



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 DRŽÁKU ZÁSUVKY

PRODUCTION DESIGN OF THE PLUG HOLDER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Janoška

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Lukáš Janoška
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
Akademický rok:	2023/24

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 bakalářské práce:

Návrh výroby držáku zásuvky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby kovového držáku pro upevnění zásuvky u např. automobilového vleku. Součástka je prostorového tvaru s otvory z ocelového plechu a pravděpodobně bude vyráběna technologií stříhání a ohýbání. Na zvolenou problematiku bude také zaměřena literární studie a následně i vlastní řešení.

Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit a popsat zadanou součást – držák,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolené technologie,
- zhodnotit technologičnost držáku,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj,
- zhotovit výkres sestavy nástroje, kusovník a výkresy vybraných pozic.

Seznam doporučené literatury:

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

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. ISBN 80-214-0401-9.

SAMEK, Radko; ŠMEHLÍKOVÁ, Eva a LIDMILA, Zdeněk. Speciální technologie tváření. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2010. ISBN 978-80-214-4406-52.

NOVOTNÝ, Josef a LANGER, Zdeněk. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980.

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

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2023/24

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá výrobou držáku zásuvky u tažných zařízení. Jako materiál je zvolena měkká ocel 11 321, která bude následně zároveň zinkována. Součást bude vyráběna ze svitek plechu o tloušťce 2 mm v celkové sérii 100 000 ks/rok. Z uvažovaných variant výroby je zvolena technologie stříhání a ohýbání ve sdruženém nástroji. Celá součást bude zhotovena ve čtyřech krocích s celkovou využitelností materiálu 89,35 %. Pro výrobu je nutné celková tvářecí síla 530 kN. Návrh nástroje je proveden na základě zvoleného technologického postupu. Jako výrobní stroj je zvolen excentrický lis Mecanica Exacta model DM-S od výrobce Formetal, který bude následně zaváděn do automatizované linky.

Klíčová slova

ocel 11 321, plošné tváření, stříhání, ohýbání, svitek, sdružený nástroj

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on the production of a socket holder for towing devices. The chosen material is mild steel 11 321, which will be subsequently galvanized. The component will be manufactured from 2 mm thick coils of sheet metal in a total production of 100,000 pieces/year. Of the production variants considered, the technology of cutting and bending in a combined tool was chosen. The whole component will be manufactured in four steps with an overall material availability of 89,35 %. A total forming force of 530 kN is required for production. The design of the tool was based on the selected technological process. Mecanica Exacta model DM-S eccentric press from Formetal was chosen as the production machine, which will be subsequently introduced into the automated line.

Keywords

steel 11 321, sheet metal forming, shearing, bending, coil, combined tool

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JANOŠKA, Lukáš. *Návrh výroby držáku zásuvky* [online]. Brno, 2024. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/157627>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

PROHLÁŠENÍ

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

Brno, 24.5.2024

místo, datum

Lukáš Janoška

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu během celého studia.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Varianty řešení výroby	11
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ.....	14
2.1 Stříhání	14
2.1.1 Střižná mezera	16
2.1.2 Rozmístění výstřižků a využitelnost.....	17
2.2 Ohýbání	18
2.2.1 Mezní poloměry ohybu a odpružení	19
2.3 Síly a práce	21
2.4 Nástroj	23
2.4.1 Funkční prvky	24
2.5 Stroje	26
2.6 Technologičnost	27
3 NÁVRH VÝROBY	29
3.1 Rozvinutý tvar součásti	30
3.2 Volba polotovaru a rozmístění výstřižků	31
3.3 Návrhy výroby.....	33
3.4 Výpočty sil a prací.....	35
3.5 Návrh nástroje	37
3.5.1 Kontrolní výpočty a funkční části	40
3.5.2 Těžiště sil.....	43
3.6 Volba stroje	44
ZÁVĚR.....	45

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů

Seznam příloh

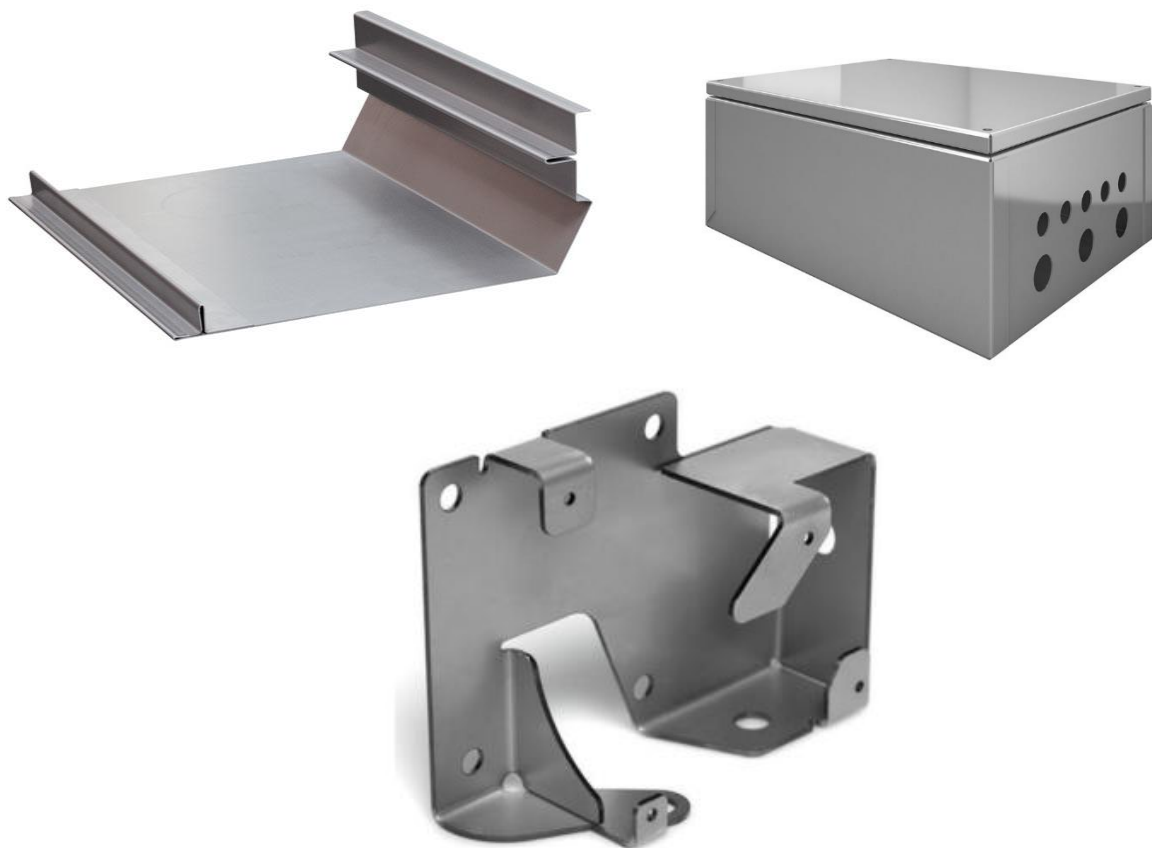
Seznam výkresů

ÚVOD

V současném průmyslovém prostředí, kde konkurence neustále posouvá hranice efektivity a inovací, se otázka vhodné volby výrobních technologií stává klíčovým faktorem pro dosažení optimálního výsledku. Současně jich existuje velké množství, díky nimž je možné konkrétní součást vyrobit. Za nejnámější lze považovat tváření, odlévání, obrábění a svařování. [1; 2]

Mezi jedny z nejstarších patří tváření, jenž je i dnes hojně využívanou technologií beztrískového zpracování materiálu, během níž dochází k požadované změně tvaru polotovaru vlivem působení vnějších sil, aniž by došlo k porušení. Mezi značné výhody patří vysoká produktivita práce, minimalizace odpadu, rozměrová přesnost a široká užitelnost materiálů. Proces lze jednoduše aplikovat do automatické výroby. Za nevýhody lze považovat vysoké finanční náklady na pořízení stroje a výrobu nástroje. Dělí se na dvě základní skupiny, plošné a objemové. [2; 3]

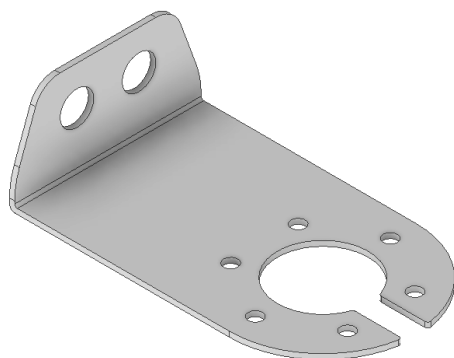
Plošné tváření patří mezi nejpoužívanější technologie zpracování materiálu ve strojírenství. Polotovarem pro výrobu zde bývá nejčastěji plech menší tloušťky v podobě pásu či tabule, který je nástrojem tvářen do finálního tvaru. Při procesu je nutno překročit mez kluzu, díky čemuž dochází ke změně tvaru polotovaru, často s konstantní tloušťkou stěny a nedochází k výrazné změně mechanických vlastností materiálu. Patří sem nejčastější výrobní technologie stříhání, ohýbání a tažení. Příklady součástí zhotovených plošným tvářením jsou na obr. 1. [2; 3; 4]



Obr. 1 Příklady výrobků zhotovených plošným tvářením [5; 6].

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Vyráběnou součástí je univerzální držák auto zásuvky (obr. 2). Z funkčního hlediska se jedná o část zapojovacího systému tažného zařízení pro automobil, viz obr. 3, která slouží k zajištění polohy zásuvky určené pro přenos elektrické energie. Její uchycení odpovídá montáži standardních 7 a 13-pólových 12V zásuvek, přičemž je zapotřebí vybavit součást gumovou těsnicí podložkou odpovídající tvaru držáku, aby bylo zabráněno vnikání vody. Díky své univerzálnosti je možná aplikovatelnost pro jakékoliv tažné zařízení. Výrobní série byla stanovena na 100 000 ks/rok. [7]

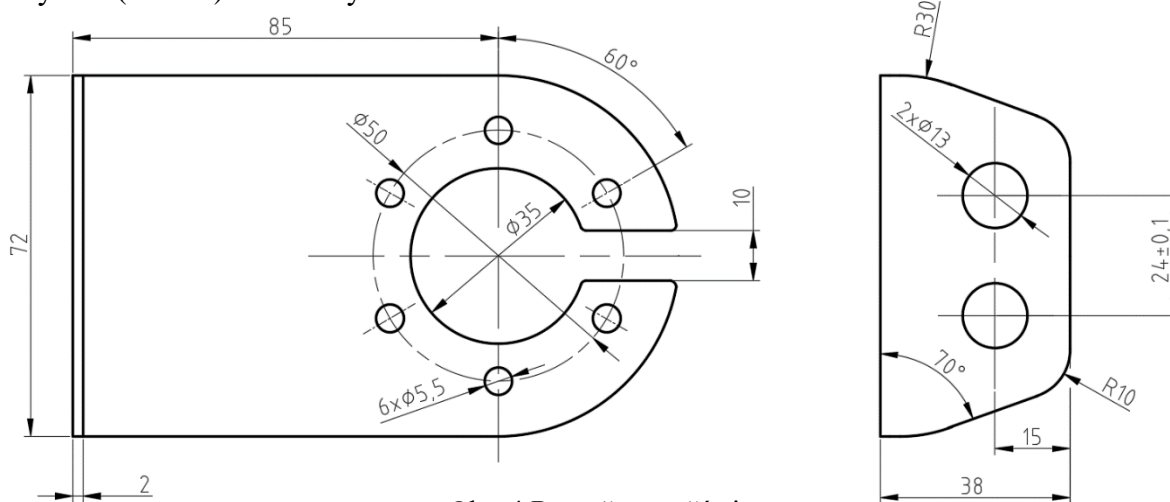


Obr. 2 Vyráběná součást – 3D model.



Obr. 3 Uložení držáku na tažném zařízení [8].

Tvarově středně náročná součást (obr. 4) je vyrobena z plechu o tloušťce 2 mm a během výroby zůstane konstantní. Držák má finální délku 121 mm se šířkou 72 mm. Zásuvka bude uchycena pomocí šroubů M5 procházející šesti otvory o průměru 5,5 mm na roztečné kružnici 50 mm. Velký otvor s průměrem 35 mm slouží k průchodu elektrického kabelu do baterie. Ohnutá část o celkové výšce 38 mm je určena pro uchycení držáku pomocí dvou šroubů M12 procházející přes otvory s průměrem 13 mm. Vzhledem k funkci držáku na něj nejsou kladeny žádné zvýšené nároky na přesnost a kvalitu ploch. Hlavní podmínkou je správné umístění dvou děr s tolerancí $\pm 0,1$ mm pro funkční montáž a dodržení mezních úchylek netolerovaných rozměrů třídy 'm' (střední) dle normy ČSN ISO 2768-1.



Obr. 4 Rozměry součásti.

Při výběru vhodného materiálu je potřebné zohlednit výskyt součástí ve venkovních podmínkách jako je například vlhkost. Z toho důvodu je nutné zajistit odolnost zejména proti korozi. Jako nejvhodnější se jeví korozivzdorná ocel, která však díky vysoké ceně není z ekonomického hlediska nejoptimálnější. Jelikož materiál bude mechanicky namáhán jen minimálně bez zvýšených nároků na vlastnosti polotovaru, byla pro výrobu zvolena běžná ocel třídy 11 321, také označována jako DC01 dle EN10027-1, která bude následně pozinkována.

Díky nízkému obsahu uhlíku se jedná o vhodný materiál ke tváření za studena a povrchové úpravě jako je například lakování, pokovování, potisk a smaltování. Svařitelnost je zajištěna v závislosti na rozměrech polotovaru. Nejčastěji je využívána pro výrobu kolíků, držáků, podložek, krytů, vík, přírub, pouzder, kroužků, objímek atd. Mechanické vlastnosti a procentuální zastoupení obsažených prvků materiálu jsou uvedeny v tabulkách č. 1 a 2. Hodnoty jsou brány z materiálového listu uloženého v příloze č. 1. [9; 10]

Tab. 1 Mechanické vlastnosti oceli 11 321 [10].

Mechanické vlastnosti	Pevnost v tahu R_m [MPa]	Mez kluzu R_e [MPa]	Tažnost A_t [%]	Tvrdoost [HV]
Hodnota	270 – 410	140 – 280	28	105

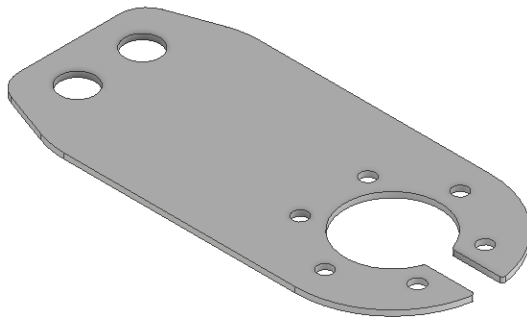
Tab. 2 Chemické složení oceli 11 321 [10].

Prvek	C [%]	S [%]	Mn [%]	P [%]
Obsah	0,12	0,045	0,6	0,045

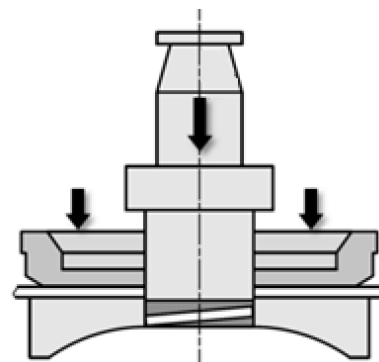
1.1 Varianty řešení výroby

Součást je možné vyrobit několika metodami, z nichž je zapotřebí vybrat tu nejvhodnější dle určitých kritérií. Mezi základní patří celkové využití materiálu, časová náročnost, velikost série a dosažení požadovaných parametrů přesnosti. Součást bude vytvořena ve dvou krocích. V prvním je potřeba zhotovit obrysový tvar s vnitřními otvory (obr. 5), v rámci čehož je možné zvažovat metody:

- Vysekávání – je technologie stříhání na jednoúčelových strojích, při které je použita dvoudílná sada nástrojů, razník a matrice (obr. 6). Je možné vysekávat různé tvary do plechu o tloušťce 0,5 až 6 mm, což je pro zadanou součást s tloušťkou 3 mm vhodné. Přesnost technologie se pohybuje v přijatelné toleranci $\pm 0,05$ mm. Metoda je široce rozšířená při sériové výrobě díky vysokému stupni automatizace, což je vhodné pro zvolený počet kusů. Hlavní nevýhodou jsou vyšší náklady a deformace plechu po vyseknutí, kdy je nutné provádět další operaci rovnání. [11; 12; 13; 14]



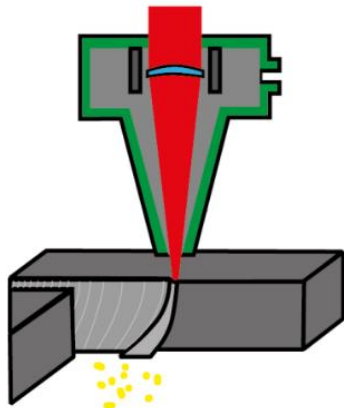
Obr. 5 Model obrysu součásti



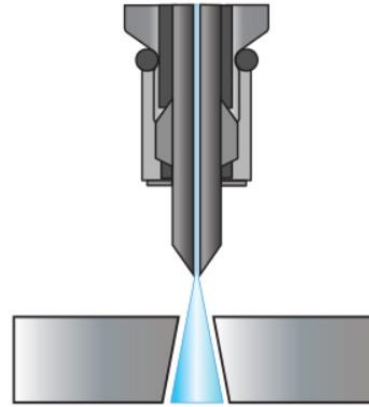
Obr. 6 Vysekávání na automatu [15].

- Řezání laserem – jedná se o oddělování materiálu laserovým paprskem sdruženým do svazku (obr. 7). Při dopadu na polotovar dojde k ohřátí na vysoké teploty, vlivem nichž vzniká rychlé roztavení či odpaření materiálu. Lze řezat kovové materiály o rozdílných tloušťkách 0,5 až 30 mm, což je přijatelné pro tloušťku 3 mm u držáku. Předností je drsnost řezných ploch $R_a 1,6$ a vysoká přesnost až 0,05 mm. Mezi hlavní nevýhody patří vznik opalu a přírůstku materiálu na vnější hraně součásti, díky čemuž je po výrobě nutná aplikace dokončování a povrchové úpravy. [12; 16; 17; 18]

- Řezání vodním paprskem – je technologií spočívající v oddělování materiálu vysokým tlakem vody, na základě něhož dochází k postupnému obrušování součásti (obr. 8). Možná tloušťka materiálu se pohybuje od 0,5 až 150 mm, což je pro součást přijatelné. Rychlost řezání v rozsahu 5 až 400 m/min činí skvělé využití pro sériovou výrobu. Velkou výhodou je taktéž výroba bez tepelného ovlivnění, kdy materiál nevykazuje změnu vlastností vlivem vyšších teplot a nevzniká nežádoucí opal. Přesnost a jakost řezu dosahuje kolem 0,1 mm. Hlavní nevýhodou je kontakt materiálu s vodou, což u oceli zvyšuje náchylnost ke vzniku koroze, v důsledku čehož je nutné povrch po výrobě ošetřit. [12; 19; 20]

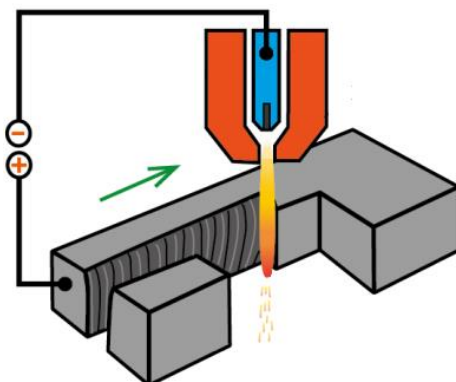


Obr. 7 Řezání laserem [18].

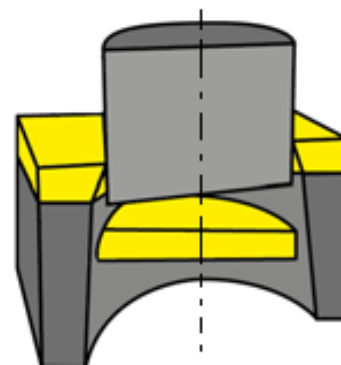


Obr. 8 Řezání vodním paprskem [19].

- Řezání plazmou – princip je založen na vysokém ohřevu a následném natavení materiálu vysokotlakým paprskem (obr. 9). Jedná se o vysoce rychlý proces vhodný pro sériovou výrobu se snadnou automatizací. Mezi řadu výhod patří také schopnost řezání kovových materiálů do tloušťky až 80 mm, což je pro výrobek splnitelné. Dosažená přesnost se pohybuje v řádu desetin milimetru. Mezi negativní dopady lze zařadit velký průřez materiálu a vyšší úhel řezné hrany, jenž bývá zkosený až o 8° od kolmé plochy, kde horní hrana je zaoblena. Na spodní části se nachází struska spolu s vyšší tepelně ovlivněnou oblastí. [12; 22]
- Stříhání v nástroji – představuje proces cíleného oddělování částic materiálu smykovým působením střížníku a střížnice (obr. 10). Pomocí technologie lze dosáhnout přesnosti v rozmezí IT12 až IT14, což je pro výrobek, bez velkých požadavků na přesnost, vhodné. Drsnost povrchu Ra 3,2 až 6,3 je vyhovující i včetně velikosti série 100 000ks/rok. Výstřížky lze vyrábět z tloušťky plechů 0,5 až 12 mm, kde výrobek má 3 mm a je tak vhodný. Technologie ve zmíněných vlastnostech nejlépe odpovídá požadavkům pro výrobu. [1; 3; 4]



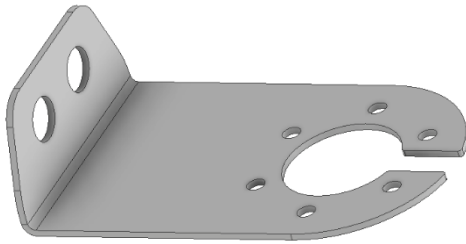
Obr. 9 Řezání plazmou [21].



Obr. 10 Stříhání [21].

V druhém kroku je po výrobě obrysového tvaru držáku potřeba zhotovit ohyb o 90° dle výkresové dokumentace (obr. 11). Je možné uvažovat:

- Ohyb v ohýbačce – je technologií, kde nástrojem je ohybová lišta se stupnicemi, díky nimž je snadné určit požadovaný tvar a velikost ohybu (obr. 12). Jedná se o metodu, při které lze ohýbat kovové materiály tloušťky 0,5 až 3 mm s úhlem až 140°, což je pro zadaný dílec vyhovující. Automatizace stroje je velmi složitá a nevhodná pro sériovou výrobu. Hlavní nevýhodou je také velká časová náročnost na manipulaci a obsluhování stroje. [1; 3; 25]

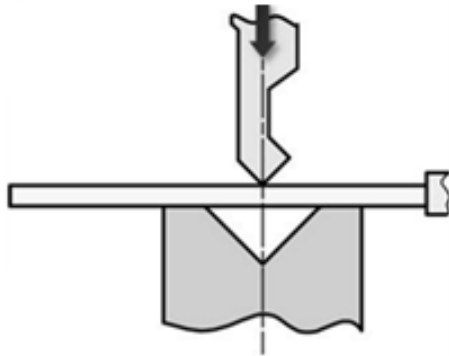


Obr. 11 Ohyb.

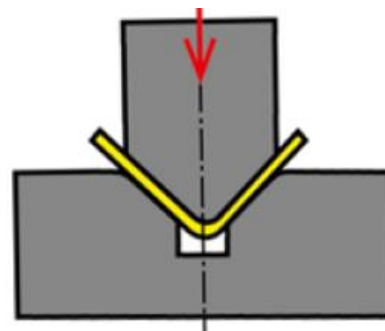


Obr. 12 Ohýbačka [25].

- Ohraňování – je metoda ohýbání na jednoúčelových CNC řízených lisech pomocí dvojice nástrojů, pevně uchycené matrice a pohyblivého razníku (obr. 13). Je možné vytvářet úhel od 30° až 170°, což vyhovuje výrobě součástí s jednoduchým ohybem 90°. Lze zpracovávat materiály o tloušťce plechu 0,5 až 12 mm, čemuž odpovídají parametry vyráběného držáku. Nicméně se jedná o technologii určenou hlavně pro rozměrné plechy délky až 3000 mm v malosériové výrobě. [1; 3; 23; 24]
- Ohýbání v nástroji – principem je tváření materiálu pomocí působení tlaku od pohyblivého ohybníku a pevně uchycené ohybnice (obr. 14). Metoda je vhodná pro hromadnou i sériovou výrobu složitých i jednoduchých součástí. Lze stříhat materiál o tloušťce v rozmezí 0,5 až 10 mm, což je pro součást splnitelné. Dosažitelná přesnost IT9 ÷ IT12 taktéž odpovídá požadavkům na vyráběný dílec. [1; 3]



Obr. 13 Ohraňování [23].

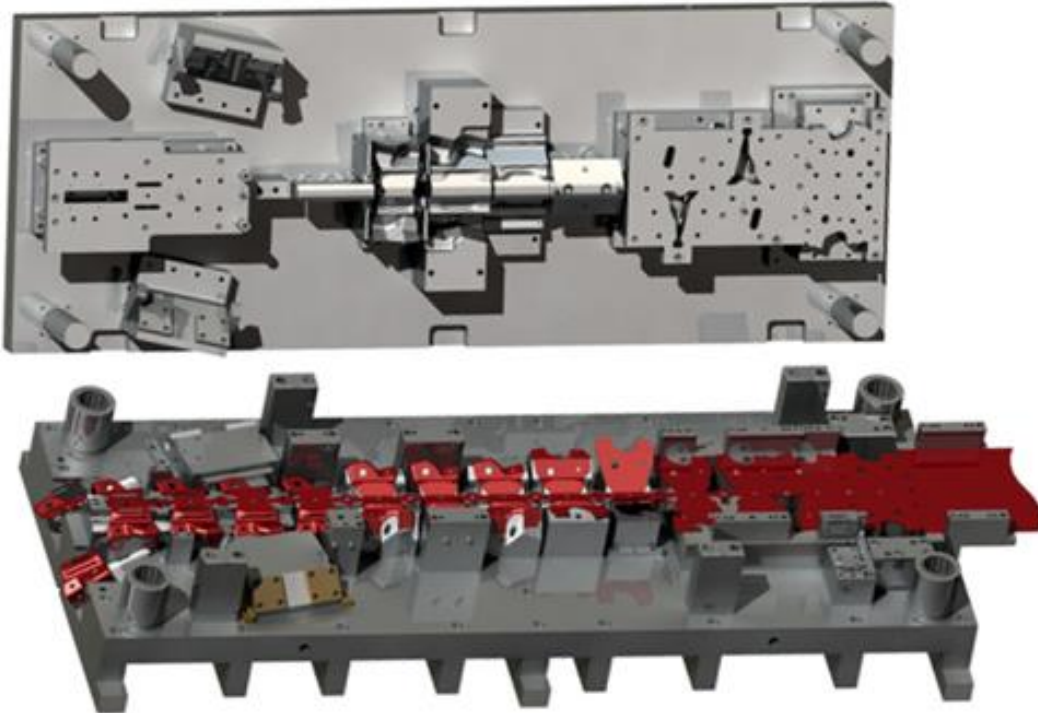


Obr. 14 Ohýbání [26].

Po zhodnocení všech variant byly pro výrobu součástí zvoleny technologie stříhání a ohýbání v nástroji, s čímž se pojí vysoké výrobní časy vzhledem k nutnosti manipulace a přemísťování materiálu. Při volbě byl taktéž brán ohled na možnost sloučení operací do sdruženého nástroje. Mezi jeho hlavní výhody patří vysoká produktivita a snadná automatizace, díky čemuž se volba jeví jako optimálnější řešení a je tak zvolena pro výrobu. Na tuto problematiku bude zaměřena teoretická i praktická část práce. [1; 3]

2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ

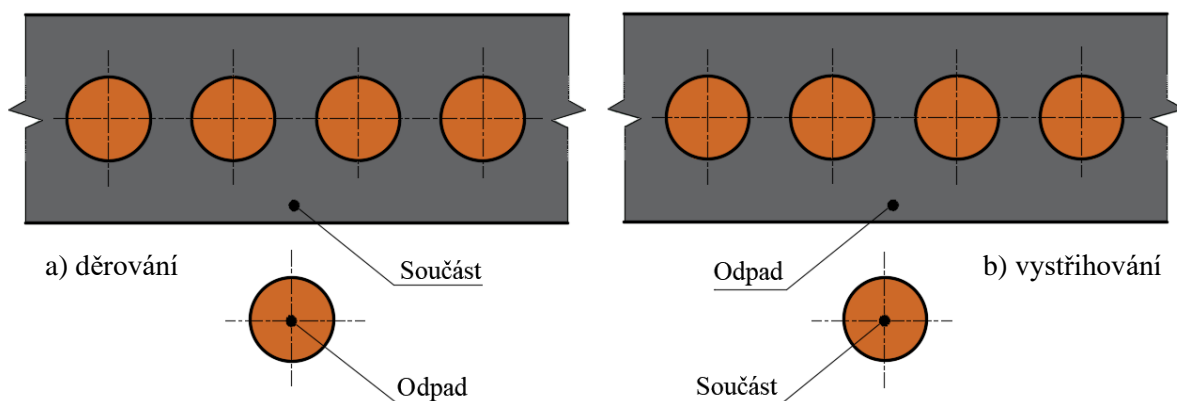
Stříhání a ohýbání patří mezi nejrozšířenější technologie spadající pod plošné tváření, jejichž kombinace je při výrobě využívána velmi často. Nejčastěji jsou zpracovávány polotovary ve formě svitků nebo tabulí plechů. Pomocí sdruženého nástroje (obr. 15) je možné obě technologie sloučit. V jednom nástroji tak dojde k vystřížení požadovaného tvaru součástí a následnému vytvoření ohybu, díky čemuž se jedná o produktivní výrobu s krátkými manipulačními časy. [1; 3; 4]



Obr. 15 Sdružený nástroj [27].

2.1 Stříhání

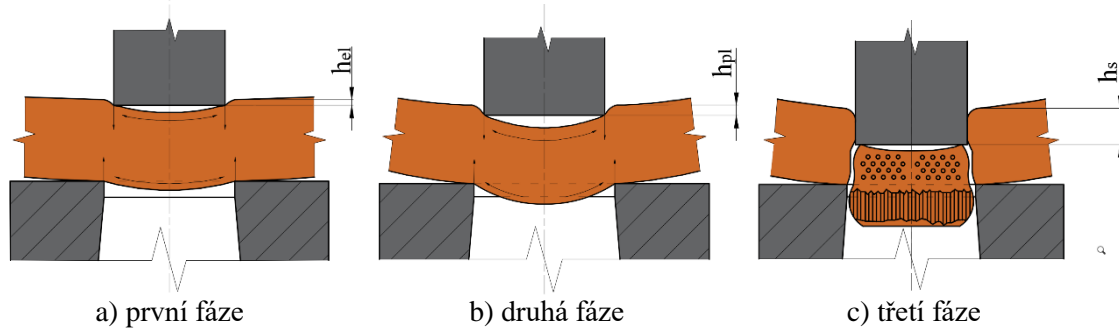
Jedná se o jedinou technologii, při které záměrně dochází k porušení vnitřní soudržnosti polotovaru. Lze ji dělit dle odstranění materiálu na dva základní druhy, děrování a vystřihování. Zatímco v procesu děrování (obr. 16a) je vystřížená část materiálu brána jako odpad, při vystřihování (obr. 16b) jde o součást a odpad tvoří děrovaný plech. [2; 3]



Obr. 16 Druhy stříhání [2].

Samotný proces spočívá v působení smykového napětí od pohyblivé a pevné části střížného nástroje. Vše probíhá v rezné rovině podél křivky stříhu, kde samotný průběh lze rozdělit do tří základních fází [1; 3]:

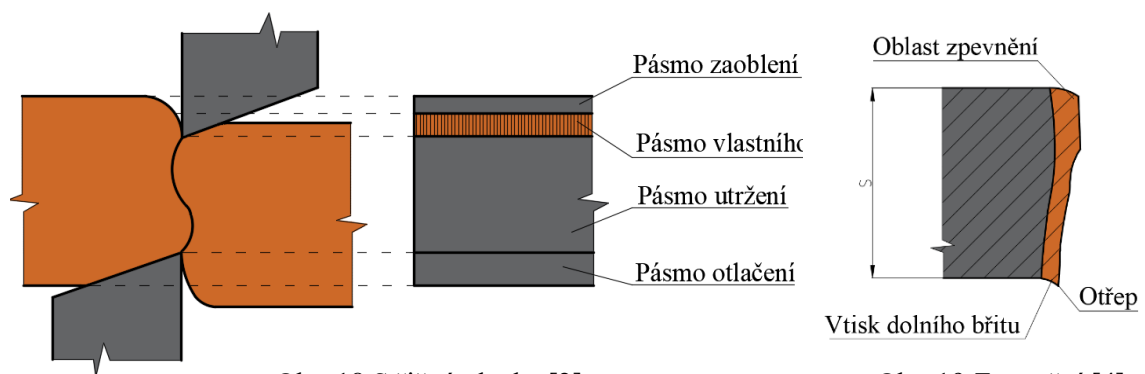
- První – hloubka elastického vniku h_{el} , znázorněná na obr. 17a, se pohybuje v závislosti na mechanických vlastnostech od 5 až 8 % tloušťky materiálu. Vlivem působení namáhání vznikají v kolmých rovinách na střížnou plochu silové dvojice, díky čemuž dochází k vytvoření nežádoucího ohybu materiálu. [1; 2; 30]



Obr. 17 Průběh stříhu [1].

- Druhá – vyvolané napětí překonává mez úměrnosti a vznikají trvalé plastické deformace. Vlákna v materiálu se natahují a deformují. Hloubka plastického vniku h_{pl} se pohybuje od 10 až 25 % tloušťky materiálu, viz obr. 17b. Přesné hodnoty závisí na mechanických vlastnostech. Proces v druhé fázi je také často označován jako pásmo vlastního stříhu. [1; 2; 3]
- Třetí – napětí převyšuje hodnotu meze pevnosti a dochází k oddělování materiálu. Postupně vznikají trhliny, které se v závislosti na velikosti střížné vůle a mechanických vlastnostech prodlužují, až dojde k finálnímu přetržení. Hloubka vniku střížníku h_s , zobrazená na obr. 17c, se pohybuje od 10 až 60 % tloušťky stěny. Materiál se oddělí dříve, než dojde k průchodu střížníku přes celou tloušťku. Poté následuje vytlačení výstřížku doprovázené otěrem střížných ploch. [1; 2; 3; 30; 41]

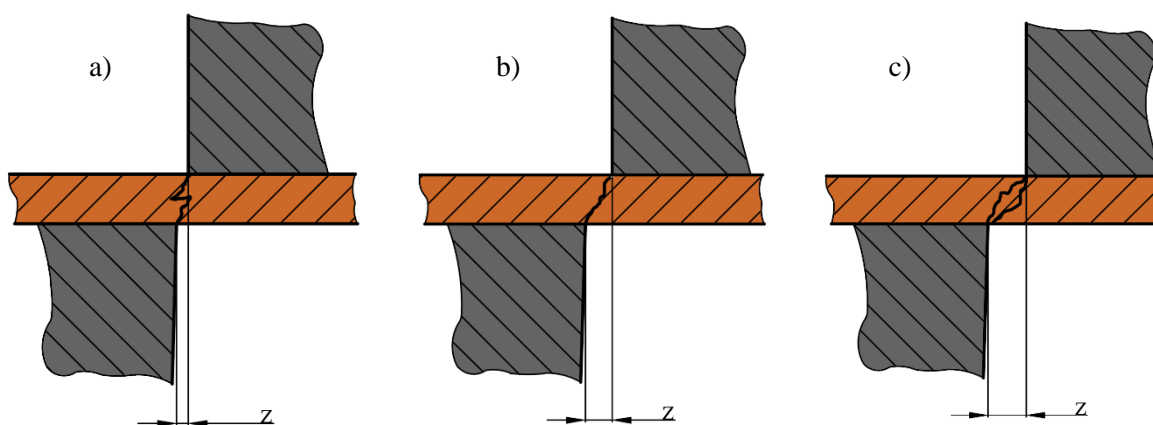
Po oddělení materiálu vzniká na součásti střížná plocha, která je znázorněná na obr. 18. Zároveň dochází k narůstajícímu zpevnění a roste i mez kluzu. Proces probíhá v blízkosti střížné plochy, kde vzniká největší přetvoření. V závislosti na mechanických vlastnostech a rozměrech součásti se jedná o hloubku 20 až 35 % tloušťky, což je znázorněno na obr. 19 spolu se vznikem otřepu v posledním pásmu otláčení. [31]



2.1.1 Střížná mezera

Střížná mezera představuje vzdálenost mezi protilehlými hranami nástroje v rovině kolmé na pohyb střížníku. Její velikost má vliv na trvanlivost břitu, kvalitu střížné plochy, potřebnou sílu a energii, opotřebení nástroje atd. Je volena s ohledem na tloušťku materiálu a splnění potřebné jakosti povrchu. Střížná vůle, značená symbolem v , je poté dvojnásobkem střížné mezery.

Při malé velikosti (obr. 20a) nedochází k výraznému ohybu součásti a vzniku ostrin. Zároveň je takto dosaženo horší kvality povrchu, na kterém začnou vznikat přestřížené a ochlazené prstence. Optimální velikost (obr. 20b) zaručuje setkání vznikajících trhlin v jedné ploše stříhu, čímž dojde k snadnému oddělení materiálu. Naopak příliš vysoké hodnoty (obr. 20c) způsobují vznik většího ohybu součásti spolu s nárůstem střížné síly. [1; 4; 30; 32; 41]



Obr. 20 Velikost střížné mezery [4].

Pro optimální stanovení střížné mezery pro plechy o tloušťce ≤ 3 mm lze zvažovat:

- Oehlerův vztah:

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

kde: s – tloušťka materiálu [mm]

c – součinitel závislý na stupni stříhu (0,005÷0,025) [-]; pro kvalitní povrch je volena vyšší hodnota

τ_s – pevnost ve stříhu [MPa];

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m$$

kde: R_m – mez pevnost v tahu [MPa] (2.2)

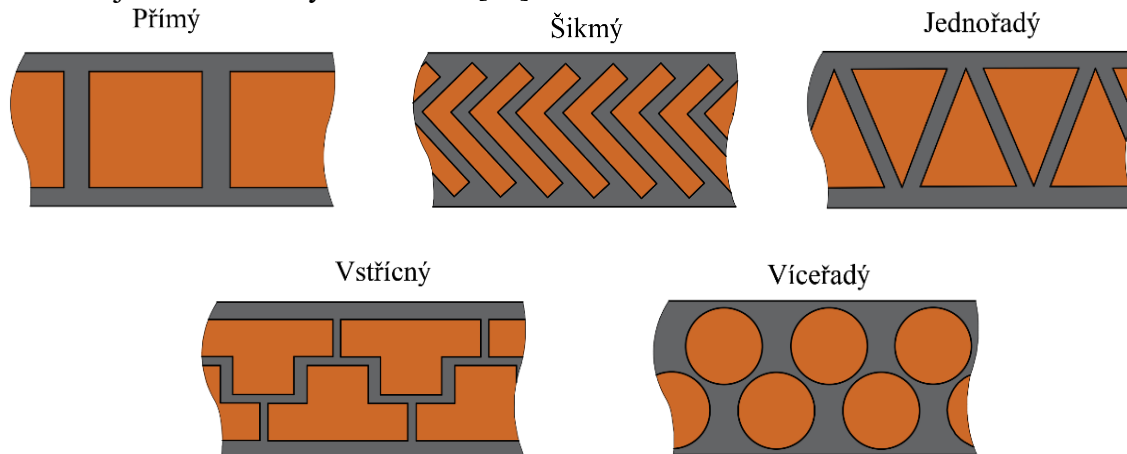
- Procentuální hodnotu z tloušťky materiálu (tab. 3).

Tab. 3 Velikost střížné vůle [30].

Materiál	Střížná vůle [% s]	
	Tloušťka do 2,5 mm	Tloušťka 2,5 až 6 mm
Měkká ocel	5	7 - 8
Středně tvrdá ocel	6	6 - 8
Tvrdá ocel	7 - 9	7 - 10
Hliník	4 - 7	5 - 9

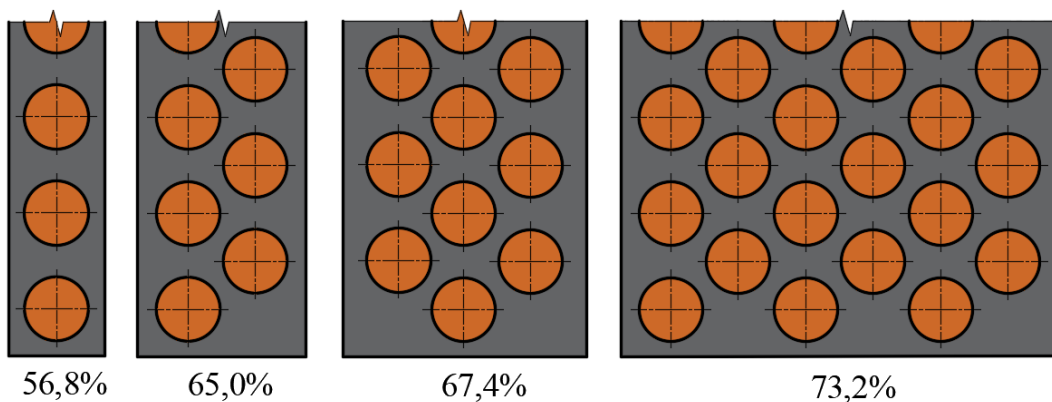
2.1.2 Rozmístění výstřížků a využitelnost

Technologie stříhání se nevyhnutelně pojí se vznikem materiálového odpadu. V důsledku toho je správná volba rozložení výstřížků jedním z nejdůležitějších kroků výrobního návrhu. Pro maximální využitelnost materiálu je vždy zvolen vhodný typ uspořádání dílců, kde základní možnosti jsou znázorněny na obr. 21. [33]



Obr. 21 Uspořádání výstřížků [32].

Celková využitelnost by poté neměla spadat pod 60 % celkové plochy polotovaru. Pokud by nebylo dosaženo této hranice, je zapotřebí zvolit vhodnější rozmístění nebo najít využití pro vzniklý technologický odpad. Jako jedna z možností se nabízí víceřadé uspořádání na širší pás plechu (obr. 22), díky čemuž je materiál lepe využit. [2; 4; 30]



Obr. 22 Využitelnost materiálu [2].

Pro vhodné rozmístění výstřížků a výpočet využitelnosti jsou při stříhání nejčastěji využívány svitky nebo pásy nastříhané z tabule plechu. Ekonomické využití materiálu z jednoho svitku lze vypočítat pomocí vzorce:

$$\eta_{sv} = \frac{S_v \cdot n_v}{S_{sv}} \cdot 100 \quad (2.3)$$

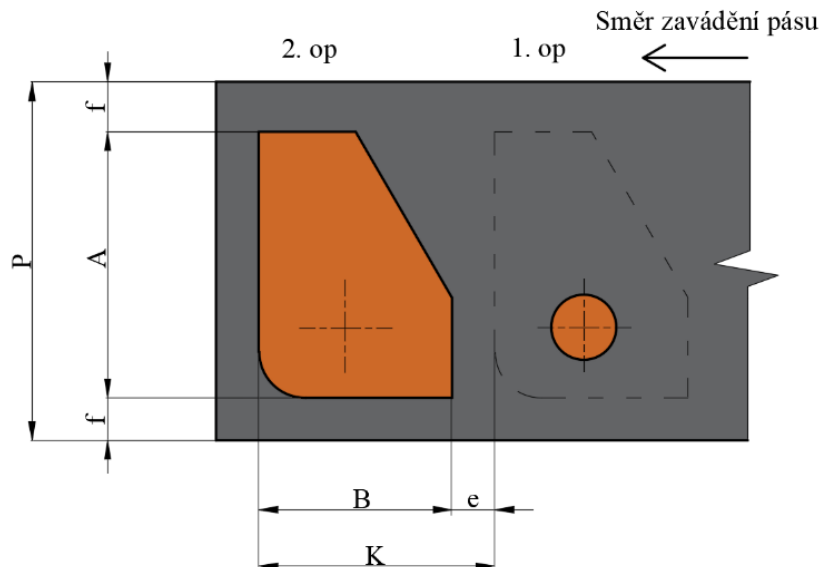
kde: n_v – počet výstřížků ze svitku [ks]

S_v – plocha výstřížku [mm^2]

S_{sv} – plocha svitku [mm^2]

Důležitým krokem je také stanovení základních parametrů, jako je šířka můstku e a velikost okraje f , na základě kterých je následně sestaven nástřihový plán (obr. 23). Hodnoty se odvíjí v závislosti na tloušťce materiálu a přesnosti výroby. V případě volby nulových okrajů se jedná o výrobu bez vzniku postranního odpadu, kde je využito celé šířky polotovaru. Vzniklý odpad

tak tvoří pouze vystřižené otvory a případný tvarový obrys součásti, díky čemuž je dosaženo vysoké využitelnosti materiálu. Nástřihový plán je orientovaný zpravidla z pravé strany, kde je umístěna první střížná operace. [33]



Obr. 23 Nástřihový plán [32].

Zbylé parametry jako je délka kroku **K** a šířka pásu **P** lze vypočítat:

$$K = B + e \quad (2.4)$$

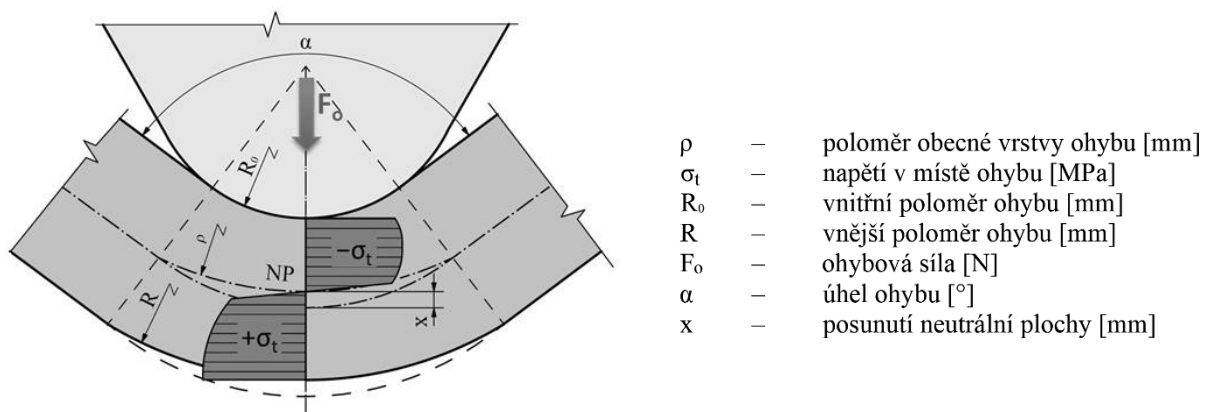
kde: e – velikost můstku [mm]
 B – délka výstřižku [mm]

$$P = A + 2 \cdot f \quad (2.5)$$

kde: A – šířka výstřižku [mm]
 f – velikost okraje [mm]

2.2 Ohýbání

Je technologie, kdy dochází k trvalé změně křivosti dílce vlivem působení ohybového momentu nebo dílčích lokálních sil. Proces je prováděn za studena v závislosti na mechanických vlastnostech a velikosti ohybového momentu. Na obr. 24 je čerchovanou čarou vyznačena neutrální plocha **NP**, jejíž poloha je důležitá pro správný výpočet celkové rozvinuté délky součásti. Jedná se o spojnici bodů, v nichž jsou působící napětí nulová a nevzniká zde deformace materiálu. Při ohybu postupně dochází k jejímu posouvání ve směru tlakových napětí, přičemž celková délka zůstává stejná. [1; 3; 33]



Obr. 24 Schéma ohýbání [23].

Pro správné určení rozvinutého polotovaru je nutné stanovit celkovou délku neutrální plochy v rovných a zaoblených částech dílce. Zatímco v rovných je hodnota jednoduše odečtena z výkresu, jelikož zde nedochází k posunutí neutrální plochy, v zakřivených je spočítána z následujícího vztahu [33]:

$$L_{oi} = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho_0 \quad (2.6)$$

kde: γ – úhel ohnutého úseku [°]

$$\gamma = 180 - \alpha \quad (2.7)$$

kde: α – úhel ohybu [°]

ρ_0 – poloměr neutrální plochy [mm]; pokud je šířka až třikrát větší než tloušťka materiálu, platí:

$$\rho_0 = R_0 + x_0 \cdot s \quad (2.8)$$

kde: R_0 – vnitřní poloměr ohybu [mm]

x_0 – součinitel posunutí neutrální plochy [-]; viz tab. 4

Tab. 4 Hodnoty součinitele x_0 [2].

R_0/s [-]	0,5	1	2	3	4
x_0 [-]	0,37	0,41	0,45	0,46	0,47

Celková délka neutrální plochy je poté spočítána jako součet všech rovných a zakřivených částí dílce ze vzorce:

$$L_c = \sum_{i=1}^n L_{ri} + \sum_{i=1}^n L_{oi} \quad (2.9)$$

2.2.1 Mezní poloměry ohybu a odpružení

Aby byla překročena mez kluzu materiálu, je zapotřebí určit maximální poloměr ohybu. V případě většího poloměru by nedošlo k trvalé plastické deformaci a materiál by se navrátil zpět do původní polohy. Velikost hodnoty je závislá především na tloušťce a druhu materiálu a je vypočítána za vztahu [1; 3; 4]:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad (2.10)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu [MPa]; pro ocel $2,07 \cdot 10^5$ MPa

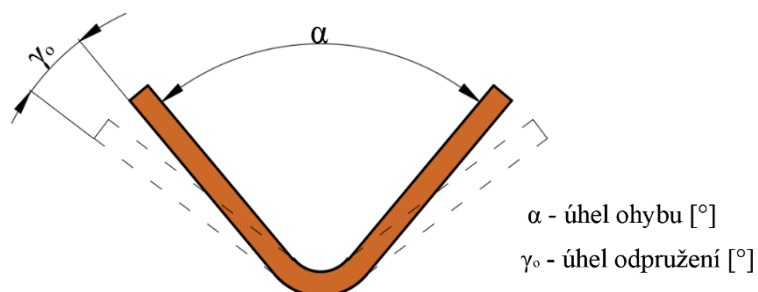
Druhým poloměrem ohybu, který je nutný určit a kontrolovat, je minimální R_{min} . Velikost je vypočítána především z důvodu zamezení vzniku trhlin a nežádoucích porušení. V praxi je však tato hodnota vždy navýšena nejméně o 10 až 20 % kvůli bezpečnosti. Hlavními parametry pro výpočet je tloušťka stěny dílce a anizotropie. Pro ohyb je žádoucí, aby jeho osa byla kolmá na směr vláken v materiálu. V opačném případě může hodnota minimálního zaoblení vzrůst až dvojnásobně. Velikost lze spočítat ze vzorce [1; 3; 4]:

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = c_2 \cdot s \quad (2.11)$$

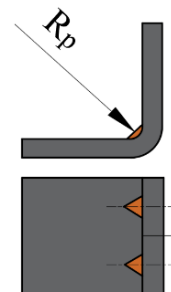
kde: ε_c – mezní prodloužení [-]

c_2 – součinitel ohybu [-]; pro měkkou ocel $0,4 \div 0,8$

S technologií ohýbání se nevyhnutelně pojí i nežádoucí deformace zpětného odpružení. Z důvodu vzniku elastických deformací má materiál snahu se po odlehčení navracet do původní polohy (obr. 25). Deformace je závislá především na mechanických vlastnostech a tloušťce materiálu, konstrukci nástroje, parametrech ohybu, modulu pružnosti atd. Obecně se pohybuje v rozmezí 3 až 15°. [1; 3; 34]



Obr. 25 Schéma odpružení [2].



Obr. 26 Vyztužovací žebra [24].

K omezení či celkové eliminaci odpružení lze v dnešní době použít více způsobů. Mezi nejčastější patří:

- vylišování vyztužovacích žebor do rohů součásti (obr. 26),
- vytvoření prolisů na výlisku,
- kalibrace – na konci ohybové operace dojde ke zvětšení síly, díky čemuž dochází k malé plastické deformaci a hodnota odpružení se snižuje,
- ohnutí materiálu s úhlem zvětšeným o hodnotu odpružení. Při uvolnění dojde k navrácení součásti do požadovaného tvaru.

Celková velikost úhlu odpružení při ohybu V lze stanovit ze vzorce:

$$\gamma_0 = \arctg\left(0,375 \cdot \frac{l_v}{k_0 \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}\right) \quad (2.12)$$

kde: l_v – vzdálenost ohybných podpor [mm]

k_0 – součinitel určující polohu neutrální plochy [-]; viz tab. 5

 Tab. 5 Hodnoty součinitele k_0 [35].

R_0/s [-]	0,5	1	2	3	4	5
k_0 [-]	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,52

Na celkové velikosti odpružení se podílí i ohybová vůle, která má vliv na vzdálenost podpor l_v , ztenčení stěny materiálu a celkovou sílu. Je spočítána pomocí jednoduchého vztahu:

$$v_0 = s_{max} + c_0 \cdot s \quad (2.13)$$

kde: s_{max} – maximální tloušťka materiálu [mm]

c_0 – koeficient vlivu tření dílce [-]; viz tab. 6

 Tab. 6 Hodnoty koeficientu c_0 [35].

Tloušťka [mm]	Délka ramene ohybu [mm]		
	10 ÷ 35	35 ÷ 50	50 ÷ 100
0,5 ÷ 2	0,1	0,1	0,15
2 ÷ 4	0,08	0,1	0,1

2.3 Síly a práce

S ohledem na vhodnou volbu tvářecího stroje je zapotřebí určit celkovou tvářecí sílu a práci. Vzhledem k výrobě ve sdruženém nástroji jsou jednotlivé technologie sloučené a celkové hodnoty jsou dány součtem dílčích sil a prací pro ohýbací a střížnou operaci:

$$F_c = F_s + F_{co} \quad (2.14)$$

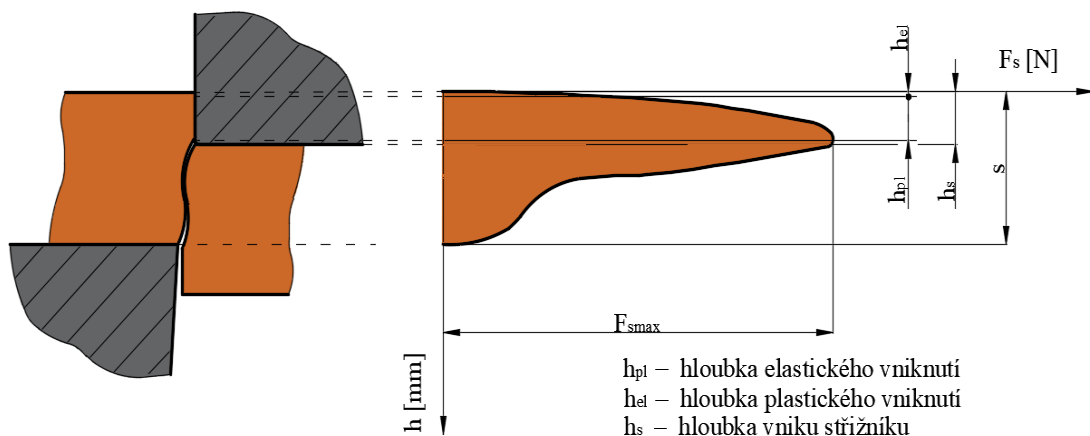
kde: F_s – střížná síla [N]
 F_{co} – celková ohybová síla [N]

$$A_c = A_s + A_o \quad (2.15)$$

kde: A_s – střížná práce [J]
 A_o – ohybová práce [J]

Aby bylo možné konečné hodnoty spočítat, je nutné znát jednotlivé položky:

- Střížná – průběh je typického tvaru znázorněného na obr. 27. Zpočátku dochází k rychlému nárůstu v oblasti elastických a plastických deformací a materiál se začne zpevňovat. V této oblasti je dosaženo maximálních hodnot síly F_{max} . S postupným vznikem prvních trhlin začne docházet k mírnému poklesu, až do hloubky vniku střížníku h_s , po které následuje rychlý pokles způsobený lomem součásti. Ve finální fázi dojde opět ke zmírnění poklesu vlivem přetrvávajícího tření. [2; 3; 30; 33]



Obr. 27 Průběh střížné síly [1].

Velikost střížné síly je dána následujícím vztahem:

$$F_s = n \cdot \tau_s \cdot S_s \quad (2.16)$$

kde: S_s – střížná plocha [mm²]

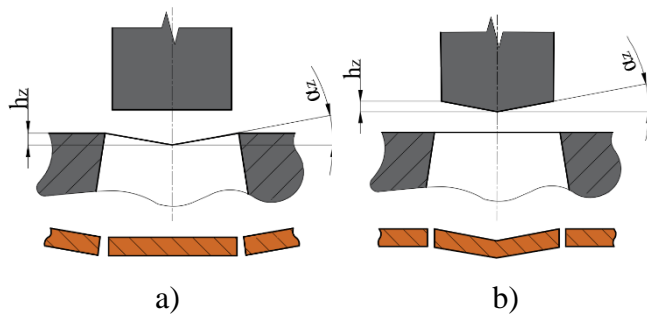
$$S_s = l_h \cdot s \quad (2.17)$$

kde: l_h – délka střížné hrany [mm²]

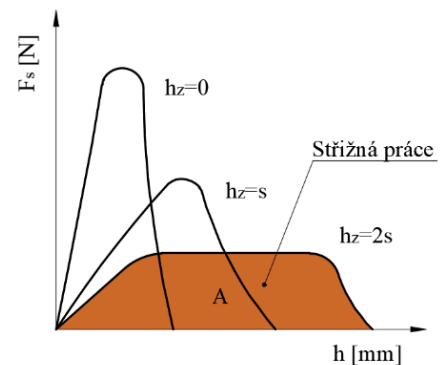
n – koeficient otupení [-]; navýšení síly z důvodu opotřebení nástroje (1,2 ÷ 1,5)

Z hlediska ekonomické volby stroje lze docílit snížení střížné síly pomocí speciálních úprav hran nástrojů. Díky tomu je možné redukovat hodnotu zpravidla o 30 až 40 %, přičemž celková práce není změněna. V případě dlouhých výstřížků se úpravy provádí i z technologického hlediska. Jedná se například o lepší trvanlivost nástroje, snížení zvlnění materiálu a vzniku rázů. Při vystřihování je prováděno zkosení střížnice v rozmezí 3 až 8° a čelo střížníku zůstává rovné, viz obr. 28a. Díky postupnému vnikání nástroje do materiálu je zapotřebí menší potřebná síla. V opačném případě děrování je

zkosen naopak střížník a střížnice zůstává rovná, viz obr. 28b, čímž vznikají deformace pouze na vystříhnuté části dílce, v tomto případě odpadu. Úpravy nejsou doporučovány pro stříhání složitých tvarů. [1; 30; 32; 33]



Obr. 28 Úpravy střížných hran [32].



Obr. 29 Velikost střížných sil [33].

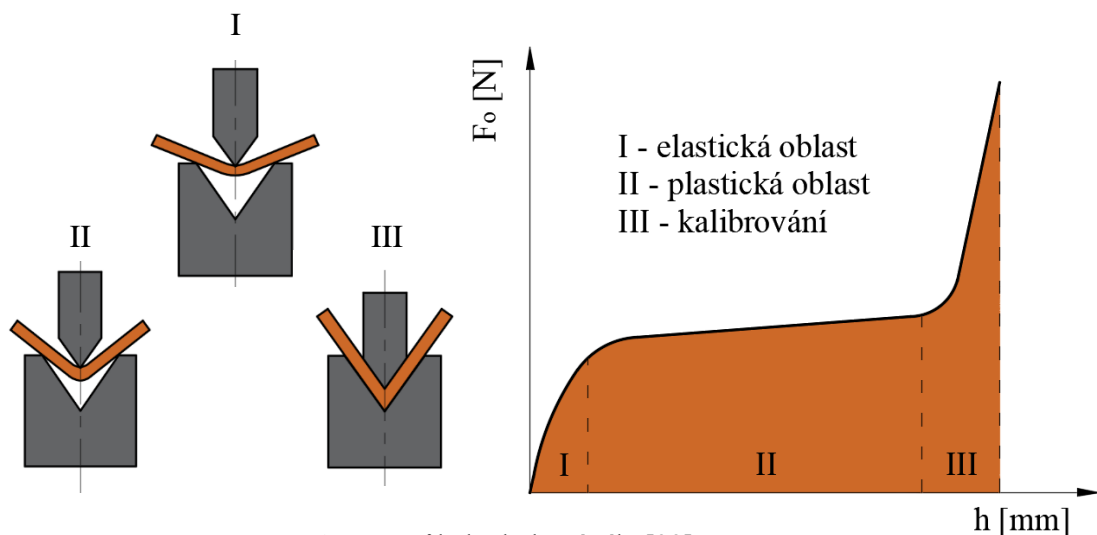
Na obr. 29 je znázorněný vliv změny geometrie střížných hran na celkovou velikost síly v závislosti na hloubce zkosení h_z . Maximální hodnota je v případě zkosení nástroje menší, avšak celková střížná práce zůstává stejná. [1; 2; 30; 33]

Střížná práce je spočítána ze vzorce:

$$A_s = \frac{F_s \cdot \lambda \cdot s}{1000} \quad (2.18)$$

kde: λ – součinitel plnosti materiálu [-]; viz příloha 2

- Ohybová – průběh je dělen na základní tři oblasti, kde se křivky mírně liší v závislosti na druhu ohybu a materiálu, avšak průběh zůstává totožný. Celý graf je znázorněn na obr. 30. V první fázi zaznamenává síla prudký nárůst kvůli vzniku elastických deformací. Po překonání meze kluzu nastávají plastické deformace, během nichž je postupný nárůst síly způsoben deformačním zpevněním materiálu. Jedná se o nejdelší oblast v ohybovém procesu. V poslední fázi je prováděna kalibrace dílce, během čehož je dosaženo maximálních hodnot sil, kvůli působení vysokých tlaků [1; 2; 4; 33]



Obr. 30 Průběh ohybové síly [33].

V případě vyšších nároků na přesnost výroby a použití přidržovače je velikost ohybové síly navýšena o kalibrační a přidržovací hodnotu. Tímto je zjištěna celková síla potřebná pro správnou volbu stroje a zhotovení součástí. Je spočítána pro ohyb \mathbf{V} z následujícího vzorce [2; 32]:

$$F_{co} = \sum_{i=1}^n F_{oi} = F_o + F_p + F_k \quad (2.19)$$

kde: F_o – ohybová síla [N]

$$F_o = \frac{b_0 \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_0} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (2.20)$$

kde: b_0 – šířka ohýbaného pásu [mm]

F_p – přidržovací síla [N]

$$F_p = (0,25 \div 0,3) \cdot F_o \quad (2.21)$$

F_k – kalibrační síla [N]

$$F_k = (2,0 \div 2,5) \cdot F_o \quad (2.22)$$

Celková ohybová práce charakterizuje plochu pod křivkou, která se v průběhu procesu zvětšuje. Je dána pro ohyb \mathbf{V} empirickým vztahem:

$$A_o = \frac{F_{co} \cdot h_v \cdot \psi}{1000} \quad (2.23)$$

kde: ψ – součinitel plnosti diagramu [-]; pro ocel $\psi = (0,5 \div 0,65)$

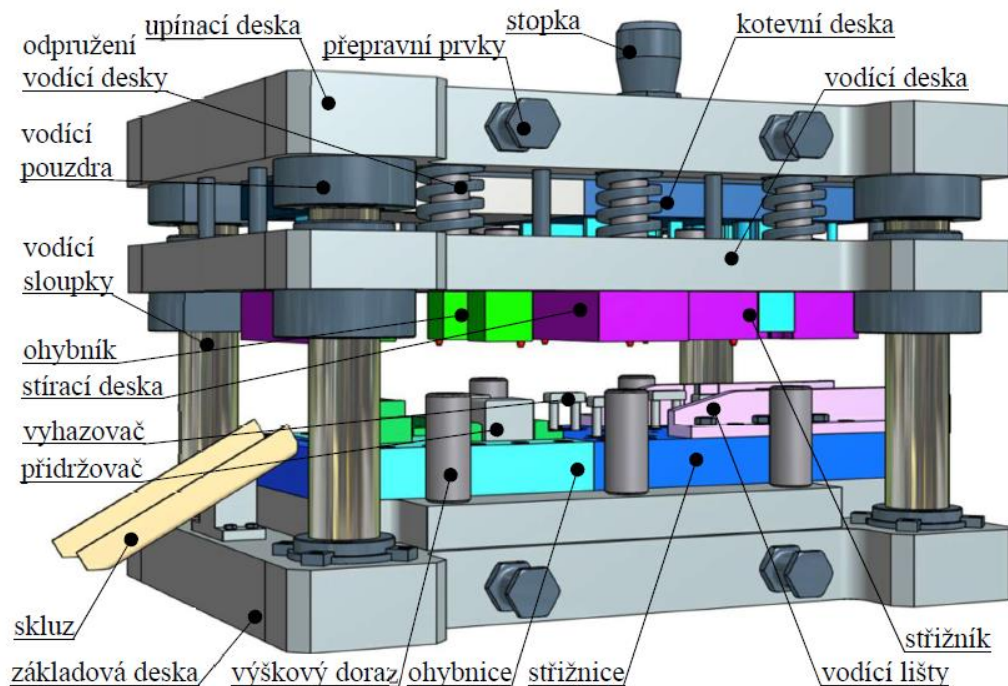
h_v – pracovní zdvih [mm]

2.4 Nástroj

Sdružený nástroj je určen pro sjednocení více tvářecích operací. Hlavní výhodou jsou nižší časy při manipulaci s materiálem a tím i větší produktivita výroby. Celou sestavu (obr. 31) lze obecně rozdělit na horní a spodní část, které jsou složeny z několika univerzálních prvků [36]:

- Stopka – slouží pro správné vystředění a upnutí horní části nástroje do beranu lisu. Pro správný přenos energie je stopka vždy umístěna do těžiště sil a je potřeba dbát na kolmost vůči nástroji. [32; 35; 36]
- Upínací deska – představuje plochu pro upnutí stopky, opěrné a kotevní desky. Ke stroji je nejčastěji upnuta magneticky nebo pomocí upínek a drážek. [33; 36]
- Horní opěrná deska – je základnou k opření střížníků mezi upínací a kotevní deskou. Materiál je předem tepelně zpracován z důvodu ochrany před vtlačení střížníků. [33]
- Kotevní deska – je základním prvkem po upnutí ohybníků a střížníků.
- Přidržovač – plní funkci přidržení plechu při ohybu materiálu
- Vodící sloupky a pouzdra – zajišťují přesné umístění a vedení horní a spodní části nástroje.
- Základová deska – jde o spodní část nástroje, díky které je sestava upnuta ke stolu lisu. Mezi časté způsoby upnutí patří T – drážky a šrouby nebo magnet. [32; 36]
- Podpěrná deska – jedná se o spodní základnu pro upnutí střížnice a ohybnice, jenž je předem zakalena kvůli vysokým požadavkům na pevnost a tvrdost materiálu. [36]
- Vodící deska – slouží pro správné vedení střížníků, díky čemuž částečně eliminuje ztrátu vzpěrné stability. [33]
- Podpěrný plech – slouží pro správné zavedení polotovaru.
- Převážné prvky – jsou konstruovány pro bezpečnou manipulaci s nástrojem.

- Vodící lišty – jsou určeny ke správnému navedení plechu do nástroje. Bývají uloženy mezi střížnicí a vodící deskou. [36]
- Skluz – používán pro odvod finálních dílců z nástroje.

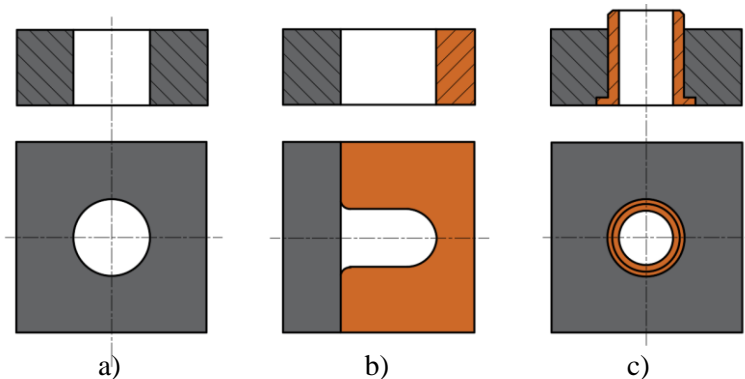


Obr. 31 Sdružený nástroj [37].

2.4.1 Funkční prvky

Nástroj obsahuje také funkční komponenty, mezi nimiž probíhá samotná výroba součástí. Vzhledem k funkční výrobě jsou na ně kladeny vyšší požadavky na materiál, rozměrovou přesnost a mechanické vlastnosti. Mezi základní patří [31; 33; 35]:

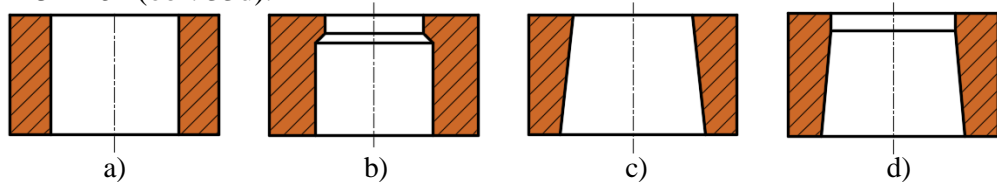
- Střížnice – tvoří funkční část nástroje, která je nejčastěji pomocí šroubů pevně uchycena na základové desce. Dle konstrukce se dělí na:
 - Celistvé – jsou vyrobeny z jednoho kusu materiálu (obr. 32a). Hlavní využití je při stříhání malých a tvarově jednoduchých výstřížků.
 - Skládáné – jedná se o střížnice složené z více částí, díky čemuž se značně snižují náklady na zhotovení (obr. 32b).
 - Vložkované – z nástrojové oceli je vyrobena pouze funkční vložka, která je upevněna v objímce (obr. 32c). Využití je především v sériové výrobě.



Obr. 32 Konstrukce střížnic [35].

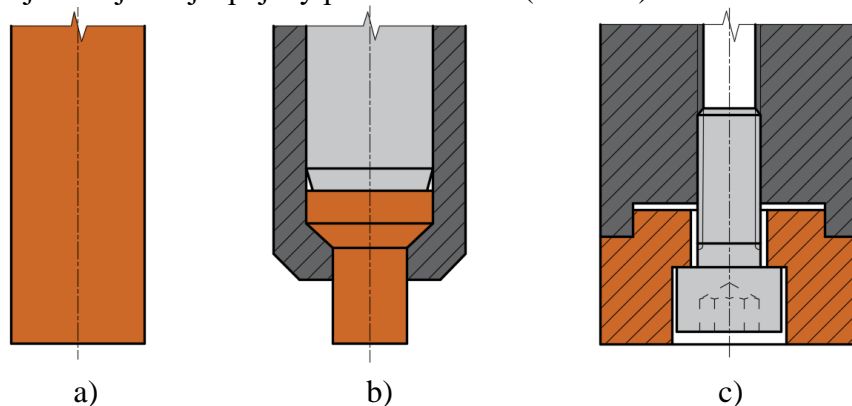
Základní část tvoří i střižné otvory. Z hlediska snížení průtláčné síly lze využít mnoha uprav geometrie, kde mezi nejčastější tvary patří [31; 32; 35]:

- Válcový – jedná se o jednoduchý otvor bez odlehčení, který je využíván především při výrobě rozměrových součástí, nebo operací, kdy je zapotřebí navrácení výstřížku pomocí vyhazovače (obr. 33a).
- Válcový vybraný – díky fazetce nedochází ke změně průměru během přebroušování (obr. 33b). Použití je především pro malé otvory.
- Kuželový – vrchní část má požadovaný průměr, který se nadále rozšiřuje ve tvaru kužele. Je vhodný pro malé součásti s nižšími požadavky na přesnost výroby a kvalitu střižné plochy. Sklon je závislý na tloušťce plechu, přičemž se pohybuje od 10' do 1° (obr. 33c).
- Kuželový s fazetkou – používá se pro přesnou výrobu a složité dílce. Vrchní část je tvořena fazetkou o určené hloubce, přičemž úhel zkosení nabývá hodnot od 3 do 5° (obr. 33d).



Obr. 33 Geometrie střižných hran [35].

- Střižníky – jedná se o funkční část nástroje, jejichž úkolem je zajistit průběh střižného procesu. Jsou zde kladeny vysoké požadavky na tuhost materiálu, správné upnutí, odolnost proti rázům a přesný tvar výstřížku. Upínání je prováděno do kotevní desky pomocí válcové hlavy na střižníku, nebo pomocí šroubů a kolíků. Dle velikosti lze střižníky dělit na [31; 32; 35; 36]:
 - Celistvé – jsou vyrobeny z jednoho kusu materiálu a využívají se především pro malé výstřížky (obr. 34a). Hlavní výhodou je především jednoduchá výroba.
 - Dělené malé – používají se v situaci, kdy celistvý střižník nespĺňuje podmínku vzpěrné stability. Funkční část z nástrojové oceli je uložena do těla z konstrukční oceli (obr. 34b). Díky tomu tvoří daleko menší délku než v případě celistvé varianty, čímž se snižují náklady na výrobu.
 - Dělené velké – fungují na stejném principu jako v případě dělených malých střižníků. Díky držáku dochází k snadné manipulaci s upínáním. Funkční část a držák jsou nejčastěji spojeny pomocí šroubu (obr. 34c).

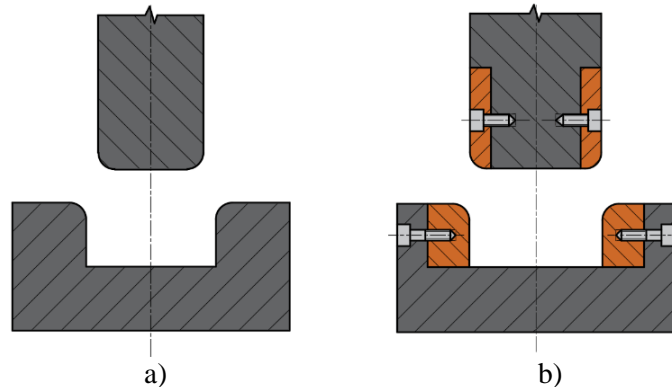


Obr. 34 Konstrukce střižníků [37].

- Ohybníky a ohybnice – dohromady představují funkční část ohybového nástroje. Ohybnice je pevně uložena na základové nebo podpěrné desce, zatímco ohybník tvoří

pohyblivou část uchycenou v kotevní desce. Konstrukce je závislá především na velikosti série, kde možná provedení jsou [33; 35; 36]:

- Celistvé – jsou vyrobeny z jednoho kusu materiálu (obr. 35a). Používají se především pro rozměrově menší dílce.
- Vložkové – využívají vložky z nástrojové oceli, které jsou pevně připevněné na tělo vyrobené z konstrukčního materiálu (obr. 35b).

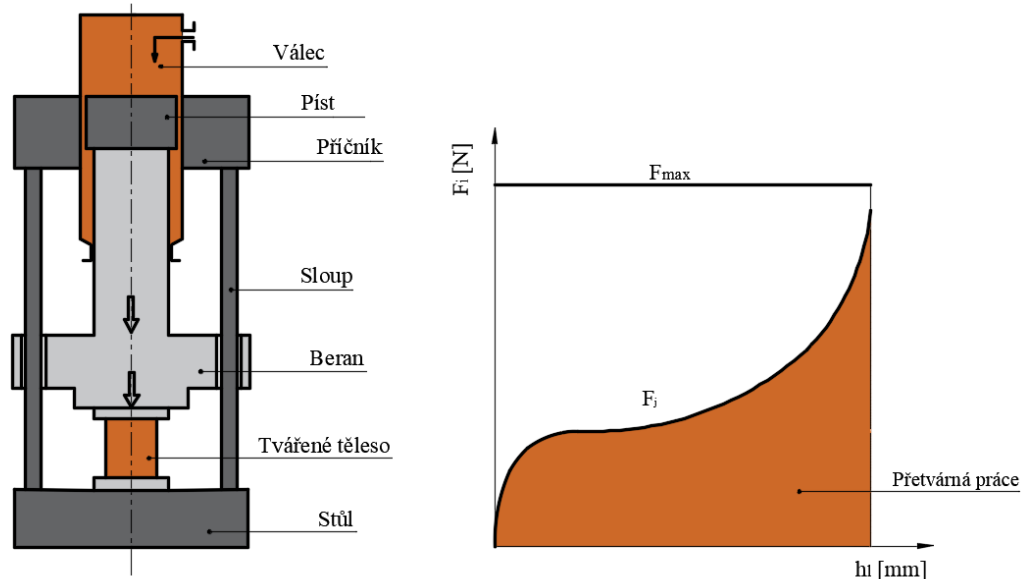


Obr. 35 Konstrukce ohýbadel [35].

2.5 Stroje

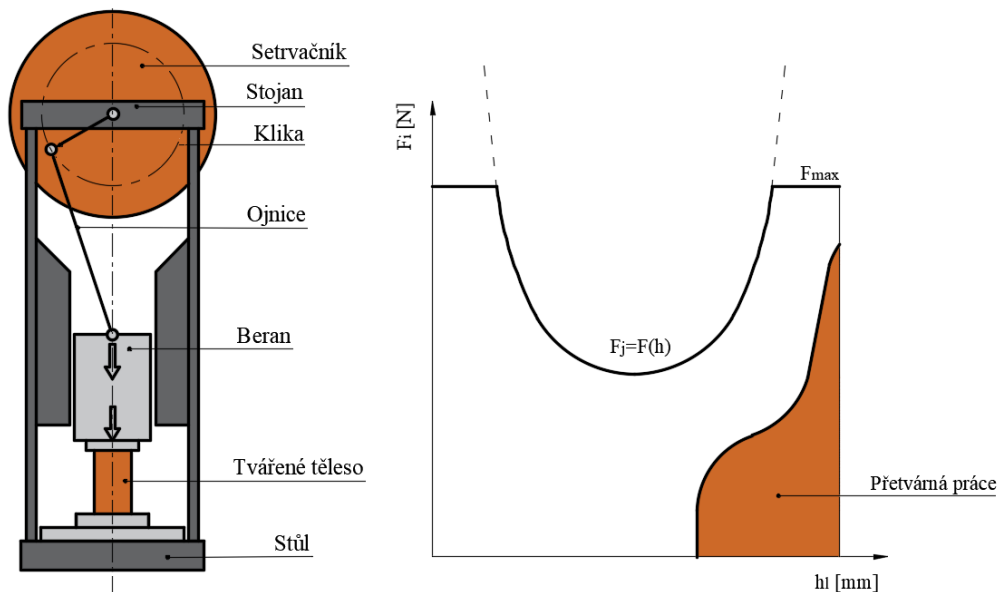
Správná volba stroje je jeden nejdůležitějších kroků při výrobě součásti. Výběr je založen na mnoha požadovaných činitelích pro funkční výrobu, mezi které patří tvářecí síla a práce, rozměry pracovního stolu, zdvih, hmotnost stroje, možnost upínání atd. Pro použití sdružených nástrojů se nejčastěji jedná o lisy, jejichž princip je založen na působení mechanické síly ve formě tlaku. Mezi základní druhy patří [38; 39]:

- Hydraulický – využívá pro přenos tlakové energie kapalně médium s funkcí založené na Pascalově zákoně, který říká, že tlak šířený kapalinou v uzavřené nádobě je ve všech místech stejný. Díky tomu představuje dráha velkého pístu násobek pohybu pístu malého a tlaková síla i navzdory konstantní práci roste (obr. 36). Mezi hlavní výhody patří vyšší výkon oproti mechanickým lisům, kde síla dosahuje až 20MN. Celý chod je velmi tichý a klidný se snadnou automatizací. Nevýhodou stroje je naopak složitá konstrukce a opravitelnost. [39; 40; 41; 46]



Obr. 36 Schéma hydraulického lisu [47].

- Mechanický – patří mezi nejvíce využívané silové stroje pro sdužené nástroje, jejichž funkce je založena na přenosu kinetické a potenciální energie. Mezi nejpoužívanější patří klikové mechanismy (obr. 37) s principem změny rotačního pohybu kliky na přímočarý posuv beranu pomocí ojnice. Během procesu dochází k proměnné rychlosti a velikosti síly, kde maximálních jmenovitých hodnot je dosahováno až těsně před dolní úvratí a hrozí přetížení stroje v případě vysokých sil. Nejčastěji jsou konstruovány pro 250 až 500 kN. Mezi hlavní výhody patří nižší pořizovací a udržovací náklady. [39; 40; 42; 46]



Obr. 37 Schéma klikového lisu [47].

2.6 Technologičnost

Zhodnocení technologičnosti je provedeno vždy před samotným návrhem výroby. Jedná se o souhrn podmínek, které musí zadaný dílec splňovat, aby byla zajištěna optimální hospodárnost výroby a součást byla technologicky proveditelná. Mezi základní podmínky technologičnosti stříhání a ohýbání patří [43; 45]:

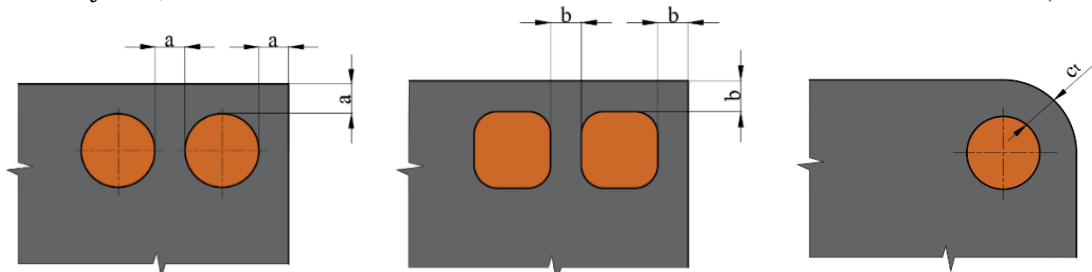
- stříhat pouze materiály do meze pevnosti 1000 až 1200 MPa. Nejlepší kvality je dosahováno u středně tvrdých materiálů,
- drsnost střížné plochy odpovídá rozmezí Ra 3,2 až Ra 6,3. Je nevhodné předepisovat na výkrese menší drsnosti,
- ostré hrany výstřižků je nutné zaoblit či zkosit,
- přesnost při jednoduchém stříhání dosahuje řádu IT12 až IT14, v případě použití hledáček a vodících stojánek IT9 až IT11,
- možná délka vystupujících částí na výstřižku musí dosahovat minimálně 1,5násobku tloušťky materiálu,
- z hlediska ekonomičnosti upřednostnit kruhové otvory před tvarově složitými,
- minimální průměr kruhového otvoru je stejný jako tloušťka materiálu. V případě měkké oceli se jedná o 0,6 až 0,8 mm,
- upřednostnit plynulé přechody mezi zaoblenou a rovnou částí výstřižku,
- vyčnívající výstupky na součásti by neměly být menší, než je 1,5násobek tloušťky materiálu,

- dodržet minimální vzdálenost mezi otvory nebo otvoru od okraje, viz obr. 38. U měkčích materiálu je třeba zvětšit vzdálenost o 10 až 25 % v závislosti na tloušťce plechu. Vzdálenosti jsou spočteny ze vzorců:

$$a \geq 0,8 \cdot s \quad (2.24)$$

$$b > s \quad (2.25)$$

$$c_t \geq 1,5 \cdot s \quad (2.26)$$



Obr. 38 Vzdálenost otvorů [44].

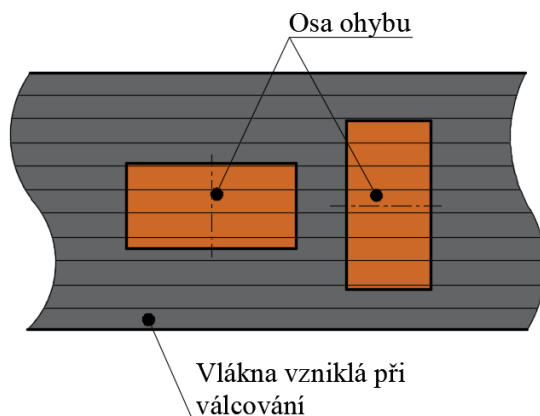
- osu ohybu vést nejlépe v kolmém směru vláken materiálu vzhledem k anizotropii a riziku popraskání (obr. 39),
- minimální vzdálenost otvorů od středu poloměru ohybu a_o musí dosahovat dostatečné vzdálenosti (obr. 40):

$$a_o \geq 2 \cdot s \quad (2.27)$$

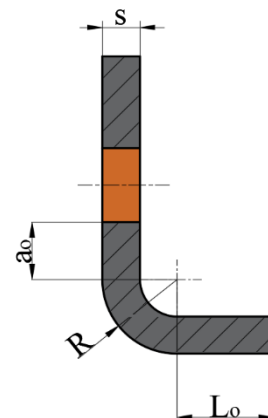
- délka ramene L_o (obr. 40) musí dosahovat minimálně dvojnásobku tloušťky materiálu:

$$L_o \geq 2 \cdot s \quad (2.28)$$

- je možné připustit až 20% ztenčení materiálu v místě ohybu,
- materiál je nutné fixovat z důvodů rizik posunutí krátkých nebo nestejně dlouhých částí při procesu ohybu,
- zvolit nejmenší poloměr ohybu, aby bylo snížena velikost odpružení, ale také co největší, aby bylo zamezeno vzniku trhlin v materiálu,
- není vhodné předepisovat úzké tolerance ohybu.



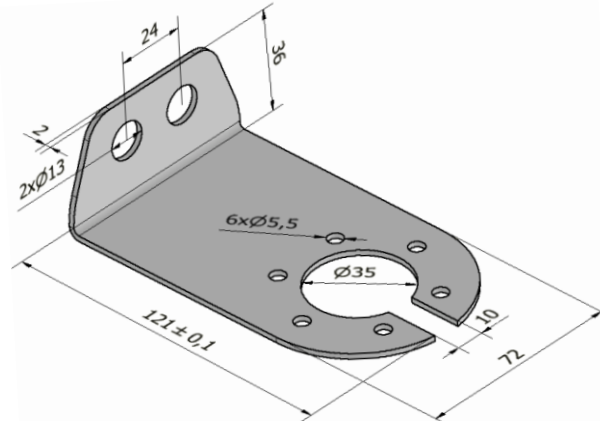
Obr. 39 Směr vláken [45].



Obr. 40 Vzdálenost otvoru a ramene [45].

3 NÁVRH VÝROBY

Vyráběným dílcem je držák (obr. 41), který slouží k uchycení elektrické zásuvky na tažné zařízení automobilu. Součást bude zhotovena z oceli DC01 s tloušťkou stěny 2 mm, která bude následně pozinkována. Velikost série činí 100 000 ks/rok. Z možných variant výroby byly zvoleny jako nejvhodnější technologie stříhání a ohýbání ve sdruženém nástroji.



Obr. 41 Držák zásuvky.

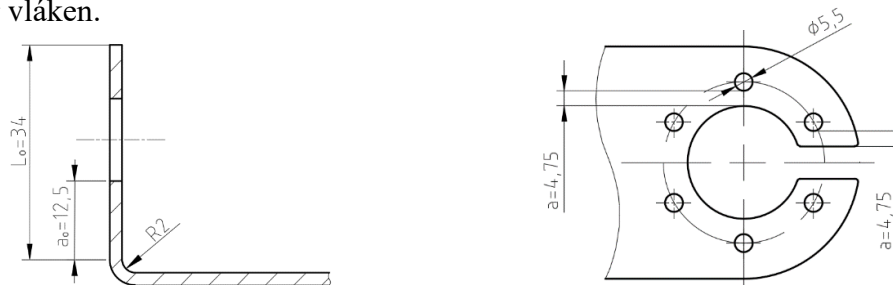
Z hlediska technologičnosti je nutné zkontrolovat:

- Přesnost – při technologii stříhání s vodícími stojánky a hledáčky je zpravidla dosaženo řádu IT9 až IT11. Všechny mezní úchytky rozměrů součásti jsou dány dle normy ČSN ISO 2768-mK, čímž je požadavek splněn.
- Drsnost – střížná plocha odpovídá rozmezí Ra 3,2 až Ra 6,3. Požadovaná plocha součásti je Ra 6,3.
- Minimální poloměr ohybu – je spočítán dle (2.11):

$$R_{min} = c_2 \cdot s = 0,6 \cdot 2 = 1,2 \text{ mm}$$

kde: c_2 – součinitel ohybu [-]; bylo zvoleno 0,6 z rozsahu $0,5 \div 0,6$ určeného pro měkkou ocel.

Poloměr ohybu na součásti o velikosti 2 mm (obr. 42) se nachází nad minimální hodnotou a tedy vyhovuje kritériu za předpokladu, že osa ohybu je umístěna kolmo na směr vláken.



Obr. 42 Rozměry součásti.

- Maximální poloměr ohybu – určí se dle (2.10):

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{2}{2} \cdot \left(\frac{2,07 \cdot 10^5}{280} - 1 \right) = 738,29 \text{ mm}$$

Z výsledné hodnoty je zřejmé, že maximální poloměr je značně vyšší než všechny poloměry na součásti.

- Minimální průměr kruhového otvoru – pro ocel je stanoveno rozmezí 0,6 až 0,8 mm. Velikost by taktéž měla být minimálně rovna tloušťce materiálu. Nejmenší otvor na součásti má průměr 5,5 mm (obr. 42).

- Vzdálenost mezi otvory nebo otvoru od okraje – jelikož součást obsahuje pouze kruhové otvory, hodnota je spočítána dle (2.24):

$$a \geq 2 \cdot s$$

$$4,75 \geq 0,8 \cdot 2$$

$$4,75 \geq 1,6$$

Nejmenší vzdálenost na součásti je 4,75 mm (obr. 42).

- Minimální vzdálenost otvorů od středu poloměru – bude určena dle (2.27):

$$a_o \geq 2 \cdot s$$

$$12,5 \geq 2 \cdot 2$$

$$12,5 \geq 4$$

Nejkratší vzdálenost na součásti je 12,5 mm (obr. 42).

- Délka ohýbaného ramene L_o – podmínka je splněna, jelikož nejkratší délka ramene u součásti je 34 mm (obr. 42), což je více než dvojnásobek tloušťky materiálu.

Součást vyhovuje ve všech podmínkách technologičnosti a lze ji požadovat za vyrobitebnou v případě, že osa ohybu bude umístěna kolmo na směr vláken v materiálu.

3.1 Rozvinutý tvar součásti

Celková rozvinutá délka dílce je základním parametrem pro správný návrh polotovaru a vytvoření nástřihového plánu. Držák je tvořen ze tří úseků, konkrétně dvou rovných a jednoho zaobleného, viz obr. 43. Zatímco u rovných částí nedochází ke změně rozvinuté délky a hodnoty je tak snadné odečíst z výkresu, v případě zaoblených úseků je nutné vypočítat poměr posunutí neutrální plochy:

$$\frac{R_0}{s} = \frac{2}{2} = 1 \quad (3.1)$$

Jelikož výsledná hodnota vyšla menší než 12, jedná se o ostrý ohyb a je tak nutné do výpočtu zahrnout i posunutí neutrální plochy.

Délka zaobleného úseku je tedy spočítána dle (2.6):

$$L_2 = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (R_0 + x_0 \cdot s) = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot (2 + 0,41 \cdot 2) = 4,43 \text{ mm}$$

kde: x_0 – součinitel posunutí neutrální plochy [-]; z tab. 4 byla zvolena hodnota 0,41 na základě poměru (3.1).

Celková délka je poté dána součtem jednotlivých úseků dle (2.9):

$$L_c = \sum_{i=1}^n L_{ri} + \sum_{i=1}^n L_{oi} = L_1 + L_3 + L_2 = 117 + 34 + 4,43 = 155,43 \text{ mm}$$

Rozvinutá délka součásti byla vypočtena na 155,43 mm. S ohledem na přesnost výroby byla finální hodnota zaokrouhlena na 155,4 mm a bude s ní počítáno ve zbylé části výpočtů.



Obr. 43 Délkové úseky součásti.

3.2 Volba polotovaru a rozmístění výstřižků

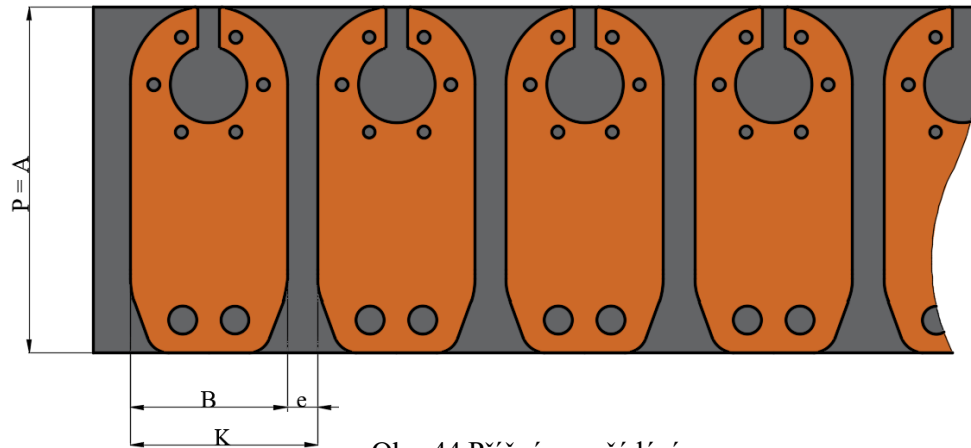
Pro správnou volbu polotovaru a dosažení maximálního využití materiálu je potřeba zvolit vhodné uspořádání výstřižků, přičemž je nutné dbát na technologičnost součásti. Jelikož byl k výrobě vybrán sdružený nástroj, není zde uvažována možnost víceřadého rozmístění kvůli složité konstrukci a vysokým nákladům. Nadále bylo s ohledem na požadovanou přesnost zvoleno rozmístění součástí bez okrajů. Vhodnost a využitelnost bude posouzena pro varianty uspořádání:

- Příčné – jednotlivé dílce byly umístěny s osou ohybu rovnoběžnou na směr vláken (obr. 44), což nevyhovuje technologičnosti dílce a je potřebné přepočítání minimálního poloměru ohybu. Pro výpočty jednotlivých parametrů byla z přílohy č. 3 stanovena velikost můstku $e = 4$ mm. Šířka pásu je vzhledem k nulovému okraji rovna rozvinuté délce součásti 155,4 mm. Potřebná délka kroku se spočítá pomocí vzorce (2.4):

$$K = B + e = 72 + 4 = 76 \text{ mm}$$

kde: e – délka kroku [mm]; na základě tloušťky materiálu a šířky pásu byla z přílohy č. 3 stanovena velikost 4 mm.

Pro příčné rozložení byla vypočtena délka kroku 76 mm.



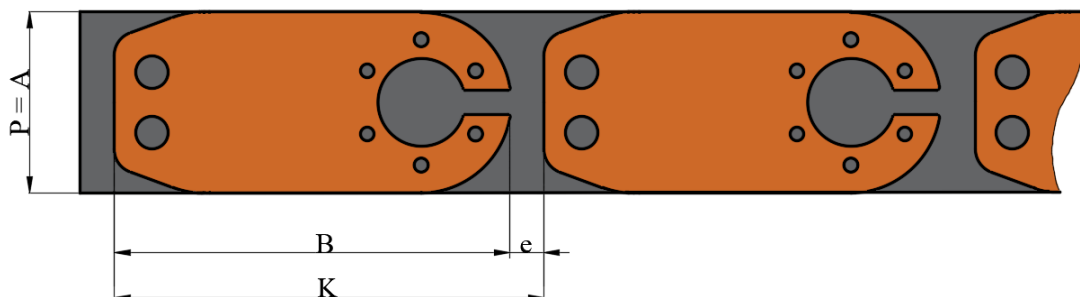
Obr. 44 Příčné uspořádání.

- Podélné – součásti jsou umístěny s osou ohybu kolmou na směr vláken v materiálu (obr. 45), což vyhovuje technologičnosti dílce. Šířka pásu je rovna 72 mm, tedy vodorovné šířce součásti. Potřebná délka kroku se spočítá pomocí vzorce (2.4):

$$K = B + e = 155,4 + 3 = 158,4 \text{ mm}$$

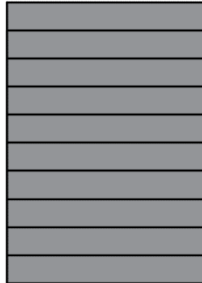
kde: e – délka kroku [mm]; na základě tloušťky materiálu a šířky pásu byla z přílohy č. 3 stanovena velikost 3 mm.

Pro podélné rozložení byla stanovena délka kroku na 158,4 mm.

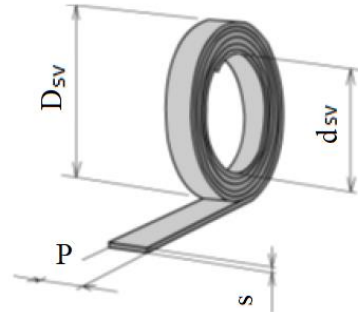


Obr. 45 Podélné uspořádání.

Pro výrobu se jako polotovary nabízí pásy stříhané z tabule plechu (obr. 46) nebo svitek (obr. 47). Vzhledem k velikosti série 100 000 ks/rok byla upřednostněna volba svitku, která představuje menší časy spojené s manipulací materiálu. Polotovary bude brán od dodavatele již v požadované šířce s vnitřním průměrem d_{sv} o velikosti 508 mm. Vnější průměr D_{sv} je možné brát v rozmezí od 1000 až 2000 mm. K zavádění materiálu do nástroje bude využita linka obsahující odvíjecí a podávací zařízení, viz příloha 4.



Obr. 46 Tabule plechu.



Obr. 47 Svitek [48].

Pro výpočet využitelnosti materiálu byly uvažovány svitky pro podélné i příčné rozložení. V tab. 7 jsou uvedeny vybrané možnosti s nejlepšími hodnotami pro volbu polotovaru, přičemž všechny výsledky se nacházejí v příloze 5. Pro vzorový příklad bude brán vnější průměr $D_{sv} = 1400$ mm a podélné rozložení součástí:

- Hmotnost svitku:

$$m_{sv} = \frac{\pi \cdot (D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4} \cdot P \cdot \rho_{ocl.} \quad (3.2)$$

$$= \frac{\pi \cdot (1400^2 - 508^2)}{4} \cdot 72 \cdot 7,86 \cdot 10^{-6} = 756,46 \text{ kg}$$

kde: $\rho_{ocl.}$ – hustota materiálu [$\text{kg} \cdot \text{mm}^3$]; pro ocel $\rho_{ocl.} = 7,86 \cdot 10^{-6}$

- Délka svitku:

$$L_{sv} = \frac{m_{sv}}{P \cdot s \cdot \rho_{ocl.}} = \frac{756,46}{72 \cdot 2 \cdot 7,86 \cdot 10^{-6}} = 668\,348,14 \text{ mm} \quad (3.3)$$

- Počet výstřížků z jednoho svitku:

$$n_v = \frac{L_{sv}}{K} = \frac{668\,348,14}{158,4} = 4219,37 \text{ ks} \quad (3.4)$$

Hodnota byla určena na 4219 ks, jelikož lze počítat pouze s celými kusy výstřížků.

- Počet svitků pro výrobní sérii:

$$n_{sv} = \frac{Q}{n_v} = \frac{100\,000}{4219} = 23,70 \text{ ks} \quad (3.5)$$

Celkový počet je stanoven na 24 ks, protože lze pořídit pouze celé kusy svitků.

- Plocha svitku plechu:

$$S_{sv} = L_{sv} \cdot P = 668\,348,14 \cdot 72 = 48\,121\,066 \text{ mm}^2 \quad (3.6)$$

- Využití jednoho svitku:

$$\eta_{sv} = \frac{S_v \cdot n_v}{S_{sv}} \cdot 100 = \frac{10\,320,36 \cdot 4219}{48\,121\,066} \cdot 100 = 90,48 \% \quad (3.7)$$

kde: S_v – plocha výstřížku [mm^2]; byla vypočítána programem Autodesk Inventor 2024 na $10\,320,36 \text{ mm}^2$, viz příloha 6

- Celkové využití svitků pro výrobní sérii:

$$\eta_{csv} = \frac{S_v \cdot Q}{S_{sv} \cdot n_{sv}} \cdot 100 = \frac{10\,320,36 \cdot 100\,000}{48\,121\,066 \cdot 24} \cdot 100 = 89,36 \% \quad (3.8)$$

Tab. 7 Využitelnost vybraných svitků.

Rozložení	D_{sv} [mm]	n_{sv} [ks]	S_{sv} [mm ²]	η_{sv} [%]	η_{csv} [%]
Příčné	1000	27	45 276 931	87,37	84,42
	1200	17	72 128 100	87,38	84,17
	1400	12	103 861 301	87,38	82,80
Podélné	1000	55	20 977 728	90,71	89,45
	1400	24	48 121 066	90,48	89,36
	2000	11	105 800 658	90,48	88,68

Pro zvolený polotovár byly spočítány jednotlivé využitelnosti materiálu v závislosti na dvou variantách rozložení součástí. V obou případech vychází nejvyšší využití při volbě svitku s vnějším průměrem 1000 mm. V rámci příčného uspořádání bude dosaženo $\eta_{csv} = 84,42\%$, zatímco při podélném se jedná o $\eta_{csv} = 89,45\%$. Velikost rozdílu tedy činí 5,03 %. Hlavní výhodou u podélného rozložení je však vhodná poloha osy ohybu, která je kolmá na vlákna v materiálu a vyhovuje technologičnosti dílce.

Při rozhodování byl brán ohled převážně na využitelnost materiálu a technologičnost součástí. V obou případech se jako lepší volba jeví podélné uspořádání, které bylo zvoleno pro návrh výrobního postupu. Jako polotovár byl vybrán svitek s vnějším průměrem 1400 mm z důvodu nižšího potřebného počtu kusů $n_{sv} = 24$ ks, jehož celková využitelnost je 89,36 %, tedy jen o 0,09 % nižší, než v případě svitku s $D_{sv} = 1000$ mm.

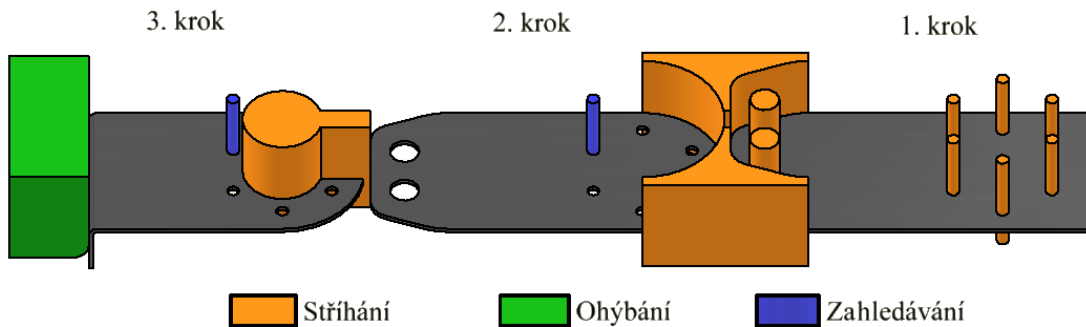
3.3 Návrhy výroby

Pro zadanou součást bude porovnáno více variant výroby. Na základě technologičnosti a využitelnosti materiálu bude uvažováno pouze podélné rozmístění výstřižků. Výroba by měla být provedena v co nejmenším počtu kroků, čímž se snižují náklady na konstrukci nástroje. Zároveň je nutné dbát na minimální vzdálenost mezi střižníky, kde by v případě kritické hodnoty mohlo dojít k problémům při upnutí do kotevní desky a také upřednostnit jednoduché tvary z důvodu snadné výroby a zabránění jejich poškození. Jelikož je celková součást vyráběna děrováním, je nutné zajistit neustálý posuv materiálu mezi jednotlivými kroky. Mezi možné návrhy patří:

- Varianta A – součást bude vyrobena ve třech krocích (obr. 48), jejichž postup je následující:
 - První – dojde k vystřížení šesti otvorů $\varnothing 5,5$ mm, které budou následně sloužit pro zahledání. Zároveň budou zhotoveny dvě díry $\varnothing 13$ mm a proběhne ostřížení zadní části obrysu.
 - Druhý – spočívá ve vyrobení předního tvaru součásti a zahledání díry.
 - Třetí – bude děrován otvor $\varnothing 35$ mm spolu s odstřížením můstku pomocí tvarového střižníku. Zároveň dojde k zahledání otvoru a zhotovení finálního ohybu o 90°

Při volbě varianty A lze za výhodu považovat malý počet kroků výroby, což vede k nižším nákladům na konstrukci nástroje. Zároveň je však nutné použití tvarově složitějšího střižníku pro odstřížení můstku, jehož výroba by byla složitá. Navíc jej lze nahradit dvěma jednoduššími. Dalším problémem je i malá vzdálenost mezi střižníky v prvním kroku, která tvoří pouze 6 mm. Z hlediska těžiště celkové síly by byl nástroj

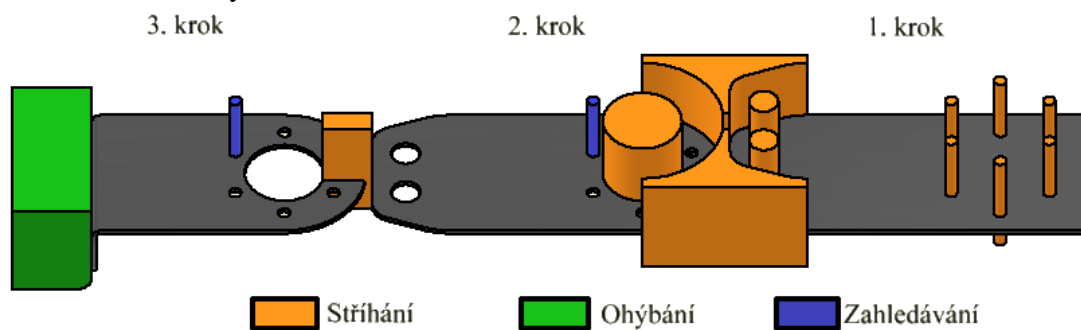
výrazně zatěžován na pravé části, což je způsobeno vysokým zastoupením střížníků o rozměrné ploše. Vlivem toho by docházelo k rychlému opotřebení.



Obr. 48 Varianta A.

- Varianta B – výroba bude opět prováděna ve třech krocích (obr. 49), přičemž je tvarový střížník pro odstřížení můstku rozdělen na dva jednodušší:
 - První – dojde k vystřížení šesti otvorů $\text{Ø}5,5$ mm a dvou děr $\text{Ø}13$ mm. Zároveň bude zhotovena levá část obrysu součásti.
 - Druhý – spočívá v dokončení vnějšího tvaru součásti a zároveň vyrobení díry $\text{Ø}35$ mm. Taktéž je zahledán otvor pomocí hledáčku.
 - Třetí – jedním střížníkem bude odstřížen můstek a vyroben obdélníkový otvor. Před zhotovením dojde k zahledání díry $\text{Ø}5,5$ mm. Poté je proveden ohyb o 90° .

Ve variantě B je eliminována nevýhoda použití tvarově složitého střížníku pro odstřížení můstku, který byl nahrazen dvěma samostatnými nástroji. Výroba je opět prováděna ve třech krocích, což je přijatelné z hlediska nákladů. Nadále zde však zůstává nevýhodou blízké uspořádání střížníků v druhém kroku a nevhodné umístění těžiště celkové síly.

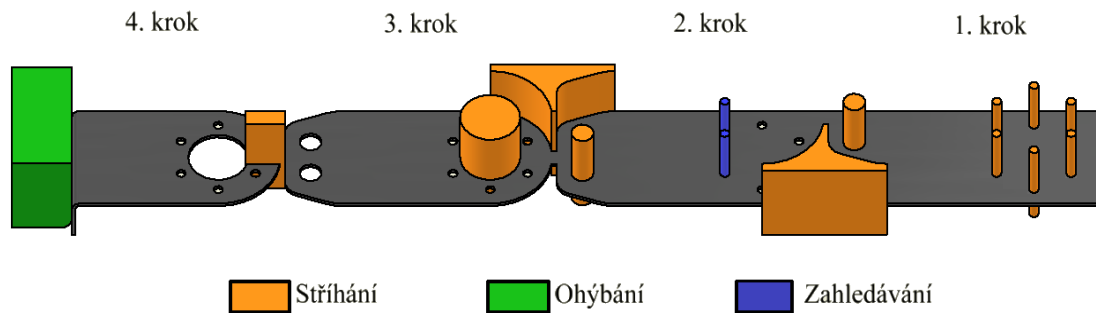


Obr. 49 Varianta B.

- Varianta C – součást bude vyrobena ve čtyřech krocích, přičemž je ostřížení tvarového obrysu spolu s výrobou otvorů o průměru 13 mm rozloženo na více kroků (obr. 50). Díky tomu bude eliminována nebezpečná vzdálenost a špatné rozmístění sil:
 - První – je vystříženo šest otvorů s $\text{Ø}5,5$ mm. Dále je ostříhnutá pravá část spodního obrysu spolu s vystřížením vrchního otvoru.
 - Druhý – bude zhotovena druhá strana spodního obrysu a zahledán otvor. Dojde k vystřížení díry $\text{Ø}13$ mm a ostřížení pravé části vrchního tvaru součásti. Před samotným zhotovením budou zahledány dva otvory s $\text{Ø}5,5$ mm.
 - Třetí – spočívá v dokončení vnějšího tvaru dílce spolu s výrobou díry $\text{Ø}35$ mm.
 - Čtvrtý – je odstřížen můstek a v poslední části poté proveden ohyb o 90° .

Varianta C eliminuje veškeré nevýhody z předchozích postupů. Nenacházejí se zde blízké vzdálenosti mezi střížníky a hledáčky. Celková síla je zároveň rovnoměrně rozložena na celý chod výroby. Také zde není použito tvarově složitých střížníků, která

lze nahradit. Jedinou nevýhodou je zhotovení součásti ve čtyřech výrobních krocích, díky čemuž dojde k prodloužení výrobního času a zvýšení nákladů na nástroj.



Obr. 50 Varianta C.

Byly zhodnoceny různé možnosti výrobního postupu, z nichž byla jako nejvhodnější vybrána varianta C. Součást tedy bude zhotovena ve čtyřech krocích, kde v prvním až třetím kroku dojde k vystřížení všech otvorů spolu s obrysem součásti a v poslední části bude odstřížen můstek a vyroben ohyb. Pro tuto variantu bude nadále konstruován sdružený nástroj a provedeny potřebné výpočty.

3.4 Výpočty sil a prací

Pro správnou volbu výrobního stroje je zapotřebí spočítat celkovou sílu a práci, které jsou dány součtem dílčích hodnot pro jednotlivé výrobní operace:

- Stříhání – je nutné provést výpočty sil pro jednotlivé střížníky. Potřebné délky hran l_{hi} byly určeny programem Autodesk Inventor 2024 a jsou znázorněné v příloze 7. Jak lze vidět v obr. 51, hodnota l_{hi} není vždy rovna celkovému obvodu střížníku. Jednotlivé síly jsou vypočítány dle (2.16):

- Kruhový střížník s průměrem 5,5 mm (obr. 49a):

$$F_{s1} = n \cdot \tau_s \cdot s \cdot l_{h1}, = 1,35 \cdot 328 \cdot 2 \cdot 17,28 = 15\,303,17 \text{ N}$$

kde: n – koeficient otupění; z rozsahu 1,2 ÷ 1,5 byla zvolena hodnota 1,35 a bude s ní počítáno i pro zbylé střížníky.

τ_s – pevnost ve stříhu [MPa]; spočítáno dle vztahu (2.2):

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

S hodnotou bude počítáno i v ostatních výpočtech.

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 15,3 kN.

- Kruhový střížník s průměrem 13 mm (obr. 49b):

$$F_{s2} = n \cdot \tau_s \cdot s \cdot l_{h2} = 1,35 \cdot 328 \cdot 2 \cdot 40,84 = 36\,167,90 \text{ N}$$

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 36,2 kN.

- Kruhový střížník s průměrem 35 mm (obr. 49c):

$$F_{s3} = n \cdot \tau_s \cdot s \cdot l_{h3} = 1,35 \cdot 328 \cdot 2 \cdot 109,96 = 97\,380,58 \text{ N}$$

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 97,4 kN.

- Obdélníkový střížník pro odstřížení můstku (obr. 49d):

$$F_{s4} = n \cdot \tau_s \cdot s \cdot l_{h3} = 1,35 \cdot 328 \cdot 2 \cdot 53,6 = 47\,468,16 \text{ N}$$

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 47,5 kN.

- Tvarový střížník (obr. 49e):

$$F_{s5} = n \cdot \tau_s \cdot s \cdot l_{h4} = 1,35 \cdot 328 \cdot 2 \cdot 108,98 = 96\,512,69 \text{ N}$$

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 96,5 kN.

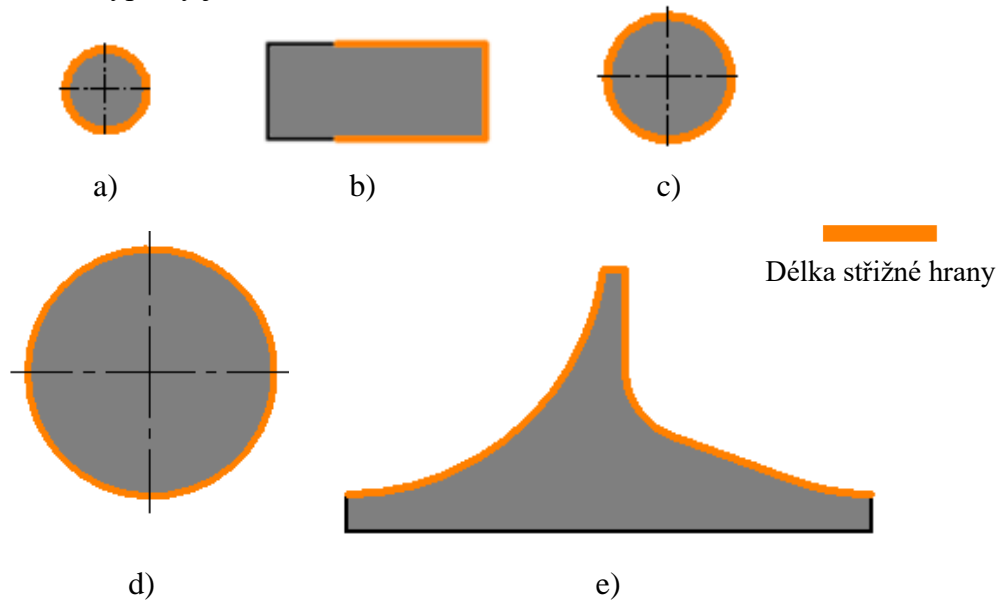
Celková střížná síla je dána součtem sil jednotlivých střížníků:

$$F_s = \sum_{i=1}^n F_{si} = 6 \cdot F_{s1} + 2 \cdot F_{s2} + F_{s3} + F_{s4} + 2 \cdot F_{s5} \quad (3.9)$$

$$= 6 \cdot 15,3 + 2 \cdot 36,2 + 97,4 + 47,5 + 2 \cdot 96,5 = 502,1 \text{ kN}$$

kde: F_{oi} – dílčí složky celkové ohybové síly [N]

Pro další výpočty je hodnota zvolena na 503 kN.



Obr. 51 Střížníky.

Střížná práce bude vypočítána z celkové síly dle vzorce (2.18):

$$A_s = F_s \cdot \lambda \cdot s = 503 \cdot 0,58 \cdot 2 = 583,48 \text{ J}$$

kde: λ – součinitel plnosti materiálu dle diagramu [-]; na základě diagramu z přílohy č. 2 byla určena hodnota 0,58

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 584 J.

- Ohýbání – v poslední části výroby bude proveden ohyb o 90° , pro který je nutné vypočítat celkovou potřebnou sílu. Jelikož při výrobě nebude využita kalibrace, není nutné počítat s touto složkou. Jednotlivé síly tak jsou:

- Ohybová – určena dle vztahu (2.20):

$$F_o = \frac{b_0 \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R_0} \cdot \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) = \frac{72 \cdot 2^2 \cdot 280}{2 \cdot 2} \cdot \tan\left(\frac{90}{2}\right) = 20\,160 \text{ N}$$

Pro další výpočty je hodnota určena na 21 kN

- Přidržovací – je vypočítána dle (2.21):

$$F_p = (0,25 \div 0,3) \cdot F_o = 0,27 \cdot 21\,000 = 5\,670 \text{ N}$$

Z rozsahu $0,25 \div 0,3$ byla zvolena hodnota 0,27.

Celková ohybová síla je poté dána součtem jednotlivých hodnot dle (2.19):

$$F_{co} = \sum_{i=1}^n F_{oi} = F_o + F_p = 21 + 5,67 = 26,67 \text{ kN}$$

kde: F_{oi} – dílčí složky celkové ohybové síly [N]

Pro další výpočty je hodnota zaokrouhlena na 27 kN

Ohybová práce je spočtena dle (2.23):

$$A_o = F_{co} \cdot h_v \cdot \psi = 27 \cdot 18 \cdot 0,55 = 267,3 J$$

kde: ψ – součinitel plnosti diagramu [-]; z rozmezí 0,5 ÷ 0,65 pro ocel byla zvolena hodnota 0,55

h_v – pracovní zdvih [mm]; hodnota byla určena pomocí programu Autodesk Inventor 2024, $h_v = 18$ mm.

Ohybová práce byla zvolena na 268 J.

Celková tvářecí síla a práce je nutnou složkou pro správnou volbu výrobního stroje. Je možné je vypočítat jako součet dílčích hodnot pro jednotlivé operace. Jednotlivé výsledky jsou shrnuté v tab. 8.

Celková síla je spočítána dle (2.14):

$$F_c = F_s + F_{co} = 503 + 27 = 530 kN$$

Celková práce je bude určena ze vztahu (2.15):

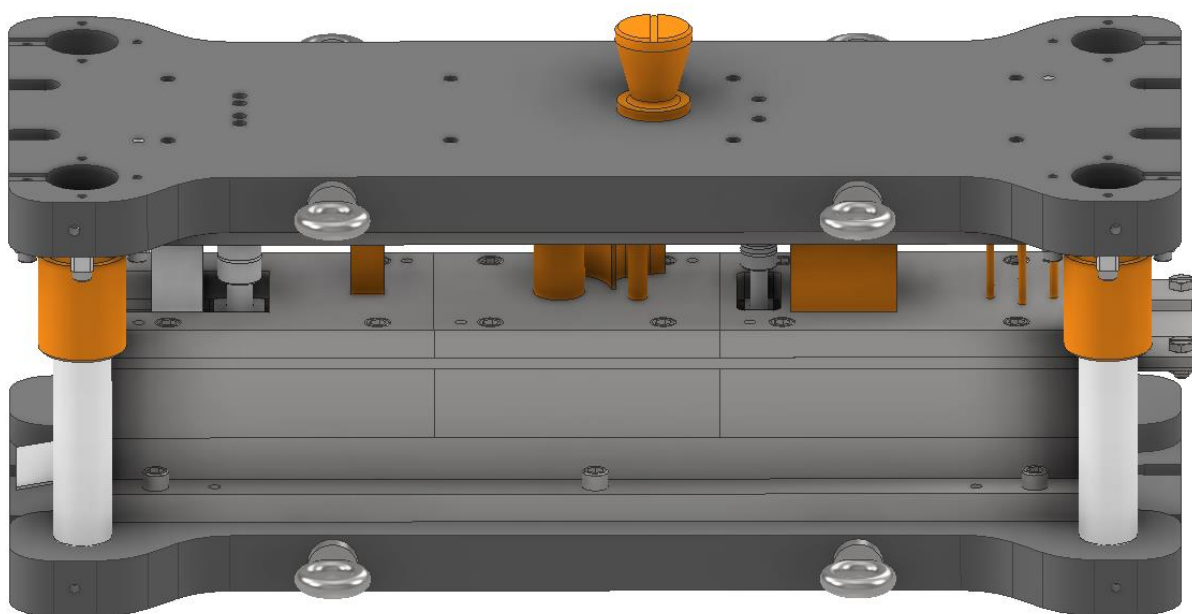
$$A_c = A_s + A_o = 584 + 268 = 852 J$$

Tab. 8 Vypočítané hodnoty sil a prací.

Stříhání		Ohýbání		Celkové	
F_s [kN]	A_s [J]	F_{co} [kN]	A_o [J]	F_c [kN]	A_c [J]
503	584	27	268	530	852

3.5 Návrh nástroje

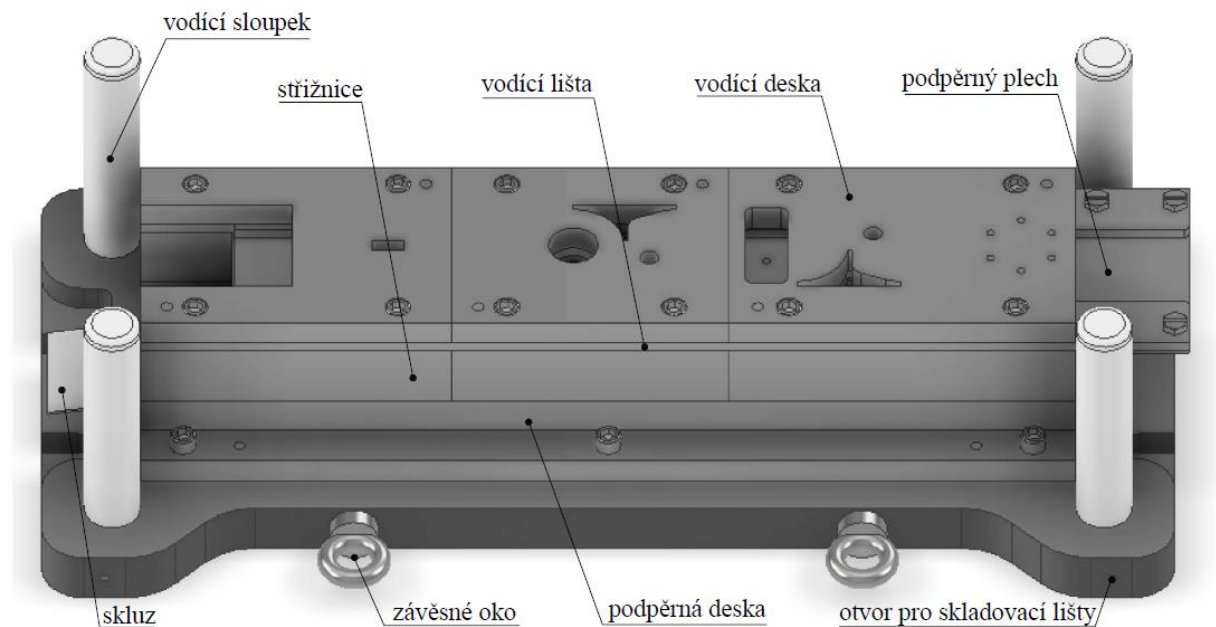
Pro výrobu součásti byl pomocí programu Autodesk Inventor 2024 navržen postupový sružený nástroj (obr. 52), který kombinuje technologii stříhání a ohýbání. Při návrhu byl respektován zvolený výrobní postup, podle něhož byly rozmístěny jednotlivé funkční části. Taktéž bylo dbáno na bezpečnou a funkční výrobu. Samostatný nástroj je složen z horní a spodní části, které jsou připevněny k pracovnímu stolu stroje.



Obr. 52 Sružený nástroj.

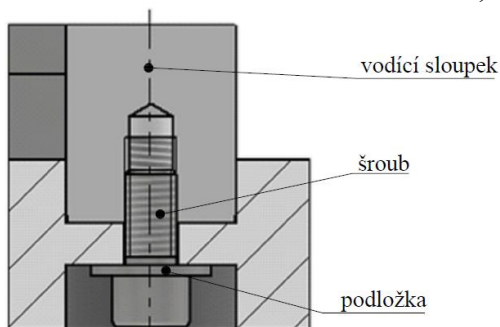
Pás plechu je do nástroje zaváděn přes podávací linku s laserovým senzorem, který zabezpečuje přesnou délku kroku. Při pohybu beranu směrem dolů jsou v prvním kroku zahledány dva otvory s průměrem 5,5 mm. Následně dochází ke kontaktu přídržovací desky spolu s plechem, po kterém následuje zhotovení ohybu. Při dalším pohybu směrem dolu se do výroby zapojují střížníky, pomocí nichž jsou vystříženy jednotlivé otvory včetně obrysového tvaru součástí. Odpad materiálu do přepravní bedny je zajištěn skrz otvory ve střížnici se zkosením 3° a drážky v základové desce. Mezi samotnými zdvihy je pás plechu posunut o daný krok, díky čemuž odpadá finální součást na gravitační skluz, přes který je následně odvedena do výrobní bedny.

Spodní část (obr. 53) tvoří základová deska, na které jsou umístěny zbylé komponenty. Mezi největší z nich patří podpěrná deska, která je opatřena otvory pro odpad materiálu a bočními drážkami pro následné upnutí k pracovnímu stolu. Dále je na ní upevněná střížnice spolu s vodícími lištami a vodící deskou. Hlavní pohyb nástroje zajišťují vodící sloupky od společnosti Fibro, které jsou umístěny na krajních rozích základové desky. Pro snadnou manipulaci s nástrojem byly taktéž zakomponovány závěsná oka. Dále jsou na bočních stěnách základové desky zhotoveny čtyři otvory M8 určené pro lišty, aby nedocházelo ke kontaktu částí nástroje při skladování.

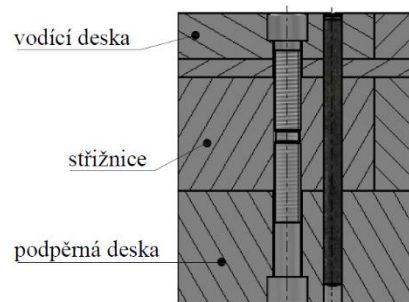


Obr. 53 Spodní část nástroje.

Pro spojení jednotlivých komponentů byly využity zápustné šrouby s vnitřním šestihranem dle ISO 4762. Upevnění sloupků je provedeno jejich zalisováním do otvorů v základové desce, přičemž jsou zespod upevněny šroubem a podložkou (obr. 54), která slouží pro rovnoměrné rozložení síly a taktéž zabraňuje poškození dosedacích ploch. Pro přesné vymezení polohy byl v případě střížnice zvolen kolík dle ISO 8734, viz obr. 55.



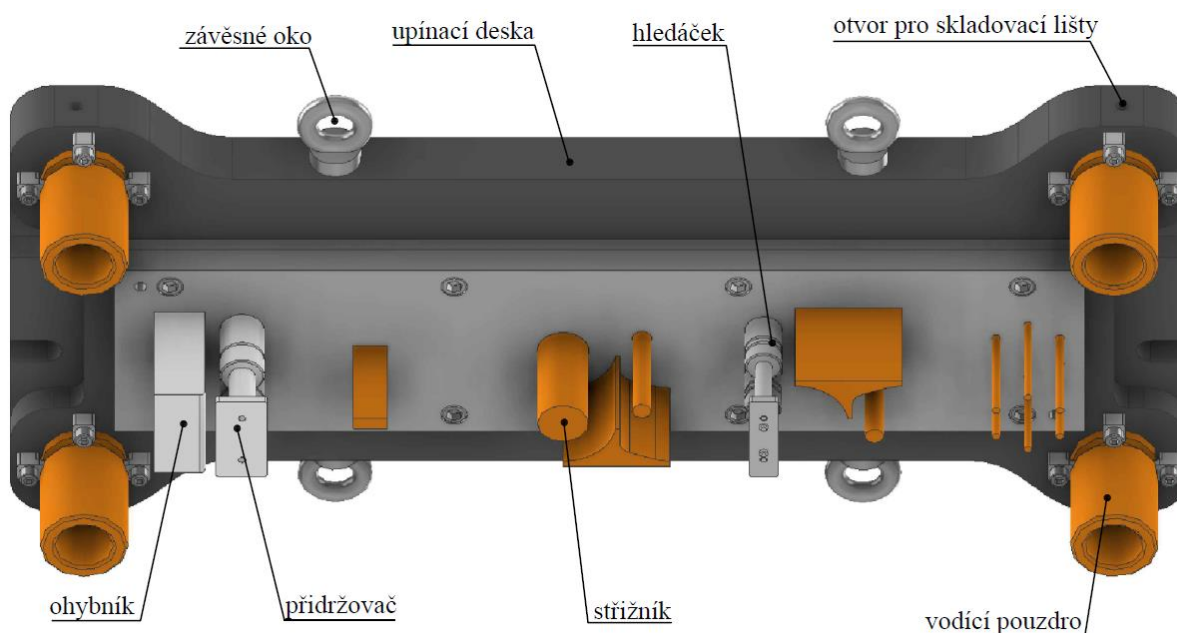
Obr. 54 Upnutí vodícího sloupku.



Obr. 55 Kolík.

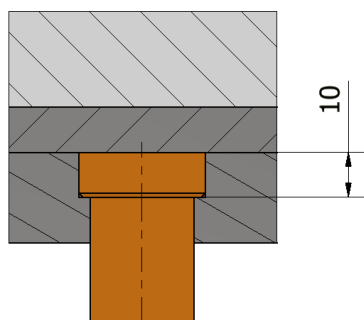
Pro výrobu byla taktéž upřednostněna volba dělené střížnice a vodící desky z důvodu velkých rozměrových parametrů. V případě poškození tak není nutné nahrazovat celek, ale pouze jeho konkrétní část, čímž se výrazně snižují případné náklady. Vrchní část otvorů ve střížnici je tvořena fazetkou s hloubkou 5 mm, přičemž zbylá část je zkosena o 3° , díky čemuž je zajištěna přesnější výroba a snadnější odchod odpadu.

Horní část (obr. 56) je složena z upínací desky, na které jsou vyfrézované drážky pro upnutí nástroje k pracovnímu stolu. V těžišti celkové síly je umístěna stopka pro správné vystředění. K celku je následně připojena opěrná a kotevní deska, ve které jsou umístěny střížníky, ohybník a prochází jí přídržovač spolu s hledáčkem. Součástí jsou také vodící pouzdra od společnosti Fibro, která spolu se sloupky zajišťují hlavní pohyb celého nástroje. Na boční straně jsou zkonstruovány závěsná oka pro snadnou manipulaci a čtyři otvory se závitem M8 určené pro skladovací lišty.

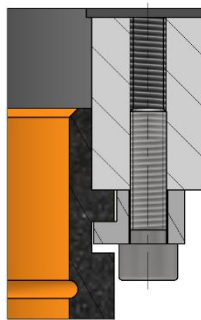


Obr. 56 Vrchní část nástroje.

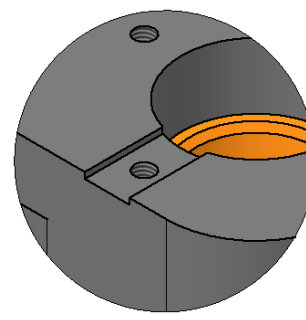
Jednotlivé desky jsou spojené pomocí zápusných šroubů dle ISO 4762, které jsou vedeny ze spodní strany kotevní desky. V případě nutné výměny činných částí tak není nutné oddělovat celý nástroj z pracovního stolu, čímž se výrazně sníží i manipulační časy. Uchycení střížníků a ohybníku je provedeno v kotevní desce pomocí osazení s tloušťkou 10 mm, viz obr. 57. Vodící pouzdra jsou zalísované do děr v upínací desce a následně zajištěny čtyřmi upínkami se šrouby (obr. 58). K otvorům jsou taktéž zhotovené odvzdušňovací kanálky (obr. 59), aby bylo zabráněno nárůstu tlaku v pouzdře. Díky celkové délce vodících sloupků nedojde k jejich vyjíždění z pouzder při maximálním rozevření a taktéž nebudou vyčnívat z upínací desky při celkovém sevření, čímž je zajištěna bezpečná výroba.



Obr. 57 Osazení.

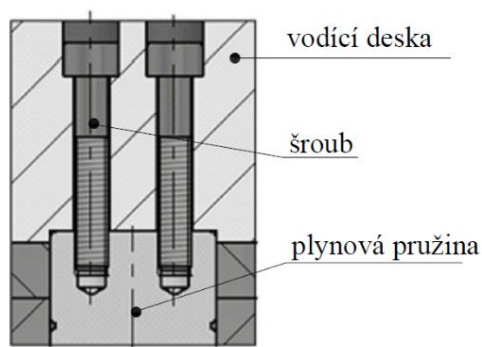


Obr. 58 Upínka.

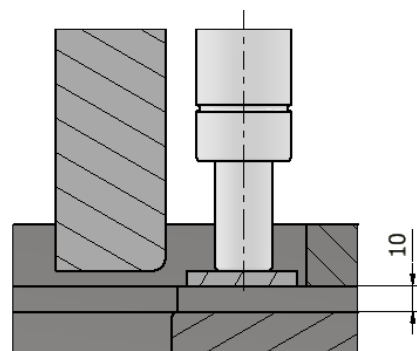


Obr. 59 Odvzdušňovací kanálek.

Pro přídržovač byla upřednostněna volba plynových pružin CX 500-025 od společnosti Kaller, jejichž hlavní výhodou je konstantní přídržovací síla oproti běžným, při kterých je dosaženo maximálních hodnot až při konečném stlačení. Přídržovací deska je k pružinám připevněna pomocí dvou závitů M5. Celý komponent poté prochází kotevní i opěrnou deskou a je upnut pomocí šroubů zapařených do vodící desky, viz obr. 60. Při volbě byl brán ohled především na maximální dovolené stlačení pružiny, které je dle výrobce 25 mm, což neodpovídá celkovému zdvihu nástroje 30 mm. Při otevřeném stavu je však přídržovač umístěn nad polotovarem ve výšce 10 mm, viz obr. 61, přičemž jeho stlačování začne probíhat až v momentě dosednutí desky na stříhaný materiál. Díky tomu je zajištěna funkční výroba a pružiny lze bezpečně použít. Technické parametry jsou uvedeny v příloze č. 10.



Obr. 60 Upravení přídržovače.

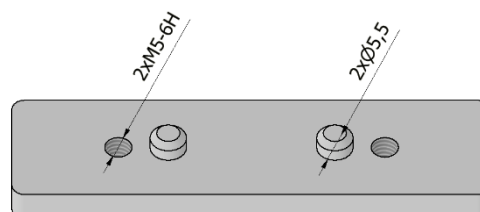


Obr. 61 Stlačení přídržovače.

Při výrobě je taktéž nutné zaváděný materiál před výrobními operacemi zahledat. Z toho důvodu je potřebné, aby byl hledáček nejdelší ze všech činných částí nástroje, čímž vzniká riziko jeho poškození z důvodu hlubokého vniku do otvoru. Pro zahledání byl tedy zvolen mechanismus s plynovými pružinami o nízké odporové síle (obr. 62), které jsou pomocí závitů spojené se zahledávací deskou obsahující dva trny s vnějším průměrem 5,5 mm, viz obr. 63. Po dosednutí desky na polotovar dojde k zahledání dvou otvorů a postupnému stlačování. Připnutí k upínací desce je obdobné jako v případě přídržovače. Technické parametry pružiny jsou uvedené v příloze 11.



Obr. 62 Plynová pružina [49].



Obr. 63 Zahledávací deska.

3.5.1 Kontrolní výpočty a funkční části

V rámci samotné konstrukce nástroje je důležité učinit dílčí kontroly pro zabezpečení funkční výroby s odpovídajícími parametry přesnosti součástí. Dále je nutné zvolit odpovídající rozměry funkčních částí, které tvoří střížnice, střížníky, ohybnice a ohybník. Jsou kontrolovány následující parametry:

- Minimální tloušťka střížnice – pro orientační výpočet bude použit oehlerův vzorec:

$$H_s = \sqrt[3]{F_c} = \sqrt[3]{530\,000} = 80,93 \text{ mm} \quad (3.10)$$

Bylo vypočítáno, že minimální tloušťka střížnice by měla být 80,93 mm. Finální hodnota však byla zvolena 50 mm z důvodu, že pod střížnicí se bude nacházet také podpěrná a základová deska s celkovou tloušťkou 90 mm, díky čemuž dojde i k snížení nákladů za drahý materiál

- Kritická délka střížníku – pro výpočet bude brán v potaz pouze nejmenší střížník s $\varnothing 5,5$ mm, jelikož zde hrozí největší riziko ztráty vzpěrné stability:

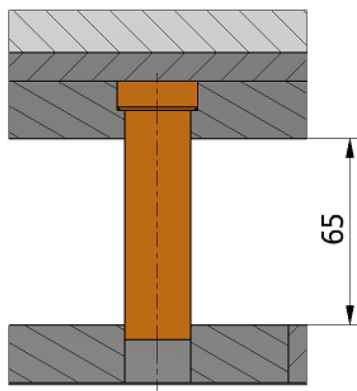
$$l_{krit.} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_b \cdot F_{s1}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,07 \cdot 10^5 \cdot 44,92}{1,75 \cdot 15\,300}} = 117,09 \text{ mm} \quad (3.11)$$

kde: I – kvadratický moment setrvačnosti kruhového průřezu [mm^4]:

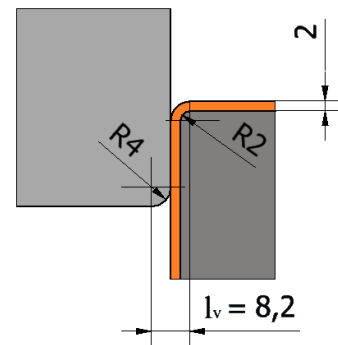
$$I = \frac{\pi \cdot d_{s1}^4}{64} = \frac{\pi \cdot 5,5^4}{64} = 44,92 \text{ mm}^4 \quad (3.12)$$

n_b – koeficient bezpečnosti [-]; z možného rozsahu $1,5 \div 2$ pro nástrojovou ocel bylo zvoleno 1,75

Nejmenší možná délka střížníku byla vypočtena na 117,09 mm. Z obr. 64 je zřejmé, že při rozevření nástroje je volná délka mezi vodící a kotevní deskou pouze 65 mm, z čehož lze určit, že ke ztrátě vzpěrné stability nedojde.



Obr. 64 Volná délka střížníku.



Obr. 65 Vzdálenost ohybných podpor.

- Odpružení – celkovou velikost je nutné porovnat s mezní úchytkou pro netolerované úhlové rozměry dle ČSN ISO 2768, aby byla dodržena přesnost součásti. Pro porovnání byla zvolena střední třída přesnosti **m**. V prvním kroku je potřeba vypočítat velikost ohybové vůle, která má vliv na celkovou vzdálenost ohybných podpor (obr. 65) a tím i velikost odpružení. Hodnota je vypočítána dle (2.13):

$$v_0 = s_{max} + c_0 \cdot s = 2 + 0,1 \cdot 2 = 2,2 \text{ mm}$$

kde: c_0 – koeficient vlivu tření dílce [-]; z tab. 6 byla zvolena hodnota 0,1 dle tloušťky materiálu a délky rovného ramene ohybu.

Výpočet odpružení je poté proveden ze vztahu (2.12):

$$\gamma_o = \arctg\left(0,375 \cdot \frac{l_v}{k_0 \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}\right) = \arctg\left(0,375 \cdot \frac{8,2}{0,58 \cdot 2} \cdot \frac{280}{2,07 \cdot 10^5}\right) = 0^\circ 12'$$

kde: l_v – vzdálenost ohybných podpor [mm]:

$$l_v = R_n + R_{mo} + v_0 = 2 + 4 + 2,2 = 8,2 \text{ mm} \quad (3.13)$$

kde: R_n – poloměr zaoblení ohybnice [mm]

R_{mo} – poloměr zaoblení ohybníku [mm]

k_0 – součinitel určující polohu neutrální plochy [-]; z tab. 5 byla zvolena hodnota 0,58 na základě poměru (3.1).

Celková velikost odpružení je v souladu s požadovanou mezní úchytkou $\pm 0^\circ 20'$ u netolerovaných úhlových rozměrů a tudíž není nutné provádět kalibraci ani jiné metody pro potlačení odpružení.

- Otláčení nástrojů – je nutné provést kontrolu, zda nedojde k vtlačení střížníků do upínací desky vlivem působení velkých sil. Jako materiál pro upínací desku byla zvolena ocel 11 600. V případě, že by vypočítaná hodnota přesahovala povolené napětí 180 MPa, je nutné použití kalené opěrné desky. Výpočet bude provedena pro střížník s nejmenší plochou:

$$\sigma_{s1} = \frac{F_{s1}}{S_{d1}} = \frac{15\,300}{78,54} = 194,8 \text{ MPa} \quad (3.14)$$

kde: S_{d1} – dosedací plocha střížníku s $\varnothing 5,5$ mm; vypočteno dle Autodesk Inventor 2024, $S_{d1} = 78,54 \text{ mm}^2$.

Z výše uvedeného výpočtu vyplývá, že je nutné použití kalené opěrné desky.

Důležitou částí je stanovení funkčních rozměrů střížníků a otvorů ve střížnici dle normy ČSN 22 6015. Jelikož na součást nejsou kladeny vyšší nároky na přesnost, budou hodnoty určeny na základě mezních úchylek pro netolerované rozměry třídy **m**. Při výrobě je brán odstřížený materiál vždy jako odpad, tudíž budou využity vzorce pro děrování. Hodnoty tolerancí a přípustných měr opotřebení jsou uvedeny v příloze 8. Vzorový výpočet bude proveden pro střížník a otvor se jmenovitým průměrem 5,5 mm:

- Funkční rozměr střížníku (obr. 66):

$$RAD = \left(JR + \frac{P_o}{2} \right) - TA = \left(5,5 + \frac{0,160}{2} \right) - 0,035 = 5,58_{-0,035}^+ \quad (3.15)$$

kde: P – přípustná míra opotřebení [mm]
 TA – výrobní tolerance střížníku [mm]

- Funkční rozměr otvoru (obr. 67):

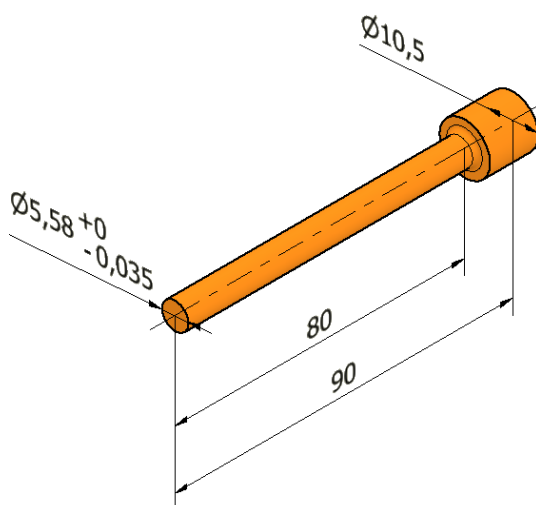
$$RED = \left(JR + \frac{P_o}{2} + 2 \cdot z \right) + TE \quad (3.16)$$

$$= \left(5,5 + \frac{0,160}{2} + 2 \cdot 0,23 \right) + 0,054 = 6,04_{-0}^{+0,054}$$

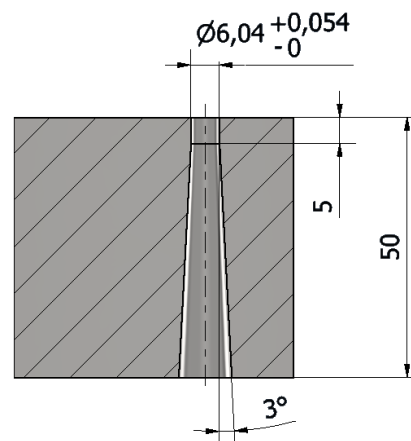
kde: TE – výrobní tolerance střížnice [mm]
 z – střížná mezera [mm]; je spočítána dle (2.1):

$$z = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 0,015 \cdot 2 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{328} = 0,23 \text{ mm}$$

kde: c – součinitel závislý na stupni stříhu [-]; z rozsahu (0,005 ÷ 0,025) bylo zvoleno 0,015.



Obr. 66 Funkční rozměr střížníku.



Obr. 67 Funkční rozměr otvoru.

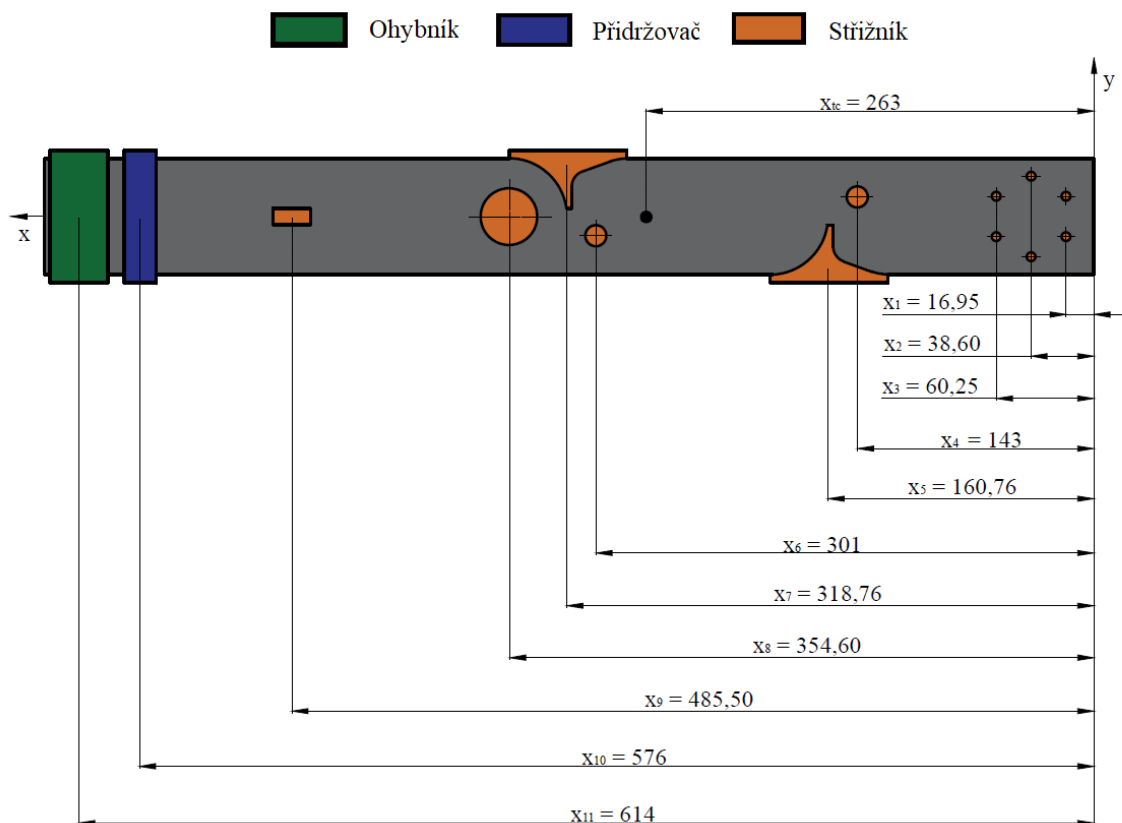
3.5.2 Těžiště sil

Při konstrukci nástroje byla jako součást upínacího mechanismu zvolena stopka. Jedná se o důležitý prvek, který zajišťuje správné vystředění horní části nástroje do beranu lisu. Z toho důvodu je nutné vypočítat těžiště celkové tvářecí síly, v jehož místě bude následně uložena. V případě nevhodného umístění by docházelo ke vzniku klopných momentů, což způsobuje rychlé opotřebení nástroje. Pro výpočet byl zvolen počáteční bod souřadnicového systému na začátku prvního kroku, od něhož byly jednotlivé vzdálenosti těžišť x_{ti} vypočítány pomocí programu Autodesk Inventor 2024 a jsou uvedené na obr. 68. Poloha těžiště nástroje v ose x je spočítána:

$$\begin{aligned}
 x_{tc} &= \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot x_{ti}}{F_c}; & (3.17) \\
 &= \frac{2 \cdot F_{s1} \cdot x_1 + 2 \cdot F_{s1} \cdot x_2 + 2 \cdot F_{s1} \cdot x_3 + F_{s2} \cdot x_4 + F_{s5} \cdot x_5 + F_{s2} \cdot x_6 + F_{s5} \cdot x_7}{F_c} + \\
 &+ \frac{F_{s3} \cdot x_8 + F_{s4} \cdot x_9 + F_p \cdot x_{10} + F_o \cdot x_{11}}{F_c} = \frac{2 \cdot 15,3 \cdot 16,95 + 2 \cdot 15,3 \cdot 38,6}{530} + \\
 &+ \frac{2 \cdot 15,3 \cdot 60,25 + 36,2 \cdot 143 + 96,5 \cdot 160,76 + 36,2 \cdot 301 + 96,5 \cdot 318,76}{530} + \\
 &+ \frac{97,4 \cdot 354,6 + 47,5 \cdot 485,5 + 5,67 \cdot 576 + 21 \cdot 614}{530} = 262,67 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Při uložení stopky bude počítáno s hodnotou 263 mm.

Dle výpočetní metody byla určena poloha těžiště celkové síly ve vzdálenosti $x_{tc} = 263$ mm od počátečního bodu. Jelikož jsou všechny střížné a ohybové operace symetrické vůči ose x , není nutné počítat polohu y_{tc} , která je v tomto případě nulová.



Obr. 68 Těžiště síly.

3.6 Volba stroje

Při správném výběru výrobního stroje je nutné dbát na jmenovitou sílu, která musí být vyšší, než je celková tvářecí síla $F_c = 530 \text{ kN}$. Z praktického hlediska je však vhodné počítat s navýšením tvářecí síly minimálně o 25 %, aby bylo zabráněno riziku přetížení. Dále je nutné brát v ohled velikost upínací plochy stolu a beranu, výšku zdvihu, sevření a potřebnou provozní energii, která musí být vyšší, než je vypočítaná celková práce $A_c = 852 \text{ J}$. Sdružený nástroj má délku 800 mm a šířku 370 mm, přičemž zdvih je 30 mm a výška sevření tvoří 270 mm.

Na základě vypočítaných hodnot a rozměrů nástroje byl zvolen excentrický lis Mecânica Exacta modelu DM-S od výrobce Formetal (obr. 69), jehož základní parametry jsou uvedené v tab. 9. Jedná se o stroj vhodný pro stříhání a ohýbání plechů za studena s možností integrace linky pro zavádění svitků. Všechny technické parametry jsou uvedené v příloze 9. [51]



Obr. 69 Excentrický lis DM-S [51].



Obr. 70 Linka DM-S [51].

Součástí výrobního stroje je taktéž linka obsahující odvíjecí, rovnací a podávací zařízení, která byla zvolena s ohledem na volbu svitku a velikost série 100 000 ks ročně. Díky tomu bylo eliminováno použití dorazů při konstrukci nástroje, jelikož potřebná délka kroku je dána laserovým senzorem. Integrace bude taktéž provedena velmi snadně, protože se jedná o stejný výrobní model DM-S od společnosti Formetal (obr. 70). Vnitřní průměr svitku je 508 mm a vnější 1400 mm s šířkou pásu 72 mm a tloušťkou 2 mm. Celková hmotnost jednoho svitku je 756,46 kg. Základní technické parametry linky jsou uvedené v tab. 10 a ostatní v příloze 4. [50]

Tab. 9 Technické parametry stroje [51].

Excentrický lis DM-S			
Kapacita [kN]	1600	Výška zdvihu [mm]	25 – 160
Energie pro zdvih [kJ]	14	Šířka beranu [mm]	1200
Šířka stolu [mm]	1400	Hloubka beranu [mm]	1000
Hloubka stolu [mm]	1000	Uzavřená výška [mm]	450

Tab. 10 Technické parametry linky [51].

Motorický odvíjáč		Podavač s rovnačkou	
Hmotnost svitku [kg]	500 – 2000	Šířka svitku [mm]	80 – 800
Šířka svitku [mm]	100 – 800	Tloušťka plechu [mm]	0,8 – 3
Vnější průměr [mm]	1000 – 2000	Max. průřez [mm ²]	2000
Vnitřní průměr [mm]	470 – 520	Max. rychlost [m/min]	60

ZÁVĚR

Práce byla zaměřena na výrobu držáku zásuvky, který je používán na tažných zařízeních u automobilů. Součást o tloušťce 2 mm je vyráběna v sérii 100 000 ks ročně, přičemž zvoleným materiálem byla měkká ocel 11 321. Z hlediska výskytu ve venkovních podmínkách bude hotový díl žárově zinkován.

Po zhodnocení možných variant výroby byla jako optimální vybrána kombinace stříhání a ohýbání, které byly následně sloučeny do sdruženého nástroje. Při návrhu byla zhodnocena technologičnost, která ve všech bodech vyhovovala a nebylo tak nutné upravovat rozměrové parametry součásti. S ohledem na požadovanou přesnost bylo zvoleno podélné uspořádání s vnitřními můstky a nulovými okraji. Pro výchozí polotovary byly vybrány svitky s vnějším průměrem 1400 mm a vnitřním průměrem 508 mm. Pro výrobu jich bude nutné celkem 24 ks, přičemž celková využitelnost materiálu tvoří 89,36 %.

Ze tří posuzovaných výrobních postupů byla jako nejvhodnější vybrána výroba ve čtyřech krocích. Na začátku dojde k vystřížení požadovaných otvorů včetně vnějšího obrysu součásti, přičemž zahledání bude provedeno pomocí dvou hledáček pouze v prvním kroku. V poslední části bude ostřížen můstek spolu s obdélníkovým otvorem a následně proveden ohyb o 90°. Na základě postupu byla spočítána potřebná tvářecí práce 852 J a celková síla 530 kN.

Na základě rozměrových parametrů, celkové tvářecí síly a práce, zdvihu, sevření atd. byl pro výrobu zvolen excentrický lis Mecânica Exacta model DM-S od výrobce Formetal, který bude zaveden do automatizované linky obsahující odvíjecí, rovnací a podávací zařízení, jež slouží pro zavádění svitků.

Navržený sdružený nástroj se skládá z horní a spodní části, které budou k pracovnímu stolu upnuty pomocí upínek a T – drážek. Vzhledem k rozměrovým parametrům byla upřednostněna dělená střížnice spolu s vodící deskou. Jednotlivé komponenty byly navrženy dle normy, přičemž pro zajištění pohybu byly zvoleny normalizované součásti od společnosti Fibro. Taktéž byly provedeny potřebné kontrolní výpočty, určení rozměrů funkčních částí nástroje a vypočítáno těžiště celkové síly.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. FOREJT, Milan a PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
 2. LENFELD, Petr. *Katedra tváření kovů a plastů*. Online. Liberec: Technická univerzita Liberec, 2015. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp [cit. 2024-02-09]
 3. DVOŘÁK, Milan; GAJDOŠ, František a NOVOTNÝ, Karel. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
 4. BAČA, Jozef; BÍLIK, Jozef a TITTEL, Viktor. *Technológia tvárnenia*. Edícia vysokoškolských učebníc. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. ISBN 978-80-227-3242-0.
 5. KLOBÁS. *Ohýbání: Ohýbání plechů na ohýbacím centru*. Online. Dostupné z: <https://www.kovo-klobas.cz/ohybani/>. [cit. 2024-02-09].
 6. VARIOUS. *Sheet Metal Bending Parts*. Online. Dostupné z: <http://www.various.co.in/sheet-metal-bending-parts/>. [cit. 2024-02-09].
 7. AUTOVIA. *Držák kovový pro zásuvky 7 pólů a 13 pólů*. Online. Dostupné z: <https://www.autovia.cz/eshop/elektroinstalace/elektro-prislusenstvi/zasuvky/drzak-zasuvky-kovovy.htm>. [cit. 2024-02-09].
 8. CG AUTOSERVIS. *Tažné zařízení*. Online. Dostupné z: <https://www.cgautoservis.cz/diagnostika/tazne-zarizeni/>. [cit. 2024-02-09].
 9. THYSSENKRUPP AG. *Mild low-carbon steel for cold forming*. Online. Dostupné z: <https://www.thyssenkrupp-materials-processing-europe.com/en/c-steel/cold-rolled-sheet/dco1-dc07/dc01>. [cit. 2024-02-09].
 10. XOMETRY. *Steel 1.0330 / DC01*. Online. Dostupné z: <https://xometry.eu/wp-content/uploads/2022/08/Steel-1.0330-DC01-6112.pdf>. [cit. 2024-02-09].
 11. ŘÍHÁČEK, Jan. *Speciální technologie výroby ESV* [cvičení]. VUT v Brně, 26. 9. 2023
 12. MŮJSOLIDWORKS. *Výroba plechových dílů #3: Technologie výroby a zpracování*. Online. Dostupné z: <https://www.mujsolidworks.cz/vyroba-plechovych-dilu-3-technologie-vyroby-a-zpracovani/>. [cit. 2024-02-09].
 13. SV METAL. *Technologie*. Online. Dostupné z: <https://www.svmetal.cz/cs/technologie>. [cit. 2024-02-09].
 14. JELÍNEK, Daniel. *Nástroje pro technologii vysekávání*. Bakalářská práce, vedoucí Eva Peterková. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017.
 15. ŘÍHÁČEK, Jan. *Speciální technologie výroby ESV* [cvičení]. VUT v Brně, 22. 9. 2023
 16. TRUMPF. *Laserové řezání jako bezkontaktní proces oddělování*. Online. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/reseni/aplikace/laserove-rezani/. [cit. 2024-02-09].
 17. ČADA, Radek. *Technologie I*. Online. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, [2008]. ISBN 978-80-2481507-7. [cit. 2024-02-09].
 18. Lao. *Seriál na téma lasery - laserové řezání*. Online. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>. [cit. 2024-02-11].
 19. GUMEX. *3D řezání vodním paprskem*. Online. Dostupné z: <https://www.gumex.cz/sluzba/3d-rezani-vodnim-paprskem-72>. [cit. 2024-02-11].
-

-
20. VORÁČEK, Martin. *Dělení materiálů bezodpadovými technologiemi*. Bakalářská práce, vedoucí Kamil Podaný. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013.
 21. RYŠAVÝ, Jan. *Návrh výroby držáku madla*. Bakalářská práce, vedoucí Eva Peterková. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013.
 22. ESAB. *Úvod do řezání plazmovým obloukem*. Online. Dostupné z: https://esab.com/cz/eur_cs/esab-university/blogs/what-is-plasma-arc-cutting/. [cit. 2024-02-09].
 23. ŘÍHÁČEK, Jan. *Speciální technologie výroby ESV* [cvičení]. VUT v Brně, 10. 10. 2023
 24. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
 25. MOSTR. *Strojní ohýbačky*. Online. Dostupné z: <https://www.mostr.cz/vyrobky/kategorie/strojni-ohybacky> [cit. 2024-02-09].
 26. UKB. *3D-Modely dvoustanicový nástroje*. Online. Dostupné z: <https://www.ukb-gmbh.de/es/produkty/ukb-specialni-ohranovaci-nastroje/3d-modely-dvoustanicovy-nastroje/>. [cit. 2024-02-09].
 27. LOGOPRESS. *Technical overview*. Online. Dostupné z: <https://www.logopress.com/products.php>. [cit. 2024-03-03].
 28. MEZ, A.S. *Nástrojárna*. Online. Dostupné z: <https://www.mez.cz/vyroba/nastrojarna/>. [cit. 2024-02-10].
 29. ZIHOS. *Tvářecí nástroje*. Online. Dostupné z: <https://www.zihos.eu/tvareci-nastroje>. [cit. 2024-02-10].
 30. PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Akademie tváření: Stříhání*. Online. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani>. [cit. 2024-02-11].
 31. NOVOTNÝ, Josef a LANGER, Zdeněk. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980. ISBN 04-234-80.
 32. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL, 1983.
 33. PODANÝ, Kamil. *Technologie tváření CTT* [cvičení]. VUT v Brně, 13. 2. 2023
 34. PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Akademie tváření: Odpružení v plošném tváření*. Online. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-odpruzeni-v-plosnem-tvareni>. [cit. 2024-02-11].
 35. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
 36. ZEZULKA, Michal. *Konstrukční řešení a výroba postupového nástroje*. Bakalářská práce. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2017.
 37. SVOBODA, Petr. *Výroba úchytky*. Diplomová práce, vedoucí Kamil Podaný. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2023.
 38. PODANÝ, Kamil. *Ročníkový projekt I – tváření a svařování DR2* [cvičení]. VUT v Brně, 14. 11. 2023
 39. HARSLE. *Práce a využití hydraulického lisu*. Online. Dostupné z: <https://cs.harsle.com/Work-and-use-of-hydraulic-press>. [cit. 2024-02-18].
 40. LIDMILA, Zdeněk a SVOBODA, Emil. *Strojírenská technologie*. Brno: Univerzita obrany, 2006 [i.e. 2007]. ISBN 978-80-7231-220-7.
 41. HOŘAVA, David. *Výroba stropní základny plošným tvářením*. Diplomová práce, vedoucí Eva Peterková. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2023.
-

42. SEJKORA, Petr. *Silové stroje používané ve tváření*. Bakalářská práce, vedoucí Kamil Podaný. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012.
 43. PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížků*. Online. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku>. [cit. 2024-02-23].
 44. KŘÍŽ, Rudolf a VÁVRA, Pavel. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích*. Praha: Scientia, 1998. ISBN 80-7183-054-2.
 45. PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM. *Technologičnost konstrukce při ohýbání*. Online. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-pri-ohybani>. [cit. 2024-02-23].
 46. PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do Tváření* Online. Ostrava, 2001 Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV1.pdf [cit. 2014-05-18].
 47. TICHONĚ, Ondřej. *Návrh výroby držáku žehličky*. Bakalářská práce, vedoucí Kamil Podaný. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2021.
 48. WORTHINGTON STEEL. *Steel coil calculator*. Online. Dostupné z: <https://www.worthingtonenterprises.com/worthingtonindustries>. [cit. 2024-03-01].
 49. KALLER. *Nitrogen Gas Spring*. Online. Dostupné z: <https://www.kaller.com/en-us/products/tool-and-die/gas-springs/?Imperial=true>. [cit. 2024-05-19].
 50. E-KONSTRUKTÉR. *Tolerance netolerovaných rozměrů*. Online. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/tolerance-netolerovanych-rozmeru>. [cit. 2024-05-13].
 51. FORMETAL. *Excentrické a hydraulické lisy a linky*. Online. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/typ-stroju/excentricke-a-hydraulicke-lisy/>. [cit. 2024-04-14].
 52. ČSN 22 6015 (226015) *Lisovací stroje. Stříhadla a střížné vřle. Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1977. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/> [cit. 2024-05-19].
 53. DVOŘÁK, Milan; GAJDOŠ, František a ŽÁK, Ladislav. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN80-214-2881-3.
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	šířka výstřížku	[mm]
A_c	celková tvářecí práce	[J]
A_o	celková ohybová práce	[J]
A_s	celková střížná práce	[J]
A_t	tažnost	[%]
a	vzdálenost otvoru od okraje	[mm]
a_o	minimální vzdálenost otvorů od středu poloměru	[mm]
B	délka výstřížku	[mm]
b	vzdálenost mezi otvory	[mm]
b_o	šířka ohýbaného pásu	[mm]
c	součinitel závislý na stupni stříhu	[-]
c_t	vzdálenost otvoru od zaoblení	[mm]
c_o	koeficient vlivu tření dílce	[-]
c_2	součinitel ohybu	[-]
D_{sv}	vnější průměr svitku	[mm]
d_{sv}	vnitřní průměr svitku	[mm]
d_{s1}	průměr nejmenšího střížníku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
e	šířka můstku	[mm]
F_c	celková tvářecí síla	[N]
F_{co}	celková ohybová síla	[N]
F_i	síla lisu	[N]
F_j	jmenovitá síla lisu	[N]
F_k	kalibrační síla	[N]
F_{max}	maximální hodnota střížné síly	[N]
F_o	ohybová síla	[N]
F_{oi}	dílčí složka celkové ohybové síly	[N]
F_p	přidržovací síla	[N]
F_s	celková střížná síla	[N]
F_{si}	síla dílčího střížníku	[N]
f	velikost okraje	[mm]
H_s	minimální tloušťka střížnice	[mm]
h	dráha nástroje	[mm]
h_{el}	hloubka elastického vniku střížníku	[mm]
h_l	dráha lisu	[mm]
h_{pl}	hloubka plastického vniku střížníku	[mm]
h_s	hloubka vniku střížníku	[mm]
h_v	pracovní zdvih	[mm]
h_z	hloubka zkosení střížníku	[mm]
I	kvadratický moment setrvačnosti kruhového průřezu	[mm ⁴]
JR	jmenovitý rozměr	[mm]
K	délka kroku	[mm]
k_o	součinitel určující polohu neutrální plochy	[-]
L_c	celková délka neutrální plochy	[mm]
L_o	délka ramene	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
L_{oi}	dílčí zakřivená délka neutrální plochy	[mm]
L_{ri}	dílčí rovná délka neutrální plochy	[mm]
L_{sv}	délka svitku	[mm]
l_h	délka střižné hrany	[mm]
$l_{krit.}$	kritická délka střižníku	[mm]
l_v	vzdálenost ohybných podpor	[mm]
m_{sv}	hmotnost svitku	[kg]
n	koeficient otupení	[-]
n_b	koeficient bezpečnosti	[-]
n_{sv}	počet svitků pro výrobní sérii	[ks]
n_v	počet výstřižků z jednoho svitku	[ks]
P	šířka pásu	[mm]
P_o	přípustná míra opotřebení	[mm]
Q	velikost výrobní série	[ks · rok ⁻¹]
R	vnější poloměr ohybu	[mm]
RAD	funkční rozměr střižníku	[mm]
RED	funkční rozměr střižnice	[mm]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	pevnost v tahu	[MPa]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
R_{mo}	poloměr zaoblení ohybníku	[mm]
R_n	poloměr zaoblení ohybnice	[mm]
R_0	vnitřní poloměr ohybu	[mm]
R_p	poloměr vyztužovacího žebra	[mm]
S_{d1}	dosedací plocha střižníku s $\varnothing 5,5$ mm	[mm ²]
S_{d3}	dosedací plocha tvarového střižníku	[mm ²]
S_s	střižná plocha	[mm ²]
S_{si}	střižná plocha dílčích střižníků	[mm ²]
S_{sv}	plocha svitku	[mm ²]
S_v	plocha výstřižku	[mm ²]
s	tloušťka materiálu	[mm]
s_{max}	maximální tloušťka materiálu	[mm]
TA	výrobní tolerance střižníku	[mm]
TE	výrobní tolerance střižnice	[mm]
v	střižná vůle	[mm]
v_o	velikost ohybové vůle	[mm]
x	posunutí neutrální plochy	[mm]
x_0	součinitel posunutí neutrální plochy	[-]
x_{tc}	poloha těžiště celkové síly v ose x	[mm]
x_{ti}	dílčí vzdálenosti těžišť	[mm]
y_{tc}	poloha těžiště celkové síly v ose y	[mm]
z	střižná mezera	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
α	úhel ohybu	[°]
α_z	úhel zkosení střižníku	[°]
γ	úhel ohnutého úseku	[°]
γ_0	úhel odpružení	[°]
ε_c	mezní prodloužení	[-]
ε_t	poměrné tečné přetvoření	[-]
η_{csv}	celkové využití svitků	[%]
η_{sv}	využitelnost jednoho svitku	[%]
λ	součinitel plnosti materiálu	[-]
ρ	poloměr obecné vrstvy ohybu	[mm]
$\Delta\rho$	změna poloměru	[-]
$\rho_{ocl.}$	hustota materiálu	[kg · mm ⁻³]
ρ_0	poloměr neutrální plochy	[mm]
σ	napětí v místě ohybu	[MPa]
σ_{s1}	otlačení pro střižník s nejmenší plochou	[MPa]
σ_{s3}	otlačení pro střižník s největším namáháním	[MPa]
σ_t	napětí v místě ohybu	[MPa]
τ_s	pevnost ve stříhu	[MPa]
φ_t	logaritmické tečné přetvoření	[-]
ψ	součinitel plnosti diagramu	[-]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Materiálový list SLM materiálu DC01
Příloha 2	Součinitel plnosti materiálu λ
Příloha 3	Směrnice pro stanovení šířky odpadu
Příloha 4	Linka obsahující odvíjecí a podávací zařízení
Příloha 5	Využitelnost svitků
Příloha 6	Výpočet plochy výstřížku bez konstrukčních otvorů pomocí programu Autodesk Inventor 2024
Příloha 7	Vypočítané délky střížných hran pomocí programu Autodesk Inventor 2024
Příloha 8	Tolerance a přípustné míry opotřebení
Příloha 9	Technické parametry lisu Mecânica Exacta model DM-S
Příloha 10	Parametry plynové pružiny CX 500-025
Příloha 11	Parametry plynové pružiny M2-38.1-Yellow

SEZNAM VÝKRESŮ

Držák zásuvky	2024-BP-239024-D00
Sdružený nástroj	2024-BP-239024-S00
Kusovník	2024-BP-239024-K00
Střížník	2024-BP-239024-17
Matrice 2	2024-BP-239024-07



Data Sheet

Steel 1.0330 / DC01

Alternative Designations

10130 (EN) | A1008 (ASTM) | G3141 (JIS) | 3574 (ISO)

Key Features

Low-carbon content • Ductile • Good weldability • Low strength

Description

It is a non-alloy cold-rolled steel with very low carbon content. It is often used in the automotive industry and for making electronic components. The low carbon content of this steel makes it very easy to work with. It can be welded, brazed and soldered without any issues. It is also very ductile, meaning it can be easily formed into different shapes. This makes it ideal for use in a wide range of applications. It is not as strong as some other steel grades, so it is not suitable for use in applications where high levels of strength are required.

Mechanical Properties

Yield strength	140 – 280 MPa
Tensile strength	270 – 410 MPa
Elongation at break	28%
Hardness	105
Module of elasticity	200 GPa

Physical Properties

Density	700 kg/dm ³
Electrical resistivity	0.34 Ω mm ² /m
Coefficient of thermal expansion	21 K ⁻¹ · 10 ⁻⁶
Thermal conductivity	14.3 – 31.2 W/m · K
Specific heat capacity	112 J/kg · K

Chemical Composition

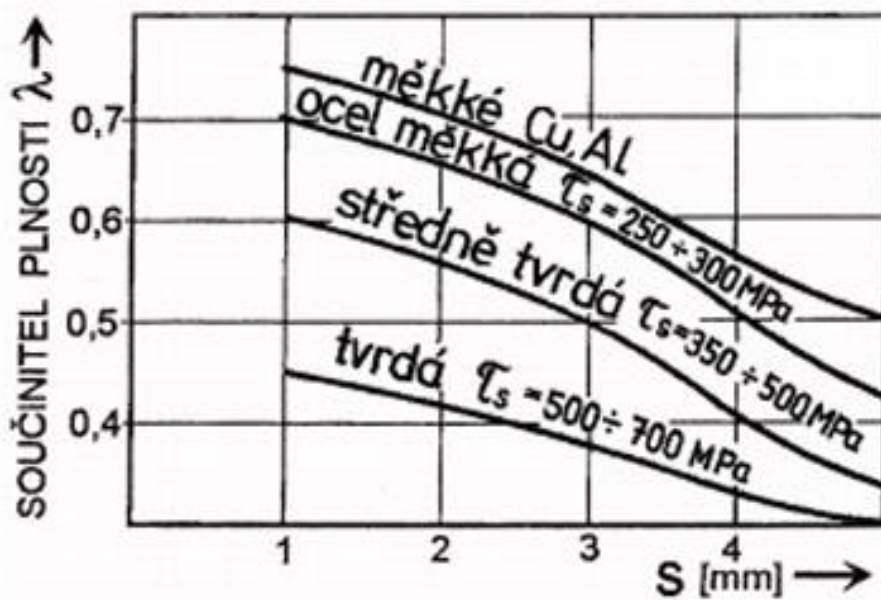
Al	-	N	-
Bi	-	Nb	-
C	0.12%	Ni	-
Cd	-	O	-
Co	-	P	0.045%
Cr	-	Pb	-
Cu	-	S	0.045%
Fe	-	Si	-
H	-	Sn	-
Mg	-	Ti	-
Mn	0.6%	V	-
Mo	-	Zn	-

Reference

Datasheets provided by Xometry contain materials sourced through trusted OEMs, material distributors, and databases. Please visit [Materialdatacenter.com](https://www.materialdatacenter.com) for further information on this material.

[CNC Machining](#) • [Sheet Metal](#) • [3D Printing](#) • [Injection Moulding](#) • [Die Casting](#)

[xometry.eu](https://www.xometry.eu)



Tab. 15 Parametry postupového stříhání – čtvercový tvar

Tloušťka materiálu	Šířka pásu											
	do 15		15 – 50		50 – 100		100 – 200		200 – 300		300 – 400	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
0,1 – 0,9	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8	2,2	2,5	3,1				
1	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5	3	3,7	4	4,8	4,8	6
1,3	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	4,2	5,2	5,3	6,5
1,5	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	4,5	5,4	5,6	6,8
1,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	3,5	4,3	4,7	5,6	5,8	7
2	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4	5	5	6	6	7
2,2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,2	6,2	7,2
2,5	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,3	7,2
2,8	2,8	3,5	3	3,7	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,5	7,3
3	3	3,7	3,2	4	3,5	4,3	4,5	5,5	5,5	6,5	6,6	7,5
3,5			3,5	4,3	4	5	5	6	6	7	7	8,5
4			3,8	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6,7	8	8	9,3
4,5			4,0	4,8	4,5	5,7	5,5	6,8	7	8,3	8,3	9,8
5			4,5	5	5	6	6	7	7,3	8,5	8,7	10

Výpočet délky kroku: $k = l_v + e$ [mm]

Šířka pásu: $P = š_v + 2f + g$ [mm]

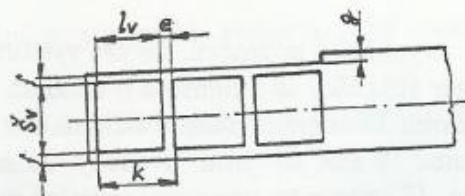
l_v – délka výstrižku

$š_v$ – šířka výstrižku

e – můstek

f – šířka okraje plechu

g – okraj po ostřížení ostříhovacím nožem



2. Vybavení podávací linky

2.1. Motorický odvíjáč

- ✓ Max. hmotnost svitku: 2000 kg
- ✓ Max. šířka svitku: 800 mm
- ✓ Max. vnější průměr: 2000 mm
- ✓ Vnitřní průměr svitku: 470 - 520 mm
- ✓ Hydraulické nastavení trnu
- ✓ Hydraulické přitlačné rameno
- ✓ Navážecí vozík – opce
- ✓ Automatické centrování svitku a motorický zarovnávací systém - opce



2.2. Kombinovaný podavač s rovnačkou

- ✓ Šířka svitku: 80 - 800 mm
- ✓ Tloušťka plechu: 0,8 – 3 mm
- ✓ Max. průřez 2000 mm²
- ✓ Max rychlost 60 m/min
- ✓ 2 páry upínacích válců s průměrem 100 mm
- ✓ 7 rovnacích válců s průměrem 90 mm
- ✓ Všechny rolny jsou kalené (58-60 HRC) a broušeny
- ✓ Manuální nastavení výšky rovnacích válců (motorické za příplatek, stejně jako sledování průřezu v HMI stroje)
- ✓ Vedení na vstupu pro vycentrování svitku
- ✓ Hydraulický zaváděcí stůl
- ✓ Hydraulické otevírání hlavy pro snadné čištění
- ✓ Motorické výškové nastavení +/- 150 mm
- ✓ Pneumatické uvolnění upínacích válců
- ✓ Enkodér pro přesné pozicování svitku



2.3. Ostatní vlastnosti

- ✓ Ovládací systém je integrován do kontrolního systému lisu. To znamená, že celá linka má centrální řídicí systém a centrální ovládání programů
- ✓ Kontrolní systém umožňuje následující operace, či nastavení
 - ✓ Pohyb dopředu
 - ✓ Pohyb dozadu
 - ✓ Počet opakování v jednom kroku do maximálního počtu 9 opakování při jednom kroku
 - ✓ Podávací rychlost
 - ✓ Několik podávacích kroků
 - ✓ Aktivace, či deaktivace
 - ✓ Otevření hlavy rovnačky pro vycentrování svitku
 - ✓ Uložení až 100 programů
 - ✓ Automatické sledování operací

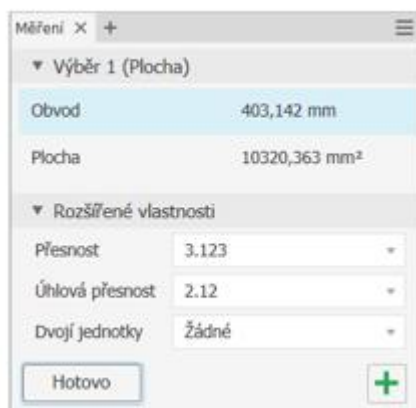
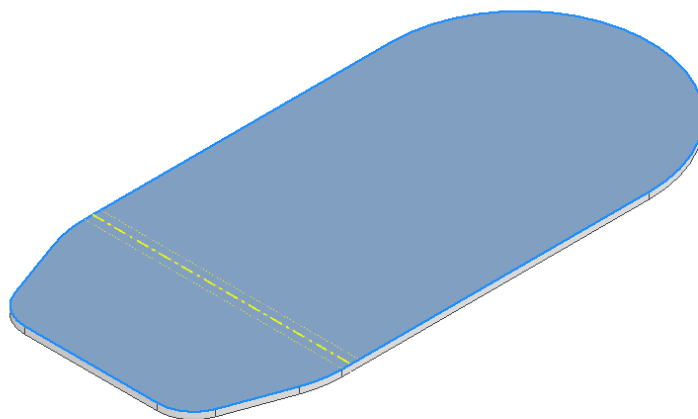
Tab. 7 Využitelnost svitků pro příčné uspořádání.

D_{sv} [mm]	n_{sv} [ks]	S_{sv} [mm ²]	η_{sv} [%]	η_{csv} [%]
1000	27	45 276 931	87,37	84,42
1200	17	72 128 100	87,38	84,17
1400	12	103 861 301	87,38	82,80
1600	9	140 476 532	87,38	81,63
1800	7	181 973 795	87,38	81,02
2000	6	228 353 088	87,38	75,32

Tab. 8 Využitelnost svitků pro podélné uspořádání.

D_{sv} [mm]	n_{sv} [ks]	S_{sv} [mm ²]	η_{sv} [%]	η_{csv} [%]
1000	55	20 977 728	90,71	89,45
1200	35	33 418 425	90,72	88,23
1400	24	48 121 066	90,72	89,36
1600	18	65 085 652	90,72	88,09
1800	14	84 312 183	90,72	87,43
2000	11	105 800 658	90,72	88,68

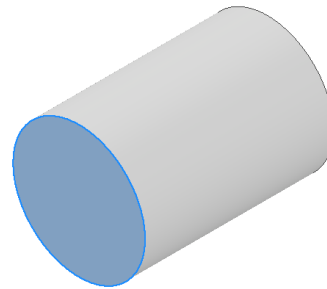
Výpočet plochy výstřížku bez konstrukčních otvorů pomocí programu Autodesk Inventor 2024



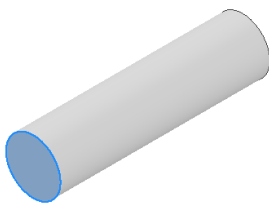
Vypočítané délky střížných hran pomocí programu Autodesk Inventor 2024



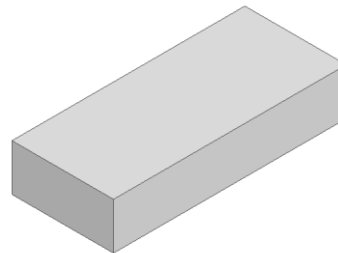
Měření × +	
▼ Výběr 1 (Plocha)	
Obvod	17,279 mm
Plocha	23,758 mm ²
▼ Rozšířené vlastnosti	
Přesnost	3.123
Úhlová přesnost	2.12
Dvojitá jednotky	Žádné
Hotovo +	



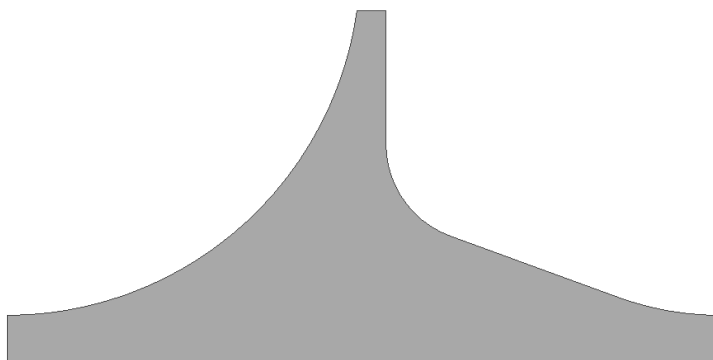
Měření × +	
▼ Výběr 1 (Plocha)	
Obvod	109,956 mm
Plocha	962,113 mm ²
▼ Rozšířené vlastnosti	
Přesnost	3.123
Úhlová přesnost	2.12
Dvojitá jednotky	Žádné
Hotovo +	



Měření × +	
▼ Výběr 1 (Plocha)	
Obvod	40,841 mm
Plocha	132,732 mm ²
▼ Rozšířené vlastnosti	
Přesnost	3.123
Úhlová přesnost	2.12
Dvojitá jednotky	Žádné
Hotovo +	



Měření × +	
▼ Akumulované vlastnosti	
Vzdálenost	53,600 mm
Délka	21,800 mm
Délka	10,000 mm
Délka	21,800 mm
▼ Rozšířené vlastnosti	
Hotovo +	



Měření × +	
▼ Akumulované vlastnosti	
Vzdálenost	108,980 mm
Délka	51,532 mm
Délka	2,949 mm
Délka	13,548 mm
Délka	12,217 mm
Délka	18,261 mm
Délka	10,472 mm
▼ Rozšířené vlastnosti	
Přesnost	3.123
Úhlová přesnost	2.12
Dvojitá jednotky	Žádné
Hotovo +	

Tolerance a přípustné míry opotřebení [52]

Tolerance součástky TS		Přípustná míra opotřebení P	Výrobní tolerance	
od	do		Střížnice - TE	Střížnfku - TA
0,020	0,025	0,020	0,007	0,004
0,025	0,030	0,025	0,008	0,005
0,030	0,035	0,030	0,009	0,006
0,035	0,040	0,035	0,011	0,008
0,040	0,045	0,040	0,013	0,009
0,045	0,050	0,045	0,016	0,011
0,050	0,060	0,050	0,019	0,013
0,060	0,070	0,060	0,022	0,015
0,070	0,080	0,070	0,025	0,018
0,080	0,090	0,080	0,029	0,020
0,090	0,100	0,090	0,032	0,023
0,100	0,120	0,100	0,036	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

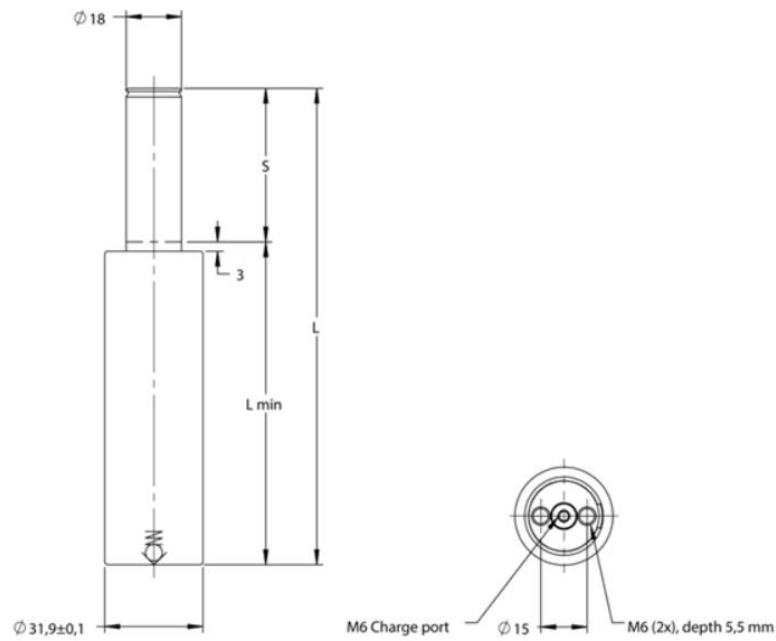
Excentrické lisu Mecânica Exacta, modely DM-S



Lisy modelové řady DM-S s uzavřeným typem rámu „H“ a jednou ojnicí jsou určeny pro výrobu vyžadující menší velikost stolu a rozložení lisovacích sil. Samozřejmostí je možnost integrace lisů typu DM-S do linek pro práci se svítky. Každý ze strojů z produkce Mecânica Exacta je navrhován, vyvíjen a zpracován v nejvyšší možné kvalitě s důrazem na každý jeho detail. Stroje vynikají velmi dlouhou životností v řádech několika desítek let, vysokým standardem základního vybavení, velmi jednoduchým a uživatelsky přívětivým ovládním a potřebou minimálního množství času na seřizování, přestavování a údržbu stroje.

Přehled technických parametrů

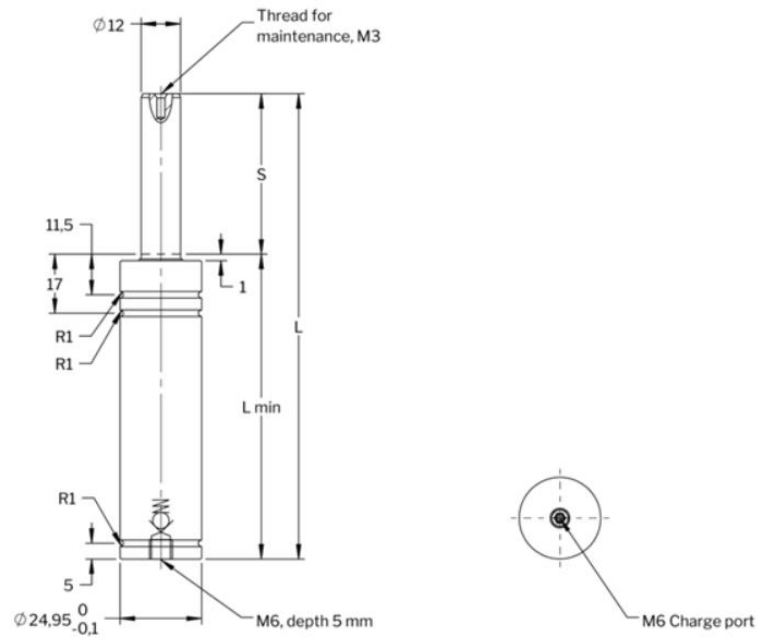
Model	DM160-S	DM250-S	DM400-S
Kapacita [kN]	1600	2500	4000
Nominální výška [mm]	6,2	9,7	12,5
Energie pro průběžnou činnost [kJ]	7	14	28,8
Energie pro jednotlivý zdvih [kJ]	14	28	28,8
Rychlost [cyklů/min]	45	35	32
Rozsah nastavení rychlosti [cyklů/min]	30 – 75	25 – 60	22-50
Rozsah nastavení výšky zdvihu [mm]	25 – 160	25 – 200	25 – 250
Rozměry stolu [šířka x hloubka] [mm]	1400 x 1000	1600 x 1000	1800 x 1000
Rozměry beranu [šířka x hloubka] [mm]	1200 x 1000	1400 x 1000	1600 x 1000
Uzavřená výška [min. vzdál. beran – stůl] [mm]	450	530	600
Průchod mezi bočnicemi [mm]	620 x 610	720 x 710	800 x 810
Pracovní výška [mm]	965	1080	1225
Nastavení zdvihu [mm]	100	125	150
Počet vedení	8	8	8
Výkon motoru [kW]	30	45	55
Napětí [V / Hz]	400 / 50	400 / 50	400 / 50



L min	Minimum Length (in)	3.15
S	Stroke Length (in)	0.98
L	Total Length (in)	4.13

Item specifications

End Force At Full Stroke (LBF)	1780	Force Increase By Temperature Percent Per (°F)	0.17
Gas Volume (CuF)	0.000706293	Initial Force at max. pressure (lbf)	1150
Max Charging Pressure (Psi)	2900	Max Piston Rod Velocity (FtMin)	314.96
Max. Operating Temperature (F)	176	Min Charging Pressure (PSI)	362
Min. Operating Temperature (F)	32	Recommended Max Strokes Per Minute	~ 70-200
Weight (lb)	0.726		



L min	Minimum Length (in)	3.15
S	Stroke Length (in)	1.5
L	Total Length (in)	4.65

Item specifications

Charging Pressure (Psi)	2610	End Force At Full Stroke (LBF)	695
Force Increase By Temperature Percent Per ($^{\circ}$ F)	0.17	Gas Volume (CuF)	0.00052972
Initial Force at max. pressure (lbf)	450	Max Charging Pressure (Psi)	2610
Max Piston Rod Velocity (FtMin)	314.96	Max. Operating Temperature (F)	176
Min Charging Pressure (PSI)	362	Min. Operating Temperature (F)	32
Recommended Max Strokes Per Minute	~80-100	Weight (lb)	0.44