhotoví zešikmení na vnější straně součásti za pomoci tvarového střížníku,
- 6. krok – bude použit hledáček do otvoru  $\varnothing 9$  mm, aby došlo k vystředění pásu před ohybem,
- 7. krok – ohnutí kratšího ramene součásti,
- 8. krok – ohnutí delšího ramene a odstřížení prepážky.



Obr. 51 Výrobní postup – varianta 3.

Tato varianta představuje výhodnější řešení vzhledem k lepšímu uspořádání jednotlivých stříhů. Konstrukce nástroje bude snazší, co se týče umístění střížnic a střížníků. Kromě toho se zde na první pohled nenacházejí příliš úzké střížníky, u kterých by mohlo dojít ke ztrátě vzpěrné stability. Na druhou stranu, nevýhodou oproti předchozí variantě je vyšší počet operací, což se projeví na ceně nástroje.

Byla zvolena třetí varianta, jako nejvhodnější výrobní postup. I když v této variantě je nevyšší počet kroků, tak rozmístění střížníků je rovnoměrné a nejsou zde žádné složité tvary střížníků.

### 3.5 Tvářecí síly a práce

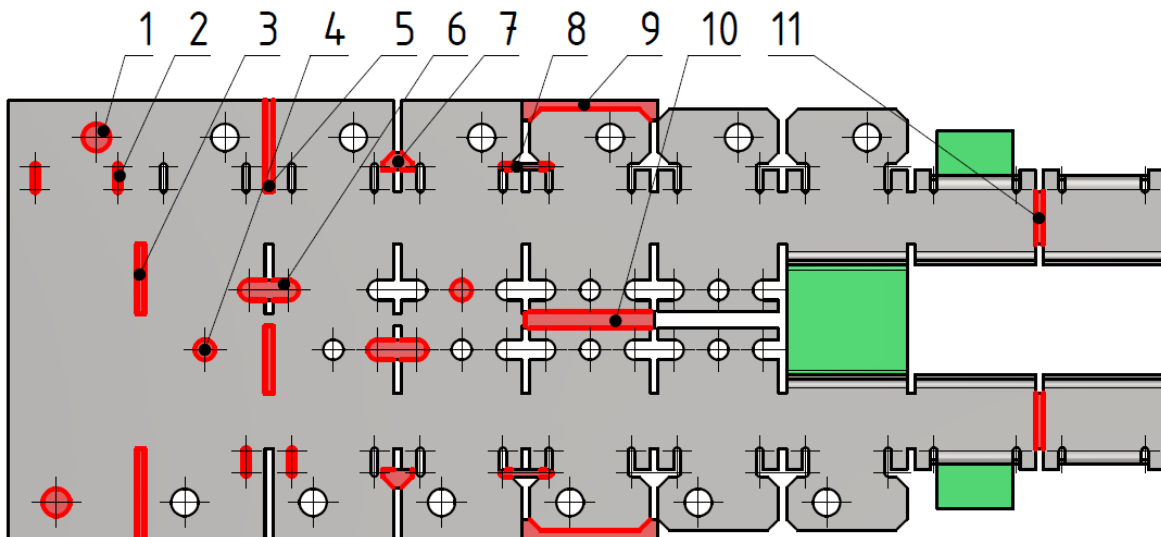
Po zvolení optimální varianty výroby se dále stanoví síly a práce pro jednotlivé operace. Pro výpočet je nutné znát mez pevnosti materiálu DC01. Hodnotu meze pevnosti je možné najít v materiálovém listu a tato hodnota je  $R_m = 410$  MPa. Z této hodnoty lze stanovit mez kluzu za pomoci rovnice (2.21):

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 410 = 328 \text{ MPa}$$

Pro výpočet střížné síly a práce při jednotlivých operacích je třeba určit střížnou délku pro každý střížník a součinitel otupení nástroje, který se pohybuje v intervalu  $n = (1,1 \div 1,5)$ . Z tohoto intervalu byla pro výpočty zvolena střední hodnota  $n = 1,3$ . Vzorový výpočet bude proveden pro kruhový střížník  $\varnothing 12,2$  mm. Velikost střížné síly se spočítá dle vztahu (2.19):

$$F_{s_1} = s_0 \cdot l_1 \cdot n \cdot \tau_s = 2 \cdot \pi \cdot 12,2 \cdot 1,3 \cdot 328 = 32\,685,63 \text{ N}$$

Pro výpočet střížné síly dalších střížníků se postupuje obdobně. Na obrázku 52 jsou pro každý střížník, zastoupený červenou barvou, vyznačeny odpovídající střížné délky. Pro snazší orientaci jsou střížníky označeny čísly.



Obr. 52 Křivky stříhů pro jednotlivé střížníky.

V tabulce 8 jsou uvedeny jednotlivé délky křivek stříhu. Tyto délky byly dále použity pro výpočet střížných sil jednotlivých střížníků. Některé střížníky se vyskytují vícekrát, proto byl zohledněn počet kusů. Součtem všech sil byla vypočtena celková střížná síla.

Tab. 8 Výsledky střížných sil pro jednotlivé střížníky.

Střížník	Délka křivky stříhu [mm]	Střížná síla jednoho střížníku [N]	Počet střížníků [ks]	Střížná síla všech střížníků [N]
1	38,33	32 685,6	2	65 371,2
2	29,42	25 089,4	4	100 357,5
3	67	57 137,6	2	114 275,2
4	28,27	24 108,7	2	48 217,3
5	84,5	72 061,6	2	144 123,2
6	56,27	47 987,1	2	95 974,1
7	30,14	25 703,4	2	51 406,8
8	11	9 380,8	2	18 761,6
9	58,14	49 581,8	2	99 163,6
10	113,6	96 878,1	1	96 878,1
11	47,2	40 252,0	2	80 504,0
Celková střížná síla [kN]				915,0

Celkovou střížnou sílu je možné určit sečtením jednotlivých složek od střížných sil:

$$F_{cs} = \sum_{i=1}^{13} F_{si} = 65\,375,6 + 100\,357,5 + 114\,275,5 + 48\,247,3 + 144\,123,2 + \\ + 95\,974,1 + 51\,406,8 + 18,761,6 + 99\,163,6 + 96\,878,1 + 80\,504,3 \\ = 915\,037,34 \text{ N} \cong 915 \text{ kN}$$

Při stříhání vznikají ještě dvě síly, které je nutné dopočítat. První je stírací síla, která je potřeba pro setření materiálu, který ulpí na střížníku a spočítá se ze vztahu (2.23):

$$F_{st} = c_{st} \cdot F_{cs} = 0,14 \cdot 915 = 128,1 \text{ kN}$$

kde:  $c_{st}$  – volena hodnota z tabulky 4;  $c_{st} = 0,14$ .

Jako další síla, která zde bude působit, je síla na protlačení výstřížku střížnicí. Tuto sílu je možné označit jako sílu protlačovací a počítá se ze vztahu (2.24):

$$F_{pr} = c_{pr} \cdot F_{cs} = 0,05 \cdot 915 = 45,75 \text{ kN}$$

kde:  $c_{pr}$  – volena hodnota z tabulky 4;  $c_{st} = 0,05$ .

Střížná práce, stejně jako síla, se bude počítat pro každý střížník zvlášť. U tohoto výpočtu je třeba určit součinitel plnosti diagramu. Jak již bylo zmíněno v teoretické části, tento součinitel bude zvolen pro středně tvrdou ocel. Hodnota byla vyčtena z grafu jako  $\lambda = 0,57$ . Opět bude proveden vzorový výpočet pouze pro střížník  $\emptyset 12,2$  mm dle vztahu (2.25):

$$A_s = \frac{\lambda \cdot F_{smax} \cdot s_0}{1\,000} = \frac{0,57 \cdot 32\,687,36 \cdot 2}{1\,000} = 37,26 \text{ J}$$

Jednotlivé práce pro každý střížník je možné vidět v následující tabulce 9.

Tab. 9 Střížná práce pro jednotlivé střížníky.

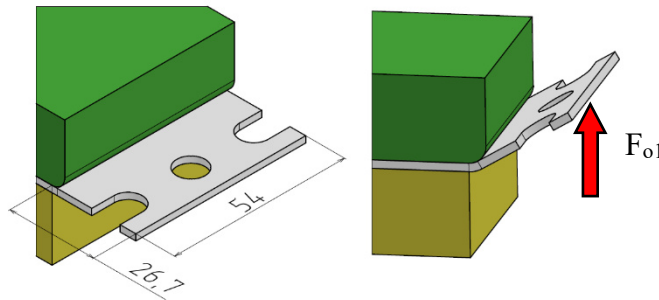
Střížník	Střížná práce jednoho střížníku [J]	Počet střížníků [ks]	Střížná práce všech střížníků [J]
1	37,26	2	74,53
2	28,60	4	114,41
3	65,14	2	130,27
4	27,48	2	54,97
5	82,15	2	164,30
6	54,71	2	109,41
7	29,30	2	58,60
8	10,69	2	21,39
10	56,52	2	113,05
11	110,44	1	110,44
12	45,89	2	91,77
Celková střížná práce [J]			1043,14

Celková střížná práce se určí stejně jako celková střížná síla, a to součtem jednotlivých jejich složek:

$$A_{cs} = \sum_{i=1}^{13} A_{si} = 74,523 + 114,41 + 130,27 + 54,97 + 164,3 + 109,41 + 58,6 + \\ + 21,39 + 113,05 + 110,44 + 91,77 = 1\,043,14 \text{ J}$$

Je důležité spočítat i ohybovou sílu a práci. Na součásti budou vyhotoveny dva ohyby. Oba ohyby mají poloměr ohybu roven 4 mm a ramena budou ohnuta o 90°. Výpočet síly pro ohyb

se bude provádět za pomoci vzorce, který uvažuje ohyb volného ramene s upnutím jednoho konce. V tomto vzorci je nutné znát šířku ohybu a délku ohýbaného ramene. Při ohýbání v 7. kroku je ohýbáno rameno, které má šířku 54 mm a je dlouhé 26,7 mm, jak je možné vidět na následujícím obrázku 53.



Obr. 53 Délka a šířka ohýbaného ramene v 7. kroku.

Po dosazení má vzorec (2.30) následující tvar:

$$F_{oL1} = \frac{b_o \cdot s_0^2}{6 \cdot x_{lo1}} \cdot R_m \cdot (1,5 + \varepsilon_p) = \frac{54 \cdot 2^2}{6 \cdot 26,7} \cdot 410 \cdot (1,5 + 0,2) = 943,31 \text{ N}$$

Výpočet trvalé poměrná deformace v krajních vláknech se vypočítá ze vztahu (2.31):

$$\varepsilon_p = \frac{1}{2 \cdot \frac{R_o}{s_0} + 1} = \frac{1}{2 \cdot \frac{4}{2} + 1} = 0,2$$

Pro celkovou sílu je nutné ještě stanovit přidržovací sílu ze vztahu (2.32):

$$F_{po1} = (0,25 \div 0,3) \cdot F_{oL1} = 0,275 \cdot 943,31 = 256,41 \text{ N}$$

Při ohýbání s kalibrací je nutno počítat s ohybovou silou dle vztahu (2.33):

$$F_{kal1} = F_{oL1} \cdot (2,0 \div 2,5) = 943,31 \cdot 2,25 = 2122,44 \text{ N}$$

Celková ohýbací síla, která je zapotřebí pro ohnutí jednoho ramene v 7. kroku, se vypočítá ze vztahu (2.34) jako:

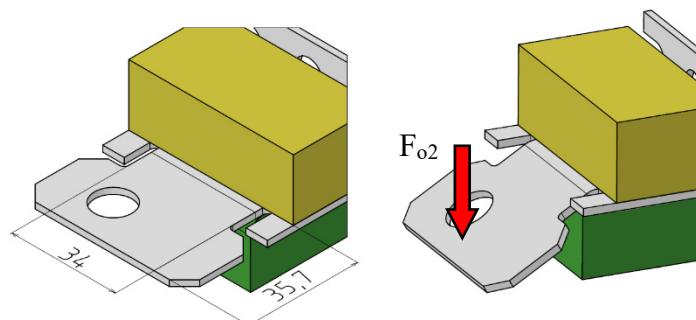
$$F_{co1} = F_{oL1} + F_{po1} + F_{kal1} = 943,31 + 256,41 + 2122,44 = 3322,16 \text{ N}$$

Po stanovení celkové síly, která je potřebná pro ohnutí prvního ramene o 90°, je možné spočítat práci, kterou bude potřeba vynaložit na ohnutí. Tato práce se počítá pomocí rovnice (2.35):

$$A_{o1} = \frac{F_{co1} \cdot h_{o1} \cdot \lambda_o}{1000} = \frac{3322,16 \cdot 26 \cdot 0,575}{1000} = 49,67 \text{ J}$$

kde:  $\lambda_o$  – u součinitele plnosti při ohýbání byla volena střední hodnota;  $\lambda_o = 0,575$ .

Výpočet pro ohnutí druhého ramene v 8. kroku se spočítá ze stejného vztahu, tedy ze vztahu (2.30). Šířka ohýbaného ramene je v tomto případě 34 mm a délka je 35,7 mm. jak je možné vidět na následujícím obrázku 54.



Obr. 54 Délka a šířka ohýbaného ramene v 8. kroku.

Po dosazení má vzorec (2.30) následující tvar:

$$F_{oL2} = \frac{b_o \cdot s_0^2}{6 \cdot x_{lo2}} \cdot R_m \cdot (1,5 + \varepsilon_p) = \frac{34 \cdot 2^2}{6 \cdot 35,7} \cdot 410 \cdot (1,5 + 0,2) = 431,66 \text{ N}$$

kde:  $\varepsilon_p$  – je stejná jako v prvním případě;  $\varepsilon_p = 0,2$ .

Přidržovací síla dle vztahu (2.32):

$$F_{po2} = (0,25 \div 0,3) \cdot F_{oL2} = 0,275 \cdot 431,66 = 118,71 \text{ N}$$

A celková síla ohýbání s kalibrací se vypočte dle vztahu (2.33):

$$F_{kal2} = F_{oL2} \cdot (2,0 \div 2,5) = 564,24 \cdot 2,25 = 971,23 \text{ N}$$

Celková ohýbací síla, která je zapotřebí pro ohnutí jednoho ramene v 7. kroku, se vypočítá ze vztahu (2.34) jako:

$$F_{co2} = F_{oL2} + F_{po2} + F_{kal2} = 431,66 + 118,71 + 971,23 = 1\,521,6 \text{ N}$$

Ohybová práce potřebná pro ohnutí druhého ramene o  $90^\circ$  se vypočte ze stejného vztahu jako v prvním případě pomocí vztahu (2.34):

$$A_{o2} = \frac{F_{co2} \cdot h_{o2} \cdot \lambda_o}{1\,000} = \frac{1\,521,6 \cdot 26 \cdot 0,575}{1\,000} = 22,75 \text{ J}$$

Z důvodu použití dvouřadého uspořádání výlisku na pás plechu je nutné obě složky síly i práce vynásobit dvěma, aby se získala celková síla, respektive práce na ohýbání. Celková síla poté bude mít velikost:

$$F_{co} = 2 \cdot F_{co1} + 2 \cdot F_{co2} = 2 \cdot 3\,322,16 + 2 \cdot 1\,521,6 = 9\,687,52 \text{ N} \cong 9,69 \text{ kN}$$

Celková práce, kterou je potřeba vynaložit pro ohnutí obou ohybů, se spočítá jako:

$$A_{co} = 2 \cdot A_{o1} + 2 \cdot A_{o2} = 2 \cdot 49,67 + 2 \cdot 22,75 = 144,84 \text{ J}$$

Pro výpočet celkové síly, je také potřeba započítat i pružné prvky, které nástroj bude obsahovat. Za jejich pomoci se dosáhne odpružení vodící desky, která zde bude plnit funkci stěrače a přidržovače. V nástroji budou použity speciální šroubové tlačné pružiny, a jejich konkrétní parametry je možné najít v příloze 3. Pružiny se budou stlačovat o 18 mm a síla, kterou vykoná jedna pružina stlačená o tuto hodnotu, je 14 120 N. V nástroji bude použito 10 pružin, a tudíž celková síla od pružných částí se vypočítá jako:

$$F_{pruž} = F_{pruž1} \cdot N_p = 14\,120 \cdot 10 = 141\,120 \text{ N} \cong 141,1 \text{ kN} \quad (3.12)$$

kde:  $F_{pr1}$  – síla od jedné pružiny [N],

$N_p$  – počet pružin [ks].

Celková práce od pružných prvků se spočítá jako:

$$A_{pr} = \frac{1}{2} \cdot F_{pr} \cdot h_{pr} = \frac{1}{2} \cdot 141,1 \cdot 18 = 1\,269,9 \text{ J} \quad (3.13)$$

kde:  $h_{pr}$  – velikost stlačení pružin [mm];  $h_{pr} = 18 \text{ mm}$ .

Z jednotlivých výsledků, které byly spočítány, je možné spočítat celkovou sílu, která bude třeba pro vyrobení součásti:

$$\begin{aligned} F_C &= F_{cs} + F_{st} + F_{pr} + F_{co} + F_{pru} = \\ &= 915 + 128,1 + 45,75 + 9,69 + 141,1 = 1\,239,5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Celková hodnota síly je zaokrouhlena na velikost  $F_C = 1\,240 \text{ kN}$ .

Celková přetvárná práce lze vypočítat jako součet jednotlivých přetvárných prací, tedy jako:

$$A_C = A_{cs} + A_{co} + A_{pr} = 1\,043,14 + 144,84 + 1\,269,9 = 2\,457,88 \text{ J}$$

K výrobě součásti bude potřeba vyvinout celkovou tvářecí sílu o velikosti  $F_C = 1\,240 \text{ kN}$  a celkovou přetvárnou práci  $A_C = 2\,458 \text{ J}$ . Hodnoty jsou důležité pro výběr optimálního stroje.

### 3.5.1 Určení působíště síly

Pro přesný návrh nástroje je klíčové určit jeho těžiště, tedy bod, kde síly působí. U menších nástrojů se pro upnutí používá upínací stopka umístěná v těžišti sil, aby se zabránilo nežádoucím zatěžujícím momentům, které by mohly poškodit stroj. U větších nástrojů se místo toho častěji využívají pevné upínky přímo ve stroji. V tomto případě je vhodné umístit nástroj tak, aby jeho těžiště sil bylo v ose stroje. Pro výpočet místa působíště sil jsou potřeba hodnoty, které je možné vidět v následující tabulce 10.

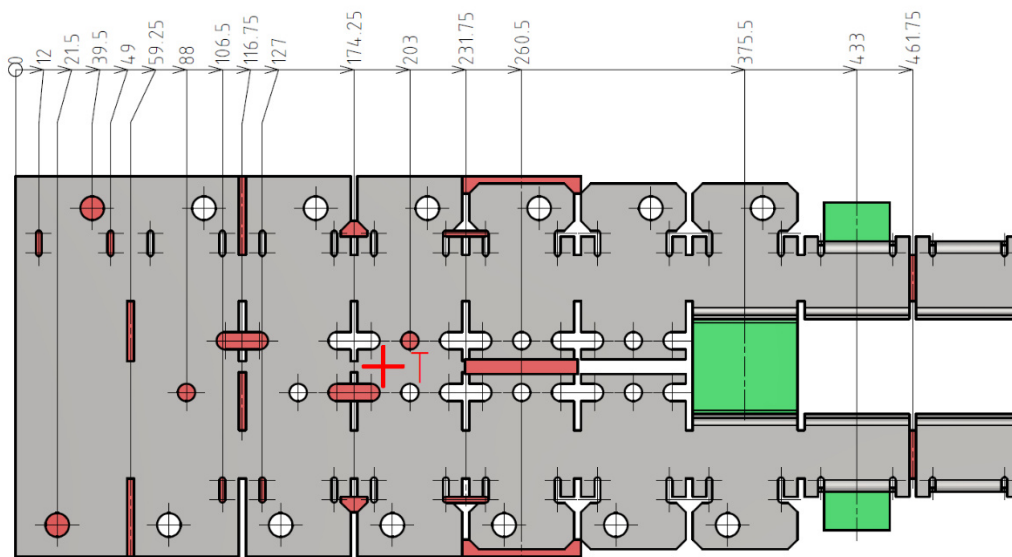
Tab. 10 Hodnoty potřebné pro výpočet těžiště v ose  $X$ .

Nástroj č.	Síla [N]	Souřadnice	Nástroj č.	Síla [N]	Souřadnice
		X [mm]			X [mm]
1	25 089,4	12	14	47 987,1	174,25
2	32 685,6	21,5	15	25 703,4	174,25
3	32 685,6	39,5	16	24 108,7	203
4	25 089,4	49	17	9 380,8	231,75
5	57 137,6	59,25	18	9 380,8	231,75
6	72 061,6	59,25	19	49 581,8	260,5
7	24 108,7	88	20	96 878,1	260,5
8	25 089,4	106,5	21	49 581,8	260,5
9	72 061,6	116,75	22	2 443,2	375,5
10	47 987,1	116,75	23	3 322,2	433
11	57 137,6	116,75	24	3 322,2	433
12	25 089,4	127	25	40 252	461,75
13	25 703,4	174,25	26	40 252	461,75

Působíště síly se vypočítá dle vztahu (2.36):

$$X = \frac{\sum_{i=1}^{26} F_{xi} \cdot x_i}{\sum_{i=1}^{26} F_{xi}} = \frac{25\,089,4 \cdot 12 + 32\,685,6 \cdot 21,5 + \dots + 40\,252 \cdot 461,75}{25\,089,4 + 32\,685,6 + \dots + 40\,252} = 189,3 \text{ mm}$$

Nástřihový plán je dvouřadý, to znamená, že na obou součástech se provádí stejné operace. A tudíž je možné konstatovat, že těžiště síly v ose  $Y$  bude ve středu nástřihového plánu. Souřadnice těžiště tedy budou  $T [189,3; 0]$  a lze jej vidět na následujícím obrázku 55.



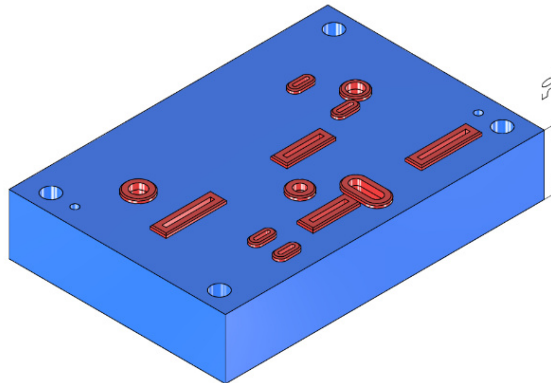
Obr. 55 Působíště síly.

### 3.6 Návrh funkčních částí

Tento typ nástroje se skládá z několika funkčních částí, jako jsou střížníky, střížnice, ohybníky a ohybnice, na které jsou kladeny vysoké nároky na správnou výrobu, jelikož jsou z celého nástroje nejvíce opotřebovávány. Pro správnou funkčnost těchto částí je klíčové, aby byly vyrobeny správně a z vhodného materiálu, který je uveden v tabulce 6. Ocel 19 436 byla zvolena zejména pro svou vysokou odolnost proti opotřebení, díky čemuž je vhodná i pro tvarově složitější díly. Po samotném vytvoření tvaru nástrojů je nutné materiál ještě upravit pomocí kalení a popouštění na tvrdost  $61 \pm 1$  HRC. Pro správné dimenzování nástroje bude potřeba provést i kontrolní výpočty. První výpočet bude proveden pro kontrolu střížnice. Střížná deska bude rozdělena na dva kusy, aby se střížná síla rozložila na dvě části. Větší síla bude působit na první desce, a to silou  $F_{smax} = 454\,931$  N. Výpočet na minimální tloušťku střížnice se spočítá dle rovnice (2.38):

$$H_{min} = \sqrt{\frac{1,5 \cdot F_{smax}}{\sigma_{dov}}} = \sqrt{\frac{1,5 \cdot 454\,931}{300}} = 47,69 \text{ mm}$$

Z tohoto výpočtu je patrné, že střížnice, respektive střížná deska, by měla mít tloušťku alespoň 47,69 mm. Její reálná tloušťka bude 50 mm (obr. 56), tudíž hodnota vyhovuje.



Obr. 56 Tloušťka střížné desky.

Dalším krokem je nutnost ověřit dosedací plochy střížníků, aby nedošlo k jejich otlacení do upínací desky. Tyto výpočty budou provedeny pro nejmenší střížník, co se týče jeho plochy, kterým je oválný střížník v 1. kroku. Jako druhý bude zkontrolován střížník, na kterém působí největší síla. Konkrétně se jedná o střížník v 5. kroku.

Výpočet kontroly na otlacení pro děrovací střížník v 1. kroku se vypočítá dle vztahu (2.41):

$$\sigma_{od2} = \frac{F_{s1}}{S_{st1}} = \frac{25\,089,4}{130,27} = 192,6 \text{ MPa},$$

kde:  $S_{st1}$  – dosedací plocha střížníku; změřeno pomocí Inventoru:  $S_{s1} = 130,27 \text{ mm}^2$ .

Jako druhý bude kontrolován střížník s největší střížnou silou, kterým je střížník v 5. kroku.

$$\sigma_{od12} = \frac{F_{s21}}{S_{st21}} = \frac{96\,878,1}{834,11} = 116,1 \text{ MPa},$$

kde:  $S_{st21}$  – dosedací plocha střížníku; změřeno pomocí Inventoru:  $S_{s21} = 834,11 \text{ mm}^2$ .

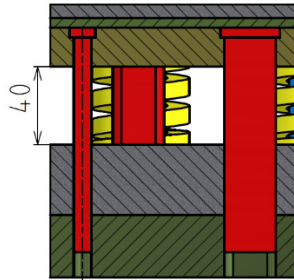
Dovolená hodnota napětí byla stanovena na 180 MPa. V prvním případě, pro menší střížník, je tato hodnota překročena a bude nutné použít opěrnou kalenou desku, která zabrání otlacení střížníku do upínací desky.

Kontrola na vzpěr bude provedena u střížníku, který má nejmenší moment setrvačnosti průřezu. Konkrétně se jedná o střížník s průměrem 9 mm, který má moment setrvačnosti roven  $I = 322,06 \text{ mm}^4$ .

Výpočet se provede dle vztahu (2.42):

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_{ks} \cdot F_S}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 322,06}{1,5 \cdot 24\,108,7}} = 271,7 \text{ mm}$$

Toto je vyhovující hodnota, protože střížník je z větší části vedený ve vodící desce. Jediné místo, kde střížník není veden, je v prostoru mezi kotevní a vodící deskou, kde tato vzdálenost je rovna 40 mm (obr. 57).



Obr. 57 Volná délka střížníku.

Po této kontrole je možné spočítat funkční rozměry jednotlivých střížníků a střížnic. Pro stanovení funkčních rozměrů je nejdříve třeba zjistit velikost střížné vůle. Na její stanovení bude použit vzorec (2.1), který se používá pro tloušťku plechu, která splňuje podmínku  $s_0 \leq 3 \text{ mm}$ .

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,32 \cdot c \cdot s_0 \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,32 \cdot 0,02 \cdot 2 \cdot \sqrt{328} = 0,46 \text{ mm},$$

kde:  $c$  – koeficient závislý na stupni stříhu  $c = (0,005 \text{ až } 0,025)$  [–]; voleno  $c = 0,02$ .

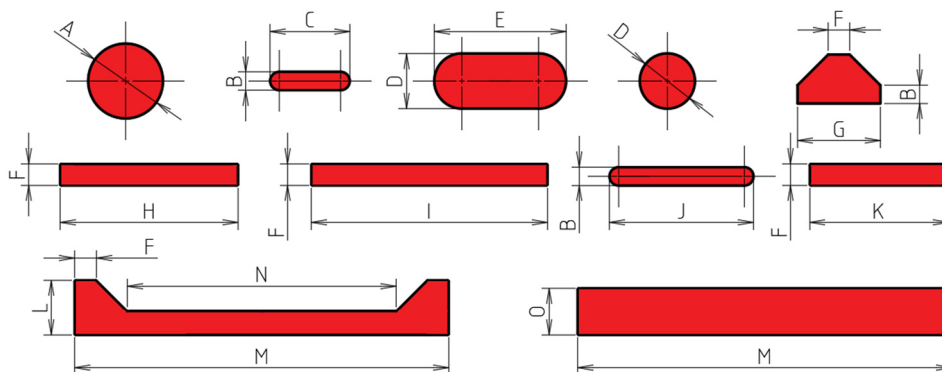
Vzorový výpočet bude proveden pro první střížník a střížnici, kterými bude zhotoven otvor  $\varnothing 12,2 \text{ mm}$ . Pro výpočty bude použita tabulka, která se nachází v příloze 4. V tabulce je možné najít tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel. Výpočet bude proveden dle normy ČSN 22 6015. Jedná se o otvor, který bude děrován, a tudíž rozměry tohoto střížníku se spočítají dle vzorce (2.45):

$$A_k = \left( A_j + \frac{P}{2} \right)_{-\delta_k} = \left( 12,2 + \frac{0,310}{2} \right)_{-0,074} = 12,355_{-0,074} \text{ mm}$$

Střížnice se spočítá dle vztahu (2.46):

$$A_e = \left( A_j + \frac{P}{2} + v \right)^{+\delta_e} = \left( 12,2 + \frac{0,310}{2} + 0,46 \right)^{+0,12} = 12,815^{+0,12} \text{ mm}$$

Rozměry funkčních částí pro daný otvor tedy budou po zaokrouhlení pro střížník  $A_k = 12,4_{-0,07} \text{ mm}$  a pro otvor ve střížnici  $A_e = 12,8^{+0,12} \text{ mm}$ . Všechny dílčí rozměry, které je nutné spočítat, jsou vyznačeny na následujícím obrázku 58.



Obr. 58 Dílčí rozměry střížníků a střížnic.

Výsledné hodnoty jednotlivých střížníků a střížnic je možné vidět v následující tabulce 11.

Tab. 11 Rozměry střížníků a střížnic.

Označení délky	Jmenovitý rozměr [mm]	Přípustná míra opotřebení [mm]	Rozměr střížníku [mm]	Rozměr střížnice [mm]
A	12,2	0,31	12,4 <sub>-0,07</sub>	12,8 <sup>+0,12</sup>
B	3	0,16	3,1 <sub>-0,04</sub>	3,5 <sup>+0,05</sup>
C	13	0,31	13,2 <sub>-0,07</sub>	13,6 <sup>+0,12</sup>
D	9	0,31	9,2 <sub>-0,07</sub>	9,6 <sup>+0,12</sup>
E	21,5	0,31	21,7 <sub>-0,07</sub>	22,1 <sup>+0,12</sup>
F	3,5	0,16	3,6 <sub>-0,04</sub>	4,0 <sup>+0,05</sup>
G	13,5	0,31	13,7 <sub>-0,07</sub>	14,1 <sup>+0,12</sup>
H	31	0,46	31,2 <sub>-0,12</sub>	31,7 <sup>+0,19</sup>
I	40,6	0,46	40,8 <sub>-0,12</sub>	41,3 <sup>+0,19</sup>
J	23,5	0,31	23,7 <sub>-0,07</sub>	24,1 <sup>+0,12</sup>
K	24,7	0,31	24,9 <sub>-0,07</sub>	25,3 <sup>+0,12</sup>
L	8,9	0,31	9,1 <sub>-0,07</sub>	9,5 <sup>+0,12</sup>
M	58	0,46	58,2 <sub>-0,12</sub>	58,7 <sup>+0,19</sup>
N	44	0,46	44,2 <sub>-0,12</sub>	44,7 <sup>+0,19</sup>
O	7,6	0,31	7,8 <sub>-0,07</sub>	8,2 <sup>+0,12</sup>

Jako poslední, co je potřeba spočítat, je ohybová vůle, která se vypočítá ze vztahu (2.47):

$$v_o = (s_o \div s_{\max}) + c_o \cdot s_o = 2 + 0,15 \cdot 2 = 2,3 \text{ mm}$$

### 3.7 Volba tvářecího stroje

Pro volbu vhodného tvářecího stroje je zapotřebí znát celkovou tvářecí sílu, kterou musí lis být schopen vyvinout, aby došlo k požadovanému přetvoření součásti. V tomto konkrétním případě činí tato síla  $F_C = 1\,240 \text{ kN}$ . Kromě toho je nutné znát i celkovou tvářecí práci  $A_C = 2\,458 \text{ J}$ . Dalším důležitým faktorem je velikost upínacích ploch, která musí být dostatečně velká, aby bylo možné do něj upnout nástroj. Stroj také musí zvládnout určitou velikost zdvihu. Na základě těchto kritérií byl zvolen lis od firmy Formetal s označením CC 160. Ilustrační fotku lisu je možné vidět na obrázku 59. [50]



Obr. 59 Formetal CC 160 [50].

Jedná se o excentrický lis s otevřeným rámem typu „C“, který je vhodný pro manuální i automatické provozy pro práci v linkách se svitky. Upínací plocha stolu je 1250 x 850 mm. A maximální tvářecí síla, které je schopný stroj vyvodit na výlisek, je 1 600 kN. Další parametry stroje je možné vidět v následující tabulce 12. [50]

Tab. 12 Přehled technických parametrů lisu CC 160 [50].

Model	CC 160		
Tvářecí síla [kN]	1 600	Uzavřená výška [mm]	450
Nominální výška [mm]	9	Průchod mezi bočnicemi [mm]	650
Energie v kontinuálním chodu [kJ]	14,4	Pracovní výška [mm]	960
Energie pro jednotlivý zdvih [kJ]	288	Přestavení beranu [mm]	100
Nominální rychlost [cyklů/min]	45	Počet vedení	6
Variabilní rychlost [cyklů/min]	35 – 70	Výkon motoru [kW]	18,5
Nastavení zdvihu [mm]	25 – 160	Napětí [V/Hz]	400/50
Rozměry stolu (š x h) [mm]	1 250 x 850	Rozměry (š x h x v) [m]	2,15 x 2,4 x 3,95
Rozměry beranu (š x h) [mm]	800 x 690	Hmotnost [kg]	17 000

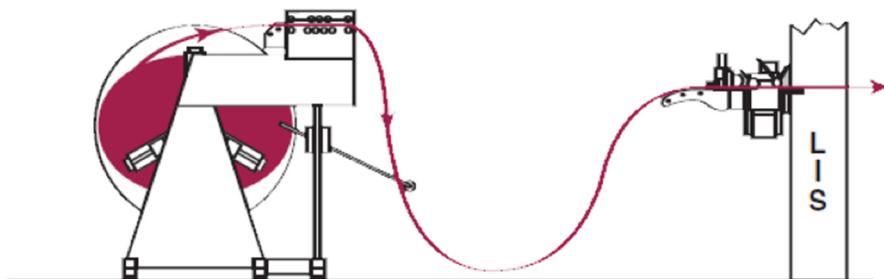
Pro zajištění plynulého provozu stroje v závislosti na počtu zdvihů a vypočítané práci, je nezbytné ověřit dostatečnost jeho výkonu. Výkon, potřebný k provozu, lze vypočítat pomocí následujícího vztahu:

$$P_{stroj} = \frac{A_C \cdot N_{zdvih}}{60} = \frac{2\,458 \cdot 45}{60} = 1\,843,5 \text{ W}, \quad (3.14)$$

kde:  $N_{zdvih}$  – nominální rychlost [cykly/min].

Výkon motoru dle parametrů stroje je 18,5 kW. Výkon, který bude potřeba je po zaokrouhlení pouze 1,84 kW. I tato hodnota je splněna, a tudíž je možné vybraný stroj použít.

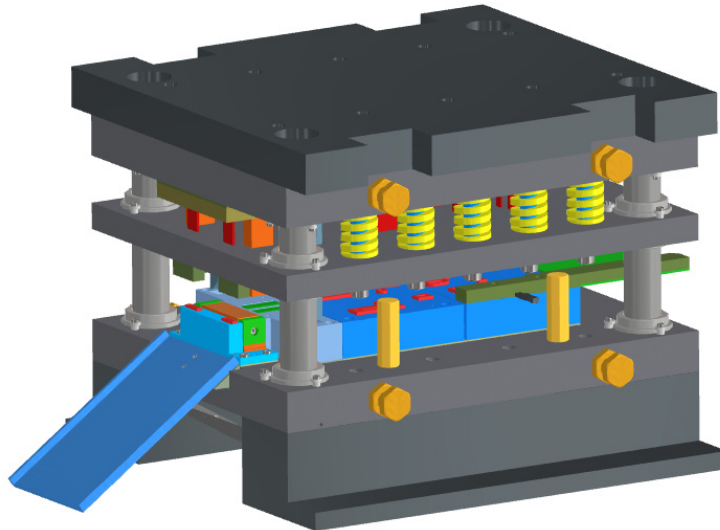
Jak již bylo zmíněno, proces bude automatizován pomocí podávací linky, která zajišťuje dopravu pásu plechu ze svitku do nástroje. Toto bude realizováno odvíjecím a rovnacím zařízením střední řady MD od firmy P/A Bohemia, kdy se jedná o kombinované zařízení. Schéma této linky lze vidět na obrázku 60. [48].



Obr. 60 Schéma tvářecí linky [48].

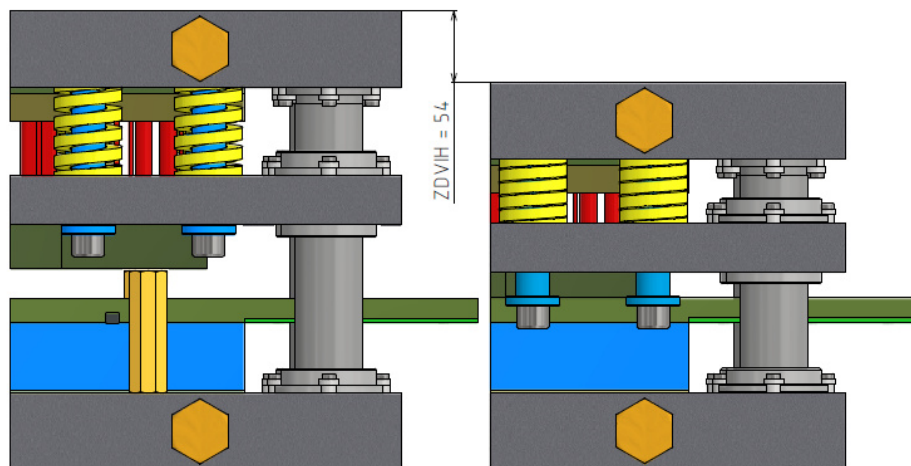
### 3.8 Konstrukce nástroje

Konstrukce nástroje byla provedena za pomoci softwaru Inventor 2022. Pro výrobu součásti bude použit pouze jeden nástroj, který sdružuje operace stříhání a ohýbání. Tím se dosáhne požadovaného tvaru vyráběné součásti. Na následujícím obrázku 61 je možné vidět 3D model sdruženého postupového nástroje. Při konstrukci nástroje byly využity normalizované díly od firmy Meusburger. Rozměry nástroje odpovídají standardům této firmy. Desky mají šířku 596 mm a délku 646 mm. V otevřeném stavu nástroj dosahuje výšky 557 mm.



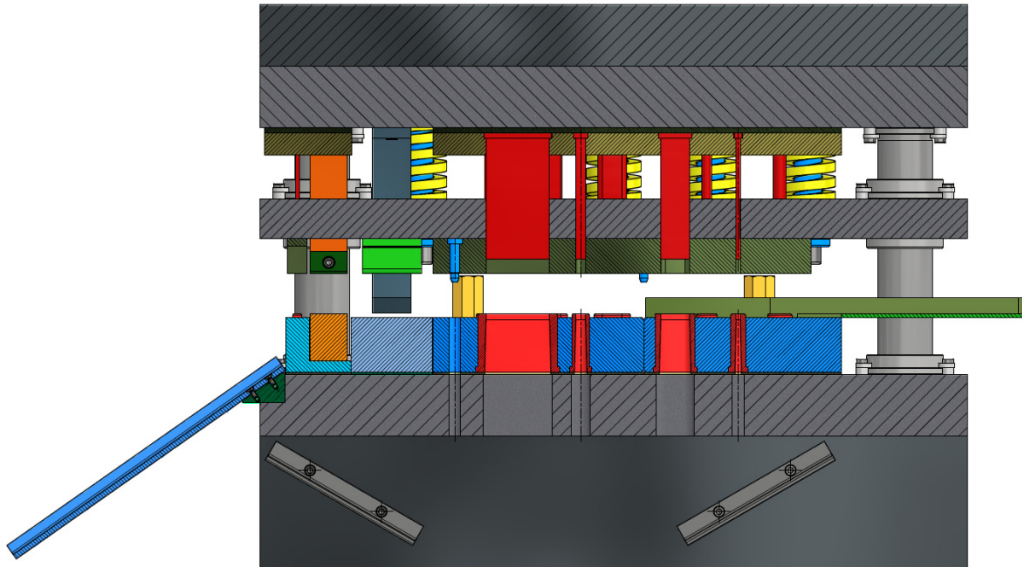
Obr. 61 Postupový sdružený nástroj

Nástroj lze rozdělit na dvě poloviny, a to na spodní nepohyblivou část nástroje a na horní pohyblivou část nástroje s plovoucím vedením, které zajišťuje vedení nástrojů a následně také vyvíjí přítlačnou sílu na polotovar. Horní polovina nástroje je upnuta na beranu stroje, který umožňuje její pohyb o velikost zdvihu, který byl stanoven na 54 mm (obr. 62). Nejprve se celá horní polovina přiblíží o 36 mm. V této pozici dojde ke kontaktu polotovaru se stírací deskou, která je upevněna na vodící desce, a která bude v tento moment sloužit i jako přidržovač. Poté se pohybuje pouze upínací deska se střížníky, což vede k postupnému stlačování pružin o dalších 18 mm a k vysunutí těchto funkčních částí nástrojů. Tyto části následně v jednotlivých krocích zhotovují součást. Po dosažení spodní polohy, která odpovídá i spodní úvratí stroje, se nástroj začne rozevírat. Střížníky zajedou do dutiny stírací desky, kde za její pomoci dojde k setření polotovaru ze střížníků.



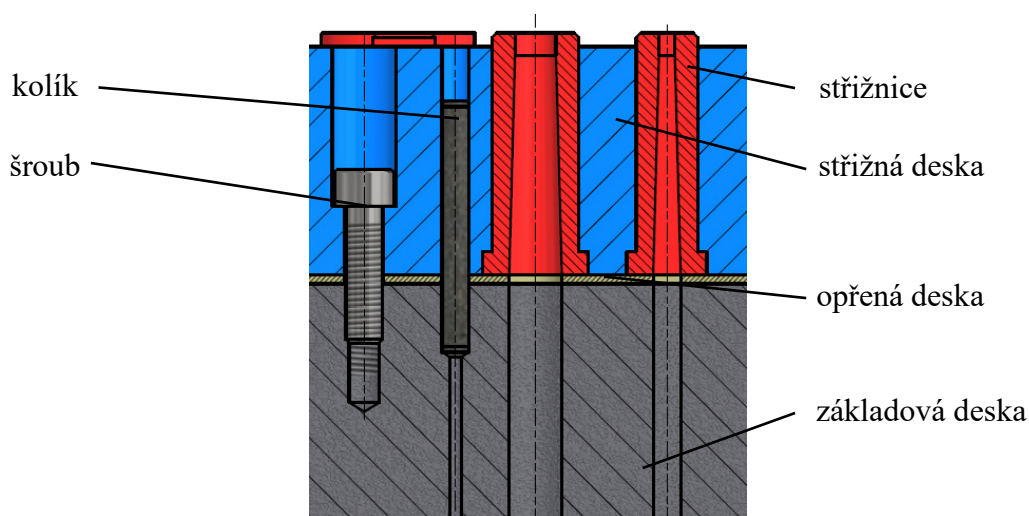
Obr. 62 Velikost zdvihu.

Vzniklý odpadový materiál z procesu stříhání propadá střížnicí i základovou deskou. Pod základovou deskou je možné vidět ještě ocelový blok, který slouží k vypodložení nástroje, aby nástroj měl dostatečnou výšku. Tato výška musí přesahovat minimální uzavřenou výšku stroje. Blok dále slouží k přichycení skluzů, které lze vidět na obrázku 63. Skluzy slouží k odvádění odpadového materiálu a vedou k otvoru ve stole lisu.



Obr. 63 Umístění skluzů pro odpad pod nástrojem.

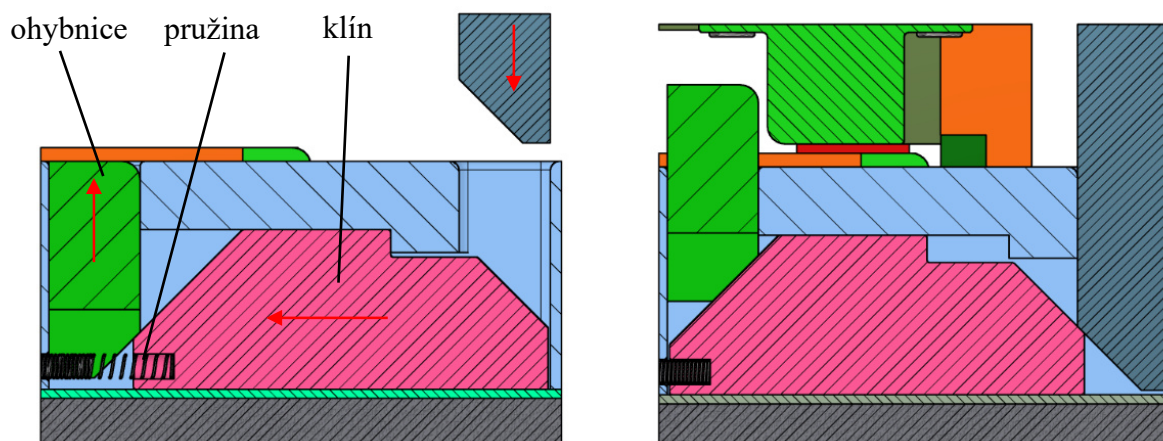
Do nástroje bude vstupovat polotovar ve formě svitku, který bude odvíjen za pomoci odvíjecího zařízení. Na tomto zařízení je možné nastavit velikost jednotlivého kroku. Aby plech byl správně zaveden do nástroje, je na jeho vstupu pevná vodící lišta s podpěrným plechem. Ve spodní části nástroje se nachází základová deska, na níž jsou pevně upevněny střížné desky za pomoci šroubů a kolíků (obr. 64). Ve střížných deskách jsou zalisované střížné vložky z nástrojové oceli 19 436, což umožňuje úspornou výrobu s ohledem na velkou sériovost a jednoduché tvary střížníků.



Obr. 64 Uložení střížnic.

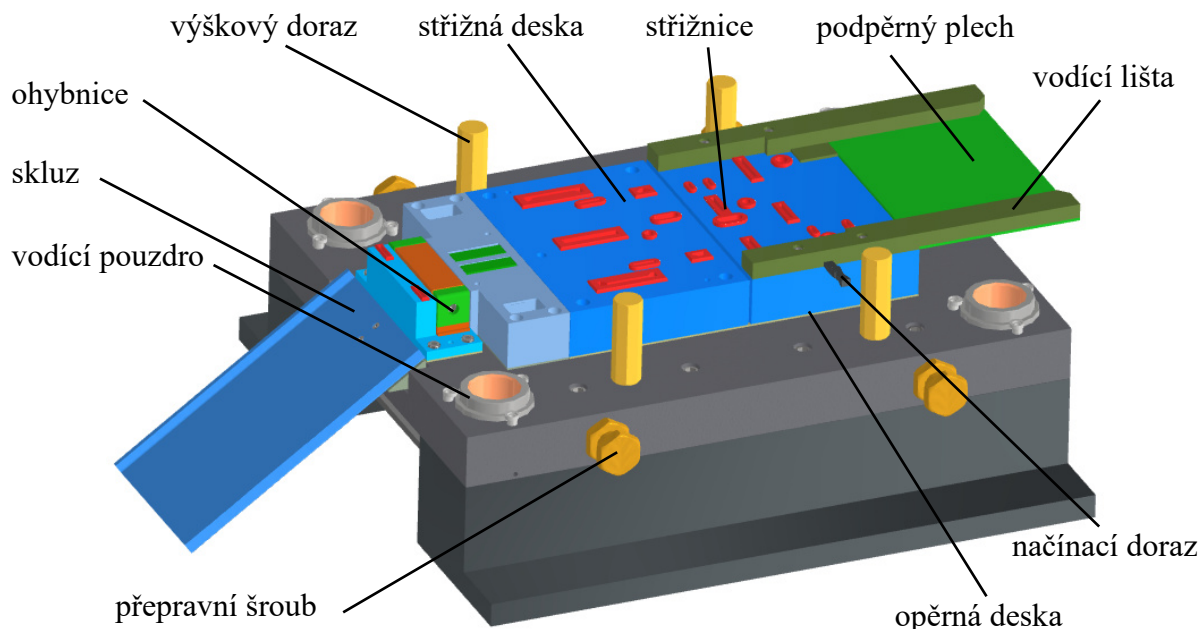
Ve spodní části nástroje se dále nachází ohýbací mechanismus, který slouží k uskutečnění ohybu v 7. kroku. Součástí je zde nutné ohnout směrem nahoru. Pro uskutečnění tohoto ohybu je nezbytné implementovat do nástroje přídavný pohyb za pomoci klínového mechanismu,

viz obrázek 65. V horní části nástroje se nachází přítlačný klín, který při pohybu směrem dolů zatlačí na klín, který se pohybuje vodorovně a ten tlačí na ohybnici, která se následně posouvá svisle nahoru, čímž dojde k ohnutí polotovaru. Při pohybu nástroje nahoru dojde k uvolnění klínu, který se za pomoci dvojice tlačných pružin posune zpět do výchozí pozice. Druhý ohyb je již proveden tradičním způsobem, kdy je ohybník uložen v horní části nástroje a ohybnice je pevně upevněna k ohýbací desce ve spodní části nástroje.



Obr. 65 Klínový mechanismus.

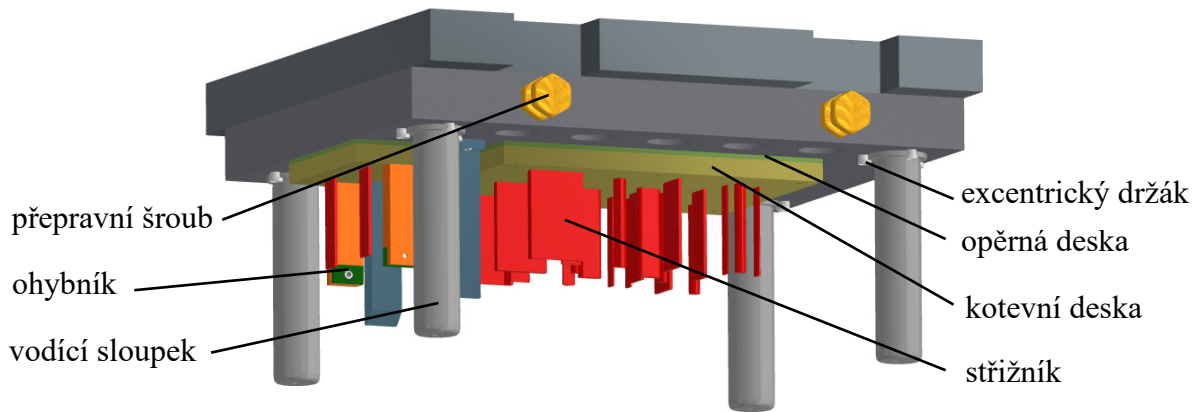
V dolní části nástroje (obr. 66) jsou dále umístěna vodící pouzdra, která výrazně zvyšují celkovou přesnost nástroje. Dále byl použit načínací doraz, který se používá při zavádění pásu plechu do nástroje. Kromě toho jsou zde umístěny i výškové dorazy, které slouží pro bezpečnou manipulaci s nástrojem a chrání tak jeho funkční části před poškozením při samotné manipulaci nebo při skladování.



Obr. 66 Spodní část nástroje.

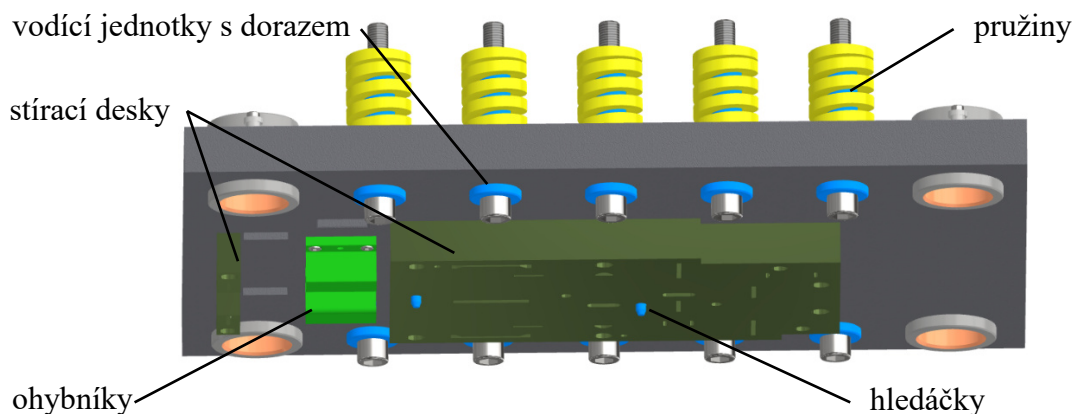
Horní část nástroje (obr. 67) se skládá z několika dalších částí. První z nich je upínací deska, která slouží k upevnění nástroje k beranu lisu. Dále se zde nachází i střížníky a ohybníky, které jsou zalisovány v kotevní desce. Nad touto deskou se nachází ještě kalená opěrná deska, aby nedocházelo k otlacení střížníků do upínací desky sloupků. Tyto desky jsou pevně spojeny šrouby a kolíky, aby se zajistila potřebná přesnost. Další součástí je právě zmíněná upínací

deska sloupků, na které jsou připevněny vodící sloupky pomocí excentrických držáků. Všechny střížníky jsou upnuty za pomoci válcové hlavy v kotevní desce. Další funkční částí jsou ohybníky, které z důvodu ušetření nákladů za drahou nástrojovou ocel, budou vložkované. Těla těchto ohybníků jsou stejně jako střížníky upnuty v kotevní desce za pomoci osazení. Jako další část, která se zde nachází je přítlačný klín, který slouží, k již zmíněnému klínovému mechanismu. Klín je upevněn přímo k upínací desce sloupků za pomoci šroubů a kolíků.



Obr. 67 Horní polovina nástroje.

V horní části nástroje se nalézá i plovoucí vedení (obr. 68), sestávající z vodící a stírací desky. Tato část má za úkol zajistit přesné vedení funkčních částí nástroje a setření polotovaru ze střížníků. Nachází se zde rovněž ohybník pro ohyb v 7. kroku. Stejně jako u ostatních částí, kde je nutná přesnost, jsou stírací desky a ohybníky připevněny k vodící desce pomocí šroubů a kolíků. Ve stírací desce je možné najít i hledáčky, které zajistí přesnou polohu plechu vůči funkčním částem nástroje. Hledáčky budou zajišťovat přesnou polohu za pomoci otvorů o průměru 9 mm ve třetím a šestém kroku. Dále v této části nástroje nalezneme celkem 10 nástrojových pružin, které jsou nezbytné pro vyvinutí dostatečné stírací síly, a zároveň je potřeba aby vytvořili dostatečně velkou sílu potřebnou pro ohyb v 7. kroku. Pro zabránění vybočení při stlačování jsou tyto pružiny vybaveny vodící jednotkou. Dále se ve vodící desce, stejně jako ve spodní části nástroje, nacházejí vodící pouzdra pro zvětšení přesnosti vedení, která jsou k desce upevněna za pomoci excentrických držáků.



Obr. 68 Plovoucí vedení.

---

## ZÁVĚR

V práci byl řešen návrh výroby držáku kompaktních skříní rozváděcích boxů. Pro výrobní sérii o velikosti 400 000 kusů za rok byl zvolen jako výchozí polotovár svitek plechu z oceli DC01, který má tloušťku 2 mm. Po vyrobení bude součást ještě galvanicky pozinkována, aby se zlepšila odolnost proti povětrnostním vlivům. Po zvážení možných variant výroby, byla zvolena varianta postupového sdruženého nástroje, který kombinuje operace stříhání a ohýbání.

Pro výrobu součásti se nejdříve musela zhodnotit její technologičnost pro jednotlivé technologie. Jako další bylo důležité stanovit velikost rozvinutého dílu a rozmístění součásti na pás plechu. Rozmístění bylo zvoleno příčné uspořádání z důvodu jednoduššího posuvu polotovaru v nástroji a z hlediska velké série byla zvolena varianta dvouřadého uspořádání. Polotovár byl zvolen svitek plechu s šířkou 196 mm, vnitřním průměrem 390 mm a vnějším průměrem 1 535 mm. Součinitel využití materiálu byl stanoven na 80,18 %. Na celou výrobu bude zapotřebí použít třináct úplných svitků a jeden neúplný svitek, který bude mít délku 255 361 mm. Na odvíjení svitku bude použito zařízení od firmy P/A Bohemia s.r.o. s označením RS 127 – 65.

Následně se musel stanovit postup výroby, kde v práci byly posuzovány tři možné postupy. Nakonec byl vybrán postup, ve kterém bude možné součást vyrobit v 8 krocích. Pro tento postup se stanovila celková tvářecí síla na 1 240 kN a práce na 2 458 J. Jako další bylo určeno působíště síly.

Součástí práce bylo také provést výpočty pro návrh funkčních částí nástroje, aby mohl být následně navržen nástroj za pomoci počítačového programu Inventor Professional 2022. U konstrukce nástroje byly využity převážně normalizované díly od firmy Meusburger. Nástroj bude upnut do tvářecího stroje za pomoci upínek. Jako tvářecí stroj byl vybrán excentrický klikový lis od firmy Formetal s.r.o., s označením CC 160.

---

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. TESARĚ, Michal. *Výroba ozubeného kola*. Brno, 2020. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Michaela Císařová.
  2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
  3. LIDMILA, Zdeněk. *Přednášky HTN*. Brno: VUT Brno, Fakulta strojního inženýrství – Ústav strojírenské technologie, 2021.
  4. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-72-1-579-6.
  5. *Metal stamping parts: NL-0945* [online]. China [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.globalsources.com/OEM-metal/stamping-parts-1185724057p.htm>.
  6. *Sheet Metal Bend Part: Taru Enterprises* [online]. India, 2003 [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/sheet-metal-bend-part-18741739712.html>.
  7. *Metal Stamping: Small Sheet Metal Parts* [online]. China: TMetalParts [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.tmetalparts.com/metal-stamping/284.html>.
  8. *Wall Mounting Bracket: AX 2503.020* [online]. Rittal – The System [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.rittal.com/com-en/>.
  9. ANDRIS, Tomáš. *Výroba komponentu zámku automobilu* [online]. Brno, 2022 [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139685>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Zdeněk Lidmila.
  10. *Steel & Cast Iron Standards: DC01* [online]. SteelNumber [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: [http://www.steelnumber.com/en/steel\\_composition\\_eu.php?name\\_id=199](http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=199).
  11. Galvanické zinkování. *Galva* [online]. Ostrava [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://www.galva.cz/zinkovani/>.
  12. Galvanické zinkování. *Galvan* [online]. Ostrava [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://galvan.cz/galvanicke-zinkovani/>.
  13. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
  14. *Laserové řezání jako bezkontaktní proces oddělování* [online]. Praha: TRUMPF spol. s.r.o [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: [https://www.trumpf.com/cs\\_CZ/](https://www.trumpf.com/cs_CZ/).
  15. OSIČKA, Karel a Milan KALIVODA. *Nekonvenční technologie obrábění*. Brno: Vysoké učení technické v Brně – Fakulta strojního inženýrství, 2012.
  16. Wasserstrahlschneiden: Eine Alternative für Metallverarbeiter. In: *MetallBau* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: [https://www.metallbaumagazin.de/artikel/mb\\_Wasserstrahlschneiden\\_323446.html](https://www.metallbaumagazin.de/artikel/mb_Wasserstrahlschneiden_323446.html).
  17. *Technologie laserového dělení: Řezání laserem* [online]. Paskov: Lexatr [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <http://www.ivt.cz/our-services/design-and-build/>.
  18. *Řezání vodním paprskem* [online]. Lutín: SIGMA – Výzkumný a vývojový ústav [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.sigma-vvu.cz/produkty/kooperace/rezani-vodnim-paprskem/>.
  19. Vystřihování plechu: Děrování, vysekávání a prostřihování plechu. In: *DENIP* [online]. DENIP, spol. [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <https://www.denip.cz/#tabs-1>.
-

- 
20. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
  21. *Komplexní zpracování plechu CNC technologiemi: Děrování, vysekávání a prostřihování plechu* [online]. Ostrava: DENIP [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.denip.cz/vystrihovani-plechu/>.
  22. *Vývoj, výroba a konstrukce lisovacích nástrojů* [online]. Návsí: Inkona [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <http://www.inkona.cz/>.
  23. BAREŠ, Karel et al. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971, 544 s. DT 621.979.
  24. Postupové sdružené nástroje. *FaM Tools: Konstrukční kancelář* [online]. Brno: FaM Tools [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <http://www.famtools.cz/postupove-sdruzene-nastroje-lisy>.
  25. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2., v Akademickém nakladatelství CERM 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2764-7.
  26. Technologie tváření kovů. *Technologie II: Část I – Tváření kovů – Střihání* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2023-09-03]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/06.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm).
  27. ČADA, Radek. *Technologie I: zákony plastické deformace kovů, dělení materiálu, slévání*. Vyd. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1274-8.
  28. ČSN 22 6015. *Stříhadla a střížné vřetě: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1975.
  29. FINDA, Luděk, Roman HALTUF a Trumpf Zákaznické a aplikační centrum. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2010, (6), 72 [cit. 2023-03-09]. ISSN 1212-2572.
  30. RADEK, Čada. *Technologie tváření a slévání – v příkladech: Stříhání plechu*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2013. ISBN 978-80-248-3016-2.
  31. *Ferona: Velkoobchod s hutním materiálem* [online]. Ferona [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.ferona.cz/>.
  32. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2*. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-718-3244-8.
  33. HOSFORD, William a Robert CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. Cambridge: Cambridge University Press, 2011, 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8.
  34. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I: Plošné a objemové tváření*. 2. vydání. Brno: VUT Brno, 1992. ISBN 80-214-0404-3.
  35. VODÁK, Marek. *Návrh výroby plechu TV držáku* [online]. Brno, 2020 [cit. 2023-03-213]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124963>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.
  36. GAJDOŠ, František. *Technologie tváření kovů*. In: *Studijní opory* [online]. [cit. 2023-03-09]. 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).
  37. Technologie tváření kovů. *Technologie II: Část I – Tváření kovů – Ohýbání* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2023-9-3]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/07.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm).
-

- 
38. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
  39. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2881-3.
  40. LENFELD, Petr. *Technologie II: 1. část (tváření kovů)*. 3. vydání. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2016.
  41. ČSN 22 7340: *Tvářecí nástroje. Ohýbadla. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1991.
  42. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 216 s.
  43. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. Praha: České vysoké učení technické, 1993, 349 s. ISBN 80-010-01003-1.
  44. MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení: Část: tvářecí stroje* [online]. In: . Praha: ČVUT, 2007 [cit. 2023-03-09]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/1999676-Vyrobnistroje-a-zarizeni.html>
  45. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: část tvářecí stroje* [online]. In: . Brno: VUT Brno – Fakulta strojního inženýrství, 2002, s. 122 [cit. 2023-03-09]. 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).
  46. RUDOLF, Bedřich a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: Základy výpočtů a konstrukce*. Praha: SNTL, ALFA, 1979, 408 s.
  47. HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje*. Brno: Šmeralovy závody, 1962, 716 s.
  48. *P/A Bohemia: Dodávky zařízení pro lisování a tváření plechu* [online]. Olomouc: P/A Bohemia [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.paboheemia.cz/>.
  49. *Berger Tools: Super load spring* [online]. United Kingdom [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.berger-tools.co.uk/>
  50. *Formetal: Plechotvářecí stroje* [online]. Měšice [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/>
  51. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2881-3.
-

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

## Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	výška výstřižku	[mm]
A <sub>C</sub>	celková práce	[J]
A <sub>e</sub>	jmenovitý rozměr střižnice	[mm]
A <sub>j</sub>	jmenovitý rozměr výstřižku	[mm]
A <sub>k</sub>	jmenovitý rozměr střižníku	[mm]
A <sub>o</sub>	ohybová práce	[J]
A <sub>pr</sub>	práce od pružných prvků	[J]
A <sub>s</sub>	střižná práce	[J]
a	délka ohýbaného ramene	[mm]
B	délka výstřižku	[mm]
b <sub>sv</sub>	šířka svitku	[mm]
b <sub>u</sub>	součet všech šířek ohybů	[mm]
b <sub>v</sub>	šířka ohybu do tvaru V	[mm]
c	koeficient závislý na stupni stříhu	[-]
c <sub>n</sub>	součinitel pro ohýbání dle normy ČSN 22 7340	[-]
c <sub>o</sub>	součinitel určující min. poloměr	[-]
c <sub>pr</sub>	koeficient protlačování	[-]
c <sub>s</sub>	součinitel vyjadřující vliv tření ohýbané součásti	[-]
c <sub>st</sub>	koeficient stírání	[-]
D <sub>sv</sub>	vnější průměr svitku	[mm]
d <sub>sv</sub>	vnitřní průměr svitku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
e	velikost můstku	[mm]
F <sub>C</sub>	celková síla	[N]
F <sub>co</sub>	celková síla pro ohyb	[N]
F <sub>kal</sub>	kalibrační síla	[N]
F <sub>oi</sub>	síla dle druhu ohýbání	[N]
F <sub>oL</sub>	ohýbací síla volného ramene	[N]
F <sub>oU</sub>	ohýbací síla do tvaru U	[N]
F <sub>oV</sub>	ohýbací síla do tvaru V	[N]
F <sub>po</sub>	síla přidržovače u ohybu	[N]
F <sub>pr</sub>	síla na protlačení výstřižku střižnicí	[N]
F <sub>pruž</sub>	síla od pružných prvků	[N]
F <sub>pruž1</sub>	síla od jedné pružiny	[N]
F <sub>s</sub>	střižná síla	[mm]
F <sub>smax</sub>	maximální střižná síla	[N]
F <sub>st</sub>	stírací síla	[N]
F <sub>v</sub>	síla k vyrovnání výlisku	[N]
F <sub>xi</sub>	síly ve směru osy x	[N]
F <sub>yi</sub>	síly ve směru osy y	[N]
f	velikost postranního odpadu	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
$H_{\min}$	minimální tloušťka střížnice	[mm]
$h_{el}$	hloubka pružného pronikání	[mm]
$h_o$	dráha ohybníku	[mm]
$h_{pl}$	hloubka plastického pronikání	[mm]
$h_{pr}$	velikost stlačení pružin	[mm]
$h_s$	hloubka vniku	[mm]
$I$	moment setrvačnosti určitého průřezu	[mm <sup>4</sup> ]
$K$	velikost kroku	[mm]
$k_{\beta}$	koeficient určující polohu neutrální plochy	[-]
$l_c$	délka rozvinutého polotovaru	[mm]
$l_i$	délka rovných úseků	[mm]
$l_{krit}$	kritická délka střížníku	[mm]
$l_n$	délka dodatečného svitku	[mm]
$l_{oi}$	délka oblouku ohnuté části	[mm]
$l_{sv}$	délka svitku	[mm]
$l_u$	vzdálenost ohýbacích hran při "U" ohybu	[mm]
$l_v$	vzdálenost ohýbacích hran	[mm]
$m_{sv}$	hmotnost svitku	[kg]
$m_U$	součinitel respektující průběh síly pro U ohyb	[-]
$m_V$	součinitel respektující průběh síly pro V ohyb	[-]
$N_p$	počet pružin	[ks]
$N_{zdvih}$	nominální rychlost	[cykly/min]
$n$	součinitel otupení nástroje	[-]
$n'_{sv}$	počet kusů z jednoho svitku	[ks]
$n_{ci}$	počet kusů z jedné tabule	[ks]
$n_{ks}$	koeficient bezpečnosti	[-]
$n_S$	počet výstřížků ze svitku	[ks]
$n_{sv}$	počet svitků	[ks]
$n_T$	počet výstřížků z tabule plechu	[ks]
$P$	přípustná míra opotřebení	[mm]
$P_{stroj}$	potřebný výkon	[W]
$p$	měrný tlak	[MPa]
$p_{cs}$	počet celých svitků	[ks]
$p_{ki}$	počet kusů z jednoho pásu	[ks]
$p_{\dot{s}i}$	účet pásů	[ks]
$R$	vnější poloměr ohýbané součásti	[mm]
$R_e$	mez kluzu v tahu	[MPa]
$R_m$	mez pevnosti	[MPa]
$R_{\max}$	maximální poloměr ohybu	[mm]
$R_{\min}$	minimální poloměr ohybu	[mm]
$R_o$	poloměr ohybu	[mm]
$r_m$	poloměr zaoblení ohybnice	[mm]
$r_p$	poloměr zaoblení pohyblivé části	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
$S_d$	plocha osazeného průřezu střižníku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{PS}$	plachy výstřižků	[mm <sup>2</sup> ]
$S_S$	plocha svítku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{st}$	plocha střižníku	[mm <sup>2</sup> ]
$S_T$	plocha tabule	[mm <sup>2</sup> ]
$S_V$	vyrovnávaná plocha	[mm <sup>2</sup> ]
$\bar{S}$	šířka pásu	[mm]
$s_0$	tloušťka plechu	[mm]
$s_{max}$	největší tloušťka plechu	[mm]
$v$	střižná vůle	[mm]
$v_o$	ohybová vůle	[mm]
$X$	poloha těžiště ve směru osy x	[mm]
$x$	součinitel posunutí plochy nulového prodloužení	[mm]
$x_i$	vzdálenost působíště sil od počátku ve směru x	[mm]
$Y$	poloha těžiště ve směru osy y	[mm]
$y_i$	vzdálenost působíště síly od počátku ve směru y	[mm]
$Z$	střižná mezera	[mm]
$Z_r$	součinitel rozšíření průřezu	[-]
$Z_z$	součinitel ztenčení průřezu	[-]
$\alpha$	úhel ohybu	[°]
$\alpha'$	úhel sklonu nožů	[°]
$\beta$	úhel odpružení	[°]
$\gamma$	úhel ohnuté části	[°]
$\delta_e$	tolerance střižnice	[mm]
$\delta_k$	tolerance střižníku	[mm]
$\epsilon_{max}$	maximální poměrná deformace v krajních vláknech na tahové straně	[-]
$\epsilon_p$	trvalá poměrná deformace v krajních vláknech	[-]
$\lambda$	součinitel plnosti diagramu	[-]
$\lambda_o$	součinitel plnosti při ohýbání	[-]
$\mu_s$	procentuální využití svítku	[%]
$\mu_t$	procentuální využití tabule plechu	[%]
$\rho_n$	poloměr neutrální vrstvy	[mm]
$\rho_{ocel}$	hustota oceli	[kg·mm <sup>-3</sup> ]
$\rho_0$	poloměr neutrální vrstvy	[mm]
$\sigma_d$	dovolené tlakové napětí	[MPa]
$\sigma_{dovOS}$	dovolené napětí na dosedací ploše	[MPa]
$\sigma_{odov}$	dovolené ohybové napětí	[MPa]
$\tau_s$	pevnost materiálu ve stříhu	[MPa]

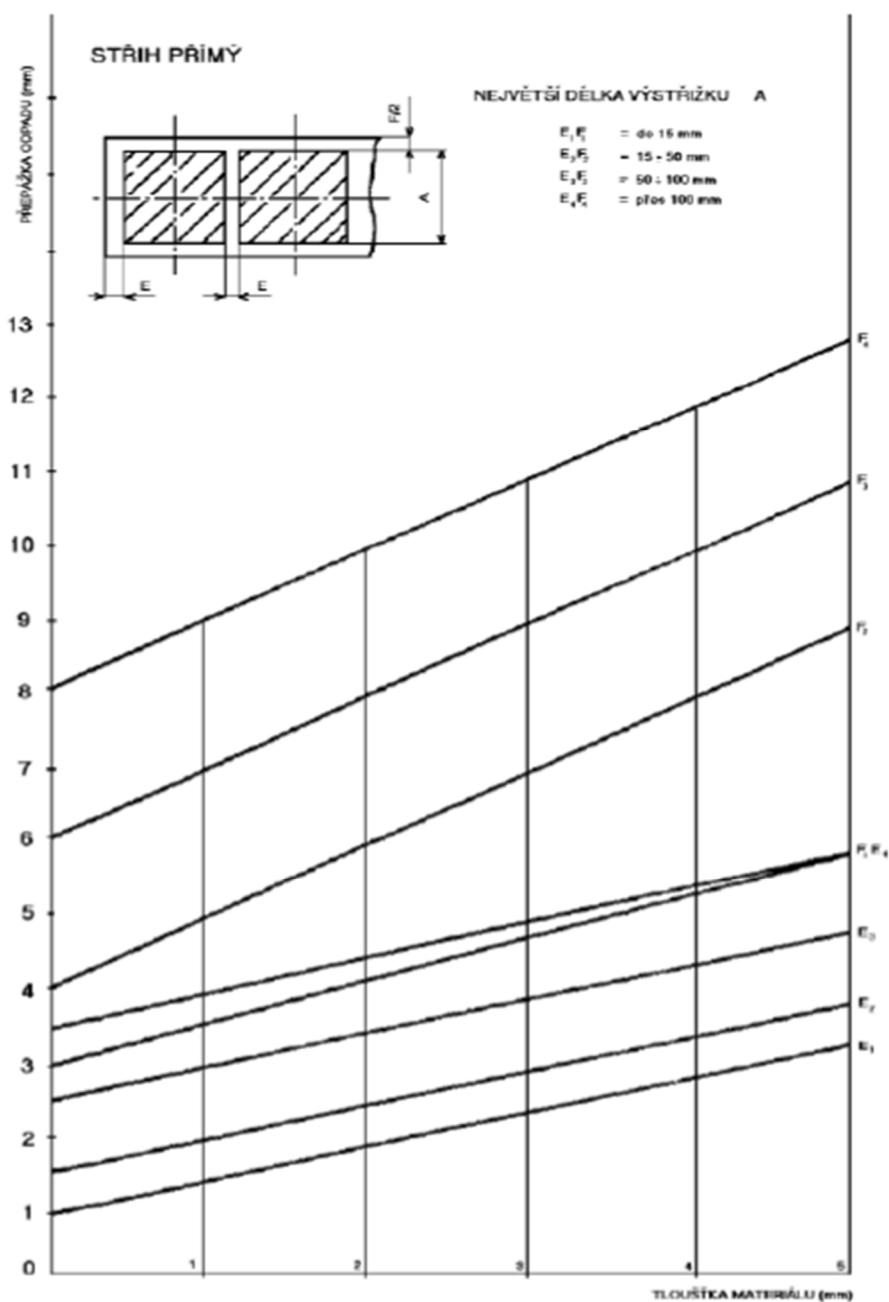
## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Velikost můstku a postranního odpadu  
Příloha 2 P/A Bohemia – Odvíjecí a podávací zařízení střední řady MD  
Příloha 3 Super load spring – Parametry nástrojové pružiny  
Příloha 4 Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel

## SEZNAM VÝKRESŮ

- Sdružený nástroj; 2023-DP-209221-00  
Sdružený nástroj – kusovník; 2023-DP-209221-00K  
Spodní část nástroje; 2023-DP-209221-01  
Spodní část nástroje – kusovník; 2023-DP-209221-01K  
Horní část nástroje; 2023-DP-209221-02  
Horná část nástroje – kusovník; 2023-DP-209221-02K  
Střížnice 12,2; 2023-DP-209221-03  
Střížník 12,2; 2023-DP-209221-04  
Držák rozváděcích skříní; 2023-DP-209221-05
-

Velikost můstku a postranního odpadu [36]



## Odvíjky s rovnačkou střední řady MD



RS 127-35

Kombinovaná zařízení sestávající volitelně z odvíjeků řady LD (strana 6) nebo řady MD (strana 8) a rovnaček řady MD (strana 20).

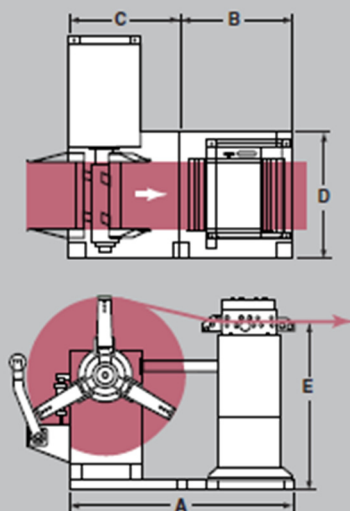
Standardní provedení se 7 rovnačmi válci, jako opce též s 5 nebo 11 rovnačmi válci.

Podle aplikace jsou také možné různé systémy řízení smyčky. S kyvným ramenem nebo elektronické dotykové nebo bezdotykové s ultrazvukovým senzorem.

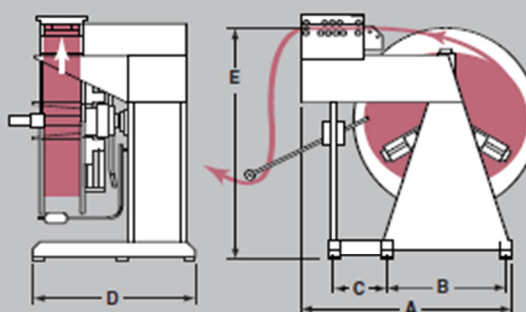
Jako opce variabilní výstupní válečková dráha.

### ROZMĚRY

Model RS 257-65



Model RS 127-35



Model	(Rozměry v mm)				
	A	B	C	D	E
RS 87-15	1575	790	480	1100	1530
RS 87-35	1680	860	480	1220	1530
RS 127-12	1575	790	480	1100	1530
RS 127-35	1680	860	480	1220	1530
RS 257-65	2140	1370	820	1270	1600

### TECHNICKÁ DATA

Model	Max. váha svitku	Max. sířka pásy	Rozsah tloušťek pásy	Max. vnější průměr svitku	Vnitřní průměr svitku	Rozsah rychlostí
RS 87-15	700 Kg	200 mm	0,5 – 3,4 mm	1220 mm	250 – 560 mm	0 – 30 m/min.
RS 87-35	1600 Kg	200 mm	0,5 – 3,4 mm	1445 mm	375 – 520 mm	0 – 30 m/min.
RS 127-12	550 Kg	300 mm	0,5 – 3,2 mm	1220 mm	250 – 560 mm	0 – 30 m/min.
RS 127-35	1600 Kg	300 mm	0,5 – 3,2 mm	1445 mm	375 – 520 mm	0 – 30 m/min.
RS 127-65	3000 Kg	300 mm	0,5 – 3,2 mm	1535 mm	390 – 520 mm	0 – 30 m/min.
RS 167-25	1150 Kg	400 mm	0,5 – 2,7 mm	1445 mm	375 – 520 mm	0 – 30 m/min.
RS 167-65	3000 Kg	400 mm	0,5 – 2,7 mm	1535 mm	390 – 520 mm	0 – 30 m/min.
RS 207-25	1150 Kg	500 mm	0,5 – 2,4 mm	1445 mm	375 – 520 mm	0 – 30 m/min.
RS 207-65	3000 Kg	500 mm	0,5 – 2,4 mm	1535 mm	390 – 520 mm	0 – 30 m/min.
RS 257-65	3000 Kg	600 mm	0,5 – 1,8 mm	1535 mm	390 – 520 mm	0 – 30 m/min.

Super load spring – Parametry nástrojové pružiny [49]

Part Code	Outside Diameter mm	Free Length mm	Inside Diameter mm	Spring Constant Kgf/mm	0.3 Million 20% Deflection mm	0.3 Million 20% Load Kgf (N)	0.5 Million 18% Deflection mm	0.5 Million 18% Load Kgf (N)	1 Million 16% Deflection mm	1 Million 16% Load Kgf (N)	Mass
SB60-060	60	60	30	120.00	12.0	1440 (14120)	10.8	1296 (12710)	9.6	1152 (11300)	0.632
SB60-070	60	70	30	102.86	14.0	1440 (14120)	12.6	1296 (12710)	11.2	1152 (11300)	0.854
SB60-080	60	80	30	90.00	16.0	1440 (14120)	14.4	1296 (12710)	12.8	1152 (11300)	0.964
SB60-090	60	90	30	80.00	18.0	1440 (14120)	16.2	1296 (12710)	14.4	1152 (11300)	0.983
SB60-100	60	100	30	72.00	20.0	1440 (14120)	18.0	1296 (12710)	16.0	1152 (11300)	1.085
SB60-125	60	125	30	57.60	25.0	1440 (14120)	22.5	1296 (12710)	20.0	1152 (11300)	1.323
SB60-150	60	150	30	48.00	30.0	1440 (14120)	27.0	1296 (12710)	24.0	1152 (11300)	1.600
SB60-175	60	175	30	41.14	35.0	1440 (14120)	31.5	1296 (12710)	28.0	1152 (11300)	1.837
SB60-200	60	200	30	36.00	40.0	1440 (14120)	36.0	1296 (12710)	32.0	1152 (11300)	2.105
SB60-250	60	250	30	28.80	50.0	1440 (14120)	45.0	1296 (12710)	40.0	1152 (11300)	2.638
SB60-300	60	300	30	24.00	60.00	1440 (14120)	54.0	1296 (12710)	48.0	1152 (11300)	2.638

Related Series



SF / SFR  
Lightest Load Yellow Die Spring, Japanese Standard JIS B 5012



SL / SLR  
Light Load Blue Die Spring, Japanese Standard JIS B 5012



SM  
Medium Load Red Die Spring, Japanese Standard JIS B 5012



SH  
Heavy Load Green Die Spring, Japanese Standard JIS B 5012



L  
Open End Unpainted Round Wire Die Spring, Anti Rust



L  
Unpainted Round Wire Die Spring, Anti Rust



SR  
SR - Ivory Colour Plastic Mould Coil Spring for Mould Return Pin

## Tolerance a přípustné míry opotřebení pracovních částí stříhadel [28]

Tolerance součástky TS		Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance	
od	do		Sřížnice – TE	Sřížniku – TA
0,020	0,025	0,020	0,007	0,004
0,025	0,030	0,025	0,008	0,005
0,030	0,035	0,030	0,009	0,006
0,035	0,040	0,035	0,011	0,008
0,040	0,045	0,040	0,013	0,009
0,045	0,050	0,045	0,016	0,011
0,050	0,060	0,050	0,019	0,013
0,060	0,070	0,060	0,022	0,015
0,070	0,080	0,070	0,025	0,016
0,080	0,090	0,080	0,029	0,020
0,090	0,100	0,090	0,032	0,023
0,100	0,120	0,100	0,036	0,025
0,120	0,140	0,110	0,036	0,025
0,140	0,160	0,120	0,040	0,027
0,160	0,180	0,140	0,046	0,030
0,180	0,200	0,160	0,054	0,035
0,200	0,220	0,170	0,063	0,040
0,220	0,240	0,180	0,072	0,046
0,240	0,260	0,200	0,081	0,052
0,260	0,280	0,220	0,089	0,057
0,280	0,300	0,230	0,089	0,057
0,300	0,320	0,250	0,100	0,062
0,320	0,350	0,270	0,100	0,062
0,350	0,370	0,290	0,120	0,074
0,370	0,400	0,310	0,120	0,074
0,400	0,430	0,330	0,140	0,087
0,430	0,460	0,350	0,140	0,087
0,460	0,500	0,380	0,160	0,100
0,500	0,530	0,410	0,160	0,100
0,530	0,560	0,430	0,160	0,100
0,560	0,600	0,460	0,190	0,120
0,600	0,650	0,500	0,190	0,120
0,650	0,700	0,540	0,220	0,140
0,700	0,750	0,580	0,220	0,140
0,750	0,800	0,620	0,250	0,160
0,800	0,900	0,680	0,250	0,160
0,900	1,000	0,760	0,290	0,185
1,000	1,200	0,880	0,320	0,210
1,200	1,400	1,000	0,360	0,230
1,400	více	1,200	0,400	0,250