



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA PATKY SDRUŽENÝM NÁSTROJEM

MANUFACTURING OF A POST ANCHOR BASE BY COMPOUND TOOL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Pokorný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Michal Pokorný**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Eva Peterková, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23

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

Výroba patky sdruženým nástrojem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby tvarové patky pro kotvení dřevěných trámů. Pro výrobu budou navrženy vhodné technologie plošného tváření, jejichž princip bude popsán v úvodní části bakalářské práce. Praktickým výstupem bude návrh postupu výroby zadané součásti, návrh tvářecího nástroje a volba vhodného stroje.

Cíle bakalářské práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na užití technologie plošného tváření.
Návrh postupu výroby a provedení technologických a kontrolních výpočtů.
Volba vhodného stroje.
Návrh tvářecího nástroje pro výrobu zadané součásti.

Seznam doporučené literatury:

TSCHATSCH, Heinz. Metal forming practise: processes - machines - tools. New York: Springer-Verlag, c2006. ISBN 35-403-3216-2.

Handbuch der Umformtechnik: processes - machines - tools. New York: Springer, c1996. ISBN 35-406-1099-5.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design: processes - machines - tools. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření: processes - machines - tools. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.

BIRZER, Franz. Forming and fineblanking: cost effective manufacture of accurate sheetmetal parts. Landsberg/Lech: Verlag Moderne Industrie, c1997. ISBN 34-789-3161-4.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.

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

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá návrhem postupu výroby kotevní patky, která slouží ke spojení dřevěných trámů s betonovým podkladem. Pro výrobu byla zvolena ocel 11 375 a tloušťka plechu 4 mm. Ke zhotovení součásti bude využita kombinace technologií stříhání a ohýbání pro dosažení požadovaného tvaru součásti. K jednotlivým operacím stříhání a ohýbání byly provedeny technologické a kontrolní výpočty. Na základě výpočtů byl navržen a zkonstruován sdružený nástroj a vytvořena výkresová dokumentace. Pro sériovou výrobu bude použit polotovar ve formě svitku. Jako vhodný stroj pro výrobu byl navržen mechanický lis PMV 300, který je doplněn podávací linkou.

Klíčová slova

Tváření, sdružený nástroj, návrh výroby patky, technologický postup, lis

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the design of a production process of an anchor, which is used to connect wooden beams to a concrete base. Steel sheet 11 375 of a 4 mm thickness was chosen for the production. A combination of cutting and bending technologies will be used to achieve the desired shape of the component. Technological and control calculations were performed for the cutting and bending operations. Based on the calculations, the compound tool was designed and constructed and a drawing documentation of it was created. A semi-finished product in the form of a roll sheet will be used for production. The PMV 300 mechanical press, supplemented by a feeding line, was proposed as a suitable machine for production.

Keywords

Forming, compound tool, anchor production design, technological process, press

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

POKORNÝ, Michal. *Výroba patky sdruženým nástrojem* [online]. Brno, 2023. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/149254>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba patky sdruženým nástrojem vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

V Brně dne 25.5. 2023

Michal Pokorný

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky, které mi poskytla při vypracování bakalářské práce a za čas, který mi věnovala při konzultacích.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD.....	9
1 Rozbor zadání.....	10
1.1 Varianty řešení výroby	11
2 Stříhání	13
2.1 Střížná vůle	14
2.2 Střížná plocha	14
2.3 Střížná síla a práce	15
2.4 Technologičnost výstřížků.....	17
2.5 Kontrola střížníku na vzpěr	18
3 Ohýbání.....	19
3.1 Rozložení napětí a neutrální vrstva	19
3.2 Odpružení	21
3.3 Minimální a maximální poloměry ohybu	22
3.4 Ohybová síla a práce	23
3.5 Technologičnost ohýbaných součástí.....	25
4 Návrh technologie výroby	26
4.1 Rozvinutý tvar.....	27
4.2 Plán výroby.....	28
4.3 Technologické výpočty	30
4.4 Kontrola střížníků na vzpěr a otláčení.....	32
4.5 Určení funkčních rozměrů střížníků a střížnice	34
4.6 Výpočet polohy výsledné síly.....	35
4.7 Výchozí polotovar.....	37
4.8 Popis nástroje.....	39
4.9 Volba stroje a linky	42
ZÁVĚR.....	44

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

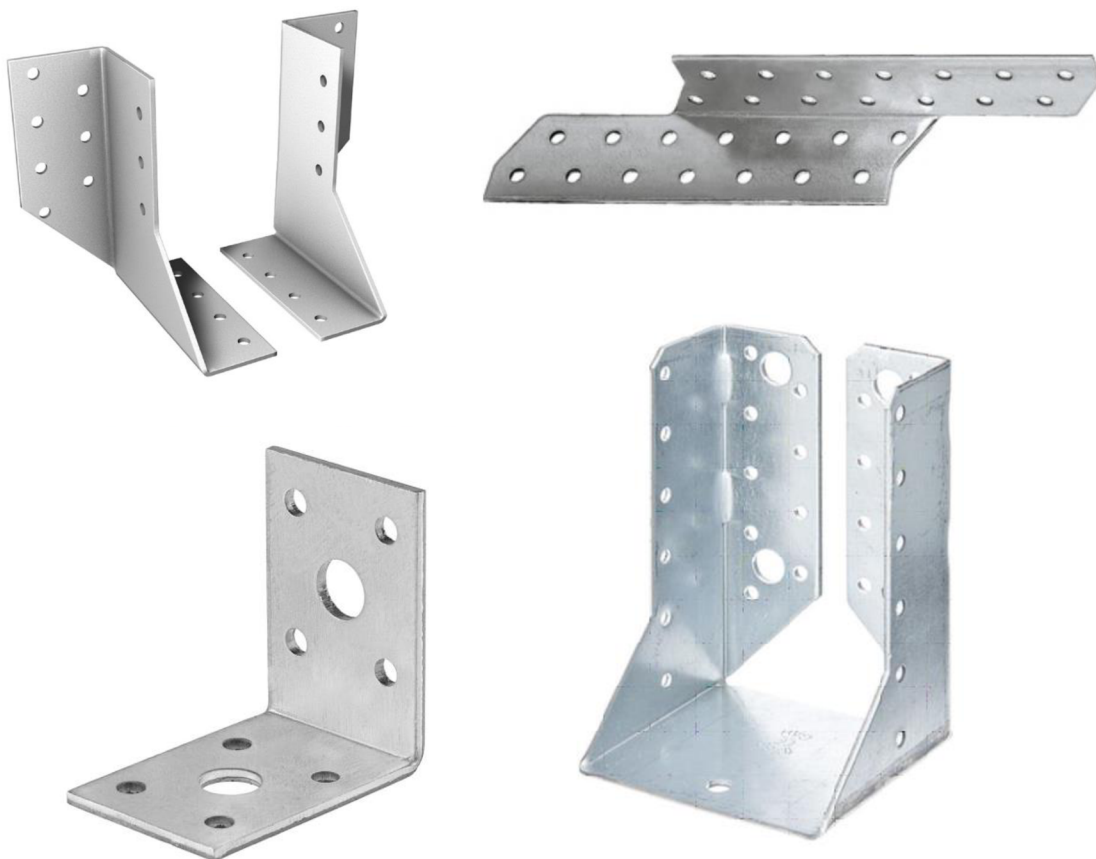
Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD

K dosažení konečného tvaru součásti se ve strojírenství využívá mnoho různých technologií výroby. Pro volbu nejvhodnější technologie je zapotřebí vzít v úvahu několik faktorů, jako jsou např. výrobní náklady, požadovaná jakost výrobku a složitost výroby. Všechny tyto parametry se berou v úvahu, aby proces výroby byl co nejvhodnější pro danou součást a zvolená varianta výroby byla co nejekonomičtější. Mezi základní a nejrozšířenější technologie strojírenské výroby patří především obrábění, svařování, odlévání a tváření.

Tváření je proces výroby, při kterém se výchozí polotovary převádí do jiného geometrického tvaru. Smyslem tohoto procesu je dát součástem trvale jiný tvar za pomoci působení vnějších sil. Průběh vláken zůstává zachován, zlepšuje se pevnost a lze vyrábět výrobky i s malými výrobními tolerancemi. Výjimkou je technologie stříhání, kde porušení soudržnosti materiálu je žádané. Hlavními výhodami tváření je produktivita výroby, dobré mechanické vlastnosti a vysoké využití materiálu, kdy nedochází k odstraňování přebytečného materiálu. Tváření lze rozdělit na tváření za tepla a za studena. Oproti tváření za tepla probíhá tváření za studena pod rekrytalizační teplotou, nedochází k zoxidování povrchu a vzniku okují. Při tváření za studena se také zvyšuje pevnost a snižuje tažnost materiálu. Dále se tváření rozděluje na plošné a objemové. U objemového tváření dochází k přeskupování objemu materiálu za působení prostorové napjatosti a lze sem zařadit například zápustkové kování a protlačování. Při plošném tváření nedochází k podstatné změně průřezu a tloušťka výchozího materiálu je zachována. K technologiím plošného tváření se řadí ohýbání, tažení, stříhání, lemování, zakružování apod. S výrobky plošného tváření se lze setkat v domácnostech, automobilech, v sestavách různých strojů nebo jako stavební prvky apod. (obr. 1). [1], [2]



Obr. 1 Příklady výrobků zhotovených technologií ohýbání a stříhání [3], [4], [5], [6].

1 ROZBOR ZADÁNÍ

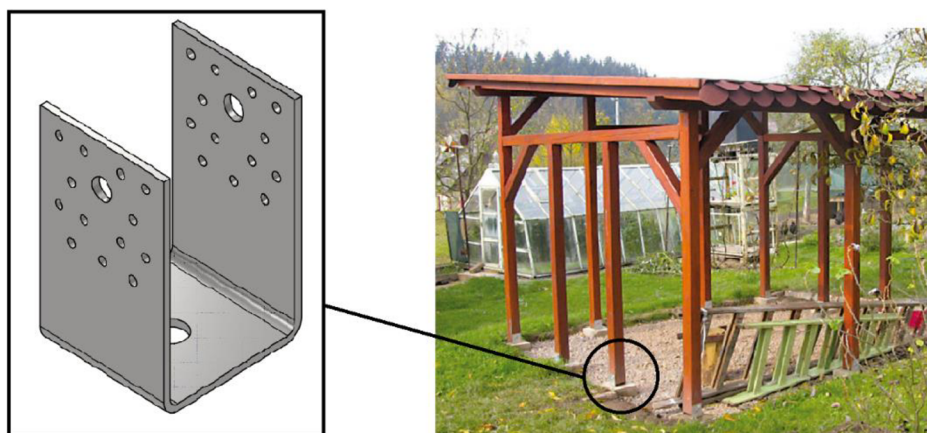
Řešenou součástí je patka (obr. 2), která se bude vyrábět z oceli. Patka se využívá pro kotvení lehčích dřevěných konstrukcí jako dětská hřiště, pergoly, dřevníky, zahradní altány a přístřešky pro auta (obr. 2). Funkcí součásti je zajistit spoj mezi trámem a betonovým podkladem. Součást má tvar písmene U a její šířka je 80 mm, délka 88 mm a výška 125 mm. Obsahuje 26 otvorů o průměru 5 mm, 2 otvory o průměru 13 mm a 1 otvor o průměru 20 mm. Nejmenší otvory se budou využívat pro zatloukání hřebíků a dosažení pevného spojení patky s dřevěným trámem. K zajištění trámu v patce lze také využít šroubu a matice. Největší otvor na spodní části se použije pro kotvení patky k betonovému podkladu za pomoci závitové tyče. Tloušťka plechu pro výrobu byla zvolena 4 mm. Vzhledem k využití závitové tyče je patka výškově stavitelná a současně lze zajistit odsazení dřeva od vodorovné plochy, ke které je patka přikotvena. Tímto odsazením se prodlouží životnost dřeva a zabrání se degradaci jeho spodní části vlivem povětrnostních podmínek. Nejsou zde vysoké požadavky na přesnost rozměrů a tolerance se budou řídit podle všeobecné tolerance ISO 2768. Jelikož se jedná o stavební prvek, tak na kvalitu povrchu nejsou kladeny žádné nároky, ale měl by působit esteticky, protože bude umístěn na viditelném místě. Předpokládaná výrobní série je 100 000 kusů za rok, kterou je nutné vzít v úvahu při volbě technologie výroby, aby byla z ekonomického hlediska výhodná. Konkrétní materiál pro výrobu byla zvolena ocel 11 375. Jedná se o nelegovanou konstrukční ocel, která je vhodná pro svařování, lisované a za studena ohýbané součástky, které mohou být namáhané staticky a mírně dynamicky. Ocel je vhodná pro povrchovou úpravu. Pro delší životnost součásti se předpokládá, že bude na patce provedena povrchová úprava, která zabrání degradaci součásti vlivem koroze. Pro povrchovou úpravu bude zvoleno žárové zinkování. Chemické složení oceli a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1 a tab. 2.

Tab. 1 Chemické složení oceli 11 375 [7].

C [%]	P [%]	S [%]
max. 0,17	max. 0,045	max. 0,045

Tab. 2 Mechanické vlastnosti oceli 11 375 [7].

Mez kluzu Re [MPa]	Mez pevnosti Rm [MPa]	Tažnost A [%]
235	470	24

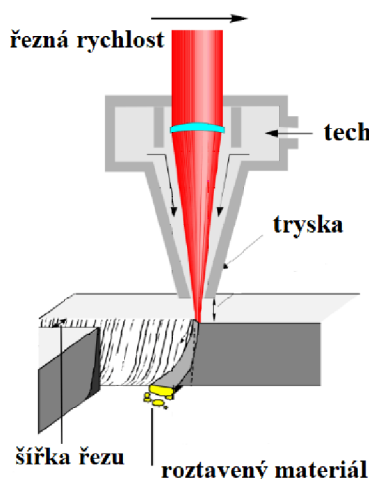


Obr. 2 Kotevní patka [8].

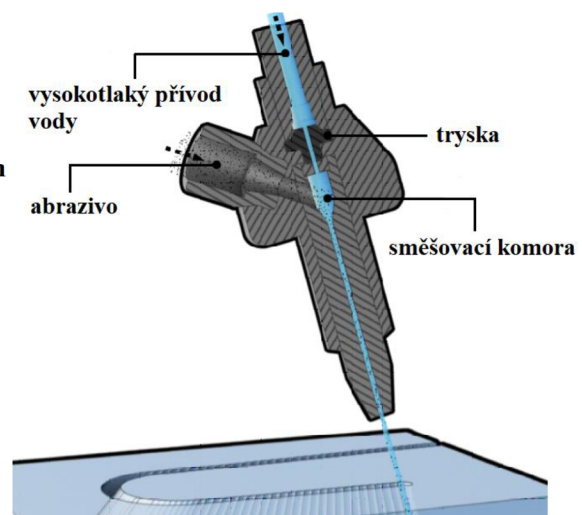
1.1 Varianty řešení výroby

Možností výroby součástí je většinou na výběr několik a je zapotřebí vybrat tu nejvhodnější z hlediska požadavků na kvalitu, technologičnost a složitost výroby. Přihlédnuto by mělo být také k počtu vyráběných kusů a ekonomické stránce výroby, aby byly výrobky konkurenceschopné. Pro výrobu patky bude nutné použít kombinaci různých technologií výroby, protože by pouze jednou technologií nebylo možné součást zhotovit. Byly vybrány čtyři různé varianty výroby:

- Kombinace řezání laserem a ohýbání - hlavní podstatou řezání laserem (obr. 3) je přeměna světelné energie na tepelnou energii. Řezání je založeno na přívodu vysoce koncentrované energie laserového svazku do místa řezu. Při dopadu laserového svazku na materiál dojde k lokálnímu prudkému ohřevu. Během procesu řezání se uplatňují tři fyzikální jevy – spalování kyslíkem, tavení a sublimace (odpaření materiálu). Výhodou je přesnost, kvalita řezu a možnost řezat velmi složité tvary s nejvhodnějším rozložením součásti na tabuli plechu. Nevýhodou je zde opal na spodní straně řezaného materiálu. Laserem by se vyrobil vnější rozvinutý tvar součásti včetně všech otvorů a následně by se součást ohnula do konečného tvaru v ohýbacím nástroji za použití příslušného lisu. [9]
- Kombinace řezání vodním paprskem a ohýbání - materiál je obrušován tlakem tenkého vodního paprsku. Vysokotlaké čerpadlo stlačí vodu a tento tlak je přeměněn na rychlost paprsku vycházející z malé trysky směrem k dělenému materiálu (obr. 4). Pro zvýšení výkonu řezání a řezání tvrdých materiálů se ve směšovací komoře přimísí abrazivní materiál. Využívá se pro řezání v měkkých, křehkých i v materiálech s velmi vysokou pevností. Výhodou je, že řezná hrana není tepelně ovlivněna a je možné vyřezávat složitou geometrii a ideálně rozložit součást na tabuli plechu. Nevýhodou u této metody může být koroze materiálu způsobená vodou a vysoké pořizovací náklady. Vodním paprskem by se zhotovil rozvinutý tvar součásti včetně všech otvorů a k ohnutí by došlo v ohýbacím nástroji za použití příslušného lisu. [10], [11]

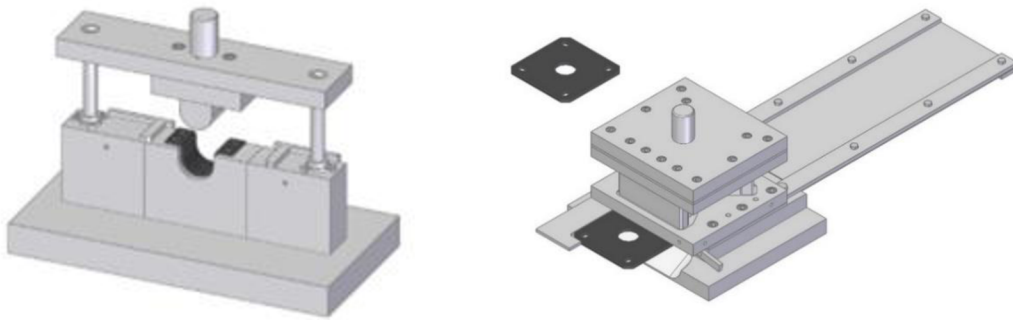


Obr. 3 Řezání laserem [12].



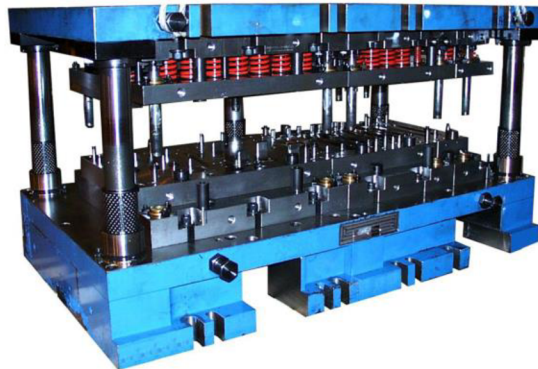
Obr. 4 Řezání vodním paprskem [13].

- Kombinace jednoduchých nástrojů – v této variantě se zvažuje postupná výroba součásti v různých nástrojích konvenčními metodami tváření (obr. 5). Rozvinutý tvar s otvory by se zhotovil v postupovém střížném nástroji, kde by se nejdříve vystříhli otvory a v posledním kroku by se od pásu plechu oddělil rozvinutý tvar součásti. Následně by v dalším nástroji došlo k ohnutí plechu do požadovaného tvaru. Výhodou by zde byla jednodušší konstrukce nástrojů, protože by byl nástroj určen pouze pro jednu technologii. Mezi nevýhody lze zařadit delší výrobní časy, nižší produktivitu, mezioperační přepravu a nutnou manipulaci s materiálem při zakládání do nástrojů.



Obr. 5 Jednoduché nástroje pro ohýbání a stříhání [14].

- Sdružený postupový nástroj – výroba za pomoci sdruženého nástroje (obr. 6) se využívá v případech, kdy je pro výrobu zapotřebí více tvářecích operací a jsou využity různé technologie plošného tváření jako například lemování, ohýbání, stříhání, ražení apod. Na jeden zdvih nástroje jsou v nástroji současně využívány různé metody tváření. Využívají se především při sériové výrobě z důvodu jejich produktivity a snížení nákladů na manipulaci s materiálem při jeho přesunu do jiných nástrojů. Další výhodou jsou krátké výrobní časy potřebné pro zhotovení součásti. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady na výrobu nástroje a jeho složitější konstrukce.



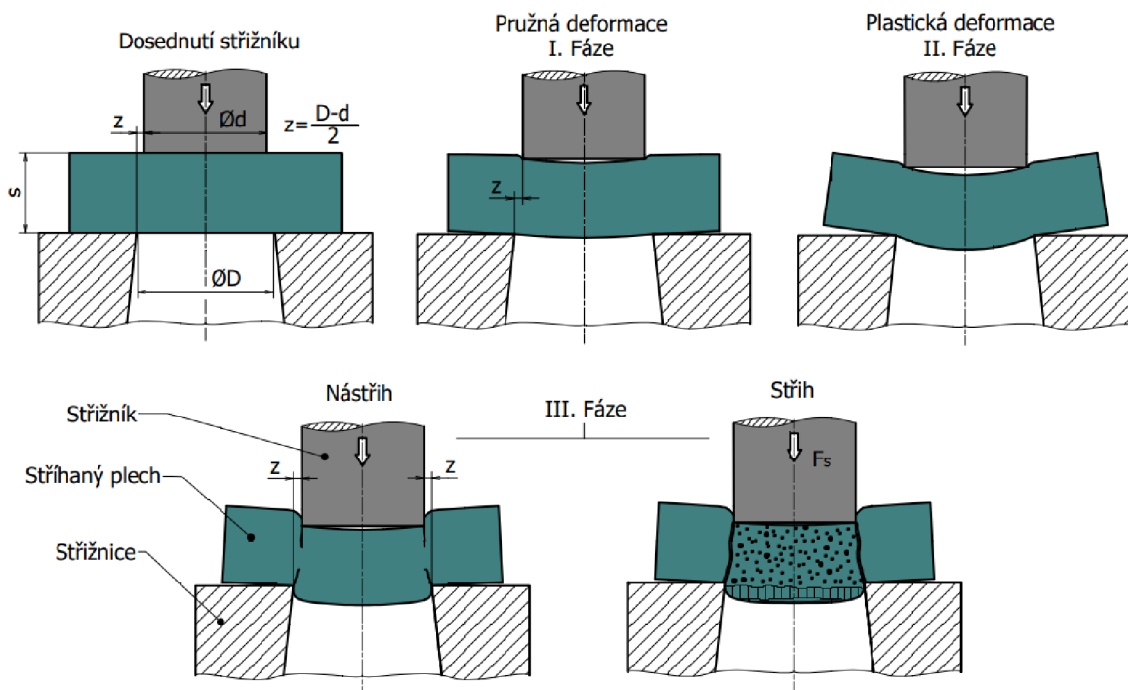
Obr. 6 Sdružený postupový nástroj [15].

Při prostudování těchto výrobních variant a vyhodnocení jejich výhod a nevýhod pro tuto konkrétní součástku byla zvolena výroba ve sdruženém nástroji. V nástroji bude současně využito technologie stříhání a ohýbání. Technologie řezání laserem a vodním paprskem pro zhotovení rozvinutého tvaru součásti byly vyloučeny z důvodu nižší produktivity výroby než při výrobě konvenčními technologiemi. Nedošlo by ani k využití jejich největší přednosti při řezání složitých tvarů, protože rozvinutý tvar součásti má obdelníkový tvar a jsou zde kruhové otvory. Kombinace jednoduchých nástrojů pro konkrétní tvářecí operace byla vyloučena z důvodu malé produktivity výroby. Pro výrobní sérii v počtu 100 000 zhotovených kusů za rok je vhodnější zvolit sdružený nástroj i přes vyšší počáteční náklady. Na výrobu patky pomocí sdruženého nástroje se zaměří bakalářská práce.

2 STŘÍHÁNÍ

Je to jedna z nejrozšířenějších a nepoužívanějších technologií plošného tváření ve strojírenské výrobě a vyznačuje se tím, že je zde žádané porušení soudržnosti materiálu. Stříhání je proces, při kterém dochází k oddělení části materiálu podél křivky stříhu za působení protilehlých střížných hran, které se pohybují proti sobě. Probíhá většinou za studena, ale je možné stříhat i za tepla. Stříhání je možné rozdělit na prosté stříhání, děrování, vystřihování, přistřihování, ostříhování či přesné stříhání. [2], [16], [17], [19]

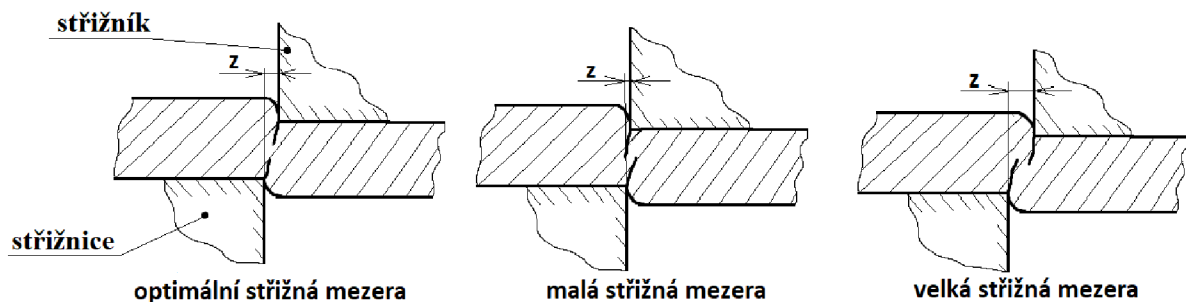
Průběh procesu stříhání lze rozdělit do 3 základních fází (obr. 7), přičemž nejprve střížník dosedne na stříhaný materiál a poté dochází k samotnému stříhání materiálu. Nejprve vznikají v materiálu pružné deformace až do dosažení meze kluzu. V závislosti na konkrétních mechanických vlastnostech stříhaného materiálu je zde hloubka vniku střížníku v rozmezí 5 až 8 % tloušťky materiálu. Materiál se stlačuje a má tendenci se vtlačovat do otvoru střížnice. Ve druhé fázi dochází k nevratné plastické deformaci a napětí již překročilo mez kluzu materiálu. Hloubka vniknutí střížníku do materiálu se pohybuje okolo 10 až 25 % tloušťky materiálu. Stejně jako v první fázi hloubka vniknutí závisí na mechanických vlastnostech materiálu. Ve třetí fázi dochází k namáhání materiálu nad mez pevnosti ve stříhu. U hran střížníku a střížnice začínají vznikat trhlinky, které se rychle šíří proti sobě. Poté nastane lom a tím dojde k oddělení materiálu. K oddělení dochází dříve, než střížník projde celou tloušťkou materiálu. Stříhání je zakončeno vytlačení výstřížku do střížnice. Způsob, jakým budou trhlinky postupovat, je závislý na vlastnostech stříhaného materiálu a velikosti střížné vůle. Nejrychleji dojde k oddělení materiálu při stříhání křehkých a tvrdých materiálu. K oddělení u takových materiálu dochází přibližně při dosažení 10 % hloubky materiálu. Při stříhání součástí z houževnatých materiálu dochází ke vzniku trhlinek pomaleji a střížník musí urazit delší dráhu, aby došlo k odstřížení materiálu. V okamžiku oddělení bývá hloubka vniknutí do houževnatého materiálu přibližně 60 % tloušťky materiálu. [2], [16], [17], [18], [19]



Obr. 7 Průběh stříhání s normální střížnou vůlí [16].

2.1 Střížná vůle

Střížná vůle je rozdíl mezi rozměrem střížnice a střížníku. Významně ovlivňuje velikost střížné síly, trvanlivost střížných hran, jakost střížné plochy a přesnost výstřížků. Střížná vůle se dá také vyjádřit jako součet dvou střížných mezer na obou stranách. Velikost vůle se volí podle druhu stříhaného materiálu a jeho tloušťky. Velikost střížné vůle pro normální stříhání bývá volena v rozmezí 3 až 20 % tloušťky stříhaného materiálu [2]. Pokud by byla střížná vůle příliš velká, došlo by ke zhoršení kvality střížné plochy a vzniku otřepů. V první fázi stříhu by velká mezera také způsobila větší deformace a materiál by se částečně vtahoval do střížné mezery. Při příliš malé vůli dochází k velkému nárůstu střížné síly a práce. Kvalita střížné plochy by byla negativně ovlivněna a funkční části nástroje budou nadměrně opotřebovávány. V případech malé nebo velké vůle se vzniklé trhlinky nesetkají přímo, ale budou se míjet. Při optimálně zvolené střížné vůli (obr. 8) se trhlinky šířící od střížníku a střížnice setkají a vytvoří typickou střížnou plochu odpovídající kvality ve tvaru S (obr. 9). [2], [16], [17], [19], [20]



Obr. 8 Vliv střížné mezery na šíření trhlin [17].

Velikost střížné vůle pro různé tloušťky plechu se stanoví následujícími výpočty:

- Pro plechy tloušťky do 3 mm [20]:

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

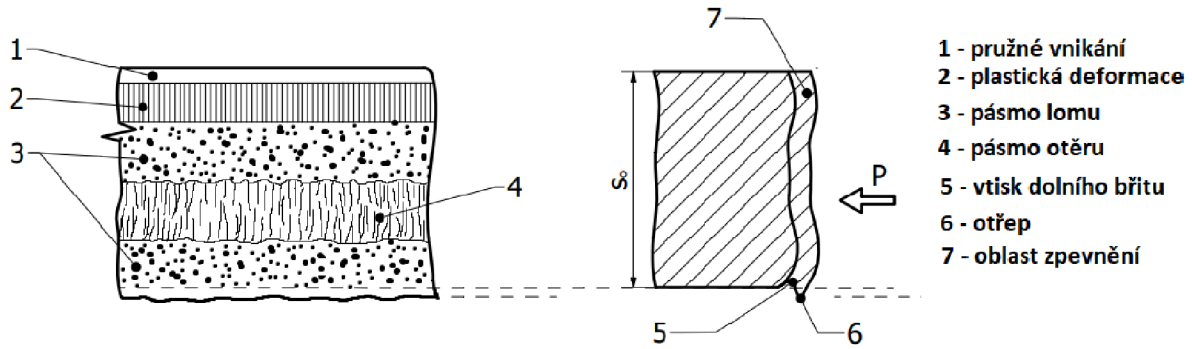
kde: c – koeficient [-],
 s – tloušťka plechu [mm],
 τ_s – střížný odpor [MPa].

- Pro plechy tloušťky nad 3 mm [20]:

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

2.2 Střížná plocha

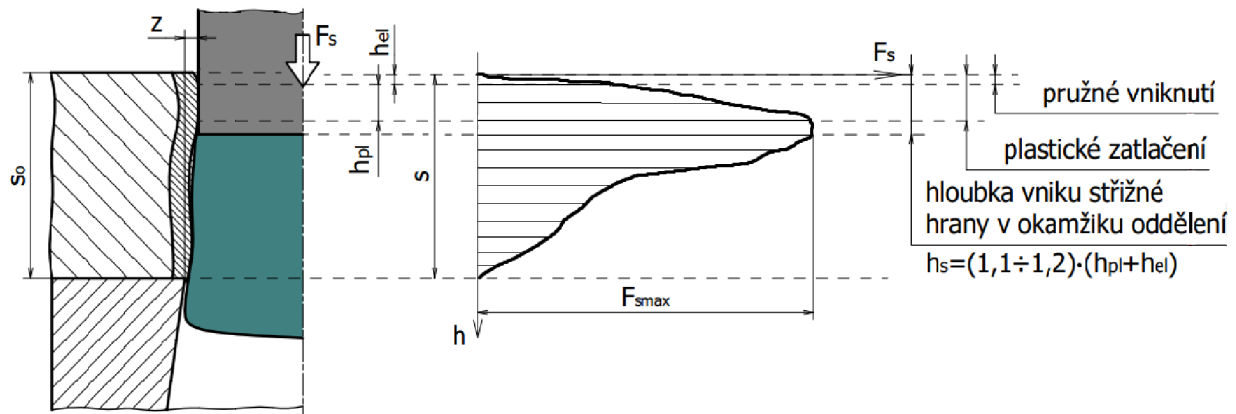
Střížná plocha vznikne po stříhání v důsledku vnikání střížných hran střížnice a střížníku do materiálu. Jakou kvalitu a tvar bude mít střížná plocha ovlivňuje několik faktorů, především velikost střížné mezery, vlastnosti stříhaného materiálu, rychlost stříhání a geometrie střížných hran. Vzhled střížné plochy je zobrazen na obr. 9. Při začátku vnikání střížníku do materiálu vznikají pružné deformace. Oblast plastické deformace vznikne při trvalé deformaci stříhaného materiálu, kdy je napětí větší než mez kluzu a v pásmu lomu dojde k oddělení materiálu vlivem smykových napětí. Lepší kvality střížné plochy lze dosáhnout např. technologií přesného stříhání. [2], [16], [17], [20]



Obr. 9 Vzhled střížné plochy při normální střížné vůli [16].

2.3 Střížná síla a práce

Pro vhodnou volbu lisu je zapotřebí znát střížnou sílu, která představuje odpor stříhaného materiálu proti vniknutí střížníku. Střížná síla se v průběhu procesu stříhání mění a je zapotřebí určit největší sílu v průběhu procesu, která je nutná k odstřížení materiálu. Při vnikání střížníku do houževnatých materiálů dochází k lokálnímu zpevnování, a tím k nárůstu střížného odporu a potřebné střížné síly. Střížný odpor roste po překročení meze kluzu až do dosažení meze pevnosti. Síla dosahuje maximálních hodnot v okamžiku vzniku prvních trhlinek ve stříhaném materiálu. Po dosažení hloubky vniknutí h_s dochází k úplnému porušení materiálu lomem a k následnému oddělení výstřížku s výrazným poklesem síly. Přítomnost síly i v této fázi procesu, kdy je už materiál oddělen, je důsledkem tření mezi oddělenými plochami a třením střížné plochy výstřížku o stěnu střížnice. V případě potřeby snížení velikosti střížné síly je možné upravit čela střížníků jejich zkosením. Upravou čela lze snížit střížnou sílu o 30 až 60 %. Průběh síly je znázorněn na obr. 10. Pro snížení střížné síly lze také provést úkos na střížnici. [2], [16], [17], [18], [19], [23]



Obr. 10 Průběh střížné síly [16].

Střížná síla se spočítá pomocí vzorce [2]:

$$F_s = \tau_s \cdot S \cdot n, \quad (2.3)$$

kde: n – koeficient zohledňující otupení nástroje (volí se 1,0 až 1,3) [-],

S – plocha stříhu [mm^2],

τ_s – střížný odpor [MPa].

Ve většině literárních podkladů se střížný odpor oceli určí podle

$$\text{pevnosti materiálu [16]: } \tau_s = 0,8 \cdot R_m, \quad (2.4)$$

kde: R_m – mez pevnosti [MPa].

Dosazený vztah pro výpočet střížné síly [2]:

$$F_s = R_m \cdot 0,8 \cdot l \cdot s \cdot n, \quad (2.5)$$

kde: l – délka stříhu [mm].

Skutečný střížný odpor závisí především na pevnosti materiálu, ale je také závislý na podmínkách stříhání, především na [2], [16]:

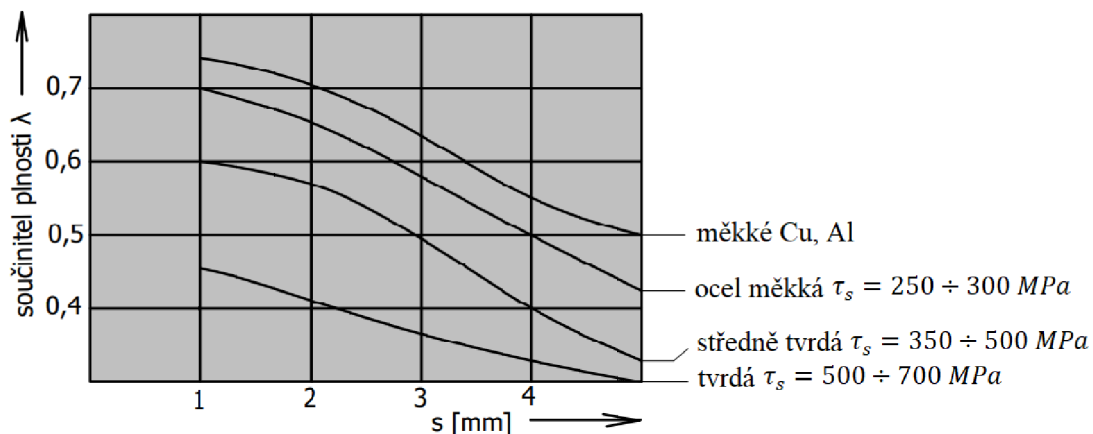
- Velikosti stříhané plochy, tvaru této plochy a tloušťce stříhaného materiálu, kdy se s rostoucí tloušťkou plechu i velikostí plochy stříhu střížný odpor zmenšuje.
- Tření mezi bokem střížné hrany nástroje a výstřížkem.
- Střížné vůli, pro kterou platí, že nejmenšího střížného odporu lze dosáhnout při optimální střížné mezeře, která je znázorněna na obr. 8.
- Dalšíh podmínkách stříhání, jako např. mazání, rychlosti stříhání a opotřebení střížných hran. Vlivem mazání se sníží celkový střížný odpor a k vysunutí výstřížku ze střížnice bude zapotřebí menší síly. Postupné otupování střížných hran se zahrnuje při výpočtu střížné síly, která se zvyšuje koeficientem $n = 1,0$ až $1,3$.

Z průběhu střížné síly v závislosti na dráze střížníku lze stanovit velikost střížné práce jako plochu pod touto křivkou. Křivka je znázorněna na obr. 10. V závislosti na tloušťce stříhaného materiálu a střížném odporu materiálu lze stanovit pro výpočet střížné práce přibližnou hodnotu součinitele plnosti z grafu (obr. 11). [2], [16]

Výpočet střížné práce [16]:

$$A_s = \frac{\lambda \cdot F_s \cdot s}{1000}, \quad (2.6)$$

kde: λ – součinitel plnosti [-],
 s – tloušťka plechu [mm],
 F_s – střížná síla [N].

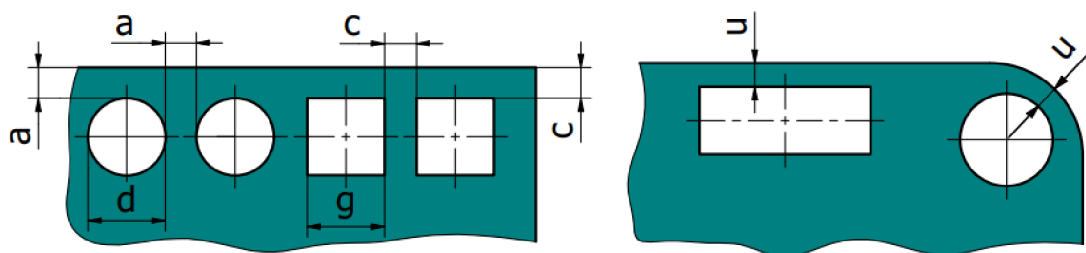


Obr. 11 Graf ke stanovení součinitele plnosti [16].

2.4 Technologičnost výstřížků

Technologičnost u stříhání je komplexní souhrn požadavků, které má splnit součást pro dosažení její vyrobitelnosti, dobrého vzhledu a hospodárnosti výroby. Ve fázi návrhu je nutné brát v úvahu faktory, které vstupují do procesu stříhání. Zvolený materiál by měl vyhovovat funkci součásti a umožnit optimální proces výroby. [2], [16], [17], [21], [22]

- Zajistit co největší využitelnost materiálu a zvolit vhodné rozmístění výstřížků na pásu plechu. Složité a členité tvary nejsou z hlediska využitelnosti materiálu vhodné.
- Počet operací by měl být co nejmenší a využívat jednoduché operace.
- Běžným stříháním lze dosáhnout přesnosti výstřížků IT12 až IT11, v případě využití vodících stojánek a hledáček lze dosáhnout IT9 až IT11 a přesným stříháním přesnosti IT6 až IT8.
- Při volbě rozmístění výstřížků na pásu plechu je zapotřebí vzít také v úvahu směr vláken, které vznikají vlivem válcování plechových polotovarů. Směr vláken značně ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu v různých směrech. Nezbytné je tuto skutečnost zvážit v případě, že po operaci stříhání dále dochází k dalšímu zpracování materiálu např. ohýbáním.
- Drsnosti výstřížku lze dosáhnout v rozmezí Ra 3,2 až 6,3 μm .
- Nejmenší průměr otvoru při děrování měkké oceli by měl být větší jak 1 mm a se zvyšující se tloušťkou plechu se minimální hodnoty zvětšují.
- Plynulé přechody poloměrů do přímek nejsou vhodné.
- Rohy na výstřížku by měly být sraženy nebo zaobleny.
- Upřednostnit kruhové otvory.
- Je nutné dodržet minimální vzdálenosti stříhaných otvorů od hrany plechu (obr. 12):
 - vzdálenost kruhových otvorů: $a \geq 0,8 \cdot s$, (2.7)
 - vzdálenost hranatých otvorů: $c \geq s$, (2.8)
 - vzdálenost mezi otvory a okraji: $u \geq 1,5 \cdot s$. (2.9)



Obr. 12 Technologické vzdálenosti [17].

Už při návrhu konstrukce výstřížku je možné uspořít náklady na výrobu a předejít pozdějším komplikacím. Pro volbu vhodné konstrukce výstřížku je zapotřebí hledat kompromis mezi technickými požadavky, technologickými možnostmi a ekonomickou stránkou výroby. [22]

2.5 Kontrola střížníku na vzpěr

Aby se ověřilo, že střížník odolá namáhání během stříhání a nedojde k jeho porušení, je zapotřebí zkontrolovat střížník o nejmenším průřezu na vzpěr. Kritická síla určuje, jakou silou lze střížník namáhat, aniž by došlo k jeho prohnutí. Kritická vzpěrná síla podle Eulera se spočte podle vztahu [21]:

$$F_{krit} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{red}^2}, \quad (2.10)$$

kde: E – modul pružnosti v tahu [MPa],
 I – kvadratický moment průřezu [mm⁴],
 l_{red} – redukovaná délka [mm],

$$l_{red} = \mu \cdot l_{krit} \quad [\text{mm}], \quad (2.11)$$

kde: μ – koeficient [-].

Se započtením bezpečnosti se kritická síla vypočte dle vztahu [21]:

$$F_{krit} = n_k \cdot F_{si}, \quad (2.12)$$

kde: n_k – koeficient bezpečnosti (2 až 3) [-],

F_{si} – střížná síla pro daný střížník [N].

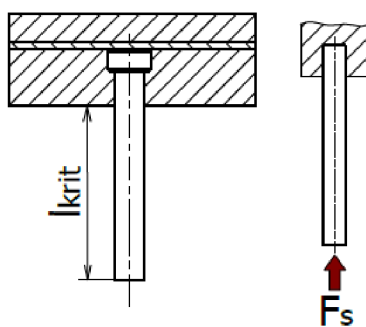
Pro kontrolu je nutné znát kritickou délku střížníku. Navrhnutá volná délka střížníku nesmí být větší, než je spočtená jeho kritická délka. Při překročení by došlo k narušení vzpěrné stability střížníku a tím k jeho zničení.

Pro nevedený střížník (obr. 13) se spočte podle vztahu [21]:

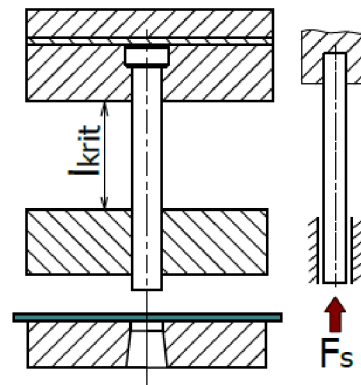
$$l_{krit} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{4 \cdot n_k \cdot F_s}}, \quad (2.13)$$

Pro vedený střížník (obr. 14) se spočte podle vztahu [21]:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n_k \cdot F_s}}, \quad (2.14)$$



Obr. 13 Nevedený střížník [21].

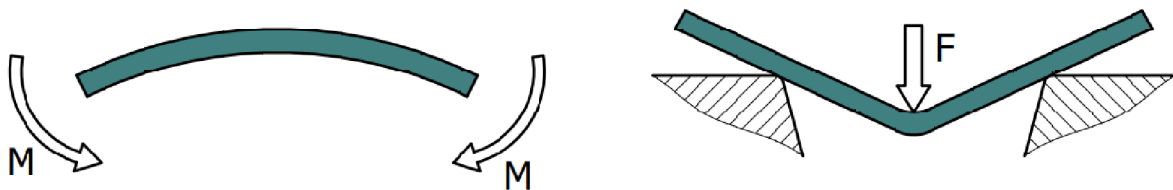


Obr. 14 Vedený střížník [21].

3 OHÝBÁNÍ

Při této technologii výroby dochází k trvalému deformování materiálu pod vlivem lokálních sil nebo ohybových momentů. Součásti z plechu, tyčí a drátů trvale mění svoji křivost, přičemž se při ohýbání zpravidla poloměr zakřivení zmenšuje až do jeho minimální hodnoty na hranici mezní hodnoty deformace za studena. Pokud se poloměr křivosti zvětšuje, dochází k rovnání materiálu. Nejčastěji se ohýbá za studena, ale při ohybu tvrdých a křehkých materiálů je nutné ohýbat za tepla, aby nedošlo k jeho porušení. Během procesu ohýbání jsou rozhodujícím parametrem tahová napětí a jejich kritické hodnoty. Kritické hodnoty napětí v materiálu musí být vždy menší, než je pevnost materiálu v tahu. Ohýbání lze rozdělit na dva základní druhy, které jsou zobrazeny na obr. 15: [2], [16], [17]

- a) Ohyb vnějšími momenty (obr. 15 - vlevo)
- b) Ohyb lokálními silami (obr. 15 - vpravo)



Obr. 15 Ohyb vnějšími momenty a osamělou silou [16].

3.1 Rozložení napětí a neutrální vrstva

Na vnitřní straně ohybu se materiál vlivem tlakových napětí stlačuje a na vnější straně se materiál vlivem přítomných tahových napětí roztahuje. U některých vláken dochází tedy k prodlužování a u jiných zase ke stlačování. Mezi nimi se nachází vlákno, které během ohýbání zůstává bez napětí a jeho délka se nemění (obr. 16). Toto vlákno nazýváme „neutrální vlákno“. Díky tomuto vláknu lze vypočítat potřebnou délku výchozího polotvaru. [1], [2], [16], [20]

Poloměr neutrální vrstvy se určí podle následujícího vztahu: [2], [20]

- Ohýbání s velkými poloměry zaoblení, kdy $R_0/s > 12$
Při těchto parametrech ohybu lze předpokládat, že neutrální vrstva prochází středem tloušťky výchozího materiálu [20]:

$$\rho = R_0 + \frac{s}{2}, \quad (3.1)$$

kde: R_0 – poloměr zaoblení [mm].

- Ohýbání s malými poloměry zaoblení, kdy $R_0/s \leq 6$
S malými poloměry ohybu dochází během ohýbání ke změně tloušťky výchozího materiálu a posunu neutrální vrstvy na stranu stlačovaných vláken. [20]

$$\rho = \left(R_0 + \frac{s}{2}\right) \cdot z_z \cdot z_r, \quad (3.2)$$

kde: z_z – součinitel ztenčení [-],

z_r – součinitel rozšíření původního průřezu [-].

Součinitel ztenčení z_z pro ohýbání měkké oceli o 90° lze určit z tab. 4 a jeho hodnota je závislá na poměru R/s . Z tab. 3 je možné určit součinitel rozšíření průřezu z_r .

Tab. 3 součinitel rozšíření při ohýbání z_r [20].

Šířka ohýbaného dílu b [mm]	$b = 0,5 \cdot s$	$b = s$	$b = 1,5 \cdot s$	$b = 2 \cdot s$	$b = 2,5 \cdot s$	$b \geq 3 \cdot s$
Součinitel rozšíření z_r [-]	1,09	1,05	1,025	1,01	1,005	1

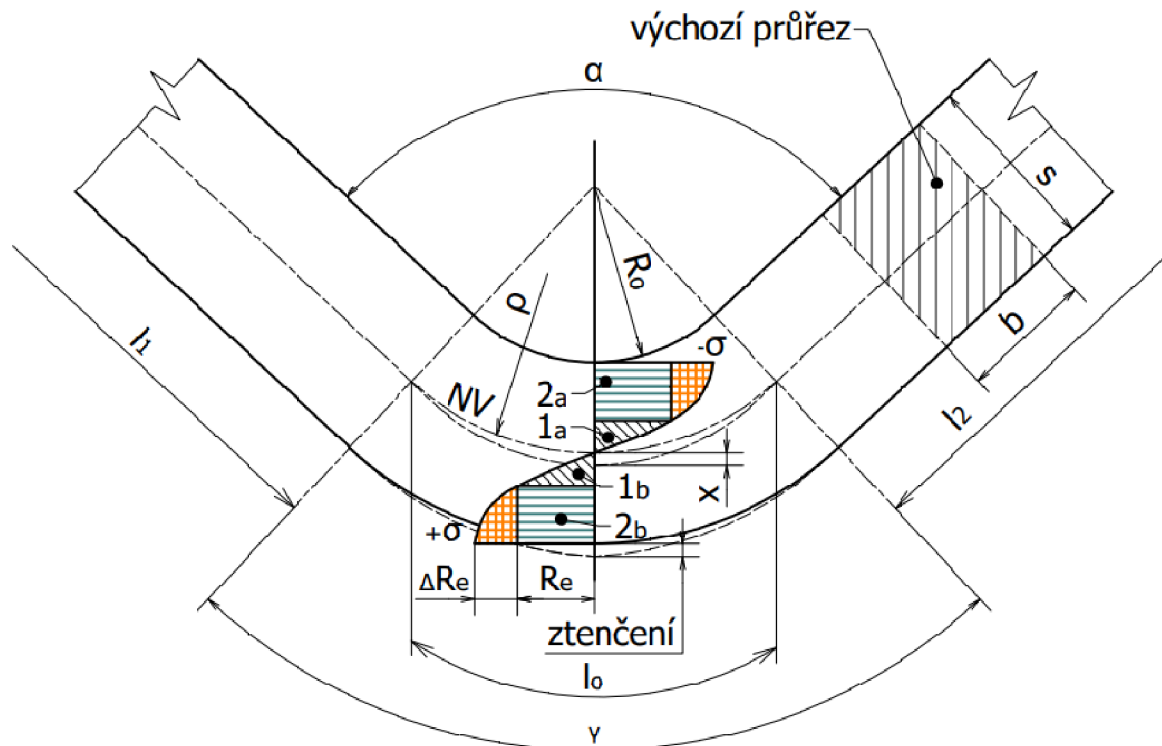
- Ohýbání širokých pásů plechu $b > 3 \cdot s$

Při zpracovávání širokých pásů plechu se poloměr neutrální vrstvy určuje pomocí koeficientu x , který vyjadřuje posunutí neutrální vrstvy [20]:

$$\rho = R_0 + x \cdot s, \quad (3.3)$$

kde: x – posunutí neutrální vrstvy [-].

Velikost poloměru neutrální vrstvy slouží především pro určení délky ohnuté části. Ta je přibližně určena délkou neutrální vrstvy v ohýbané části, která je znázorněna na obr. 16 čerchovanou čarou. [20]



1a, 1b – oblast pružné deformace

2a, 2b – oblast plastické deformace

x – velikost posunutí neutrální vrstvy (NV) od původní osy průřezu

R_0 – poloměr ohybu

ρ – poloměr neutrální vrstvy (NV)

l_0 – délka ohnutého úseku v neutrální vrstvě

γ – úhel ohnutého úseku

α – úhel ohybu

Obr. 16 Průběh napětí při ohýbání [20].

Pro stanovení rozvinuté délky polotovaru pro ohýbání se vychází z délky neutrální vrstvy, jejíž délka se při ohýbání nemění. Pro výpočet je potřeba znát délky rovných úseků a délky oblouků. [17]

Výchozí délka polotovaru [17]:

$$L_C = \sum_{i=1}^n l_{di} + \sum_{j=1}^m l_{oj}, \quad (3.4)$$

kde: l_{di} – délka rovného úseku [mm],

l_{oj} – délka oblouku [mm].

Délka oblouku [20]:

$$l_o = \frac{\pi \cdot (180 - \alpha)}{180} \cdot (R + x \cdot s), \quad (3.5)$$

kde: α – úhel ohybu [°],

x – koeficient posunu neutrální vrstvy [-].

Tab. 4 Hodnoty součinitele x a z_z [20].

$f_i = R/s$	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
x_i [-]	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486
z_z [-]	0,82	0,87	0,92	0,96	0,985	0,992	0,995	0,996	0,996	0,997	0,998

3.2 Odpružení

Po ohýbání za studena dojde v závislosti na materiálu, poloměru ohybu, tloušťce plechu a úhlu ohybu, ke zpětnému odpružení. Z důvodu odpružení není tvar ohýbadla stejný jako výsledný tvar ohnuté součásti a je nutné při konstrukci ohýbadla vzít tuto skutečnost v úvahu. Výsledný úhel odpružení je rozdíl mezi úhlem ohybu α a skutečným úhlem ohnutí součásti, který se změří po odlehčení ohýbané součásti. Odpružení lze na součásti eliminovat zohledněním úhlu odpružení při konstrukci ohýbadla. Ohýbací nástroj lze upravit podbroušením ohybníku o úhel odpružení, zaoblením čela ohybníku a vyhazovače nebo využít kalibraci rohů v místě ohybu. Pokud to konstrukce součásti umožní, lze eliminaci provést také vytvořením prolisů. Odpružení lze také vyřešit způsobem, že se součást ohne více o hodnotu úhlu odpružení β (obr. 17) a při odeznění pružné deformace bude součást ohnuta na požadovaný úhel. [2], [16], [17], [20]

Pro výpočet úhlu odpružení do tvaru U lze využít vztahu [20]:

$$\beta = \arctg \left(0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right), \quad (3.6)$$

kde: l_u – rameno ohybu [mm], viz. obr. 20,

k – součinitel určující polohu neutrální vrstvy v závislosti na poměru R/s [-],

kde: $k = 1-x$ [-]

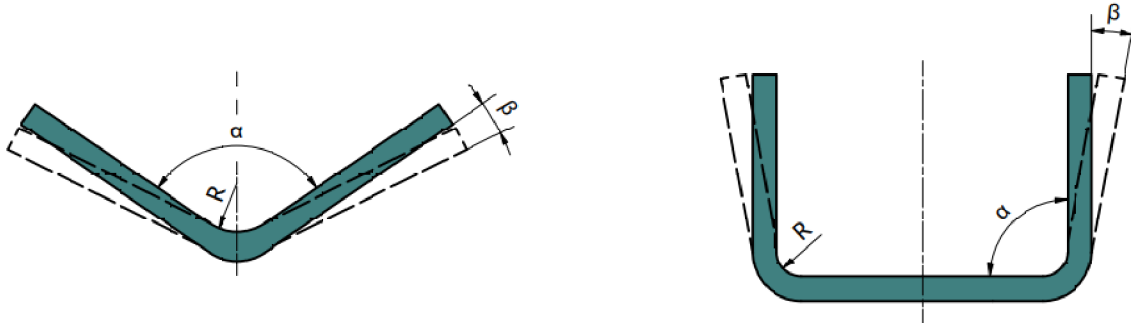
E – modul pružnosti v tahu [MPa] (pro ocel $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa),

R_e – mez kluzu [MPa].

Pro výpočet úhlu odpružení do tvaru V lze využít vztah [20]:

$$\beta = \arctg \left(0,375 \cdot \frac{l_v}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right), \quad (3.7)$$

kde: l_v – vzdálenost mezi podporami ohybnice [mm], viz. obr. 19.



Obr. 17 Odpružení V a U ohybu [24].

3.3 Minimální a maximální poloměry ohybu

Při ohýbání se jako poloměr ohybu označuje poloměr na vnitřní straně ohýbaného dílu po ohnutí. Minimální poloměr ohybu je mezní hodnota, kdy ještě nedojde k porušení materiálu na vnější tahové straně. Minimální poloměr závisí na plastičnosti a anizotropii materiálu polotovaru, jeho tloušťce a kvalitě povrchu. Dalšími parametry, které mohou ovlivnit minimální poloměr jsou způsoby ohýbání, úhel ohybu a šířka materiálu. Hodnotu minimálního poloměru velmi výrazně ovlivňuje anizotropie materiálu a hodnoty se mohou při ohýbání ve směru a napříč vlákny značně lišit (obr. 18). Pro dosažení co nejmenšího minimálního poloměru ohybu je nutné, aby byl ohyb proveden napříč směru vláken v polotovaru (obr. 18 – varianta a). Jestliže je důvodem vzniku trhlin zpevnění materiálu, je třeba zařadit do procesu výroby tepelné zpracování k odstranění deformačního zpevnění. Pokud napětí ve vnějších vláknech překročí mez pevnosti v tahu, dochází k nežádoucímu porušení materiálu. [1], [2], [16], [17], [20].

Výpočet minimálního poloměru ohybu [2]:

$$R_{min} = c \cdot s, \quad (3.8)$$

kde: c – součinitel, který je volen dle použitého materiálu, např. pro ocel

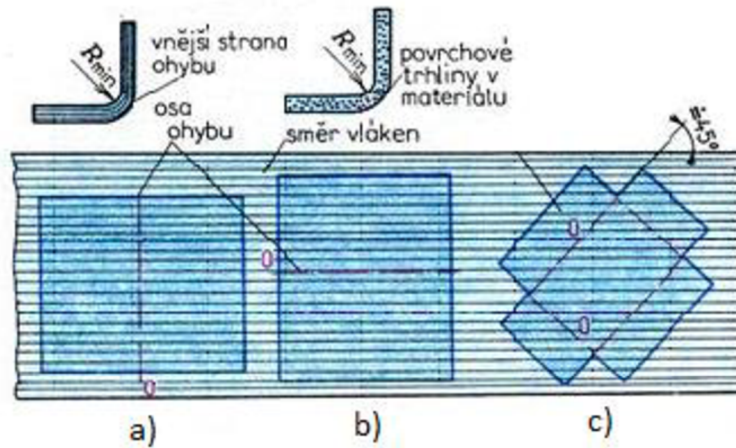
$$c = (0,5 \text{ až } 0,6) [-]$$

Maximální poloměr ohybu je dán potřebou, aby v krajních vláknech v tahové oblasti došlo k trvalé deformaci a vznikl tak první trvalý oblouk. Pokud k plastické deformaci nedojde, tak se ohýbaný polotovar opět narovná a jednalo se pouze o elastickou deformaci. [20]

- Výpočet maximálního poloměru ohybu [20]:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right), \quad (3.9)$$

kde: R_e – mez kluzu [MPa].



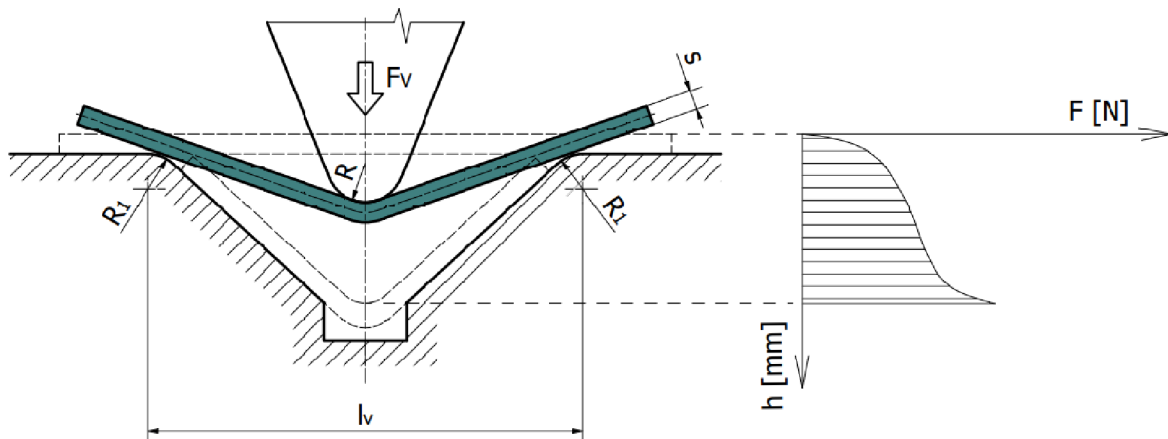
Obr. 18 Vliv vláken na ohýbání [24].

3.4 Ohybová síla a práce

Síla, potřebná pro ohýbání, je dána rovností vnějších a vnitřních ohybových momentů. Výpočet síly závisí na způsobu provedení ohybu. Jiný výpočet bude pro ohyb do tvaru „V“ a ohýbání do tvaru „U“. Průběh síly pro ohyb ve tvaru „V“ je graficky znázorněn na obr. 19 a pro ohyb tvaru „U“ na obr. 20. Pro ohyb do tvaru „V“ je polotvar zatěžován ohýbací silou mezi dvěma podporami a vypočte se podle následujícího vzorce [16], [17], [25]:

$$F_V = \frac{b \cdot s^2 \cdot R_e}{2 \cdot R} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}, \quad (3.10)$$

kde: b – šířka ohybu [mm],
 R – poloměr ohybu [mm],
 α – úhel ohybu [°].

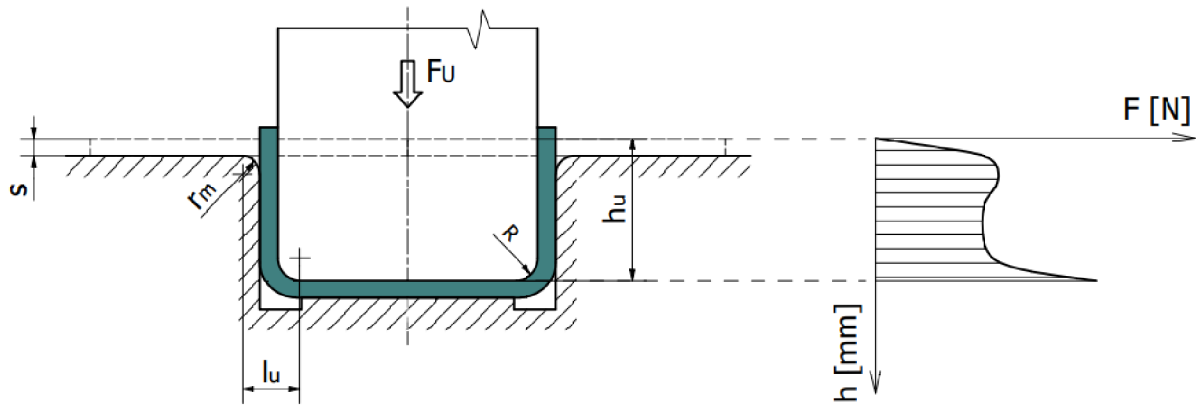


Obr. 19 Průběh síly „V“ ohyb [16], [17].

Síla potřebná pro ohyb do tvaru „U“ [25]:

$$F_U = \frac{4 \cdot b \cdot s^2 \cdot R_m}{3 \cdot (r_m + 1,2 \cdot s + r_p)}, \quad (3.11)$$

kde: r_m – poloměr zaoblení ohybnice [mm],
 r_p – poloměr zaoblení ohybníku [mm].



Obr. 20 Průběh síly „U“ ohyb [16], [17].

Při využití přidržovače se jeho síla volí přibližně na úrovni 25-30 % ohýbací síly. [25]

$$F_p = (0,25 \div 0,3) \cdot F_U, \quad (3.12)$$

Výpočet práce potřebné pro ohyb do tvaru „V“ [17]:

$$A_V = \frac{F_V \cdot h_v \cdot \Psi}{1000}, \quad (3.13)$$

kde: h_v – dráha ohybníku pro „V“ ohyb [mm],
 Ψ – součinitel plnosti diagramu (0,5 až 0,65) [-].

Výpočet práce potřebné pro ohyb do tvaru „U“ [17]:

$$A_U = \frac{F_U \cdot h_u \cdot \Psi}{1000}, \quad (3.14)$$

kde: h_u – dráha ohybníku pro „U“ ohyb [mm],
 Ψ – součinitel plnosti diagramu (0,5 až 0,65) [-].

Při využití kalibrovací síly a přidržovače je možné práci pro ohyb do tvaru „U“ spočítat dle vztahu [17]:

$$A_{Up} = \frac{(F_U + F_p) \cdot h_u \cdot \Psi}{1000}, \quad (3.15)$$

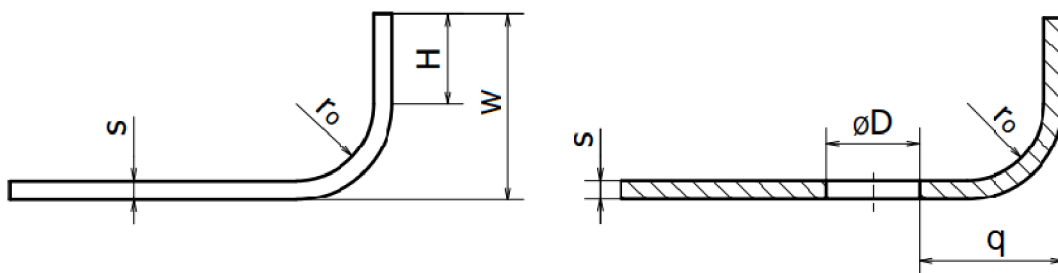
3.5 Technologičnost ohýbaných součástí

Pro výrobu ohýbaných součástí je nutné zhodnotit technologičnost z hlediska tvaru, rozměrů a jestli je pro danou technologii zvolený vhodný materiál. V úvahu je potřeba vzít i různé nedokonalosti, které vzniknou při výrobě, jako je nepřesnost úhlu ohybu, nepřesnost umístění místa ohybu a deformaci průřezu materiálu v místě ohybu. Na přesnost při ohýbání má největší vliv stejnorodost mechanických vlastností materiálu, konstantní tloušťka polotovaru, přesnost a charakter ohýbadla, tvar a rozměry součásti a zdali je využita kalibrace. [2], [17], [20]

Zásady technologičnosti konstrukce součástí [2], [17], [20]:

- Pokud osa ohybu nebude kolmá na směr vláken, je zapotřebí zvětšit $R_{\min.}$, protože je zde vyšší riziko pro vznik trhlin na vnější straně ohybu.
- Při ohýbání mohou ramena různých délek způsobit posuv materiálu na stranu delšího ramene. Došlo by tedy k posunutí místa ohybu a součást by nebyla ohnuta na správném místě. Posunutí lze zabránit použitím kolíku v nástroji, na který je nasunut technologický otvor v plechu.
- Poloměr zaoblení ohybnice je vhodné zvolit $R = (2 \text{ až } 3) \cdot s$. (3.16)
- Vůle mezi ohýbacími čelistmi je obvykle volena přibližně tloušťce ohýbaného polotovaru.
- V místě ohybu dojde ke ztenčení tloušťky materiálu.
- Otvory nebo jiné konstrukční prvky na součásti musí být v dostatečné vzdálenosti od místa ohybu, aby nedošlo k jejich deformaci. Pro vzdálenost okraje otvoru od ohnutého ramene (obr. 21) musí platit: $q \geq R + 2 \cdot s$. (3.17)
- Pro zvýšení tuhosti součástí se v místě ohybu mohou zhotovit prolisy, které vyztuží místo ohybu.
- V případě potřeby vytvořit v součásti přidavné napětí jeho natažením.
- Délka ohýbaného ramene w (obr. 21) má splňovat podmínku, že při poloměru ohybu $r_0 < 1 \text{ mm}$ by mělo platit, že $w \geq 3 \cdot s + r_0$. (3.18)

Současně ale minimální délka ramene musí být $w = 2 \text{ mm}$. Při poloměru ohybu $r_0 > 1 \text{ mm}$ by mělo platit, že $w \geq (2,5 \text{ až } 3) \cdot s$. (3.19)



Obr. 21 Technologičnost ohýbání [17].

4 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

Patka se bude vyrábět z plechu o tloušťce 4 mm v postupovém sdruženém nástroji, který byl zvolen jako nejvhodnější pro danou výrobní sérii. V této kapitole bude ověřena technologičnost součásti, vypočten rozvinutý tvar a provedeny další potřebné výpočty pro střížnou a ohybovou část nástroje. Dále bude vypracován nástřihový plán a určí se počet potřebných operací pro zhotovení součásti. Na základě zvoleného postupu výroby bude navržena konstrukce nástroje, která bude blíže popsána v pozdější kapitole.

Před kontrolními výpočty a samotným návrhem tvářecího nástroje bude ověřena technologičnost konstrukce tvářené součásti. Pokud by z technologického nebo konstrukčního hlediska součást nevyhovovala, musela by se provést její úprava.

Pro operace stříhání:

- U součásti nejsou vysoké požadavky na přesnost jejich rozměrů nebo drsnost. Běžným stříháním lze dosáhnout přesnosti IT12 až IT11 a drsnosti výstřížku Ra 3,2 až 6,3 μm . Tyto parametry jsou pro vyráběnou patku dostačující.

- Nejmenší kruhové otvory pro běžnou technologii děrování [2]:

$$\begin{aligned} d &\geq s \\ 5 &\geq 4 \rightarrow \text{vyhovuje} \end{aligned} \quad (4.1)$$

- Minimální vzdálenost stříhaných obrysů od hrany plechu:

Vzdálenost kruhových otvorů dle vztahu (2.7):

$$a \geq 0,8 \cdot s$$

$$10 \geq 0,8 \cdot 4$$

$$10 \geq 3,2 \rightarrow \text{vzdálenost mezi kruhovými otvory vyhovuje.}$$

Vzdálenost mezi otvory a okrajem dle vztahu (2.9):

$$u \geq 1,5 \cdot s$$

$$7,5 \geq 1,5 \cdot 4$$

$$7,5 \geq 6 \rightarrow \text{vzdálenost otvoru od okraje vyhovuje.}$$

Pro operaci ohýbání:

- Minimální poloměr ohybu dle vztahu (3.8):

$$R_{min} = c \cdot s = 0,5 \cdot 4 = 2 \text{ mm}$$

Vzhledem k tomu, že v případě volby svitku jako polotovaru budou vlákna orientována rovnoběžně se směrem posuvu plechu do nástroje, se zkontroluje i horší varianta. Horší variantou je, že osa ohybu bude rovnoběžná s vlákny (obr. 18). V tomto případě se minimální poloměr určí jako dvojnásobek minimálního poloměru v případě kolmé osy ohybu na směr vláken.

$$R_{min}' = 2 \cdot R_{min} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ mm} \quad (4.2)$$

Nejmenší poloměr, který se bude ohýbat je $R = 5 \text{ mm}$. Minimální vypočtený poloměr pro horší variantu je $R_{min}' = 4$.

$$R_{min}' < R$$

$$4 < 5 \rightarrow \text{z hlediska minimálního poloměru ohybu součást vyhovuje.}$$

- Minimální délka ohýbaného ramene dle vztahu (3.18):

$$w_{\min} = 3 \cdot s = 3 \cdot 4 = 12 \text{ mm}$$

$$w_{\min} < w$$

$$12 < 125 \rightarrow \text{délka ramene vyhovuje.}$$

- Minimální vzdálenost otvoru od místa ohybu dle vztahu (3.17):

$$q_{\min} = R + 2 \cdot s = 5 + 2 \cdot 4 = 13 \text{ mm}$$

$$q_{\min} < q$$

$$13 < 34 \rightarrow \text{minimální vzdálenost otvoru od ohybu vyhovuje.}$$

Z hlediska vyrobitelnosti a dle kontrolovaných parametrů součást vyhovuje a není tak zapotřebí provádět na součásti konstrukční změny.

4.1 Rozvinutý tvar

Délky jednotlivých úseků jsou znázorněny na obr. 22.

Poměr poloměru ohybu a tloušťky plechu:

$$\frac{R}{s} = \frac{5}{4} = 1,25 \quad (4.3)$$

Určení posunutí neutrální vrstvy x (obr. 23):

Hodnoty x_i a f_i vychází z tab. 4 a výpočet je proveden pomocí interpolace.

$$\begin{aligned} x &= (x_5 - x_4) \cdot \left(\frac{\frac{R}{s} - f_4}{f_5 - f_4} \right) + x_4 \\ &= (0,445 - 0,42) \cdot \left(\frac{1,25 - 1}{2 - 1} \right) + 0,42 = 0,4263 \end{aligned} \quad (4.4)$$

Výpočet délky oblouku dle vztahu (3.5):

$$\begin{aligned} l_{o2} &= \frac{\pi \cdot (180 - \alpha)}{180} \cdot (R + x \cdot s) \\ &= \frac{\pi \cdot (180 - 90)}{180} \cdot (5 + 0,4263 \cdot 4) = 10,53 \text{ mm} \end{aligned}$$

Výpočet délky rovného úseku l_1 :

$$l_{d1} = 125 - R - s = 125 - 5 - 4 = 116 \text{ mm}$$

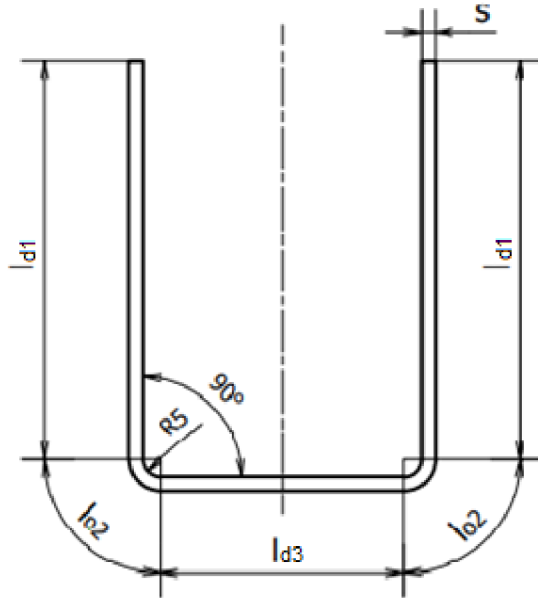
Výpočet délky rovného úseku l_3 :

$$l_{d3} = 80 - 2 \cdot R = 80 - 2 \cdot 5 = 70 \text{ mm}$$

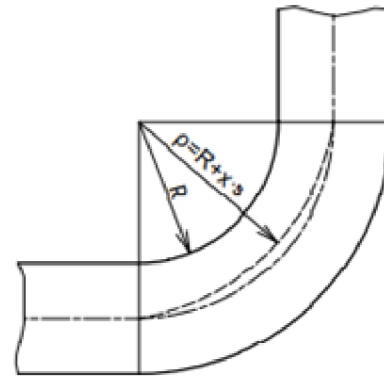
Výpočet rozvinuté délky dle vztahu (3.4):

$$\begin{aligned} L_C &= \sum_{i=1}^n l_{di} + \sum_{j=1}^m l_{oj} = (2 \cdot l_{d1} + 2 \cdot l_{o2} + l_{d3}) = (2 \cdot 116 + 2 \cdot 10,53 + 70) \\ &= 323,06 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pro ověření vypočítané délky rozvinutého tvaru patky byl také využit 3D CAD modelář Inventor, který určil rozvinutou délku na 323,24 mm. Mírně se odlišující hodnota může být způsobena zaokrouhlováním nebo skutečností, že software Inventor využívá jiné výpočty pro určení délky rozvinutého tvaru. Vzhledem ke skutečnosti, že u patky nejsou vysoké požadavky na přesnost rozměrů, je délka zaokrouhlena na $L_C = 323$ mm.



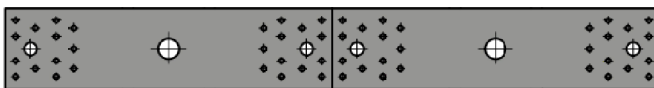
Obr. 22 Délky úseků.



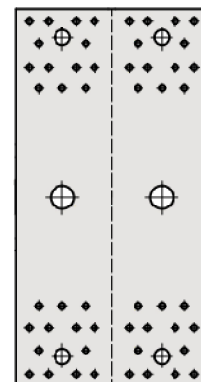
Obr. 23 Posunutí neutrální vrstvy [24].

4.2 Plán výroby

Postup výroby musí být jasně definován, aby bylo možné zhotovit součást s danými specifikacemi. Pro orientaci součásti na pásu plechu byly zvažovány dvě varianty. V první variantě se předpokládá umístění součásti na šířku (obr. 24) a ve druhé by byla součást orientována na výšku (obr. 25). Jako vhodnější byla zvolena druhá varianta z důvodu menší délky nástroje a také z nutnosti následného ohýbání ve stejném nástroji, kde budou prováděny stříhací operace. V této variantě bude nutné vytvořit můstek, kterým bude zajištěno vedení plechu v nástroji a také z důvodu, aby bylo možné součást následně ohnout.



Obr. 24 Orientace na šířku.

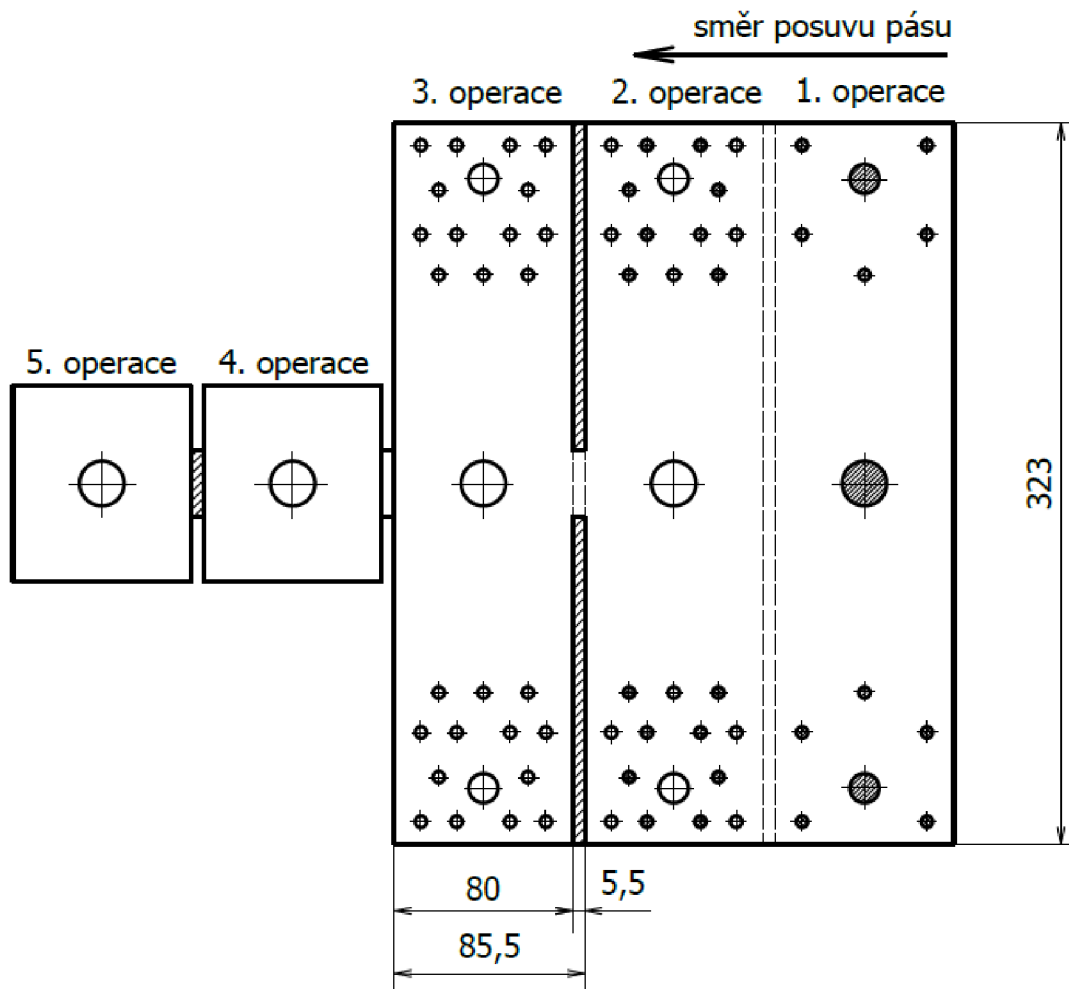


Obr. 25 Orientace na výšku.

Po určení vhodné orientace, je potřeba určit postup a počet operací pro zhotovení patky (obr. 26). Otvory budou stříhány ve dvou operacích, protože je potřeba počítat s upnutím střížníků do kotevní desky přes osazení a stříhané otvory nesmí být ve stejné operaci příliš blízko u sebe. V první operaci budou vystříženy 2 otvory o průměru 13 mm, 1 otvor o průměru 20 mm a 10 otvorů o průměru 5 mm. V dalším kroku se vystříhnou zbývající otvory o průměru 5 mm a bude vytvořen můstek o rozměrech 30 x 5,5 mm. Nástřihový plán je s můstkem, který je nutný pro plynulý posuv polotovaru v nástroji a následné ohýbání. Ve čtvrté operaci dojde k ohybu do tvaru písmene U a současně i k odstřížení můstku. Poté je patka hotová a při dalším posuvu pásu o velikost kroku dojde k vystrčení hotového dílce ven z nástroje do připravené palety.

Nebude zde vystřihován obrys součásti, proto nebude stanovena velikost okraje. Šířka pásu plechu, který je veden do nástroje, bude mít délku 323 mm, která odpovídá rozvinuté délce patky. Podle tloušťky materiálu, největšího rozměru výstřižku a typu uspořádání na pásu plechu byla určena velikost můstku E_m z nomogramu (příloha 1) a vypočtena velikost kroku K:

$$K = \text{šířka patky} + E_m = 80 + 5,5 = 85,5 \text{ mm} \quad (4.5)$$



Obr. 26 Technologický postup tváření.

4.3 Technologické výpočty

Výpočet délek stříhu (bude počítáno jako obvod stříhaných částí):

- Pro střížník $\varnothing 5$ mm:

$$l_1 = \pi \cdot d_1 = \pi \cdot 5 = 15,71 \text{ mm}$$

- Pro střížník $\varnothing 13$ mm:

$$l_2 = \pi \cdot d_2 = \pi \cdot 13 = 40,84 \text{ mm}$$

- Pro střížník $\varnothing 20$ mm:

$$l_3 = \pi \cdot d_3 = \pi \cdot 20 = 62,83 \text{ mm}$$

- Pro střížník 149 x 5,5 mm:

$$l_4 = 2 \cdot \left(\frac{L_C - l_m}{2} \right) + E_m = 2 \cdot \left(\frac{323 - 30}{2} \right) + 5,5 \quad (4.5)$$

$$= 298,5 \text{ mm}$$

kde: l_m – délka můstku [mm].

- Pro střížník 35 x 5,5 mm:

$$l_5 = 2 \cdot l_m = 2 \cdot 30 = 60 \text{ mm}$$

Střížný odpor vypočten dle vztahu (2.4):

$$\tau_s = 0,8 \cdot R_m = 0,8 \cdot 470 = 376 \text{ MPa}$$

Výpočet střížných sil dle vztahu (2.5):

Koeficient zohledňující otupení nástroje byl pro všechny stříhací operace zvolen $n = 1,3$.

- Výpočet střížné síly pro střížník $\varnothing 5$ mm:

$$F_{s1} = R_m \cdot 0,8 \cdot l_1 \cdot s \cdot n = 470 \cdot 0,8 \cdot 15,71 \cdot 4 \cdot 1,3 = 30\,716 \text{ N}$$

- Výpočet střížné síly pro střížník $\varnothing 13$ mm:

$$F_{s2} = R_m \cdot 0,8 \cdot l_2 \cdot s \cdot n = 470 \cdot 0,8 \cdot 40,84 \cdot 4 \cdot 1,3 = 79\,850 \text{ N}$$

- Výpočet střížné síly pro střížník $\varnothing 20$ mm:

$$F_{s3} = R_m \cdot 0,8 \cdot l_3 \cdot s \cdot n = 470 \cdot 0,8 \cdot 62,83 \cdot 4 \cdot 1,3 = 122\,845 \text{ N}$$

- Výpočet střížné síly pro střížník 149 x 5,5 mm:

$$F_{s4} = R_m \cdot 0,8 \cdot l_4 \cdot s \cdot n = 470 \cdot 0,8 \cdot 298,5 \cdot 4 \cdot 1,3 = 583\,627 \text{ N}$$

- Výpočet střížné síly pro střížník 35 x 5,5 mm:

$$F_{s5} = R_m \cdot 0,8 \cdot l_5 \cdot s \cdot n = 470 \cdot 0,8 \cdot 60 \cdot 4 \cdot 1,3 = 117\,312 \text{ N}$$

Celková střížná síla:

$$F_{Cs} = 26 \cdot F_{s1} + 2 \cdot F_{s2} + 1 \cdot F_{s3} + 2 \cdot F_{s4} + 1 \cdot F_{s5}$$

$$= 26 \cdot 30\,716 + 2 \cdot 79\,850 + 1 \cdot 122\,845 + 2 \cdot 583\,627 + 1 \cdot 117\,312$$

$$= 2\,365\,727 \text{ N} \doteq 2\,365,7 \text{ kN}$$

Výpočet střížné vůle dle vztahu (2.2):

$$v = 2 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \cdot (1,5 \cdot c \cdot s - 0,015) = 2 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{376} \cdot (1,5 \cdot 0,01 \cdot 4 - 0,015) = 0,56 \text{ mm}$$

Koeficient c byl pro běžné stříhání zvolen $c = 0,01$.

Výpočet střížné práce dle vztahu (2.6):

$$A_s = \frac{\lambda \cdot F_{Cs} \cdot s}{1000} = \frac{0,6 \cdot 2\,365\,727 \cdot 4}{1000} = 5\,678 \text{ J}$$

Dle grafu na obr. 11 byl stanoven součinitel plnosti pro středně tvrdou ocel $\lambda = 0,6$.

Výpočet úhlu odpružení do tvaru „U“ dle vztahu (3.6):

$$\beta = \arctg \left(0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \right) = \arctg \left(0,75 \cdot \frac{19,4}{0,5737 \cdot 4} \cdot \frac{235}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 0,4^\circ$$

$$\text{kde: } k = 1 - x = 1 - 0,4263 = 0,5737$$

Určení vůle mezi ohybnicí a ohybníkem [16]:

$$v_U = 1,1 \cdot s = 1,1 \cdot 4 = 4,4 \text{ mm} \quad (4.6)$$

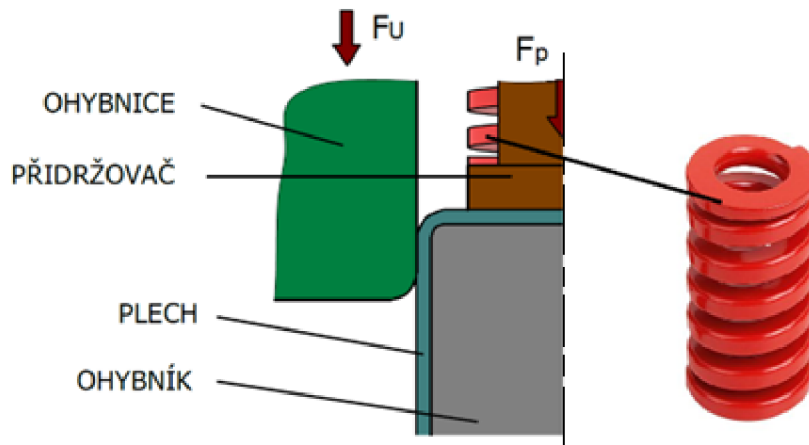
Síla potřebná pro ohyb do tvaru „U“ dle vztahu (3.11):

$$F_U = \frac{4 \cdot b \cdot s^2 \cdot R_m}{3 \cdot (r_m + 1,2 \cdot s + r_p)} = \frac{4 \cdot 80 \cdot 4^2 \cdot 470}{3 \cdot (10 + 1,2 \cdot 4 + 5)} = 40\,512 \text{ N}$$

Požadovaná síla přidržovače při ohýbání dle vztahu (3.12):

$$F_p = 0,25 \cdot F_U = 0,25 \cdot 40\,512 = 10\,128 \text{ N}$$

K vyvození přidržovací síly (obr. 27) bude využita pružina z důvodu ohýbání vnějšími momenty, které by při ohýbání způsobily průhyb plechu směrem od ohybníku. Byla zvolena nástrojová pružina dle ISO 10243. Pružina je vyrobena z pružinové oceli a má obdélníkový průřez, který zajišťuje vyšší přítlačnou sílu než běžné pružiny s kruhovým průřezem. Umožňuje tak vyvinout větší sílu na omezeném prostoru. Pružina bude objednána od výrobce pod objednacím číslem CF 63 x 102 dle katalogu [26]. Zvolená pružina musí vyvíjet přítlačnou sílu větší, než je minimální potřebná síla na přidržovači. [26], [27]



Obr. 27 Vyvození přidržovací síly [29].

$$F_P < F_{pr} \quad (4.7)$$

10 128 < 13 578 → pružina vyvine dostačující přidrřovací sílu.

Celková potřebná síla pro zhotovení součásti:

$$F_C = F_{Cs} + F_U + F_{pr} = 2\,365\,727 + 40\,512 + 13\,578 = 2\,419\,817\,N$$

4.4 Kontrola střiřníků na vzpěr a otláčení

Aby se předeřlo deformaci střiřníků během střiřhání, budou zkontrolována místa, kde by mohlo potenciálně dojít k narušení vzpěrné stability:

Výpočet kvadratického momentu průřezu pro kruh o $\varnothing 7$ mm:

$$I_1 = \frac{\pi \cdot D_1^4}{64} = \frac{\pi \cdot 7^4}{64} = 117,9\,mm^4 \quad (4.8)$$

Výpočet kvadratického momentu průřezu pro kruh o $\varnothing 5$ mm:

$$I_2 = \frac{\pi \cdot D_2^4}{64} = \frac{\pi \cdot 5^4}{64} = 30,7\,mm^4$$

Výpočet kvadratického momentu průřezu pro obdělík 149 x 8 mm:

$$I_3 = \frac{h_3 \cdot b_3^3}{12} = \frac{149 \cdot 8^3}{12} = 6\,357,3\,mm^4 \quad (4.9)$$

Výpočet kvadratického momentu průřezu pro obdělík 35 x 5,5 mm:

$$I_4 = \frac{h_4 \cdot b_4^3}{12} = \frac{35 \cdot 5,5^3}{12} = 485,3\,mm^4$$

Kritická délka se spočte pro nejmenší kruhový střiřník, který bude vystřiřhovat díry o $\varnothing 5$ mm. Vzhledem k využití osazeného střiřníku bude spočítána kritická délka pro vedenou část střiřníku, která má $\varnothing 7$ mm a také bude zkontrolována činná část střiřníku, která má $\varnothing 5$ mm a bude počítána jako nevedená. Budou také zkontrolovány střiřníky s obdělíkovým průřezem, aby nedošlo k narušení vzpěrné stability. Koeficient bezpečnosti byl zvolen pro všechny střiřníky stejný $n_k = 2,5$.

Výpočet kritické délky pro vedenou část kruhového střiřníku $\varnothing 5$ mm dle vztahu (2.14):

$$l_{1krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_1}{n_k \cdot F_{s1}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 210\,000 \cdot 117,9}{2,5 \cdot 30\,716}} = 112,8\,mm$$

Výpočet kritické délky pro nevedenou část kruhového střiřníku $\varnothing 5$ mm dle vztahu (2.13):

$$l_{2krit} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_2}{4 \cdot n_k \cdot F_{s1}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 210\,000 \cdot 30,7}{4 \cdot 2,5 \cdot 30\,716}} = 14,4\,mm$$

Výpočet kritické délky pro vedený obdělíkový střiřník 149 x 8 mm dle vztahu (2.14):

$$l_{3krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I_3}{n_k \cdot F_{s4}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 210\,000 \cdot 6\,357,3}{2,5 \cdot 583\,627}} = 190,1\,mm$$

Výpočet kritické délky pro nevedený obdělíkový střiřník 35 x 5,5 mm dle vztahu (2.13):

$$l_{4krit} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_4}{4 \cdot n_k \cdot F_{s5}}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 210\,000 \cdot 485,3}{4 \cdot 2,5 \cdot 117\,312}} = 29,3\,mm$$

Vypočtené kritické délky jednotlivých střížníků se porovnají s délkami ($l_{s1}, l_{s2}, l_{s3}, l_{s4}$) střížníků v sestavě:

$$l_{s1} = 70 \text{ mm} \rightarrow l_{s1} < l_{1krit}$$

$$70 < 112,8 \rightarrow \text{navržená délka střížníku vyhovuje}$$

$$l_{s2} = 9,5 \text{ mm} \rightarrow l_{s2} < l_{2krit}$$

$$9,5 < 14,4 \rightarrow \text{navržená délka střížníku vyhovuje}$$

$$l_{s3} = 70 \text{ mm} \rightarrow l_{s3} < l_{3krit}$$

$$70 < 190,1 \rightarrow \text{navržená délka střížníku vyhovuje}$$

$$l_{s4} = 17 \text{ mm} \rightarrow l_{s4} < l_{4krit}$$

$$17 < 29,3 \rightarrow \text{navržená délka střížníku vyhovuje}$$

Střížníky budou dále zkontrolovány na otlačení, aby se předešlo vtlačování střížníků do upínací desky, na kterou při stříhání dosedají hlavy střížníků. V případě překročení dovoleného napětí je nutné zahrnout do konstrukce nástroje kalenou opěrnou desku, která bude umístěna mezi upínací a kotevní deskou.

Napětí na dosedací ploše bude spočteno pro všechny střížníky podle vzorce:

$$\sigma_{ti} = \frac{F_{si}}{S_{di}} \quad (4.10)$$

kde: F_{si} – střížná síla střížníku [N],
 S_{di} – dosedací plocha [mm²].

Napětí na dosedací ploše pro střížník $\varnothing 5$ mm:

$$\sigma_{t1} = \frac{F_{s1}}{S_{d1}} = \frac{F_{s1}}{\frac{\pi \cdot d_{h1}^2}{4}} = \frac{30\,716}{\frac{\pi \cdot 12^2}{4}} = 271,6 \text{ MPa}$$

kde: d_{h1} – průměr osazení střížníku [mm].

Upínací deska bude vyrobeno z materiálu 11 500, kde se předpokládá dovolené tlakové napětí $\sigma_{dov} = 180 \text{ MPa}$.

$$\sigma_{dov} = 180 \text{ MPa} < \sigma_{t1} = 271,6$$

Pro střížník $\varnothing 5$ mm je napětí na dosedací ploše větší než dovolené a bude tak nutné použít kalenou opěrnou desku, která zabrání vtlačování. Kontrola ostatních střížníků na otlačení tak už není nutné a opěrná deska bude využita na celé ploše kotevní desky pro všechny střížníky.

Napětí na dosedací ploše pro střížník 35 x 5,5 mm:

$$\sigma_{t5} = \frac{F_{s5}}{S_{d5}} = \frac{117\,312}{566} = 207,3 \text{ MPa}$$

kde: S_{d5} – dosedací plocha [mm²], která byla zjištěna z modeláře Inventor.

$$\sigma_{dov} = 180 \text{ MPa} < \sigma_{t5} = 207,3$$

Kalená deska bude muset být také použita pod ohybnici, kde je upnutý střížník pro odstřížení můstku.

4.5 Určení funkčních rozměrů střížníků a střížnice

Pro spolehlivý chod stříhacích operací je zapotřebí určit výrobní rozměry a tolerance střížníků a střížnice pro všechny stříhací operace. Pro určení požadovaných rozměrů a tolerancí se bude vycházet z normy ČSN 22 6015. Nepředepsané mezní úchylky jsou určeny podle ČSN ISO 2768 (tab. 5). Vzorový příklad pro určení rozměrů a tolerancí bude vypočten pro děrování otvoru $\varnothing 5$ mm a vystřihování u střížníku 35x5,5 mm. Pro zbylé funkční rozměry jsou výpočty analogické a jsou uvedeny v tab. 6.

Tab. 5 Nepředepsané mezní úchylky [28].

	Mezní úchylky pro rozsah rozměrů [mm]				
Označení	0,5 až 3	3 až 6	6 až 30	30 až 120	120 až 400
m	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,3$	$\pm 0,5$

Rozměry střížníku pro děrování $\varnothing 5$ mm:

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2} \right) - TA = \left(5 + \frac{0,23}{2} \right) - 0,035 = 5,08_{-0,035}^{+0} \text{ mm} \quad (4.11)$$

kde: RAD – rozměr střížníku při děrování [mm],
 JR – jmenovitý rozměr [mm],
 TA – výrobní tolerance střížníku [mm],
 P – přípustná míra opotřebení [mm].

Rozměry střížnice pro děrování otvoru $\varnothing 5$ mm:

$$RED = \left(JR + \frac{P}{2} + v \right) + TE = \left(5 + \frac{0,23}{2} + 0,56 \right) + 0,054 = 5,68_{-0}^{+0,054} \text{ mm} \quad (4.12)$$

kde: RED – rozměr střížnice při děrování [mm],
 TE – výrobní tolerance střížnice [mm].

Funkční rozměry střížníku 35x5,5:

$$\begin{aligned} RAV &= \left(JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA = \left(35 - \frac{0,46}{2} - 0,56 + 0,12 \right) - 0,12 \\ &= 34,33_{-0,12}^{+0} \text{ mm} \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$\begin{aligned} RAV &= \left(JR - \frac{P}{2} - v + TA \right) - TA = \left(5,5 - \frac{0,16}{2} - 0,56 + 0,035 \right) - 0,035 \\ &= 4,90_{-0,035}^{+0} \text{ mm} \end{aligned}$$

Funkční rozměry střížnice 35x5,5:

$$REV = \left(JR - \frac{P}{2} \right) + TE = \left(35 - \frac{0,46}{2} \right) + 0,19 = 34,77_{-0}^{+0,19} \text{ mm} \quad (4.14)$$

$$REV = \left(JR - \frac{P}{2} \right) + TE = \left(5,5 - \frac{0,16}{2} \right) + 0,054 = 5,42_{-0}^{+0,054} \text{ mm}$$

Tab. 6 Rozměry střížníků a střížnic.

Stříhaný otvor [mm]	Rozměr střížníku [mm]	Rozměr střížnice [mm]
Ø5	$5,08_{-0,035}^{+0}$	$5,68_{-0}^{+0,054}$
Ø13	$13,155_{-0,074}^{+0}$	$13,715_{-0}^{+0,12}$
Ø20	$20,155_{-0,074}^{+0}$	$20,715_{-0}^{+0,12}$
149x5,5	$149,38_{-0,185}^{+0} \times 5,58_{-0,035}^{+0}$	$149,94_{-0}^{+0,29} \times 6,14_{-0}^{+0,054}$
35x5,5	$34,33_{-0,12}^{+0} \times 4,90_{-0,035}^{+0}$	$34,77_{-0}^{+0,19} \times 5,42_{-0}^{+0,054}$

4.6 Výpočet polohy výsledné síly

K zajištění správného chodu stroje během tvářecího procesu je nezbytné určit těžiště výsledné síly. Do tohoto místa je poté potřeba umístit upínací stopku. Pokud nebude využita upínací stopka, ale bude použit jiný způsob upínání (např. pomocí upínek), tak i přes to by se mělo zohlednit místo výsledné síly a umístit těžiště co nejbližší ose beranu lisu. Pro určení hodnot souřadnic těžišť dílčích tvarů byl využit software Inventor a jsou zobrazeny na obr. 28.

Výpočet souřadnice těžiště střížných sil v ose x:

$$\begin{aligned}
 X_{ST} &= \frac{\sum F_{si} \cdot x_{si}}{F_{Cs}} = \frac{4 \cdot F_{s1} \cdot x_{s1} + 2 \cdot F_{s2} \cdot x_{s2} + F_{s3} \cdot x_{s2} + 2 \cdot F_{s1} \cdot x_{s2}}{F_{Cs}} + \\
 &+ \frac{4 \cdot F_{s1} \cdot x_{s3} + 4 \cdot F_{s1} \cdot x_{s4} + 4 \cdot F_{s1} \cdot x_{s5} + 4 \cdot F_{s1} \cdot x_{s6} + 4 \cdot F_{s1} \cdot x_{s7}}{F_{Cs}} + \\
 &+ \frac{2 \cdot F_{s4} \cdot x_{s8} + F_{s5} \cdot x_{s10}}{F_{Cs}} = \frac{4 \cdot 30\,716 \cdot 27 + 2 \cdot 79\,850 \cdot 55}{2\,365\,727} + \\
 &+ \frac{122\,845 \cdot 55 + 2 \cdot 30\,716 \cdot 55 + 4 \cdot 30\,716 \cdot 83 + 4 \cdot 30\,716 \cdot 120,5}{2\,365\,727} + \\
 &+ \frac{4 \cdot 30\,716 \cdot 128,5 + 4 \cdot 30\,716 \cdot 152,5 + 4 \cdot 30\,716 \cdot 160,5}{2\,365\,727} + \\
 &+ \frac{2 \cdot 583\,627 \cdot 183,25 + 117\,312 \cdot 354,25}{2\,365\,727} \doteq 151 \text{ mm} \tag{4.15}
 \end{aligned}$$

Výpočet souřadnice těžiště ohýbací a přídržné síly v ose x:

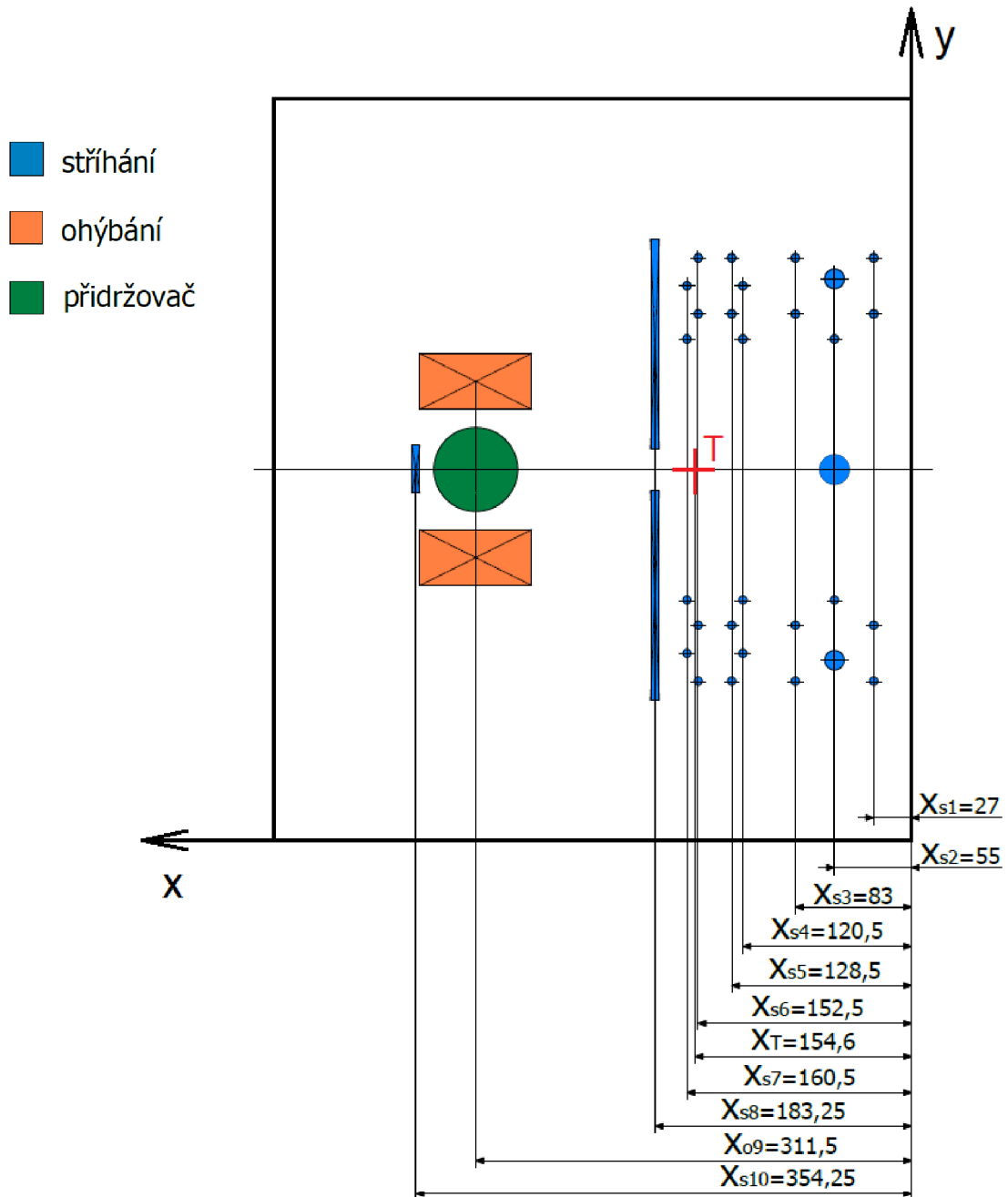
$$X_{oT} = \frac{F_U \cdot x_{o9} + F_{pr} \cdot x_{o9}}{F_U + F_{pr}} = \frac{40\,512 \cdot 311,5 + 13\,578 \cdot 311,5}{40\,512 + 13\,578} = 311,5 \text{ mm} \tag{4.16}$$

→ těžiště ohýbací a přídržné síly odpovídá souřadnici x_{o9}

Výsledné těžiště všech působících sil:

$$\begin{aligned}
 X_T &= \frac{F_{Cs} \cdot X_{sT} + (F_U + F_{pr}) \cdot X_{oT}}{F_C} \\
 &= \frac{2\,365\,727 \cdot 151 + (40\,512 + 13\,578) \cdot 311,5}{2\,419\,817} \doteq 154,6 \text{ mm} \quad (4.17)
 \end{aligned}$$

Polohu těžiště není zapotřebí počítat v ose y z důvodu symetrie jednotlivých operací. Výsledné těžiště celkové síly se nachází 154,6 mm od hrany základové desky v ose x a je vyznačeno na obr. 28. V blízkosti určeného těžiště by po upnutí nástroje do lisu měla procházet osa beranu lisu.



Obr. 28 Těžiště výsledné síly.

4.7 Výchozí polotovár

Jako výchozí polotovár pro výrobu byly zvažovány dvě varianty. V první by se použili nastřihané pruhy plechu z tabule, které by byly stříhány buďto v podélném nebo příčném směru. Druhou možností je použití svitku, který bude odvíjen pomocí odvíjecího zařízení. V případě využití pruhů plechu z tabule by nebyla potřebná přídavná zařízení, protože by se zaváděl pruh plechu do nástroje ručně. Nevýhodou by byly dlouhé manipulační časy a nízká produktivita výroby. Vzhledem k velké výrobní sérii, která je dána 100 000 kusy za rok a lepší automatizací výrobního procesu byl zvolen jako vhodnější polotovár svitek i přes vyšší pořizovací náklady na odvíjecí, rovnací a podávací zařízení.

Svitek (obr. 29) bude dodáván v šířce $L_C = 323$ mm a pomocí nesledujících výpočtů bude stanoveno využití materiálu a celkový počet potřebných svitků pro výrobu dané série. Využití bude vypočteno pro různé vnější průměry svitků a nakonec z nich bude vybrána ta nejvhodnější varianta pro výrobu. Vzorový výpočet bude uveden pro volbu vnějšího průměru svitku $D_{sv} = 1200$ mm.

Na základě rovnosti objemů u navinutého svitku a ve stavu rozvinutém se vypočte délka ideálně navinutého pásu plechu ve svitku [31]:

$$L_C \cdot \left(\frac{\pi \cdot D_{sv}^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_{sv}^2}{4} \right) = L_C \cdot s \cdot L_{sv} \quad (4.18)$$

kde: L_C – délka rozvinuté patky [mm],
 D_{sv} – vnější průměr svitku [mm],
 d_{sv} – vnitřní průměr svitku [mm],
 L_{sv} – délka navinutého pásu plechu ve svitku [mm].

Po vyjádření:

$$L_{sv} = \frac{\pi \cdot D_{sv}^2 - \pi \cdot d_{sv}^2}{4 \cdot s} = \frac{\pi \cdot 1200^2 - \pi \cdot 610^2}{4 \cdot 4} = 209\,681,7 \text{ mm} \quad (4.19)$$

Počet výstřížků z jednoho svitku:

$$n_{vys} = \frac{L_{sv}}{K} = \frac{209\,681,7}{85,5} = 2\,452,4 = 2\,452 \text{ ks} \quad (4.20)$$

Plocha rozvinuté patky bez otvorů:

$$S_v = L_C \cdot b = 323 \cdot 80 = 25\,840 \text{ mm}^2 \quad (4.21)$$

Plocha svitku:

$$S_{sv} = L_{sv} \cdot L_C = 209\,681,7 \cdot 323 = 67\,727\,189 \text{ mm}^2 \quad (4.22)$$

Využití svitku vyjádřeno v procentech:

$$V_{sv} = \frac{n_{vys} \cdot S_v}{S_{sv}} \cdot 100 = \frac{2\,452 \cdot 25\,840}{67\,727\,189} \cdot 100 = 93,55 \% \quad (4.23)$$

Počet potřebných svitků pro výrobu dané série:

$$n_{sv} = \frac{N_s}{n_{vys}} = \frac{100\,000}{2\,480} = 40,78 \text{ ks} \quad (4.24)$$

→ Pro výrobu všech 100 000 kusů součástí bude zapotřebí 41 svitků.

Celkové využití všech svitků vyjádřeno v procentech:

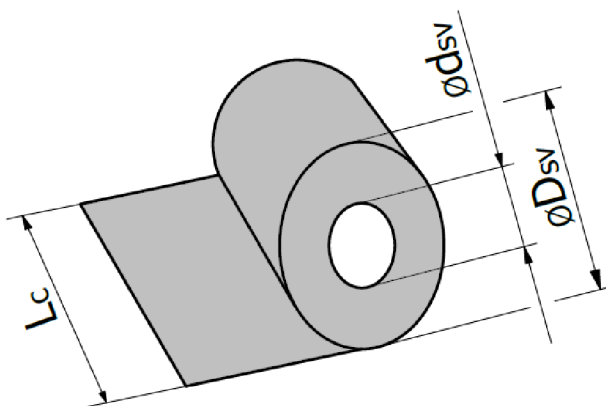
$$V_{C_{sv}} = \frac{N_s \cdot S_v}{n_{sv} \cdot S_{sv}} \cdot 100 = \frac{100\,000 \cdot 25\,840}{41 \cdot 67\,727\,189} \cdot 100 = 93,06 \% \quad (4.25)$$

Výpočty byly provedeny pro 3 různé průměry svitků a jejich celkové využití je uvedeno v tab. 7.

Tab. 7 Využití jednotlivých variant svitků.

	Vnější průměr svitku [mm]		
	1 200	1 400	1 600
Délka pásu plechu [m]	209,68	311,78	429,59
Počet výstřížků ze svitku [ks]	2 452	3 646	5 024
Plocha svitku [m ²]	67,73	100,71	138,76
Využití svitku [%]	93,55	93,55	93,55
Počet potřebných svitků pro sérii [ks]	41	28	20
Celkové využití všech svitků [%]	93,06	91,64	93,11

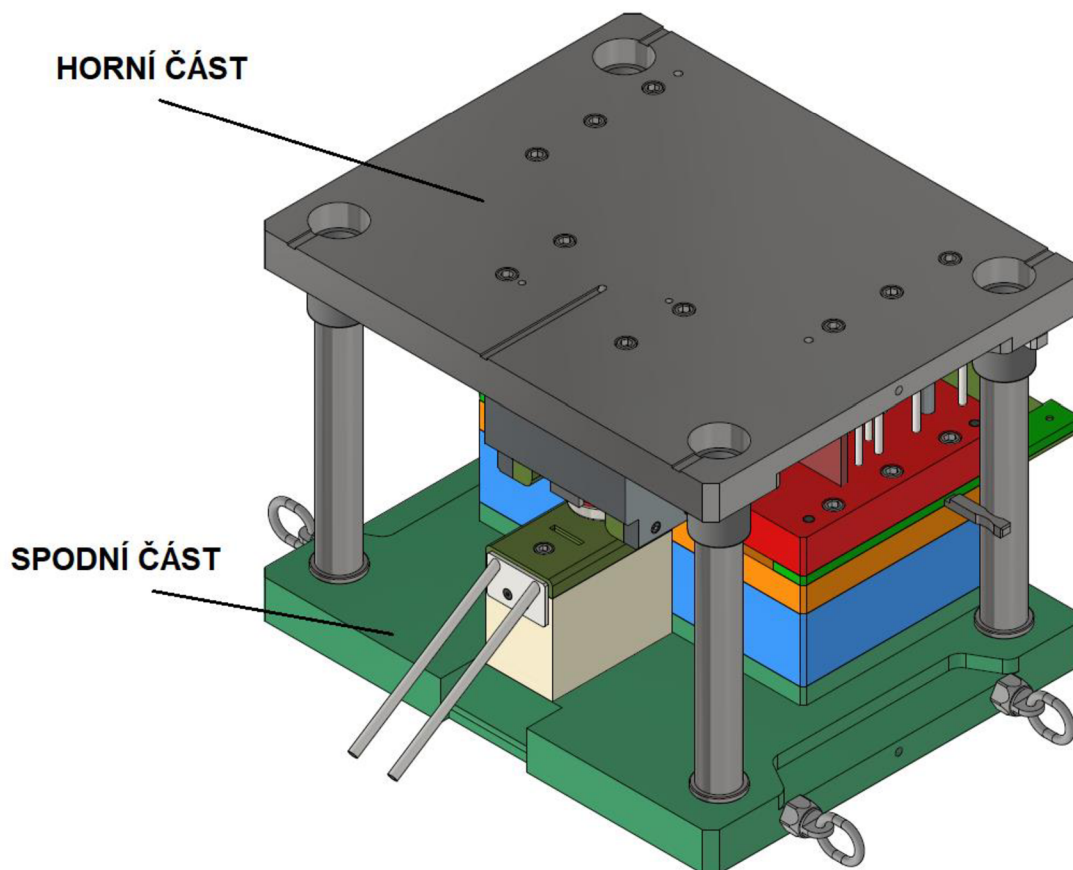
Vysokého využití svitku je dosaženo díky malému odpadu při tvářecích operacích, protože jediným odpadem (bez započtení děrovaných kruhových otvorů) je materiál, který je nutný z důvodu vytvoření můstku. Z ekonomického hlediska je vhodné mít co nejvyšší využití materiálu, a proto bude pro výrobu použit svitek o vnějším průměru 1 600 mm, který má nejvyšší celkové využití ze všech uvažovaných svitků. Dalo by se také uvažovat o použití svitků s vnějším průměrem 1 200 mm, který má přibližně stejné využití. V tomto případě by bylo zapotřebí větší množství svitků a jejich častější zavádění.



Obr. 29 Svitek.

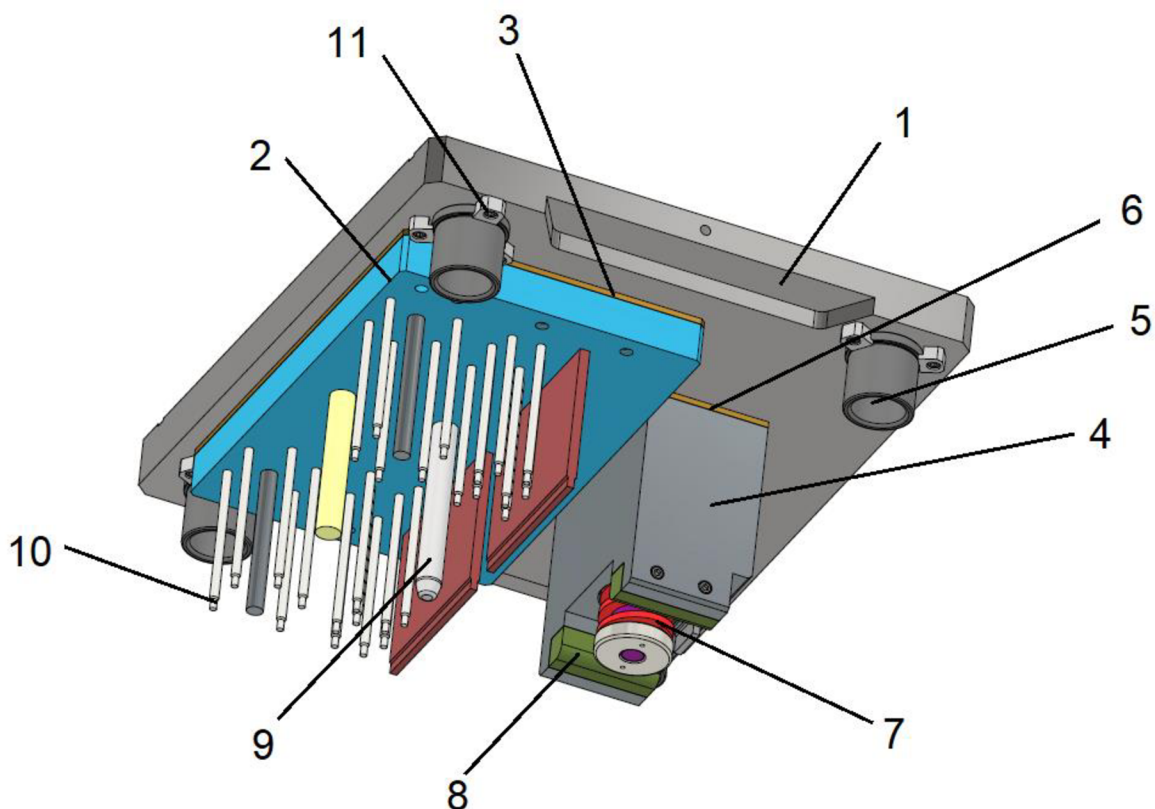
4.8 Popis nástroje

Na základě technologických výpočtů a zvoleného postupu tváření byl navrhnut a zkonstruován postupový sružený nástroj (obr. 30). Nástroj se skládá z horní a spodní části. Spodní část je uchycena ke stolní desce lisu pomocí upínek a je nepohyblivá. K upnutí horní pohyblivé části je také využito upínek a je upevněna k beranu lisu. Patka bude zhotovena v pěti krocích, kdy nejprve probíhají stříhací operace a ve čtvrtém kroku dojde k ohybu a odstřížení můstku a poté je hotová patka vystrčena ven z nástroje díky posuvu pásu. K dodržení stanoveného kroku v nástroji bude využit podavač. Pro přesné centrování horní a spodní části sruženého nástroje a hladký chod jsou využity vodící sloupky a pouzdra. K zajištění polohy horní části nástroje proti spodní během přenášení a pro skladování se přišroubuje po obou stranách nástroje plech, aby nedošlo k poškození nástroje. K přenosu budou využívána otočná závěsná oka přišroubovaná k základové desce nástroje.



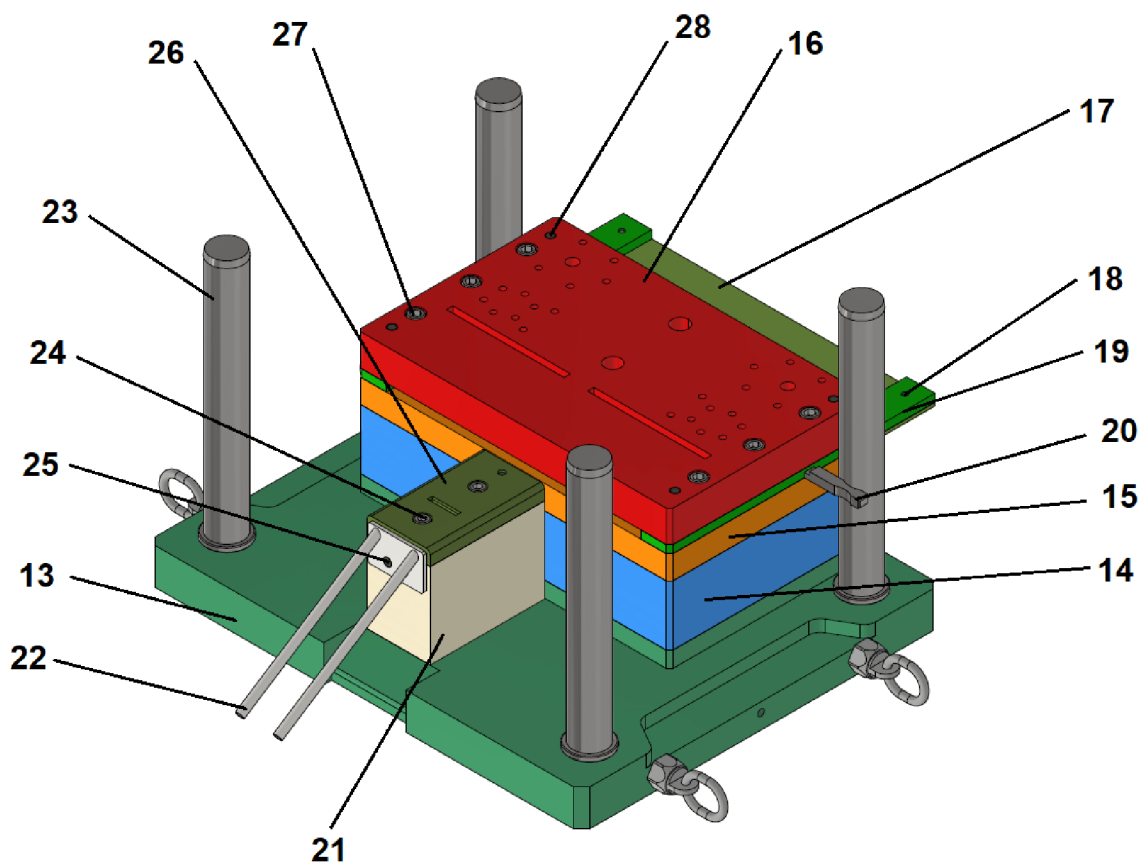
Obr. 30 Sružený postupový nástroj.

Na obr. 31 je vyobrazena horní část nástroje, která se skládá z upínací desky (1), která zajišťuje spojení a upevnění nástroje k beranu lisu a jsou k ní upevněny další součásti nástroje. Na vrchní ploše upínací desky (obr. 30), která dosedá na beran lisu jsou do malé hloubky vyfrézované drážky pro odvodu vzduchu u vodících pouzder (5) a jedna drážka pro odvodu vzduchu přídržovače. Z boku na upínací desce jsou vyfrézované plošky, které budou sloužit k upnutí pomocí upínek. K upnutí všech střížníků (10) a hledáčku (9) v nástroji byla použita kotevní deska, která má v sobě válcová zahlobení pro hlavy střížníků. Všechny střížníky mají válcové osazení pro ukotvení v kotevní desce (2). Aby se předešlo vtlačování střížníků do kotevní desky, tak zde byla navržena opěrná deska (3). Spojení kotevní a upínací desky je realizováno pomocí šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem a k ustanovení přesné polohy desek vůči sobě byly využity kolíky. Ohybnice (4) je k upínací desce připevněn pomocí šroubů a k ustanovení polohy jsou zde také využity kolíky jako v případě kotevní desky. Mezi ohybnicí a upínací deskou je kalená podložka z důvodu možného otláčení, protože je v tělesu ohybnice usazený střížník. Uvnitř ohybnice je pružina (7) vyvozuující přídržovací sílu pro zajištění plechu během ohýbání a přídržovač, který je pohyblivě uložen v ohybnici. K úspoře nástrojové oceli a k možné snadnější výměně při opotřebování byla navržena funkční část ohybnice v podobě vložek (8). Vodící pouzdra (5) jsou zalisována v upínací desce a pojištěna proti vytažení přídržovacími díly pomocí šroubů.



Obr. 31 Vrchní část nástroje.

Spodní část nástroje (obr. 32) je tvořena základovou deskou (13), která slouží k upevnění nástroje na stole lisu a jsou k ní připevněny další součásti. K základové desce je připevněna mezideska (14), která má nadstavit střížnici do požadované výšky, aby ohnutá ramena patky nenarazila do základové desky. Na mezidesce leží střížnice (15), ve které jsou otvory pro stříhací operace. Pro vedení svitku v pracovním prostoru nástroje jsou na střížnici připevněny vodící lišty (19), které jsou prodlouženy na zaváděcí straně nástroje pro snadnější a přesnější zavedení materiálu do nástroje. V levé vodící liště je vyfrézována drážka pro načínací doraz (20). Ze spodní strany vodících lišt je připevněn pomocí šroubů (18) podpěrný plech (17). Na vodících lištách je upevněna vodící deska (16), která slouží pro vedení střížníků a snižuje jejich volnou délku. Pro ustanovení přesné polohy všech desek jsou stejně jako v horní části nástroje využity kolíky (28) a pro smontování šrouby (27). Vodící sloupky (23) jsou zalisovány do základové desky a zespodu pojištěny proti možnému vysunutí při chodu nástroje. Pojištění je provedeno za pomoci šroubů a podložek na spodní straně základové desky. Ohybník (21) je připevněn k základové desce a aby se nemusel vyrábět celý z nástrojové oceli, tak bylo navrženo použití vložky (26). Vložka je k tělesu ohybníku upevněna pomocí šroubů s válcovou hlavou a vnitřním šestihranem (24). Skluz (22), po kterém budou sjíždět hotové patky ven z nástroje, je přišroubován na boční stěnu ohybníku za pomoci dvou zápusťných šroubů (25).



Obr. 32 Spodní část nástroje.

4.9 Volba stroje a linky

Jedním z nejdůležitějších parametrů při volbě lisu je celková síla, která je potřebná pro tvářecí operace. Pokud by byl zvolen lis s menší jmenovitou silou, než je celková vypočtená síla pro zhotovení součásti, tak by mohlo dojít k poškození lisu. Mezi základní parametry, které ovlivňují volbu lisu je např. zvolená technologie výroby, celková tvářecí síla, požadovaný zdvih a vnější rozměry nástroje. Celková potřebná síla byla vypočítána na 2 419,8 kN. Vzhledem ke konstrukci nástroje musí být možnost upnutí dolní i horní části nástroje pomocí upínek. Pro výrobu byl zvolen mechanický lis PMV 300 (obr. 33), jehož parametry jsou vyhovující z hlediska požadavků na stroj. Nástroj bude nutné při instalaci do prostoru lisu vypodložit z důvodu minimální vzdálenosti stolu od beranu. Základní parametry lisu z katalogu výrobce jsou uvedeny v tab. 8.

Tab. 8 Technické parametry lisu PMV 300 [32].

Jmenovitá síla [kN]	3 000
Nastavení zdvihu [mm]	20-200
Sevření [mm]	500
Upínací plocha stolu [mm]	1100x1300
Upínací plocha beranu [mm]	1100x1300
Přestavení beranu [mm]	0-120
Výkon motoru [kW]	22
Délka [mm]	2 100
Šířka [mm]	2 150
Výška [mm]	5 000



Obr. 33 Lis PMV 300 [32].

Z důvodu velké výrobní série byla navržena pro zavádění pásu plechu do nástroje automatizovaná linka. K dopravě materiálu do nástroje a k plynulé výrobě byla zvolena podávací linka, která se bude skládat z odvíječky, rovnačky a podavače. Podle parametrů zvoleného svitku a jeho váhy bylo vybráno odvíjecí zařízení s označením DY630-5000.

Tab. 9 Odvíječka DY630-5000 [33].

Max. nosnost [kg]	Max. vnější Ø svitku [mm]	Min. vnitřní Ø svitku [mm]	Max. šířka svitku [mm]
5 000	1 600	508	630

Podle tloušťky pásu plechu, z kterého se bude patka vyrábět, byla vybrána z katalogu rovnačka RZ80-500. Rovnačka bude odstraňovat prohnutí pásu způsobené navinutím do svitku. [34]

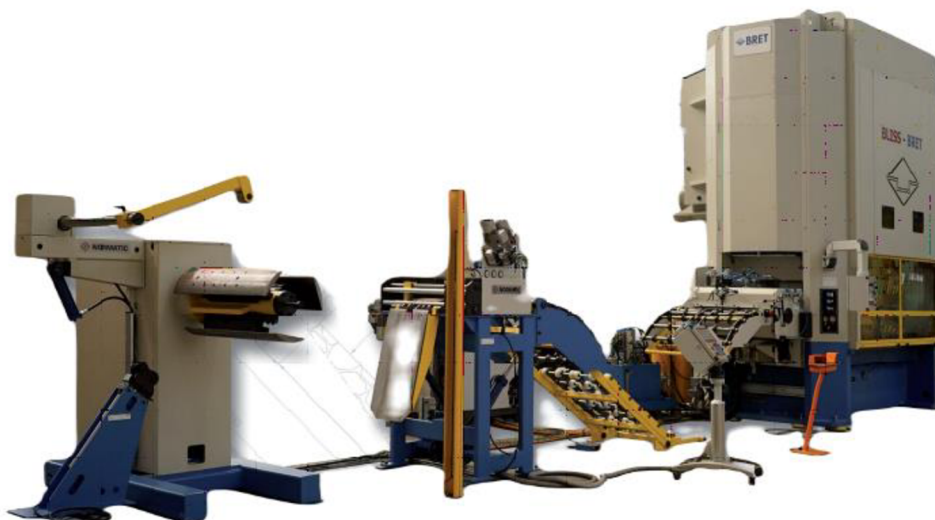
Tab. 10 Rovnačka RZ80-500 [33].

Min. – max. tloušťka materiálu [mm]	Počet rovnacích válců	Průměr válců [mm]
1 - 8	7	80

K zajištění požadovaného kroku byl zvolen podavač ARE400.

Tab. 11 Podavač ARE400 [33].

Min. – max. šířka materiálu [mm]	Min. – max. tloušťka materiálu [mm]	Max. průřez [mm ²]
30 - 400	0,5 - 6	2 400



Obr. 34 Podávací linka [33].

ZÁVĚR

Práce se zaměřila na návrh postupu výroby zadané součásti, kterou je ocelová kotevní patka pro montáž dřevěných trámů k betonovému podkladu. Na patce se nachází otvory, které budou sloužit k připevnění patky k podkladu a k pevnému spojení dřevěného trámu s patkou. Konkrétní materiál pro výrobu byla zvolena konstrukční ocel 11 375 a tloušťka plechu 4 mm. Z možných variant řešení výroby byla vybrána jako nejvhodnější výroba ve sdruženém nástroji, kde bude využita kombinace stříhání a ohýbání. Rozhodujícím faktorem byla požadovaná výrobní série 100 000 kusů za rok. Teoretická část pojednává o užitých technologiích plošného tváření, kterými jsou stříhání a ohýbání.

Po zkontrolování technologičnosti součásti z hlediska jejího tvaru, rozměrů a vhodnosti pro zvolené technologie byly provedeny kontrolní výpočty. Postup výroby byl stanoven na pět kroků, kdy nejprve budou vystřiženy otvory a vytvořen můstek, aby bylo možné plech dále v nástroji ohnout. V další operaci se plech ohne do tvaru písmene U a odstříhne se můstek. Hotová patka poté sjíždí po skluzu ven z nástroje. Celková potřebná síla pro zhotovení součásti byla vypočtena na 2 419,8 kN. Stanovená síla je jedním z důležitých parametrů pro následnou volbu stroje. Dále byl proveden výpočet polohy výsledné síly. V blízkosti tohoto místa by při upnutí nástroje do lisu měla procházet osa beranu lisu. Polotovarem pro výrobu byl zvolen svitek s vnějším průměrem 1 600 mm a šířkou 323 mm, který má nejvyšší celkové využití z uvažovaných sviteků. Celkové využití všech sviteků potřebných pro výrobu dané série je 93,11 %. Možnost využití pruhů plechu z tabule byla vyloučena z důvodu dlouhých manipulačních časů a nízké produktivity výroby vzhledem k velké výrobní sérii. Na základě zvoleného technologického postupu výroby a výpočtů byl zkonstruován sdružený nástroj a vytvořena jeho výkresová dokumentace. Nástroj se skládá ze spodní části, která bude upnuta ke stolu lisu za pomoci upínek a horní části, která bude připevněna k beranu lisu také upínkami. Podle užitých technologiích plošného tváření, celkové tvářecí síly a parametrech nástroje byl pro výrobu navrhnut mechanický lis PMV 300 a pro zavádění pásu plechu do nástroje bude využita podávací linka. Součástí podávací linky je odvíjecí zařízení svitku, rovnačka a podavač, který bude zajišťovat požadovaný krok.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. FISCHER, Ulrich, 2004. *Základy strojnictví*. Praha: Europa-Sobotáles. ISBN 80-86706-09-5. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
 2. LIDMILA, Zdeněk, 2008. *Teorie a technologie tváření I*. Brno: Univerzita obrany, 105 stran: ilustrace, grafy. ISBN 978-80-7231-579-6.
 3. *Patka trámu* [online]. [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://pollmann.de/produkt/balkenschuh-zweiteilig/>
 4. *Spojovací úhelník* [online]. [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://www.obi.cz/uhelniky-a-spojky-do-dreva/spojovaci-uhelnik-pozinkovany-50-mm-x-50-mm-x-35-mm/p/3967759>
 5. *Krokvová spojka* [online]. [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://www.hornbach.cz/p/krokvova-spojka-prava-32x32x210-mm-sendzimirove->
 6. *Botka trámová* [online]. [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://www.unihobby.cz/botka-tramova-typ-b-pozink-2>
 7. *Norma ČSN 41 1375*, Duben 1994. Český normalizační institut.
 8. *Pergola* [online]. [cit. 2023-03-22]. Dostupné z: https://homebydleni.cz/zahrada/realizace-zahrad/svepomocnou-stavbou-pergoly-muzete-usetrit-mnoho-penez/attachment/16_ivanpulchart_pergoladrevo/
 9. KAŠPAR, Jan, 2014. Laserové řezání. *Technický týdeník* [online]. [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv-technik/laserove-rezani-volba-a-vlastnosti-asistencnich-plynu_28272.html
 10. *Jak funguje vodní paprsek* [online]. [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://www.flowwaterjet.cz/Prectete-si-vice/Jak-funguje-vodni-paprsek.aspx#basics>
 11. *Princip řezání vodním paprskem* [online]. [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <http://www.rezani-cnc.cz/princip-rezani-vodnim-paprskem.html>
 12. *Laserové řezání* [online]. [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>
 13. *Řezání vodním paprskem* [online]. [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://www.manufacturingguide.com/en/3d-abrasive-water-jet-cutting-flat-materials>
 14. *Tvářecí nástroje* [online]. [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <https://www.zihos.eu/tvareci-nastroje>
 15. *Postupový sdružený nástroj* [online]. [cit. 2023-03-21]. Dostupné z: <http://www.famtools.cz/postupove-sdruzene-nastroje-lisy>
 16. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA, 2006. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 225 s. : il. ISBN 80-214-2374-9.
 17. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL, 2010. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 246 s. : il. ; ISBN 978-80-227-3242-0.
 18. MORAVEC, Ján, 2015. *Teória tvárnenia kovov*. V Žiline: Žilinská univerzita ; EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 331 stran. ISBN 978-80-554-1095-1.
 19. TATÍČEK, František a Tomáš PILVOUSEK. *Akademie tváření: Strihání* [online]. Fakulta strojní, ČVUT v Praze, 17. 05. 2010 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani>
 20. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ, 2013. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 169 s. :. ISBN 978-80-214-4747-9.
 21. ŘIHÁČEK, Jan. *Návrh výroby výstřižku*. FSI VUT v Brně. Dostupné také z: <https://www.fme.vutbr.cz/>
-

-
22. TATÍČEK, František, Martin KUBELKA a Tomáš PILVOUSEK. *Technologičnost konstrukce v návrhu výstřížků* [online]. 19. 12. 2011 [cit. 2023-03-28]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicitnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku>
 23. ČADA, Radek, 2013. *TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ A SLÉVÁNÍ – TEORETICKÝ ZÁKLAD*. Ostrava. ISBN 978-80-248-3015-5.
 24. *Technologie plošného tváření - ohýbání* [online]. Technická univerzita Liberec [cit. 2023-03-25]. Dostupné z: https://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
 25. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE, 1993. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, Žikova 4. ISBN 80-01-01003-1.
 26. *Hennlich - nástrojové pružiny* [online]. [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/springs/nastrojove-pruziny/>
 27. *ISO Nástrojové pružiny* [online]. [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://www.sodemann-pruziny.cz/produkty/nastrojove-pruziny/iso>
 28. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS, 2019. *Výběry z norem*. Brno: CERM. ISBN 978-80-7623-010-1.
 29. *Nástrojová pružina* [online]. [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://www.norelem.com/cz/cs/Dom%C5%AF.html>
 30. FOREJT, Milan, 2002. *Ročníkový projekt I - tváření, svařování* [online]. Brno [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/dr2_rocnikovy_projekt_I_2019_forejt.pdf
 31. LIPKA, Ondřej, 2015. *Výroba držáku antény sdruženým nástrojem*. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Eva Peterková.
 32. *Press PMV 300* [online]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.hidrogarne.com/fr/h-type-one-point-mechanical-presses-variable-stroke-pmv-series/>
 33. *Katalog podávací linky* [online]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.bliss-bret.com/upload/attach-image/katalog-na-stiahnutie-podavacie-linky-s-prislusenstvom.pdf>
 34. *Podávací linky z Francie* [online], 2006. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/podavaci-linky-z-francie>
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažnost	[%]
A _s	střížná práce	[J]
A _U	ohybová práce do tvaru „U“	[J]
A _{Up}	ohybová práce do tvaru „U“ s kalibrovací silou	[J]
A _V	ohybová práce do tvaru „V“	[J]
a	vzdálenost kruhových otvorů	[mm]
b	Šířka ohybu	[mm]
c	koeficient	[-]
D _{sv}	vnější průměr svitku	[mm]
d	průměr otvoru	[mm]
d _h	průměr osazení střížníku	[mm]
d _{sv}	vnitřní průměr svitku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
E _m	šířka můstku	[mm]
F _{CS}	celková střížná síla	[N]
F _{krit}	kritická vzpěrná síla	[N]
F _p	přidržovací síla	[N]
F _{pr}	síla pružiny	[N]
F _s	střížná síla	[N]
F _U	síla pro ohyb do tvaru „U“	[N]
F _V	síla pro ohyb do tvaru „V“	[N]
f	součinitel	[-]
h _v	dráha ohybníku	[mm]
I	kvadratický moment průřezu	[mm ⁴]
JR	jmenovitý rozměr	[mm]
K	velikost kroku	[mm]
k	součinitel určující polohu neutrální vrstvy	[-]
l	délka stříhu	[mm]
l _d	délka rovného úseku	[mm]
l _{krit}	kritická délka	[mm]
l _o	délka oblouku	[mm]
l _{red}	redukováná délka	[mm]
l _u	rameno ohybu	[mm]
l _v	vzdálenost mezi podporami ohybnice	[mm]
l _m	délka můstku	[mm]
L _C	rozvinutá délka	[mm]
L _{sv}	délka navinutého pásu plechu	[mm]
N _s	výrobní série	[ks]
n	koeficient zohledňující otupení nástroje	[-]
n _k	koeficient bezpečnosti	[-]
n _{sv}	počet potřebných svitků	[ks]
n _{vys}	počet výstřížků z jednoho svitku	[ks]
q	vzdálenost okraje otvoru od ramene	[mm]
R	poloměr ohybu	[mm]
RAD	rozměr střížníku při děrování	[mm]
RAV	rozměr střížníku při vystřihování	[mm]

Symbols

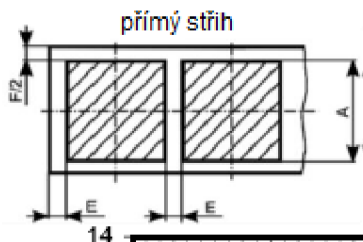
Označení	Legenda	Jednotka
RED	rozměr střížnice při děrování	[mm]
REV	rozměr střížnice při vystřihování	[mm]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
R_o	poloměr zaoblení	[mm]
r_m	poloměr zaoblení ohybnice	[mm]
r_p	poloměr zaoblení ohybníku	[mm]
S	plocha stříhu	[mm ²]
S_d	dosedací plocha	[mm ²]
S_{sv}	plocha svitku	[mm ²]
S_v	plocha rozvinuté patky bez otvorů	[mm ²]
s	tloušťka plechu	[mm]
TA	tolerance střížníku	[mm]
TE	tolerance střížnice	[mm]
u	vzdálenost mezi otvory a okraji	[mm]
V_{sv}	využití svitku	[%]
$V_{C_{sv}}$	využití všech svitků	[%]
v	střížná vůle	[mm]
v_U	vůle mezi ohybnicí a ohybníkem	[mm]
w	délka ohýbaného ramene	[mm]
X_{oT}	souřadnice těžiště ohýbací a přidržovací síly v ose x	[mm]
X_{sT}	souřadnice těžiště střížných sil v ose x	[mm]
X_T	souřadnice těžiště všech sil v ose x	[mm]
z_r	součinitel rozšíření původního průřezu	[-]
z_z	součinitel ztenčení	[-]
α	úhel ohybu	[°]
β	úhel odpružení	[°]
γ	úhel ohnutého úseku	[°]
ρ	poloměr neutrální vrstvy	[mm]
σ_{dov}	dovolené napětí	[MPa]
σ_t	napětí na dosedací ploše	[MPa]
τ_s	střížný odpor	[MPa]
Ψ	součinitel plnosti diagramu	[-]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Nomogram – stříh přímý
Příloha 2	Katalog pružin

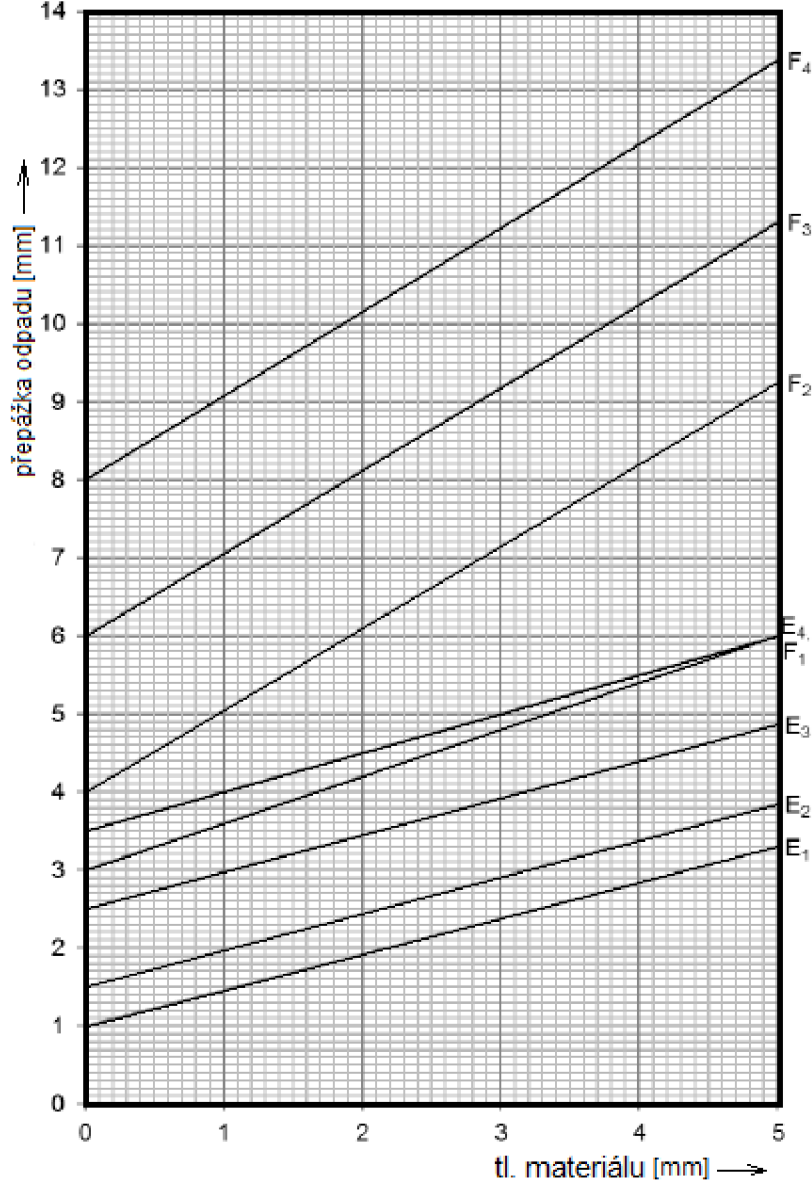
SEZNAM VÝKRESŮ

Sdružený nástroj	2023-BP-229104-0
Vrchní díl	2023-BP-229104-1
Spodní díl	2023-BP-229104-2
Ohybnice	2023-BP-229104-3
Ohybník	2023-BP-229104-4
Kruhový střížník	2023-BP-229104-5
Střížnice	2023-BP-229104-6
Patka	2023-BP-229104-7



největší rozměr výstřížku A

- $E_1, F_1 = \text{do } 15 \text{ mm}$
- $E_2, F_2 = 15 \text{ až } 50 \text{ mm}$
- $E_3, F_3 = 50 \text{ až } 100 \text{ mm}$
- $E_4, F_4 = \text{přes } 100 \text{ mm}$



STŘEDISKO **PRUŽINY** 
HENNLIICH INDUSTRIJETECHNIK, spol. s r. o.

NÁSTROJOVÉ PRUŽINY
VYSOKÉ ZATÍŽENÍ
ČERVENÁ BARVA

D ₁ [mm]	D ₂ [mm]	L ₀ [mm]	R _s [N/mm]	L ₀₁ [mm]	f ₀₁ [mm]	13% fbl		30% fbl		45% fbl		62% fbl		80% fbl		Číslo zboží		
						[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]	[mm]	[N]			
32	16	38	388,0	24	14	1,8	698	4,2	1630	6,3	2444	8,7	3376	11,0	4268	CF 32 x 38		
		44	324,0	28	16	2,1	680	4,8	1555	7,2	2333	9,9	3208	13,0	4212	CF 32 x 44		
		51	272,0	32	19	2,5	660	5,7	1550	8,6	2339	11,8	3210	15,0	4080	CF 32 x 51		
		64	212,0	40	24	3,1	657	7,2	1526	10,8	2290	14,9	3159	19,0	4028	CF 32 x 64		
		76	172,0	47	29	3,8	654	8,7	1496	13,1	2253	18,0	3096	23,0	3956	CF 32 x 76		
		89	141,0	55	34	4,4	620	10,2	1438	15,3	2157	21,1	2975	27,0	3807	CF 32 x 89		
		102	122,0	63	39	5,1	622	11,7	1427	17,6	2147	24,2	2952	31,0	3782	CF 32 x 102		
		115	107,0	71	44	5,7	610	13,2	1412	19,8	2119	27,3	2921	35,0	3745	CF 32 x 115		
		127	93,0	79	48	6,2	577	14,4	1339	21,6	2009	29,8	2771	38,0	3534	CF 32 x 127		
		139	86,0	86	53	6,9	593	15,9	1387	23,9	2055	32,9	2829	42,0	3612	CF 32 x 139		
		152	78,0	94	58	7,5	585	17,4	1357	26,1	2036	36,0	2808	46,0	3588	CF 32 x 152		
		178	67,2	112	68	8,6	578	19,8	1331	29,7	1996	40,9	2748	53,0	3562	CF 32 x 178		
		203	59,1	127	76	9,9	585	22,8	1347	34,2	2021	47,1	2784	61,0	3605	CF 32 x 203		
		254	46,4	159	95	12,4	575	28,5	1322	42,8	1986	58,9	2733	76,0	3526	CF 32 x 254		
		305	38,0	191	114	14,8	562	34,2	1300	51,3	1949	70,7	2687	91,0	3458	CF 32 x 305		
38	20	51	350,0	32	19	2,5	875	5,7	1995	8,6	3010	11,8	4130	15,0	5250	CF 38 x 51		
		64	269,0	40	24	3,1	834	7,2	1937	10,8	2905	14,9	4008	19,0	5111	CF 38 x 64		
		76	219,0	47	29	3,8	832	8,7	1905	13,1	2869	18,0	3942	23,0	5037	CF 38 x 76		
		89	190,0	55	34	4,4	836	10,2	1938	15,3	2907	21,1	4009	27,0	5130	CF 38 x 89		
		102	163,0	63	39	5,1	831	11,7	1907	17,6	2869	24,2	3945	31,0	5053	CF 38 x 102		
		115	142,0	71	44	5,7	809	13,2	1874	19,8	2812	27,3	3877	35,0	4970	CF 38 x 115		
		127	128,0	79	48	6,2	794	14,4	1843	21,6	2765	29,8	3814	38,0	4864	CF 38 x 127		
		139	115,0	86	53	6,9	794	15,9	1829	23,9	2749	32,9	3784	42,0	4830	CF 38 x 139		
		152	105,0	94	58	7,5	788	17,4	1827	26,1	2741	36,0	3780	46,0	4830	CF 38 x 152		
		178	89,0	112	68	8,6	765	19,8	1762	29,7	2643	40,9	3640	53,0	4717	CF 38 x 178		
		203	77,0	127	76	9,9	762	22,8	1756	34,2	2633	47,1	3627	61,0	4697	CF 38 x 203		
		254	61,0	159	95	12,4	756	28,5	1739	42,8	2611	58,9	3593	76,0	4636	CF 38 x 254		
		305	51,0	191	114	14,8	755	34,2	1744	51,3	2616	70,7	3606	91,0	4641	CF 38 x 305		
		50	25	64	413,0	40	24	3,1	1280	7,2	2974	10,8	4460	14,9	6154	19,0	7847	CF 51 x 64
				76	339,0	47	29	3,8	1288	8,7	2949	13,1	4441	18,0	6102	23,0	7797	CF 51 x 76
89	288,0			55	34	4,4	1267	10,2	2938	15,3	4406	21,1	6077	27,0	7776	CF 51 x 89		
102	245,0			63	39	5,1	1250	11,7	2867	17,6	4312	24,2	5929	31,0	7595	CF 51 x 102		
115	215,0			71	44	5,7	1226	13,2	2838	19,8	4257	27,3	5870	35,0	7525	CF 51 x 115		
127	192,0			79	48	6,2	1190	14,4	2765	21,6	4147	29,8	5722	38,0	7296	CF 51 x 127		
139	168,0			86	53	6,9	1159	15,9	2671	23,9	4015	32,9	5527	42,0	7056	CF 51 x 139		
152	154,0			94	58	7,5	1155	17,4	2680	26,1	4019	36,0	5544	46,0	7084	CF 51 x 152		
178	134,0			112	68	8,6	1152	19,8	2653	29,7	3990	40,9	5481	53,0	7102	CF 51 x 178		
203	117,0			127	76	9,9	1158	22,8	2668	34,2	4001	47,1	5511	61,0	7137	CF 51 x 203		
254	89,0			159	95	12,4	1104	28,5	2537	42,8	3809	58,9	5242	76,0	6764	CF 51 x 254		
305	73,0			191	114	14,8	1080	34,2	2497	51,3	3745	70,7	5161	91,0	6643	CF 51 x 305		
63	38			76	618,0	47	29	3,8	2348	8,7	5377	13,1	8098	18,0	11124	23,0	14214	CF 63 x 76
				89	515,0	55	34	4,4	2266	10,2	5253	15,3	7880	21,1	10867	27,0	13905	CF 63 x 89
				102	438,0	63	39	5,1	2234	11,7	5125	17,6	7709	24,2	10600	31,0	13578	CF 63 x 102
		115	370,0	71	44	5,7	2109	13,2	4884	19,8	7326	27,3	10101	35,0	12950	CF 63 x 115		
		127	333,0	79	48	6,2	2065	14,4	4795	21,6	7193	29,8	9923	38,0	12654	CF 63 x 127		
		152	269,0	94	58	7,5	2018	17,4	4681	26,1	7021	36,0	9684	46,0	12374	CF 63 x 152		
		178	226,0	112	68	8,6	1944	19,8	4475	29,7	6712	40,9	9243	53,0	11978	CF 63 x 178		
		203	198,0	127	76	9,9	1960	22,8	4514	34,2	6772	47,1	9326	61,0	12078	CF 63 x 203		
		254	155,0	159	95	12,4	1922	28,5	4418	42,8	6634	58,9	9130	76,0	11780	CF 63 x 254		
		305	128,0	191	114	14,8	1894	34,2	4378	51,3	6568	70,7	9050	91,0	11648	CF 63 x 305		