



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA KOVOVÉHO TŘMENU ZÁSUVKY SDRUŽENÝM NÁSTROJEM

MANUFACTURING OF METAL YOKE OF ELECTRICAL SOCKET BY COMPOUND TOOL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lucie Svozilová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Eva Peterková, Ph.D.

BRNO 2021

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studentka:	Bc. Lucie Svozilová
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Eva Peterková, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

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

Výroba kovového třmenu zásuvky sdruženým nástrojem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby kovového třmenu elaktrické zásuvky. Zadaná součást bude vyráběna kombinací postupového stříhání a ohýbání ve sdruženém postupovém nástroji.

Cíle diplomové práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na technologii stříhání a ohýbání.

Návrh vhodné technologie výroby součásti a vypracování postupu výroby.

Provedení technologických a kontrolních výpočtů.

Volba vhodného stroje.

Návrh sdruženého postupového nástroje pro výrobu zadané součásti.

Technicko–ekonomické hodnocení navržené výroby.

Seznam doporučené literatury:

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

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-00452-8.

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.

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

SVOZILOVÁ Lucie: Výroba kovového třmenu zásuvky sdruženým nástrojem

V diplomové práci je navržen technologický postup výroby třmenu zásuvky z oceli DX51D + Z200 sdruženým postupovým nástrojem. Polotovarem pro sérii 200 000 kusů je pás svitku. Výroba je realizována v pěti krocích sestávající ze stříhání, ohýbání a lemování. Pro lemování byl konstruován speciální mechanismus, který vyžaduje užití hydraulicky ovládaného spodního přídržovače, jenž se prodává jako součást výrobního stroje. Jeho volba byla uzpůsobena tomuto kritériu. Výrobním strojem byl zvolen servolis DSF-N1-800A japonské firmy AIDA, který dokáže vyvinout sílu 800 kN a vykonat práci rovnu 4000 J. Prodejní cena jednoho třmenu byla vyčíslena na 24,5 Kč při stoprocentní ziskovosti. Bod zvratu nastává při 58 140 kusech.

Klíčová slova: třmen, sdružený nástroj, stříhání, ohýbání, lemování, lisování, plech

ABSTRACT

SVOZILOVÁ Lucie: Manufacturing of metal yoke of electrical socket by compound tool

The project elaborated design of technology production of the metal yoke of electrical socket made of steel DX51D + Z200 by compound progressive tool. Stock material for series of 200 000 pieces is a strip of coil. Manufacturing is realised in five steps consist of cutting, bending and flanging. For flanging was constructed a special mechanism for whose is necessary to use hydraulic counterholder, which is sold as a special peripheral equipment of manufacturing machine. The machine choice was adapted to this criterium. The servopress DSF-N1-800A was chosen as a manufacturing machine, which is made by AIDA company. The press can produce force of 800 kN and make work of 4000 J. Selling price of a one yoke is 24,5 Kč when the profit is one hundred percent. The break-even point comes with 58 140 made piece.

Keywords: yoke, compound tool, cutting, bending, flanging, pressing, metal sheet

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SVOZILOVÁ, Lucie. *Výroba kovového třmenu zásuvky sdruženým nástrojem* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-09]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132183>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 21.5.2021

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěla poděkovat paní Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za skvělou spolupráci v době, kdy nám to podmínky zrovna neulehčovaly. Především za rychlou komunikaci plnou cenných připomínek a rad, ale i za milý přístup, trpělivost a pečlivost. Dále pak chci poděkovat své rodině a zejména Miloši Krejčímu za to, že mě podporovali napříč mým studiem.

OBSAH

ZADÁNÍ

ABSTRAKT

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČESTNÉ PROHLÁŠEN

PODĚKOVÁNÍ

OBSAH

ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	10
1.1 Výrobní možnosti.....	11
1.1.1 Možnosti výroby rozvinu součástí	11
1.1.2 Možnosti výroby ohýbaných částí	13
2 TECHNOLOGIE VÝROBY	14
2.1 Technologie stříhání.....	14
2.1.1 Střížná plocha a vůle	15
2.1.2 Síly v procesu stříhání a střížná práce.....	15
2.1.3 Technologické podmínky výroby stříháním	18
2.1.4 Konstrukce střížných nástrojů.....	20
2.2 Technologie ohýbání	23
2.2.1 Dělení ohybů a velikost polotovaru	24
2.2.2 Výpočet ohýbací síly, práce, odpružení a vůle.....	25
2.2.3 Technologické podmínky výroby ohýbáním	27
2.2.4 Konstrukce ohýbacích nástrojů.....	28
2.3 Technologie lemování	29
2.4 Materiály pro výrobu nástrojů	30
2.5 Stroje.....	31
3 NÁVRH VÝROBY	33
3.1 Rozvin součástí.....	34
3.2 Nástřihový plán.....	35
3.2.1 Umístění výstřížků	35
3.2.2 Polotovar a jeho využití	37
3.2.3 Volba postupu výroby	39
3.3 Technologické a kontrolní výpočty	41
3.3.1 Střížné nástroje.....	42
3.3.2 Ohýbací nástroje	46
3.3.3 Lemovací nástroje	48
3.3.4 Těžiště sil	48
3.3.5 Návrh konstrukce nástroje	50
3.3.6 Volba stroje.....	53
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	55
5 ZÁVĚRY	58
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	
SEZNAM OBRÁZKŮ	
SEZNAM TABULEK	
SEZNAM PŘÍLOH A VÝKRESŮ	

ÚVOD [1], [2]

Technologie tváření patří mezi nejvýznamnější způsoby výroby součástí ve strojírenství společně s obráběním, sléváním a svařováním. Každá ze jmenovaných technologií má své přednosti, ale i úskalí. Volba způsobu výroby spočívá na bedrech technologa. Ten odpovídá za to, že hotová součást vyhovuje všem požadavkům na mechanické vlastnosti, čímž je možné docílit požadované životnosti produktu. Je zapotřebí zohlednit i možnost automatizace výrobních linek, což je již dlouholetým trendem, jehož výsledkem je velmi žádoucí zvýšená produktivita a efektivita výroby.

Čím je tedy technologie tváření specifická? Za zásadní výhodu tváření lze považovat zejména to, že se jedná o technologii, kde (až na výjimky) nedochází k cílenému porušování materiálu jako např. u obrábění. Zpravidla je snahou porušení zabránit. A to vhodnou volbou materiálu, zvláště pak jeho testováním uzpůsobeným danému výrobnímu postupu, čímž dochází k přesné specifikaci výrobních parametrů tvářecího procesu. Porušení lze předcházet a eliminovat také použitím programů pro počítačovou simulaci. Je jím možné docílit protvářené vláknité struktury, která dosahuje lepších mechanických vlastností než např. struktura litá či obráběná. Dále lze zmínit, že při tváření nedochází k lokálnímu tepelnému ovlivnění, které je typické pro svařování.

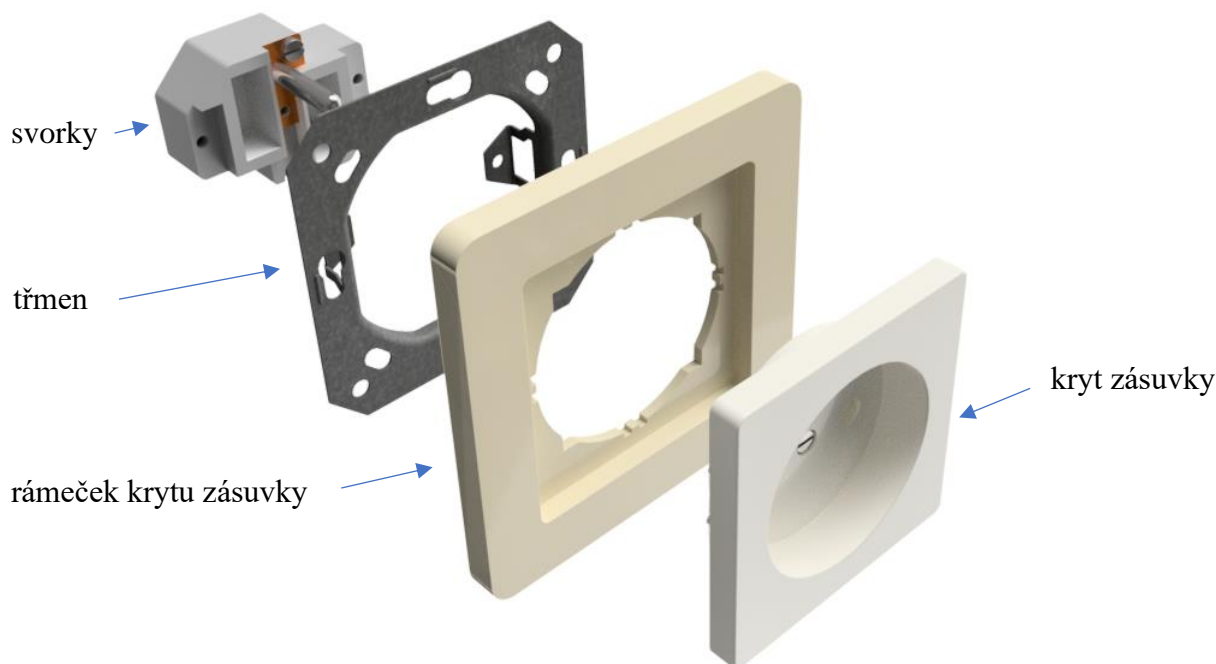
Je možné vytvářet jak součásti plošné, tak i objemové (obr.1). Technologie tváření je tedy dělena na plošnou a objemovou, dále pak na tváření za studena, poloohřevu či za tepla. Mezi objemové metody je řazeno pēchování, protlačování a kování. Základními technologiemi plošného tváření jsou tažení, stříhání a ohýbání.



Obr. 1 Součástky vyrobené objemovým a plošným tvářením [2]

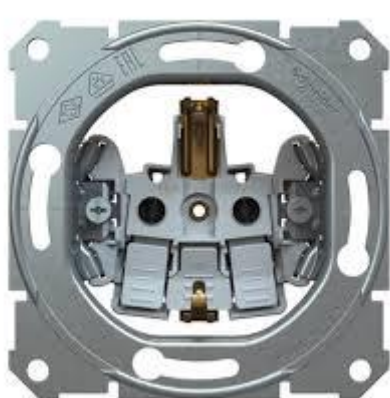
1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU [3], [4], [5], [6], [7], [8]

Řešenou součástí je třmen elektrické zásuvky, viz schématický obr. 2, což je tvarový plechový díl, který zajišťuje pevné upevnění zásuvky ke zdi pomocí vrutů, čímž dochází k přišroubování do elektroinstalační krabice. Další hlavní úlohou třmenu je spojení svorek fázového, nulového a zemního vodiče s pohledovým krytem zásuvky. Kryt je díky třmenu jednoduše demontovatelný pomocí středového šroubu. Po jeho odstranění je umožněn přístup k elektrickému vedení.

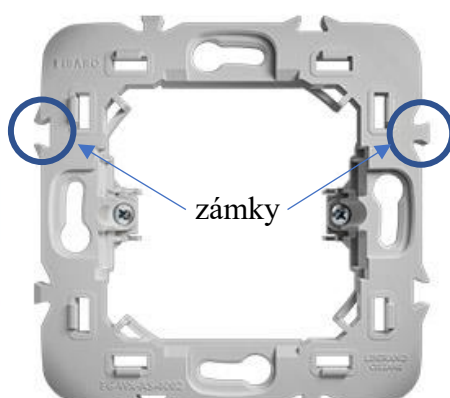


Obr. 2 Schéma elektrické zásuvky

Třmen je možné zakoupit samostatně, ale častěji jako součást tzv. strojku, sestávajícího také ze svorek, někdy také rozpěrek. Třmeny mohou být obyčejné symetrické (obr. 3), ale i různě tvarované s tzv. zámky (obr. 4), kterými je při montáži více zásuvek vedle sebe zajištěna přesnost zapojení. Na trhu se vyskytují i součásti vyráběné z plastu (obr. 5).



Obr. 3 Symetrický třmen [4]

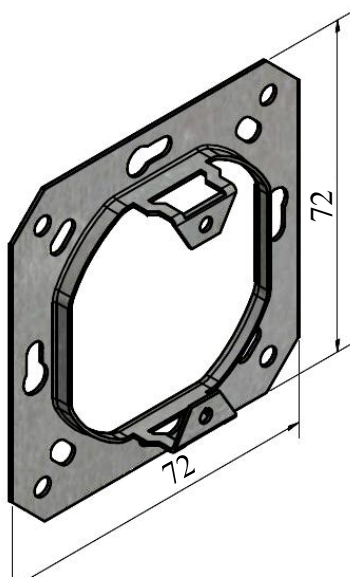


Obr. 4 Třmen se zámky [5]



Obr. 5 Plastový třmen [6]

Vzhledem k vysokému množství zásuvek, resp. třmenů, které se vyskytují v každé domácnosti, kanceláři a výrobním závodě, je nutné zajistit jejich rychlou a hospodárnou výrobu.



Obr. 6 Vyráběný třmen

Řešená součást je dána základními rozměry 72 x 72 x 14,3 mm (obr. 6) a tloušťkou plechu 0,8 mm. Je vyráběna v sérii 200 000 ks·rok⁻¹. Výrobním materiálem byla zvolena ocel DX51D+Z200-M-A-C (1.0917) (tab. 1). Jedná se o hlubokotažnou ocel vhodnou pro ploché výrobky a pro nanášení povlaků žárovým pokovením. Ocel je dodávána v pozinkové úpravě o jmenovité hmotnosti 200 g/m². Je dále specifikovaná povrchem obvyklé jakosti s malým zinkovým květem a chemickou pasivací. Výkres součásti (00_DP_183383) je přiložen ve výkresové dokumentaci.

Tab. 1 Chemické složení a mechanické vlastnosti [7], [8]

DX51D	C	Mn	P	S	Si	Ti
% hmotnosti	0,18	1,2	0,12	0,045	0,5	0,3
tažnost	>22 %	mez pevnosti v tahu			400 MPa	
		mez kluzu			270 MPa	

1.1 Výrobní možnosti

Vhodnost níže uvedených metod je vyhodnocována na základě schopnosti efektivně vyrobit danou sérii, nákladů na výrobu a pořízení strojního vybavení.

1.1.1 Možnosti výroby rozvinu součásti [9], [10], [11], [12], [13] [14], [15], [16]

Rozvinem součásti je myšlena ta fáze výrobního cyklu, kdy součást ještě nebyla ohnuta. V této fázi je odstraňován přebytečný materiál, čímž je dílu udáván základní tvar. Rozvin lze vyrobit následujícími technologiemi.

- Řezáním laserem v řezacím centru - jedná se o moderní způsob výroby zadané součásti, kdy je emitován laserový paprsek (obr. 7). Tento paprsek je zaostřen pomocí fokusačních čoček do ohniska. V místě řezu dochází k tak vysokému ohřevu, jehož důsledkem dochází ke vzniku keyhole (úzká štěrbina s nataveným materiálem po stranách), ze které je natavený materiál odstraněn pomocí řezného plynu. Může být užito vzduchu, kyslíku či oxidu uhličitého. V případě kovu se jedná o kyslík a tzv. oxidační řezání. Princip oxidačního řezání spočívá v tom, že vlivem vysokých teplot a působením kyslíku materiál z keyhole vyhoří, tím vzniká velmi úzký řez (cca 0,4 mm). Jeho šířka i tepelně ovlivněná oblast je řízena výkonem laseru, avšak oproti např. řezání plazmou či acetylénem je tato oblast velmi malá, což je společně s rychlostí procesu (40 – 80 mm·s⁻¹) pokládáno za výhodu řezání laserem. Další značnou výhodou je práce bez nástrojů (např. střížníků), z čehož vyplývá velká univerzálnost metody. K posuvu laseru je užíváno CNC řízení na základě kartouzského souřadného systému, případně robotické ruky.



Obr. 7 Řezání laserem [10]

Pro výrobu třmenu by bylo zapotřebí dvou strojů, a to CNC řezacího centra s laserem a lisu s ohýbacím nástrojem. Avšak přesunem z řezacího centra do lisu mohou vznikat prodlevy v podobě podmíněně nutných přestávek, čímž je značně snížena produktivita výroby. Tímto přesunem by mohla vznikat nepřesnost výroby.

- Vysekáváním v děrovacím centru - vysekávací centrum je velmi univerzální stroj, který je schopen zhotovit nejen otvory, ale i prolisy, větrací tvarované otvory či ohyby (viz obr. 8).

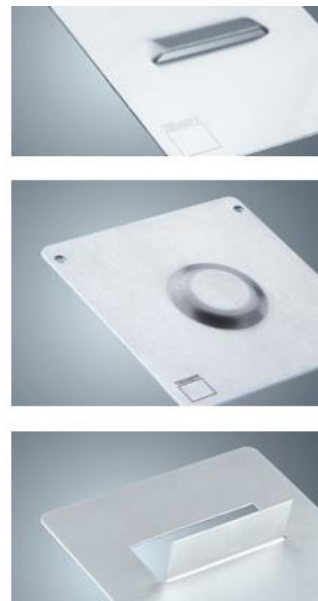
Vysekávání je realizováno pomocí velkého množství univerzálních nástrojů, které jsou automaticky měněny ze zásobníku v průběhu procesu. Vzhledem k univerzálnosti nástrojů, jsou vysekávané tvary skládány postupně za pomoci několika nástrojů, čímž narůstá čas výroby. Ten je zvyšován i dobou pro výměnu nástroje, který je přibližně 2,5 sec (dle stroje).

Ohyb je pro tuto technologii limitován určitou délkou ohýbané části, pro společnost TRUMPF, která je lídrem na trhu, a stroje série TruPunch je limitní délka ramene 25 mm a úhel ohybu 90 °.

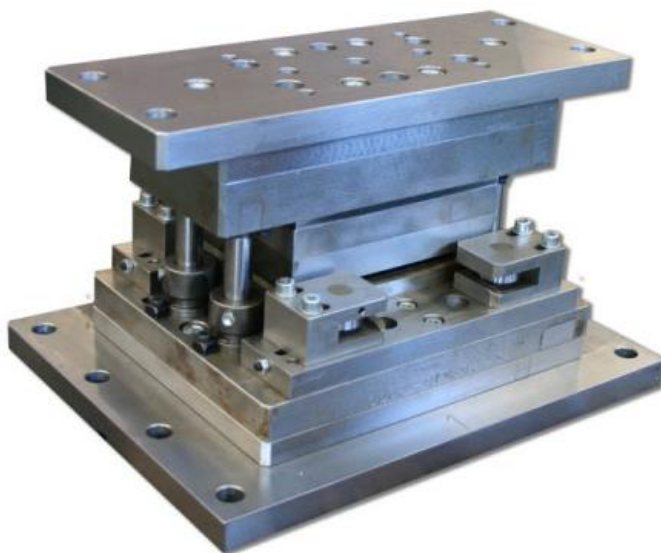
Jedná se o velmi všestranný stroj, avšak výroba jednoho třmenu by trvala déle, než např. výroba lisem s kombinovaným nástrojem. Vysekávací lis totiž vytvoří vždy jen jeden otvor v operaci. Kdežto díky nástroji pro stříh v lise je možné na jeden zdvih vytvořit velké množství otvorů a každým zdvihem je dokončena nová součást.

- Stříháním nástrojem v lise - stříháním prováděným v lise je možné splnit požadavky pro tzv. přesné stříhání o rozměrové přesnosti pohybující se od IT 6 do IT 9. Tímto způsobem lze dosáhnout hladké střížné plochy s kolmostí k rovině plechu. U běžného stříhání ve střížných nástrojích se dosahuje zpravidla rozměrové přesnosti IT 11 – IT 12. Střížný nástroj (obr. 9) je upnutý v lise. Vzniká na míru dané součásti vhodnou kombinací střížníků jak univerzálních, tak zhotovených speciálně pro danou součást. Součástí nástroje je dále i střížnice, přidržovače, dorazy, sčítače atp.

Střížné nástroje mohou být jednoduché (součást je vyhotovena na jednu operaci/jeden zdvih lisu), postupové (součást je vytvářena několika operacemi, kdy dochází k posunu plechu v nástroji), sdružené (možnost nejen stříhu ale např. i ohybu) či sloučené (na jeden zdvih lisu lze vytvořit dvě operace). Pro danou součást je nejvhodnější volbou postupový nástroj, do něž je zaváděn pás plechu. Každým zdvihem lisu dochází k vystřížení určité části dílu. Po ukončení operace je pás posunut k další operaci o krok daný dorazy nebo odvíjecím zařízením při použití svitků. Jak již bylo zmíněno výše, po zavedení výroby je s každým zdvihem dokončena nová součást, což výrobu činí nejen jednoduchou, ale i velmi produktivní. Při zavedení sdruženého nástroje odpadá i ztrátový čas pro přesun k výrobě na dokončovací (ohýbacím) stroji.



Obr. 8 Užití vysekávacího centra [12]



Obr. 9 Střížný nástroj [16]

1.1.2 Možnosti výroby ohýbaných částí [15], [17], [18], [19], [20], [21], [22]

Poté, co je plech nastříhán, je na řadě ohyb. Ten je možné realizovat následujícími způsoby.

- Ohýbáním ohraňovacím lisem - ohýbání je zajištěno ručním nebo strojním ohraňovacím lisem s razníky. Ruční ohraňovací lisy (obr. 10) jsou vhodné pro ohýbání menších součástí a zejména menších sérií výrobků. Strojní ohraňovací lisy jsou speciálním typem mechanických lisů s rámovým stojanem. Většina je poháněna hydraulicky, čímž je dosahováno velkých ohýbacích sil. Oproti ohýbacím nástrojům jsou, nejen díky vyvozaným silám, používány tehdy, jsou-li vyráběny součásti z rozměrných polotovarů. Délka stolu může být až 10 metrů. Obsluha je zajišťována ručně, případně je lis vybaven CNC řízením a robotickým manipulátorem. Při ruční obsluze by výroba malé součásti, jakou je vyráběný třmen, mohla být nebezpečná obsluhujícímu personálu. Ohýbání vnitřních částí třmene by bylo stěžejí realizovatelné z důvodu dostupnosti k ohýbané části.



Obr. 10 Ruční ohraňovací lis [19]

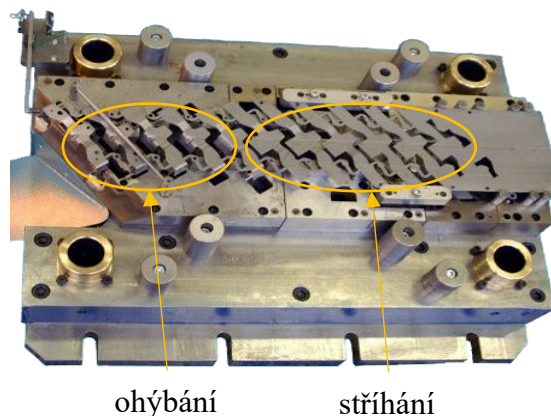
- Ohýbání na ohýbacích strojích – jedná se o metodu, kterou lze rovněž provádět na ručních a strojních tzv. ohýbačkách (obr. 11). Tyto stroje jsou svou konstrukcí velmi jednoduché. Poloha polotovaru je zajištěna sevřením čelistí, následný ohyb je prováděn čelistí, která ho ohýbá o hranu s ocelovou kalenou lištou. Úhel ohybu je nastaven pomocí zarážky. Způsob výroby je vhodný pro rozměrnější polotovary s jednoduchými ohyby s nižší sériovostí výroby.
- Ohýbáním ohýbacím nástrojem v lise – těchto nástrojů je užíváno, jsou-li vyráběny součásti menších rozměrů. Tento způsob ohýbání je založen na podobném principu jako stříhání ve stříhadle. Rovněž je vytvořen nástroj pro konkrétní součást, střížník a střížnice jsou však nahrazeny ohybníkem a ohybnicí. Ohýbací nástroje, stejně jako ty stříhací, jsou děleny na jednoduché, postupové a sloučené. Přesného ohýbání lze docílit díky vodícím sloupkům nástroje.



Obr. 11 Ohýbací lis [21]

Ohýbání v ohraňovacím lise a ohýbacím strojem se pro danou součást jeví jako nepřijatelné, a to vzhledem k tvaru třmenu, který je ohýbán jen ve svém středu, a tudíž by realizace ohybu těmito metodami byla velmi náročná, až nereálná. Proto vzhledem k náročnosti výroby a její sériovosti (200 000 ks za rok) je nutné zvolit variantu ohýbání ohýbacím nástrojem v lise.

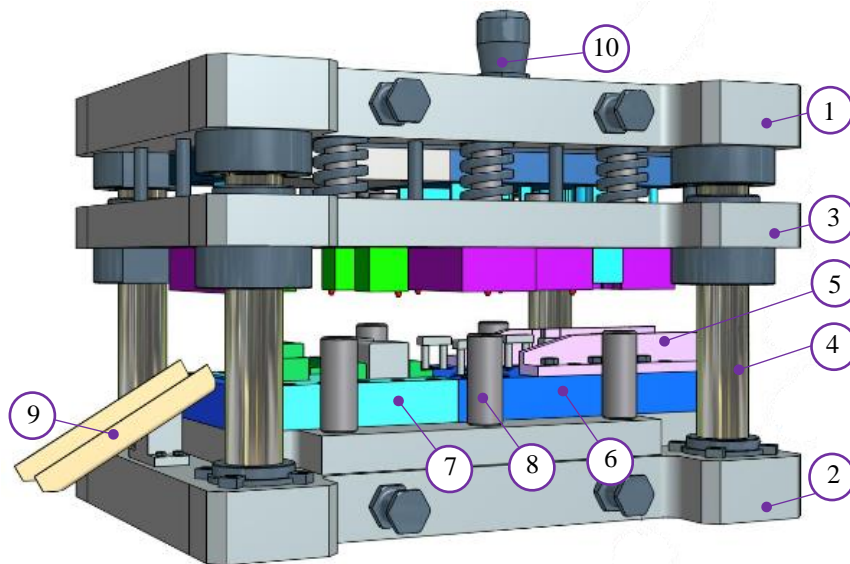
Dojde-li ke spojení střížného a ohýbacího nástroje (obr. 12), je sestaven velmi produktivní postupový sdružený nástroj, který je umístěn v jednom stroji (mechanickém lise), což šetří náklady na další stroj, tím i provozní prostor a náklady na pracovní obsluhu a zároveň čas na přesun mezi pracovišti. Z těchto důvodů je výrobním nástrojem zadaného třmenu zvolen postupový sdružený nástroj pro stříhání a ohyb, který je dále doplněn nástrojem pro zhotovení lemu.



Obr. 12 Postupový sdružený nástroj [22]

2 TECHNOLOGIE VÝROBY [23], [24]

Jak již bylo ve zkratce zmíněno, sduženým postupovým nástrojem je myšlen takový nástroj, kterým je možné kombinovat vícero úkonů. V případě výroby třmenu se jedná o stříhání, ohýbání a lemování. Tato kapitola bude zaměřena na popis jednotlivých technologií.



Obrázek 13 znázorňuje skříň kombinovaného postupového nástroje, kde základními prvky jsou:

- 1 – horní upínací deska
- 2 – dolní upínací deska
- 3 – vodící deska
- 4 – vodící sloupky
- 5 – vodící lišty
- 6 – střížnice
- 7 – ohybnice
- 8 – výškové dorazy
- 9 – koncový skluz
- 10 – upínací stopka

Obr. 13 Kombinovaný postupový nástroj [24]

2.1 Technologie stříhání [19], [21], [24], [25], [26], [27]

Při stříhání je působeno na stříhaný materiál dvěma protichůdnými silami, které jsou přenášeny skrze ostří nožů, resp. střížníku a střížnice. Proces stříhání je dělen do třech fází: pružné deformace, plastické deformace, nástřihu a stříhu.

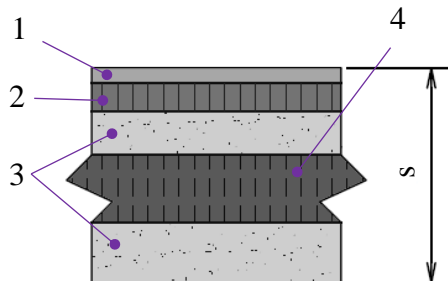
Silovým působením je docíleno v prvotní fázi k přesunu stříhaného materiálu směrem k jeho středu. Tím je zapříčiněn vznik tahových napětí. Vlákná jsou s rostoucím posuvem ostří dále protahována a ohýbána. Dosáhnou-li nože poměrné kritické hloubky, která je dána charakteristikou materiálu, tahové napětí dosáhne meze pevnosti, kdy dochází ke vzniku trhlin od břitů nástrojů. K šíření trhliny materiálem dochází ve směru maximálního smykového napětí, a to vlivem dalšího vnořování nástrojů. Rychlost šíření se odvíjí od mechanických vlastností materiálu a velikosti střížné vůle.

Stříhání lze normou ČSN 22 6001 rozdělit, mimo jiné, na děrování a vystřihování, což jsou nejčastější operace používané při výrobě ve střížném nástroji. Děrováním je myšlena tvorba vnitřních otvorů nacházejících se v rozvinu součásti. Část plechu odcházející střížnicí je odpad. Vystřihování je pak specifikováno jako tvorba obrysu součásti. Vystřížením může být oddělena samotná součást, která propadává střížnicí, případně okrajová část plechu ve formě odpadu.

Pro povrchově upravené plechy platí, že má-li být dosaženo kvalitního stříhu, je nutné udržet střížné hrany nástroje ostré. S jejich otupením může docházet k potrhání a částečnému tažení povrchové vrstvy, čím může být způsobena ztráta soudržnosti této vrstvy se základním materiálem.

2.1.1 Střížná plocha a vůle [14], [15], [17], [26], [28], [29]

Vzniklá střížná plocha je charakteristická esovitým tvarem (obr. 15) způsobeným nerovnoměrným rozložením tlaku, díky němuž dochází ke změně směru tahových vláken. Zpravidla je tvořena čtyřmi menšími plochami (obr. 14), a to: 1 – plochou pružného vnikání, oblastí pružné deformace; 2 – plochou plastické deformace; 3 – pásmem lomu, které roste s nevhodně zvolenou vůlí nebo vlivem tvrdosti a křehkosti materiálu; 4 – pásmem otěru. Vzhled plochy je spjat s velikostí střížné vůle a mezery. Střížná vůle je dána rozdílem jmenovitých rozměrů střížnice a střížníku. Je-li známa velikost střížné mezery z (obr.15), pak lze vůli vypočítat dle ČSN 22 6015 ze vztahu:



Obr. 14 Vzhled střížné plochy [26]

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

kde v ... střížná vůle [mm],

z ... střížná mezera [mm],

c ... součinitel závislý na požadované kvalitě střížné plochy, $c \in (0,005 - 0,035)$,
s rostoucí kvalitou plochy jeho hodnota klesá,

s ... tloušťka plechu [mm],

τ_s ... deformační odpor ve stříhu [MPa],

$$\tau_s = 0,77 \cdot R_m, \quad (2.2)$$

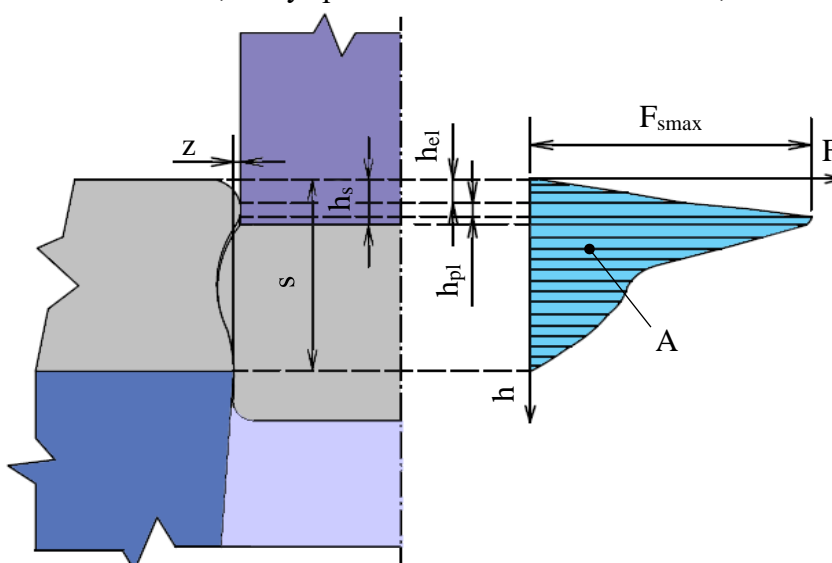
kde R_m ... mez pevnosti v tahu [MPa].

Případně může být střížná vůle určena z tabulky doporučených hodnot na základě tloušťky plechu a druhu, zejména tvrdosti, materiálu, viz příloha 1.

Je-li vůle příliš malá nebo naopak příliš velká, dochází k rozšíření pásma otěru a ke značnému zhoršení vzhledu a kvality střížné plochy. Při běžné střížné vůli se trhliny v momentě stříhu setkají. Tento parametr ovlivňuje nejen trvanlivost nástrojů, ale i velikost střížné síly.

2.1.2 Síly v procesu stříhání a střížná práce [24], [26], [30], [31], [32]

Střížná síla a práce jsou důležitými aspekty pro následnou volbu tvářecího stroje. V průběhu elastického vnikání a plastického zatlačení, tedy prvních dvou fázích stříhání, dochází k rychlému růstu střížné síly. Svého maxima dosahuje ve chvíli prvního vzniku trhlin. Ty se šíří ve směru smykové roviny. V momentě, kdy se horní a spodní trhliny setkají, dochází k lomu materiálu. Od tohoto okamžiku síla klesá velmi prudce. K pozvolnějšímu poklesu dochází vlivem působení protlačovací síly, kterou střížník působí na oddělený materiál. Průběh síly je znázorněn na obrázku 15.



Obr. 15 Průběh střížné síly [26]

Pro děrování a vystřihování platí výpočetní vztah pro střížnou sílu:

$$F_s = n \cdot S_s \cdot \tau_s = n \cdot L \cdot s \cdot \tau_s, \quad (2.3)$$

kde F_s ... střížná síla [N],

S_s ... střížná plocha [mm²],

n ... koeficient zohledňující vliv vnějších podmínek a především opotřebení [-],
 $n = (1 \text{ až } 1,35)$,

L ... délka křivky stříhu [mm].

Užití vztahu je podmíněno velikostí poměru průměru střížníku ku tloušťce materiálu. Je-li poměr větší nebo roven jedné, je možné využít vztahu (2.3). Pokud je však konstruován střížník o menším průměru, než je daná tloušťka plechu, dochází k výraznému vzrůstu hodnoty deformačního odporu ve stříhu.

Střížná síla může být snížena dvěma způsoby, a to vytvořením střížníků různé délky v závislosti na tloušťce materiálu, nebo využitím zkosených střížníků (pokud se děruje), případně zkosené střížnice při vystřihování. Takovou úpravou však dochází k prodloužení zdvihu a navýšení hodnoty střížné práce z důvodu deformace odpadu.

Kromě samotné střížné síly se v procesu vyskytují síly pro protlačení výstřížku a setření děrovaného plechu ze střížníku (obr. 16). Druhá zmiňovaná síla vzniká při zpětném pohybu střížníku, kdy na jeho boční strany působí prostřížený materiál a způsobuje tření. Tyto síly lze vypočítat z rovnic:

$$F_{pr} = (0,02 \div 0,05) \cdot F_s, \quad (2.4)$$

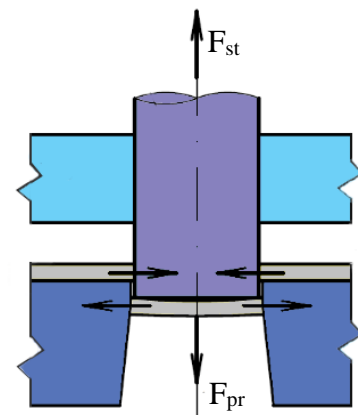
kde F_{pr} ... síla protlačovací [N]

a

$$F_{st} = c_t \cdot F_s, \quad (2.5)$$

kde F_{st} ... síla stírací [N],

c_t ... součinitel daný tloušťkou materiálu, pro
 $s < 1 \text{ mm}$: $c_t = (0,02 \text{ až } 0,12)$.



Obr. 16 Protlačovací a stírací síla [24]

Střížná práce je graficky znázorněna na obr. 15, kde představuje obsah plochy vzniklé pod křivkou střížné síly. Početně je dána:

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot F_{smax} \cdot s \cdot \lambda, \quad (2.6)$$

kde A_s ... střížná práce [J],

λ ... součinitel plnosti [-]

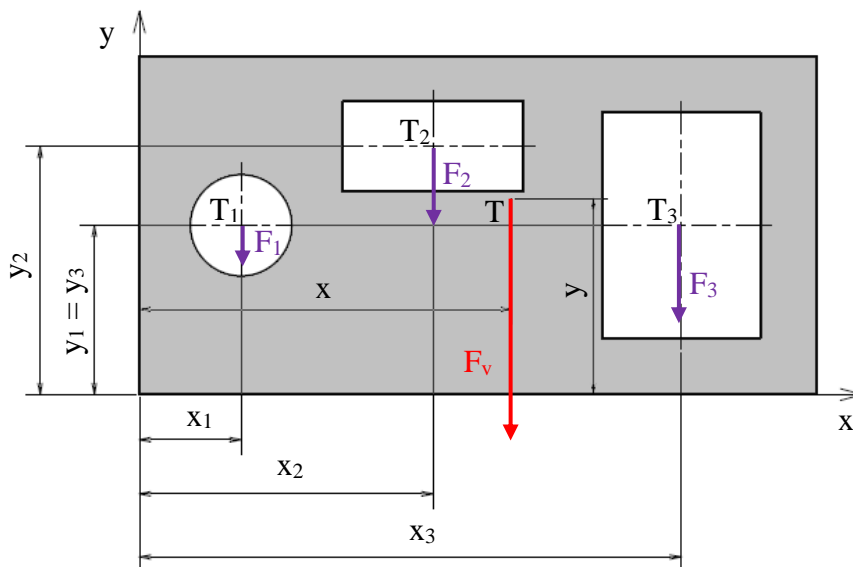
F_{smax} ... maximální střížná síla [N], je dána součtem dílčích sil pro jednotlivé děrované a vystřihované otvory.

Samotný výpočet střížných sil však pro správnou funkci stroje i nástroje nestačí. Je zapotřebí určit působíště výsledné síly, tedy těžiště střížných, ohybových, případně jiných sil, které působí v procesu výroby. Nástroj je do stroje umístěn tak, aby síla vyvolaná beranem stroje působila v těžišti sil nástroje, jejich nositelky se tedy překrývají. Tím je zamezeno degradaci stroje i nástroje a zabezpečena požadovaná kvalita střížné plochy. Působíště výsledné síly je možné určit dvěma způsoby:

- analyticky – metoda je založena na rovnosti momentu výslednice sil se sumou momentů jednotlivých sil, které mají totožnou referenční osu. K tomu je zapotřebí určit těžiště dílčích sil (obr. 17). Souřadný systém je většinou dán hranami horní upínací desky. Poté je možné využít vztahu (obdobně pro osu y):

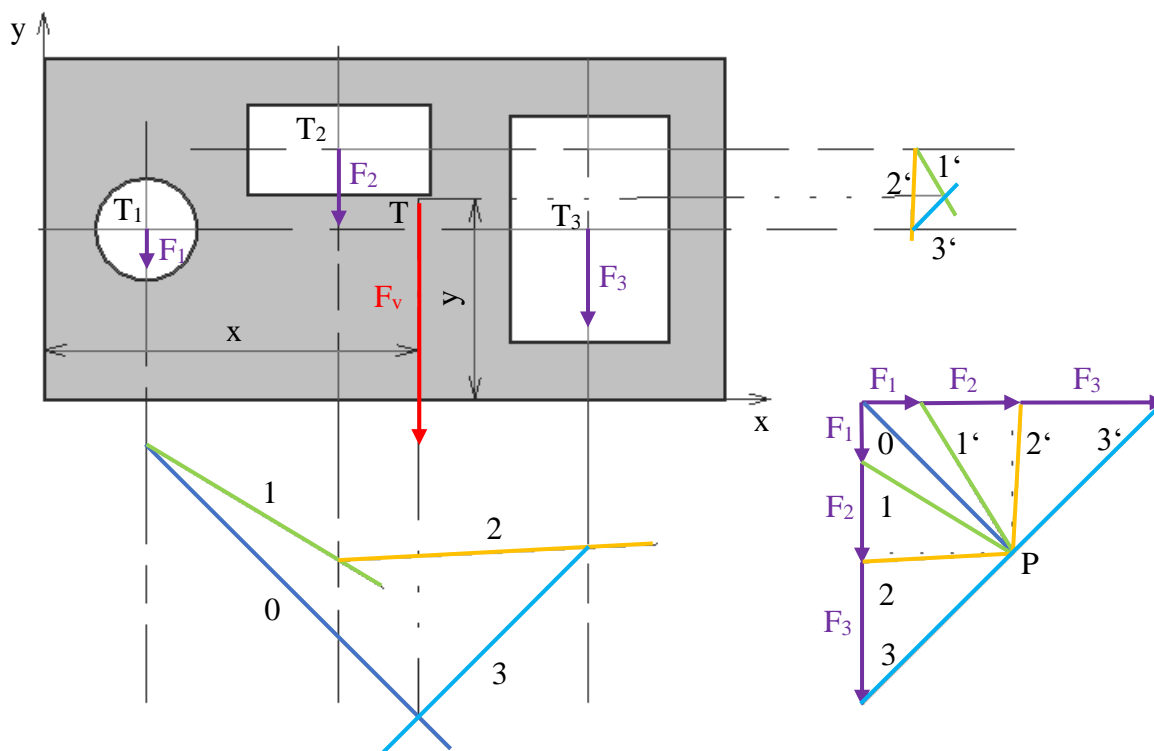
$$x = \frac{F_1 \cdot x_1 + F_2 \cdot x_2 + \dots + F_n \cdot x_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (2.7)$$

kde $x, y \dots$ souřadnice těžiště síly [mm],
 $x_i, y_i \dots$ souřadnice dílčích těžišť [mm].



Obr. 17 Analytické řešení [31]

- graficky – prvním krokem je vyznačení těžišť jednotlivých sil společně se silami ve vhodném měřítku a správném poměru a znázornění nositelek těchto sil. Poté jsou síly vyneseny na jednu nositelku mimo obrazec, a to pro směr osy x i y . Bod „P“ představuje pól, ten může být zvolen libovolně, důležitý je poměr mezi silami. S pólem jsou spojeny koncové body sil, díky tomu vznikají směrnice, které jsou dále vynášeny na nositelky sil v obrazení v pořadí vyznačeném v obrázku 18.

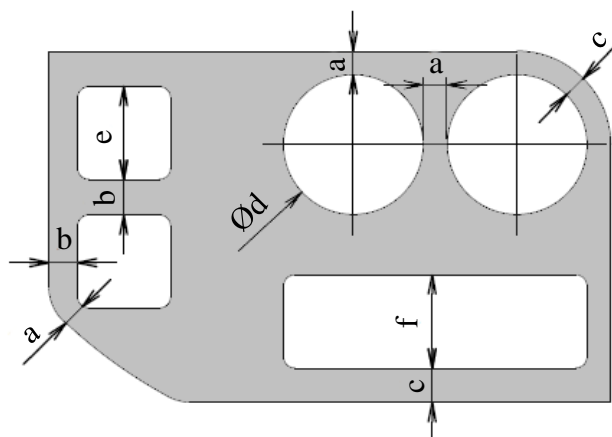


Obr. 18 Grafické řešení [31]

2.1.3 Technologické podmínky výroby stříháním [23], [28], [31], [33], [34]

Posouzením technologických podmínek je získána součást, kterou by mělo být možné vyrobit v předpokládané kvalitě o požadované přesnosti. Rovněž je zhodnocena ekonomická stránka výroby, vždy je nutné součást vyrobit co nejhospodárněji. V rámci technologičnosti jsou hodnoceny následující aspekty.

- Technologičnost konstrukce výstřížků – je jí rozuměn návrh výrobku tak, aby bylo dodrženo minimálních vzdáleností jak od okraje materiálu, tak i mezi stříhanými tvary navzájem. Na obrázku 19 jsou tyto požadavky znázorněny pro otvory různých tvarů. Nejmenších povolených vzdáleností je předepisováno u kruhových otvorů, kdy tento limitující rozměr činí pouze 80 % tloušťky plechu. Pro tvary typu čtverec je hodnota stanovena na 100 % tloušťky materiálu. Rovněž je předepisován nejmenší možný průměr děrovaného otvoru, který se liší podle tvaru otvoru. Tab. 2 přehledně znázorňuje předepsané hodnoty pro měkké plechy.



Obr. 19 Technologičnost konstrukce výstřížků [33]

Tab. 2 Limitní hodnoty u výstřížků [30]

a	b	c	d	e	f
0,8·s	s	1,5·s	s	0,9·s	0,7·s

- Rozměrové a geometrické tolerance – základní výrobní tolerance dílu se odvíjí od přesnosti střížníku a střížnice. Jsou-li nástroje tolerance IT 5 – 6, pak je zhotoven výrobek vždy přibližně od 2 třídy horší přesnosti, v tomto případě je součást vyrobena v toleranci IT 8 – 9, dále viz tab. 3. Součásti vyráběné stříháním lze v základě rozdělit do tří skupin:
 - s nižší přesností – IT 14 – 16,
 - s běžnou přesností – IT 11 – 12,
 - s vyšší přesností – IT 6 – 9.

Tab.3 Závislost přesnosti vystříhovaného výrobku na přesnosti nástroje [23]

Základní výrobní tolerance IT vystříhovaného dílu	8 – 9	10	11	12	13	14	15
Základní výrobní tolerance IT střížníku a střížnice	5 – 6	6 – 7	7 – 8	8 – 9	10	11	12

Pro obdélníky, polygony a kruhové otvory bez tolerancí jsou navrhovány odchylky v tab. 4. Případně dle tabulky v příloze 2.

Tab. 4 Limitní odchylky výrobku [31]

Rozeř e, f, d a délka obdélníku l	Limitní odchylka [mm] pro plechy do 1 mm
do 120 mm	+ 0,15 - 0,1

Pro geometrické tolerance běžného stříhání platí jednoduché pravidlo: je-li to možné, je snahou se vyhnout předepisování rovinnosti a kolmosti. Má-li jí být docíleno, je zapotřebí užít přesného stříhání.

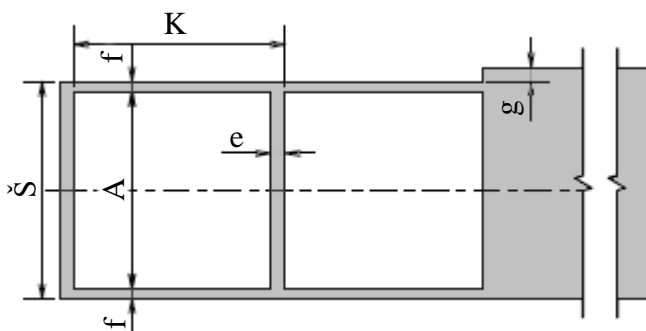
- Využití materiálu – velká část návrhu výroby je věnována přípravě nástřihových plánů, úpravám a rozmístění součástí tak, aby byl plechový polotovár co nejchospodárněji využit a zároveň bylo možné použít střížníků a střížnic co nejběžnějších tvarů.

Nástřihovým plánem je rozuměno rozdělení tabule plechu na jednotlivé pásy. K tomu je zapotřebí určit, jak bude situována řešená součást. Lze zavést:

- stříhání s prostorem kolem celé kontury dílu – tato varianta je zaváděna, pokud je požadováno vysoké kvality výstřížku,
- stříhání s prostorem mezi díly, výška dílu je dána šířkou pásu plechu,
- stříhání bez mezer kolem výstřížku.

Poslední dva zmíněné body jsou zaváděny do výroby není-li vyžadováno neobvyklých rozměrových přesností. Směrnici pro stanovení šířky odpadu [34] pro čtvercové výstřížky jsou dány rozměry (tab. 5):

- e – velikost můstku,
- f – šířka odpadu,
- g – šířka, která bude odstřižena v případě užití ostřihovacího dorazu.



Obr. 20 Stanovení šířky odpadu [34]

Tab.5 Stanovení šířky odpadu [34]

Tloušťka materiálu [mm]	Šířka pásu [mm]		
	50 – 100		
0,1 – 0,9	e	f	g
		1,8	2,2

Na obrázku 20 jsou znázorněny další hodnoty, a to:

- A – výška vyráběné součásti,
- K – krok; vzdálenost, o kterou se posune zaváděný pás s každým zdvihem,
- Š – šířka pásu plechu.

Využití plechu je procentuálně vyčísleno a platí, že by mělo být dosaženo alespoň 70 %. Pro tabuli plechu platí:

$$\eta_t = \frac{S_v \cdot N_{vys}}{S_t} \cdot 100, \quad (2.8)$$

kde η_t ... využití tabule plechu [%],
 S_v ... plocha výstřížku [mm^2],
 N_{vys} ... počet výstřížků na tabuli [ks],
 S_t ... plocha tabule [mm^2].

Při použití plechu v podobě svitku platí obdobný vztah, jen je přepočten počet výstřížků pro daný svitek a plocha tabule je nahrazena za plochu svitku. V případě využití více tabulí či svitků je možné vypočítat celkové procentuální využití pro danou sérii úpravou vztahu, kdy jmenovatel je, stejně jako čitatel, násoben počtem potřebných tabulí nebo svitků. Úprava vztahu:

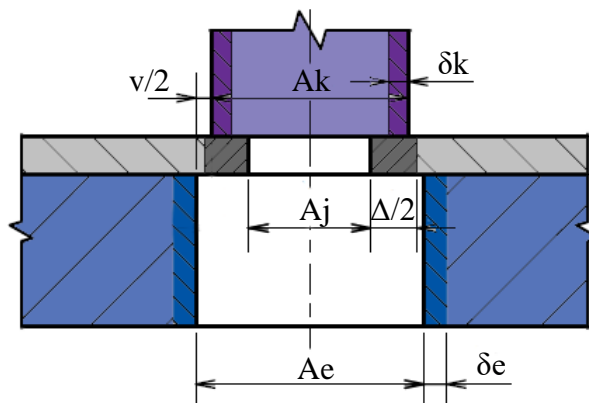
$$\eta_{série} = \frac{N_{série} \cdot S_v}{N_t \cdot S_t} \cdot 100, \quad (2.9)$$

kde $\eta_{série}$... využití materiálu při zhotovení celé série [%],
 $N_{série}$... počet kusů v sérii [ks],
 N_t ... počet tabulí pro výrobu série [ks].

2.1.4 Konstrukce střížných nástrojů [15], [28], [32], [35], [36], [37], [38]

Jak již bylo s úvodem kapitoly zmíněno, kombinovaný nástroj se skládá z několika hlavních součástí společných pro celý nástroj. Má-li být řeč o střížném nástroji, pak je nutné zmínit dvě základní funkční části, a to střížník a střížnici.

- Střížník – pomocí jeho hrany a působící síly dochází k lomu (ustřížení) materiálu. Jedná se o dlouhý nástroj univerzálního tvaru, či tvaru průřezu daného stříhanou součástí. Střížník je v procesu děrování považován za základní pracovní část střížného nástroje. Jmenovitý rozměr střížníku je dán základním rozměrem součásti. Je dobré si uvědomit, že během používání střížníku dochází k jeho opotřebení, a tím i ke změně rozměrů nejvíce namáhaných ploch. Tím by mohlo docházet k postupnému zmenšování rozměrů otvorů (otvory jsou „zmenšující se“), proto je vhodné tyto rozměry při výrobě nástroje stanovit na vyšší hranici tolerance jmenovitého rozměru „ δk “ (obr. 21), čímž je dosaženo vyšší životnosti nástroje. Výrobní rozměry střížníku pro děrování jsou dány rovnicí:



Obr. 21 Děrování [28]

$$A_k = (A_j + \Delta)_{-\delta_k}, \quad (2.10)$$

kde A_k ... výrobní rozměr střížníku [mm],

A_j ... jmenovitý rozměr vyráběné součásti [mm],

Δ ... tolerance jmenovitého rozměru součásti [mm],

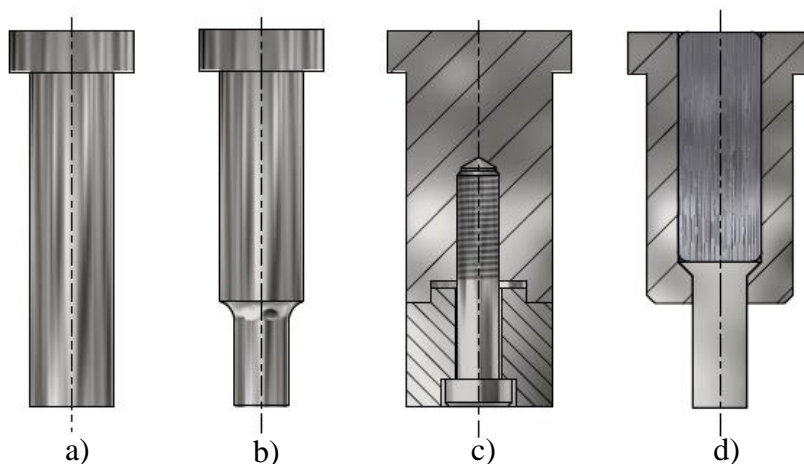
δ_k ... výrobní tolerance nástroje – střížníku [mm].

Pro nástroj, který bude používán k vystřihování, je výrobní rozměr dán vztahem:

$$A_k = (A_j - \Delta - v)_{-\delta_k}, \quad (2.11)$$

Střížník může být zhotoven v několika provedeních znázorněných na obrázku 22.

- Monolitní střížník konstantního průměru (obr. 22a) – nedisponuje žádným složitým tvarovým členěním. Tato varianta je vhodná pro výrobu střížníků, které nejsou příliš velké na to, aby se tato konstrukce stala nevhodnou.
- Monolitní střížník proměnného průměru (obr. 22b) – vyobrazuje střížník, který je užíván k děrování relativně malých otvorů a pokud by nebyl v nepracovní části rozšířen, mohlo



Obr. 22 Konstrukce střížníků [36]

by dojit k jeho vychýlení, či zlomení. Kromě monolitních střížníků jsou zhotovovány i střížníky složené.

- Složený střížník šroubovaný (obr. 22c) – je zhotovován pro výrobu rozměrných otvorů. Pouze pracovní část střížníku je vyrobena z dražší nástrojové oceli. Větší část těla nástroje, upínací část, je pak vyrobena např. z oceli konstrukční.
- Složený střížník s kolíkem (obr. 22d) – posledním konstrukčním provedením je zhotoven rovněž dělený střížník sestávající ze střížné a upínací části. Střížný úsek je vyroben s osazením, díky němuž je uchycen v upínacím segmentu. Vše je zajištěno jednoduchým a ekonomicky úsporným kolíkem. Střížník klasicky disponuje plochým čelem, avšak lze jej upravit zkosením ($4 - 6^\circ$), a tím snížit střížnou sílu.

Upínání střížníků lze realizovat vytvořením osazení, roznytováním nebo upnutím pomocí kuličky (obr. 23), díky níž se dosahuje případné rychlé výměny nástroje.

Návrhy nejmenších střížníků je nutné zkontrolovat tzv. „na vzpěr“, kdy nástroj může ztratit vzpěrnou stabilitu, kvůli čemuž dochází k jeho vybočení. Tento stav nastává, dosahuje-li volná délka střížníku kritické délky.

$$F_{\text{krit}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{\text{red}}^2} = n \cdot F_s, \quad (2.12)$$

kde F_{krit} ... kritická síla [N],

E ... modul pružnosti v tahu, pro ocel = 210 000 MPa,

I ... kvadratický moment [mm^4],

k ... koeficient bezpečnosti, $k = 1,5$ až 2 ,

l_{red} ... redukovaná délka střížníku [mm],

$$l_{\text{red}} = l_{\text{krit}} \cdot \mu, \quad (2.13)$$

kde l_{krit} ... kritická volná délka střížníku (bez vedené části) [mm],

μ ... koeficient, pro nevedený střížník $\mu = 2$, pro vedený $\mu = 0,75$.

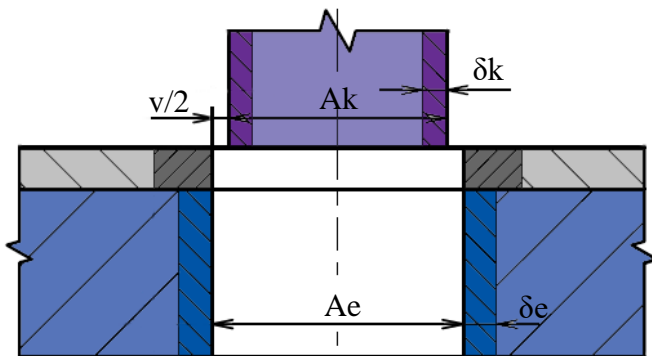
$$\rightarrow l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_s \cdot \mu^2}} \quad [\text{mm}] \quad (2.14)$$

Kromě kontroly na vzpěrnou stabilitu je prováděna i kontrola proti otláčení střížníků. Upínací desce je předepsáno dovolené napětí (pro ocel zpravidla 180 MPa), po jehož překročení dochází k otláčení. Lze mu zabránit podložením kritických střížníků či celé střížné části nástroje kalenou deskou. Kontrolu je možné provést na základě vztahu:

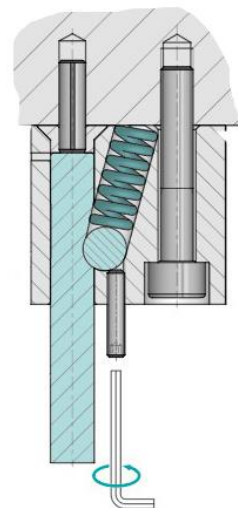
$$\sigma_{\text{otl}} = \frac{F_{\text{si}}}{S_{\text{si}}} \leq \sigma_{\text{dov}}, \quad [\text{MPa}] \quad (2.15)$$

kde S_{si} ... plocha upínací části střížníku [mm^2].

- Střížnice – je protikusem střížníku. Platí pro ni, stejně jako u střížníku, že pomocí její hrany a působící síly dochází k lomu materiálu. Střížnice je v procesu vystřihování považována za základní pracovní část střížného nástroje. Při tomto procesu je její rozměr dán základním rozměrem součásti (obr. 24). Rovněž pro ni platí, že během tvářecího procesu dochází k jejímu opotřebování, a tím ke zvětšování výstřižků. Její životnost lze upravit správným dimenzováním, a to dle vztahu pro děrování:



Obr. 24 Vystřihování [28]



Obr. 23 Upínání kuličkou [37]

$$A_e = (A_j + \Delta + v)^{+\delta_e}, \quad (2.16)$$

kde A_e ... výrobní rozměr střížnice [mm],

δ_e ... výrobní tolerance nástroje – střížnice [mm]

a pro vystříhování:

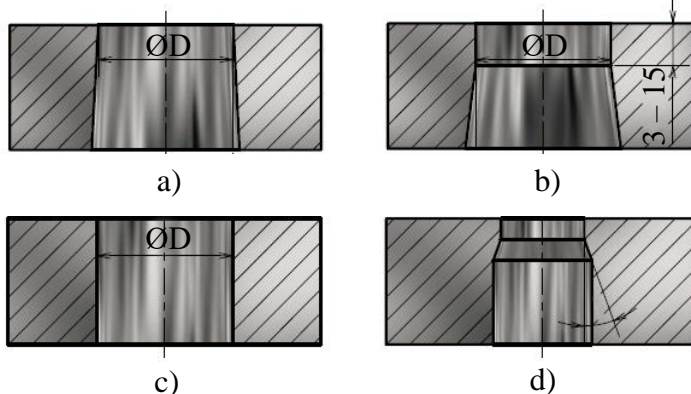
$$A_e = (A_j - \Delta)^{+\delta_e} \quad (2.17)$$

Při navrhování střížnice je také směrodatná její výška, která musí být dostatečná k tomu, aby odolala působícím tlakům. Výpočetní vztah se odvíjí od tvaru střížnice (kruhový, čtvercový). Obecně lze však použít:

$$H = \sqrt[3]{F_s} \text{ [mm]} \quad (2.18)$$

Konstrukce střížnic se dělí následujícím způsobem.

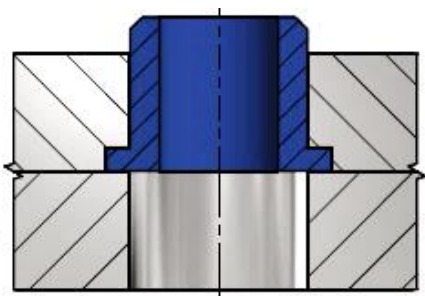
- Celistvé – jsou vyrobeny pouze z jednoho dílu. Střížnice jsou tvarově uzpůsobeny podle pohybu výstřížku po lomu.
 - Výstřížek se nevrací nad střížnici – pro tyto díly jsou střížnice vyráběny pouze s rozšířením. Pro malé série (cca 10 000 kusů) toto rozšíření činí $0,1$ až 1° , střížnici lze přibližně jednou přebrousit (obr. 25a). Pro série větší je navrhováno rozšíření 3 až 5° a nad tímto zkosením je zaveden úsek s konstantním průměrem, který je vysoký přibližně 3 až 15 mm (obr. 25b). Díky těmto úpravám je možné střížnici přebrousit vícekrát.
 - Výstřížek se vrací nad střížnici – je zaváděna střížnice konstantního průměru (obr. 25c).
 - Výstřížek je malého průměru – na vstupu do střížnice je průměr konstantní, poté je mírně zkosen a následuje úsek s konstantním průměrem, který tvoří největší část střížnice (obr. 25d).



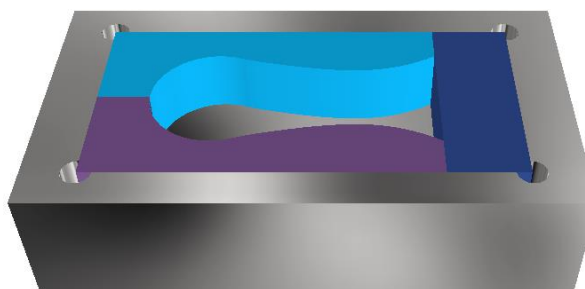
Obr. 25 Celistvé střížnice [35]

- Vložkované – do těla střížnice jsou zalisovány, zašroubovány nebo upevněny kuličkou vložky, které vyčnívají nad úroveň těla o přibližně 3 až 5 mm (obr. 26). Toto řešení je užíváno, je-li vyráběno velké množství otvorů, případně má-li být nástroj univerzální pro více výrobků podobného typu a dochází pouze k výměně vložek za jiný rozměr.
- Skládané – jsou vyráběny pro díly složitého tvaru, čímž jsou tyto tvary snadněji vyrobitelné. Jednotlivé kusy nástroje jsou zalisovány do základního těla střížnice (obr. 27), v rozích vybrání jsou průchozí díry pro možnou demontáž.

Upínání střížnic ke střížné skříní je prováděno pro postupové nástroje pomocí šroubů a kolíků pro středění.



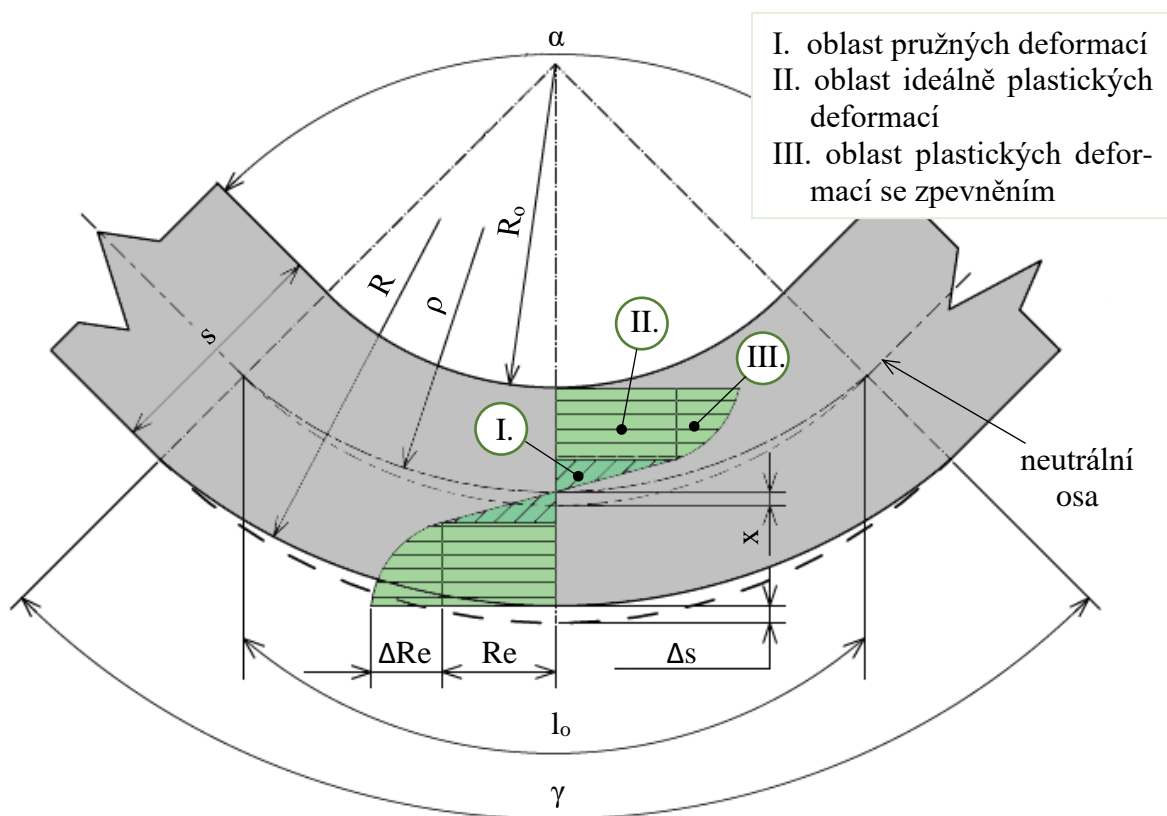
Obr. 26 Vložkovaná střížnice [35]



Obr. 27 Složená střížnice [35]

2.2 Technologie ohýbání [26], [31], [39], [40]

Technologie ohýbání je prováděna převážně za studena a jsou jí vytvářeny plechové díly a ohyby trubek, drátů a tyčí. Tváření za tepla je užíváno pro křehké a tvarově složité materiály. Polotovár během ohýbání spočívá na dvou podporách, které jsou od sebe vzdáleny l_0 (obr. 29), mezi nimi je působeno osamělou ohybovou silou. Ohyb může být realizován i ohybovými momenty působícími na koncích polotovaru. Jedná se o proces vykazující lokální pružně-plastickou deformaci, při tváření za studena pak dochází i ke vzniku zpevnění. Při ohýbání širokých pásů plechu ve středové oblasti téměř nedochází k deformaci v příčném směru (ve směru šířky pásu). O rozložení napětí lze zjednodušeně říci, že na vnitřní straně ohýbaného materiálu vznikají tlaková napětí a na vnější straně naopak napětí tahová. Ke změně dochází skokově na neutrální ose (obr. 28). Pro ohýbání jsou tahová napětí základními sledovanými parametry, zejména pak jejich kritické hodnoty, a to z důvodu možného vzniku porušení soudržnosti materiálu, tedy trhlin. Největších hodnot jak deformace, tak i zpevnění, je dosahováno v okrajových vláknech povrchu materiálu.



Obr. 28 Průběh ohybového napětí a hlavní parametry ohýbání [40]

Vlivem plastické deformace dochází při ohybu ke ztenčení plechu, jehož velikost lze stanovit vzorcem:

$$\Delta s = s - s_1 = \frac{s^3}{4 \cdot (2 \cdot R_0 + s)^2} \quad [\text{mm}], \quad (2.19)$$

kde Δs ... ztenčení plechu [mm],

s_1 ... tloušťka plechu po ohybu [mm],

R_0 ... poloměr ohybu [mm].

Tento jev je možné pozorovat na vnější straně ohybu, kde působí tahová napětí (obr. 28). Během ohýbání tyčí a drátů je ztenčení pozorováno jen tehdy, platí-li $R_0 < 1,5 \cdot d$. Neplatí-li tato nerovnost, pak je ztenčení pro tyto průřezy téměř nezatelné.

2.2.1 Dělení ohybů a velikost polotovaru [39], [40]

Ohýbání lze rozdělit několika způsoby, z technologického hlediska se jedná o výrobu s malým a velkým poloměrem zakřivení. Ohýbáním na menší poloměr zakřivení je dosahováno vyšších hodnot plastické deformace a naopak. Druh ohýbání lze určit dle poměru R_0/s , a to tak, že je-li:

- $\frac{R_0}{s} \geq 12$, jedná se o volný ohyb, který je specifikován velkým poloměrem ohybu,
- $\frac{R_0}{s} \leq 6$, vzniká ostrý ohyb s malým poloměrem ohybu.

Základním typem ohybu je ohýbání širokých pásů plechu, (jak lze klasifikovat i ohyb zadané součásti). Šířka ohýbaného segmentu je zde větší než trojnásobek tloušťky plechu. Důležitost této klasifikace spočívá ve způsobu výpočtu poloměru neutrální plochy ρ' (obr. 28). Tento poloměr a jeho poloha jsou klíčové pro stanovení rozměrů výchozího polotovaru (tzv. rozvinu) a zejména délky ohnuté části.

Délka rozvinu je dána nejen délkou rovinných úseků navazujících na ohyb, ale i délkou neutrální osy l_0 v ohnuté části (obr.28). Rovné úseky jsou na reálném modelu změřeny posuvným měřítkem, případně je-li měřen 3D virtuální model, je využito nástrojem pro měření v daném programu. Zjištění délky ohnuté části je pro ruční měření však složitější disciplínou, je zapotřebí užít vztahu:

$$l_0 = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho, \quad (2.20)$$

kde l_0 ... délka ohnuté části [mm],

γ ... úhel ohnutého úseku [°],

$$\gamma = 180^\circ - \alpha,$$

kde α ... úhel ohybu [°],

ρ ... poloměr neutrální plochy [mm],

$$\rho = R_0 + x \cdot s \quad \dots \text{ pro široké pásy plechu,} \quad (2.22)$$

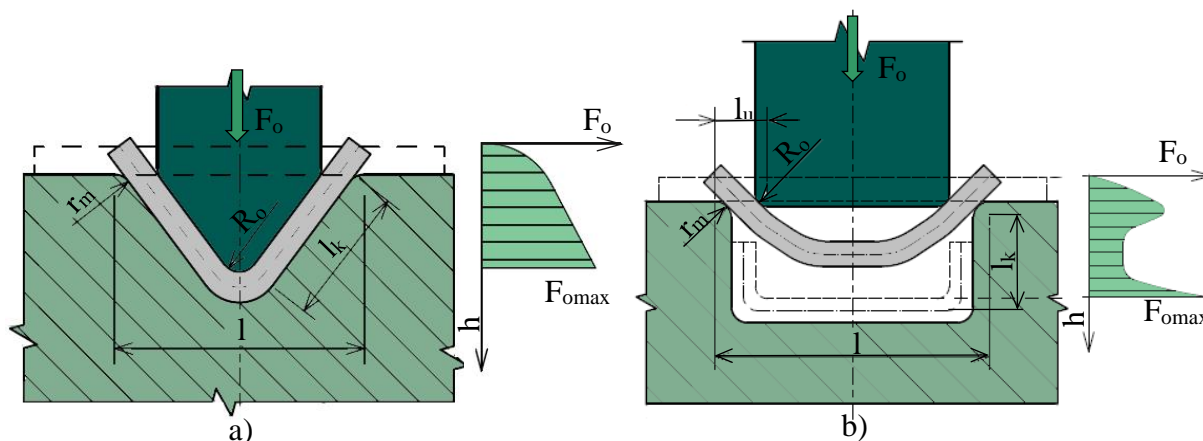
kde x ... součinitel vyjadřující posunutí neutrální osy, viz tab. 6.

Tab. 6 Závislost součinitele x na poměrném rádiu ohybu R_0/s [40]

R_0/s	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48

Posunutí osy lze zanedbat, pokud je $R > 12 \cdot s$.

Dále je možné dle způsobu ohybu rozdělit tento proces na ohýbání do tvaru V' (obr. 29a) a ohýbání do tvaru U' (obr. 29b). Toto rozdělení je zvláště důležité, má-li být spočtena velikost ohýbací síly, odpružení a vůle. Pro každý z tvarů je výpočetní vztah uzpůsoben. Liší se i průběhy ohýbacích sil. V případě ohybu do V' tato síla vzrůstá v prvotní krátké fázi velmi prudce, poté získává lineární rostoucí charakter. V případech, kdy se jedná o ohyb



Obr. 29 Ohyby a jejich průběhy sil [40]

s kalibrováním, projevuje se tento proces i v průběhu síly, a to jejím prudkým růstem. V této fázi je dosahováno maximální velikosti síly. Síla pro ,U‘ ohyb nemůže být takto jednoduše popsána, jelikož má velmi proměnlivý charakter. V počátku procesu vzrůstá pozvolněji, než v případě ohybu do ,V‘, v tuto chvíli dochází k pružné deformaci a vznikají první rádiusy. V okamžik, kdy již nedochází k velkým tvarovým změnám a materiál je vtahován do ohybnice, její velikost klesá v podobném „tempu“, na hodnotu, která je konstantní pro úsek, kdy nedochází k žádnému dalšímu ohybu. Své maximální hodnoty získává během dotlačení ohybníku na ohybnici, čímž vzniká požadovaný tvar a poloměr ohybu. Ohybník v tuto chvíli dosahuje dolní úvratě.

2.2.2 Výpočet ohýbací síly, práce, odpružení a vůle [26], [35], [39]

Mimo vůli jsou výpočty síly i práce děleny podle tvaru ohybu, tzn. nelze využít téhož vzorce, popřípadě je zapotřebí užít jinou hodnotu součinitele. Vztah pro ohybovou sílu pro ohyb do tvaru ,V‘:

$$F_{ov} = \frac{C \cdot R_m \cdot B \cdot s^2}{2 \cdot l}, \quad (2.23)$$

kde F_{ov} ... ohybová síla pro ohyb do tvaru ,V‘ [N],
 C ... součinitel, který lze určit z grafu v příloze 3,
 B ... šířka zaváděného pásu [mm],
 l ... vzdálenost opor (obr. 29a) [mm].

Výpočet ohýbací síly pro ohyb do tvaru ,U‘ lze provést podle vzorce:

$$F_{ou} = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot B \cdot s^2}{l_u}, \quad (2.24)$$

kde F_{ou} ... ohybová síla pro ohyb do tvaru ,U‘ [N],
 l_u ... vzdálenost opor (obr. 29b) [mm],
 $l_u = 2 \cdot R_o \cdot 1,2 \cdot s$. (2.25)

Pokud by výsledná hodnota byla počítána pouze podle vztahu (2.23), případně (2.24), jednalo by se o její neúplné vyjádření, jelikož do procesu vstupuje užívání přídržovačů a kalibrace, které s sebou nese navýšení výsledné ohybové síly. Síly pro kalibraci a přídržovače jsou odvozeny od velikosti síly ohybové jako její násobky. Výsledná síla , F_c ‘ je pak získána součtem těchto dílčích sil:

$$F_c = F_o + F_k + F_p \quad [N] \quad (2.26)$$

kde F_k ... kalibrovací síla [N],

$$F_k = (1,5 \div 2) \cdot F_o, \quad (2.27)$$

F_p ... přídržovací síla [N],

$$F_p = (0,25 \div 0,3) \cdot F_o. \quad (2.28)$$

Tak jako při výpočtech střížných operací, i zde je nedílnou součástí pro dimenzování a volbu výrobního stroje velikost ohýbací práce. Ta je opět dána obsahem plochy pod křivkou síly nebo také ze vztahu:

$$A_o = m \cdot \frac{F_c \cdot h}{1000}, \quad (2.29)$$

kde m ... součinitel respektující průběh síly, pro ,V‘ ohyb je $m \approx 0,33$ a pro ,U‘ ohyb je $m \approx 0,66$,
 h ... pracovní zdvih ohýbadla [mm].

Vůle v ohybu má vliv na velikost ohýbací síly a v případě ohybu do ,U‘ i na odpružení. Její výpočet, jak již bylo naznačeno, se opět odvíjí od lisovaného tvaru. Pokud by byl lisován ,V‘ ohyb, vůle by jednoduše nesla velikost tloušťky ohýbaného materiálu a byla by získána díky seřazením lisu. Pro ohyb tvaru ,U‘ je předepsání vůle poněkud komplikovanější, do výpočtu vstupuje nejen tloušťka materiálu, ale i její tolerance, tření a délka ohýbaného ramene. Všeobecným vztahem pro výpočet vůle je:

$$v = s + c_a \cdot s, \quad (2.30)$$

kde c_a ... součinitel pro vyjádření vlivu tření mezi ohybnicí a součástí, který je závislý na délce ohýbaného ramene a' a tloušťce materiálu. Je dán tabulkou 7.

Tab. 7 Vybrané hodnoty pro určení koef. c' [39]

Délka ramene a' [mm]	Tloušťka materiálu s' [mm]		
	0,5 až 2		
	l_k [mm]	r_m [mm]	c_a
10	10	3	0,1
20	12	4	0,1
35	15	5	0,1
50	20	6	0,15

S přihlédnutím k tabulce 7 lze výpočet vůle pro ocel zjednodušit na vzorec:

$$v = (1,05 \text{ až } 1,15) \cdot s \quad (2.31)$$

Odpružení je defekt, který vzniká u tváření za studena vlivem elastické deformace. Průvodním jevem je částečný návrat do původního stavu, a tudíž odchýlení od požadovaného tvaru, který nesou nástroje. Odpružení je schematicky znázorněno na obrázku 30. Jeho velikost se značí β a je vyčíslena vztahy:

$$\operatorname{tg} \beta_v = 0,375 \frac{1}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (2.32)$$

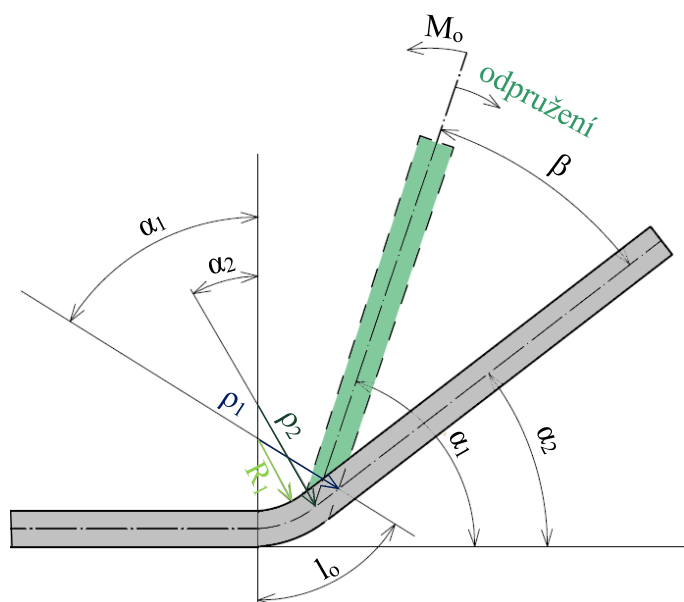
kde β ... úhel odpružení [rad],
 k ... součinitel, který je dán poměrem R_o/s , tab. 8,
 R_e ... mez kluzu [MPa].

$$\operatorname{tg} \beta_u = 0,75 \frac{l_u}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E}, \quad (2.33)$$

Dále lze úhel odpružení získat ze vztahů vycházejících z obr. 30:

$$\beta = \alpha_1 - \alpha_2 = \frac{l_o}{\rho_1} - \frac{l_o}{\rho_2}, \quad (2.34)$$

kde α_1 ... úhel ohybu $[\circ]$,
 α_2 ... úhel po odtížení $[\circ]$,
 ρ_1 ... poloměr neutrální osy,
 ρ_2 ... poloměr neutrální osy po odtížení [mm].



Obr. 30 Odpružení při ohybu [26]

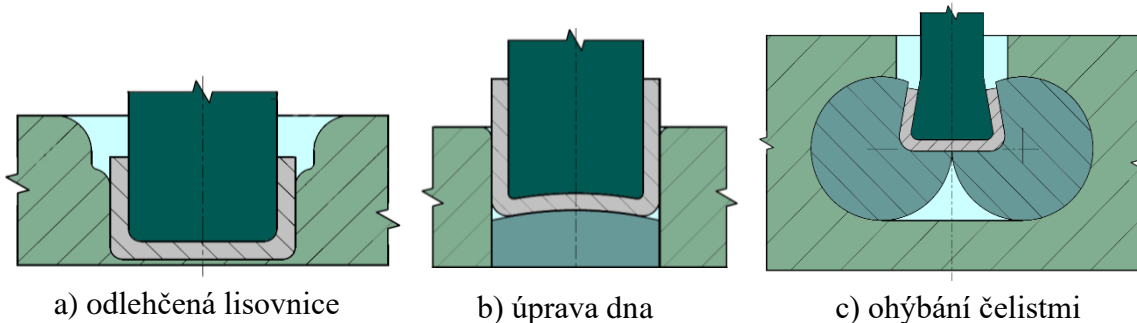
Tab. 8 Součinitel k pro výpočet úhlu odpružení [39]

R_o/s	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4 – 6	8 – 10	15 – 20
k	0,68	0,65	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,51	0,5

Při návrhu nástrojů je nutné s odpružením počítat. Snížení odpružení či jeho částečná eliminace je možná následujícími způsoby.

- Nástroji s upraveným úhlem ohybu – ohnou materiál na poloměr zvětšený o hodnotu odpružení. Po uvolnění deformační síly se součást odpruží do požadovaného tvaru. Případně lze užít zkosení ohybníku o 1 až 3 $^\circ$.
- Postupným ohýbáním – je vytvořena odlehčená ohybnice (obr. 31a).
- Zaoblením ohybníku a přidržovače – úprava dna U' výlisku (obr. 31b).
- Místním zpevněním materiálu – děje se tak v rozích, které jsou přilehlé ohybu, a to pomocí ohybníku, na jehož čelní plochu je vyfrézováno zahloubení o velikosti 0,05 až 0,1 mm.
- Výztužnými žebry – jsou vylisovány do rohů součástí.

- Prokalibrováním – u materiálů s malým poměrem R_o/s' (0,2 až 0,3).
- Ohýbacími čelistmi – tyto čelisti jsou v průběhu ohýbání schopny měnit úhel nastavení svým otáčením (obr. 31c).

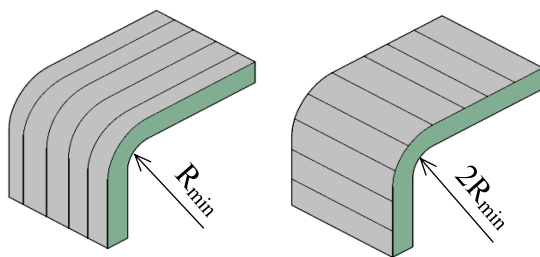


Obr. 31 Úpravy nástrojů [35]

2.2.3 Technologické podmínky výroby ohýbáním [26], [35]

Přesnost součástí vytvořených ohýbacími nástroji se odvíjí od řady faktorů, které vycházejí z velikosti a tvaru vyráběné součásti, použitého materiálu a jeho vlastností, zejména pak anizotropii mechanických vlastností a přesnosti ohýbacího nástroje. Proto, aby vznikl ohyb požadovaných rozměrů a vlastností, je třeba zhodnotit některá níže uvedená technologická doporučení.

- Umístění osy ohybu – byl-li polotovár vyráběn válcováním, je vhodné umístit osu ohybu kolmo ke směru vláken, tzn. provádět ohyb kolmo ke směru vláken (obr. 32). Dojde-li k ohybu rovnoběžném se směrem vláken, pak hrozí (zejména u menších poloměrů ohybu)



Obr. 32 Vliv směru vláken [35]

vznik trhliny. U složitých výlisků mnohdy není možné osu orientovat kolmo, proto s rostoucí výchylkou osy je zapotřebí zvětšovat i poloměr ohybu. I pro něj existují limitní hodnoty známé jako minimální a maximální poloměr ohybu. Maximální hodnota R_{max} je taková hodnota, kdy vzniká první trvalý ohyb v důsledku dosažení meze kluzu. Minimální poloměr R_{min} představuje nejmenší možný poloměr ohybu, při jehož dosažení ještě nevznikají

$$R_{min} = \frac{s}{2} \left(\frac{1}{\varepsilon_{tmax}} - 1 \right) = c_r \cdot s \quad [2.35]$$

kde ε_{tmax} ... trvalá poměrná deformace,

$$\varepsilon_{tmax} = \frac{l_2 - l_0}{l_0}, \quad [2.36]$$

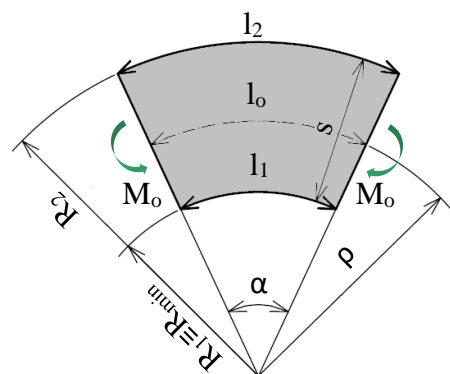
kde l_2 ... je délka vnějšího oblouku [mm] (obr.33),

c_r ... součinitel, který je volen na základě technologických podkladů, pro měkkou ocel $c = 0,5$ až $0,6$.

Rovněž R_{max} je závislý na materiálových charakteristikách:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \left(\frac{E}{\sigma_k} - 1 \right) \quad [2.37]$$

kde σ_k ... mez kluzu v tahu [MPa].



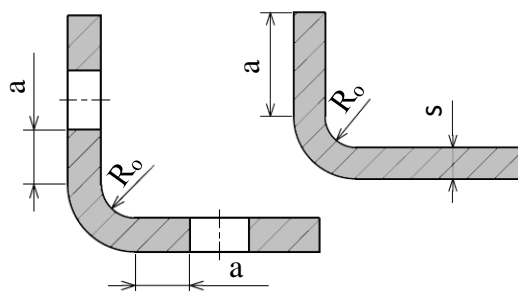
Obr. 33 Schéma ohybu [26]

- Užívání kalibrace – a to místo volného ohybu, dochází ke snížení případně až k eliminaci odpružení, lze jí docílit kolmost stěn.
- Využívání kolíků – ty jsou zaváděny do technologických otvorů a složí k zamezení posunu zpracovávaného materiálu v průběhu ohýbání, tím je zabezpečena přesnost výroby. Posun, který může být způsoben nelícováním os stroje a nástroje či opotřebením beranu lisu, lze dále ovlivnit tlakem přidržovače, případně jeho zdrsněním.
- Zvážení technologických a konstrukčních úprav – lze zmínit několik níže uvedených variant.
 - Prolis nebo vyztužení žebrem – je vhodné pro materiály, které vykazují velkou anizotropii materiálu.
 - Stanovení minimálních rozměrů – minimální délka ramene určeného pro ohyb je dána vztahem:

$$a \geq 2 \cdot s \quad [\text{mm}] \quad (2.38)$$

Stejná minimální délka je doporučena pro vzdálenost okraje otvoru od počátku ohýbaného úseku (obr. 34). Tímto předpisem je zabráněno deformaci výlisku.

- Opatření při velmi malých až téměř nulových poloměrech ohybu – pro takto malé poloměry je zapotřebí zajistit přídavný objem kovu, čímž nedojde ke vzniku trhliny na vnější straně ohybu.

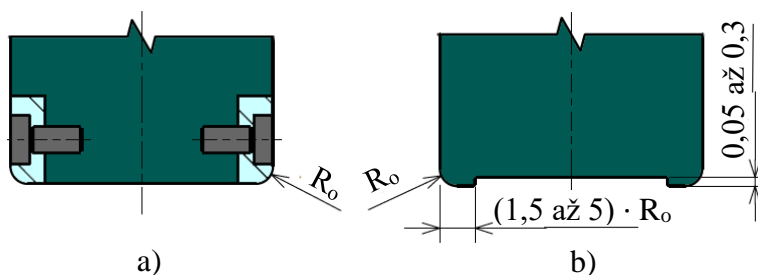


Obr. 34 Technologické úpravy [35]

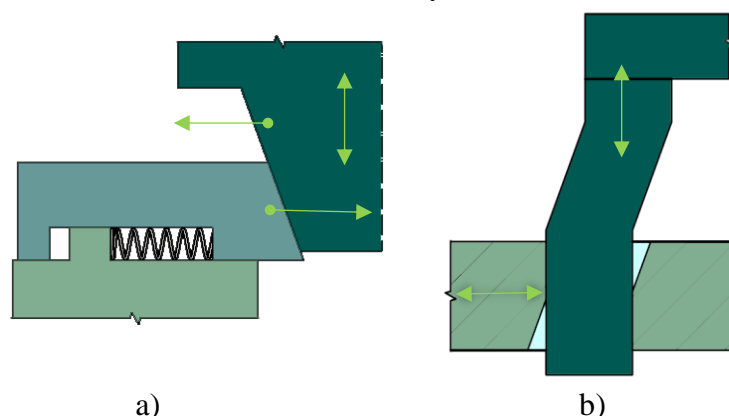
2.2.4 Konstrukce ohýbacích nástrojů [15], [35], [36]

Byla již zmíněna jistá podobnost ohýbání se stříháním, i zde je hlavní konstrukce nástroje pro celý kombinovaný nástroj společná (stopka, upínací deska, sloupky s pouzdry, základová deska), čistě ohybové komponenty jsou uvedeny níže.

- Ohybník – jedná se o tzv. pohyblivou čelist, která je zpravidla jednoduchého tvaru, který kopíruje tvar požadovaný na výsledné součásti. Jeho konstrukce se liší podle toho, zda během výroby dochází ke kalibraci či nikoliv. Na obrázku 33a) je vyobrazen ohybník pro tváření bez kalibrace, ilustračně na něj byla přišroubována vložka, která je užívána pro ohýbání rozměrných plechů. Tato vložka je z nástrojové oceli a je možné ji po jejím opotřebení opakovaně vyměnit. Tělo ohybníku je tvořeno levnější ocelí, která hůře odolává tření. Na obrázku 35b) je ohybník,



Obr. 35 Konstrukce ohybníků [35]

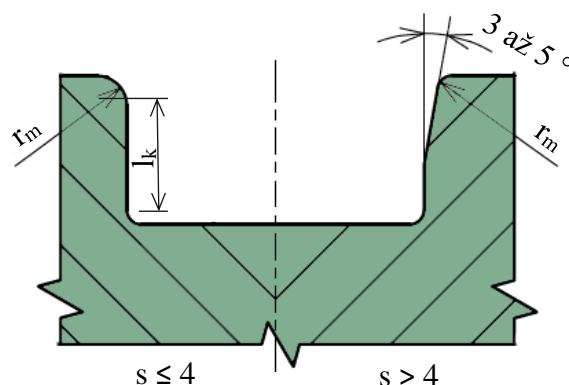


Obr. 36 Klínové mechanismy [35]

kterým je možné zhotovit ohyb s kalibrací. Kromě těchto základních ohybníků jsou využívány speciální mechanismy pro převod pohybů. K transformaci směru pohybu ze

svíslého na vodorovný je užíváno tzv. klínových mechanismů. Jsou tvořeny buďto klínem a pružinou, případně oboustranným klínem (obr. 36).

- Ohybnice – druhá z čelistí, která je v tomto případě nepohyblivá. Také má dvě varianty, tentokrát se však tyto varianty odvíjí od tloušťky plechu (obr. 37). Pro plechy do 4 mm tloušťky ji lze konstruovat pouze se zaoblením čelisti, r_m . Má-li plech nad 4 mm tloušťky, je konstruováno zkosení, jehož vrchní hrana je zaoblena poloměrem r_m . Zaoblení a hloubku ohybnice, l_k lze vyčíst z tabulky 7, která byla použita při výpočtu vůle. Z ní vyplývá, že velikost ohybnice je dána délkou ohýbaného ramene a tloušťkou tvářeného materiálu. Početně lze zaoblení horních hran ohybnice získat pomocí vztahu:



Obr. 37 Konstrukce ohybnice [35]

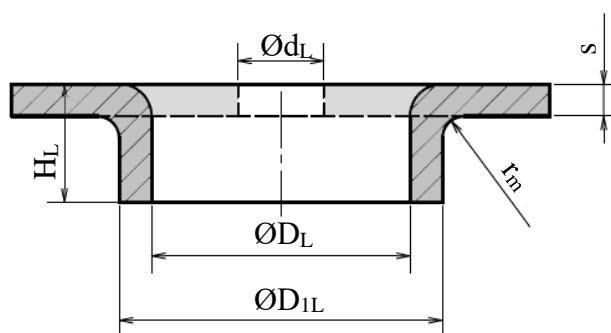
$$r_m = (2 \text{ až } 6) \cdot s \text{ [mm]} \quad (2.39)$$

Ohybnice lze, stejně jako ohybníky, vložkovat v místech největšího opotřebení.

- Zakládací dorazy – jsou používány pro přesné a snadné zavádění plechů do nástroje. Provedení konstrukce se různí, je možné se setkat s příložkami se zkosením, kolíky pevnými i pružnými, případně jsou zakládací dorazy vyfrézovány přímo do ohybnice.
- Přidržovač – pro zamezení vychýlení materiálu během lisování.
- Odpružený vyhazovač – pro usnadnění vyjímání výlisku z ohybnice.
- Stírač – zabraňuje přilnutí ohýbané součásti k ohybníku.

2.3 Technologie lemování [31], [39], [40], [41], [42]

Lemování je speciální technologií plošného tváření za studena sloužící zejména k začištění otvorů od ostrých hran, dochází při něm i ke zpevnění součásti. Je možné jej dělit na vnitřní a vnější nebo uzavřené a otevřené. Jsou jím vytvářeny lemy rovinné, ale i prostorové, tzn. vypouklé a duté. Lemovaný úsek svírá s původním směrem zpravidla 90°. Během lemování může docházet k potrhání lemu, a to z důvodu mikrotrhlin vzniklých stříháním. Porušení vzniká i v případě, je-li lemován plech s nedostatečnými tažnými vlastnostmi. Vyvarovat se těmto deformacím je možné tvářením na dvě operace a tepelným zpracováním. Mimo trhliny a ztenčení stěny je nežádoucím prvkem při výrobě i odpružení a zvlnění.



Obr. 38 Lemování otvoru [39]

Výchozí geometrii (obr. 38) pro tvarování lemu otvorů lze získat ze vztahu:

$$d_L = D_L - 2 \cdot (H_L - 0,43 \cdot r_m - 0,72 \cdot s), \quad (2.40)$$

kde d_L ... průměr děrovaného otvoru [mm],

D_L ... vnitřní průměr lemovaného otvoru [mm],

H_L ... výška lemu [mm],

r_m ... poloměr lemování [mm].

Lem lze zhotovovat jak pevným, tak i nepevným nástrojem (např. pryží), případně elektromagneticky. Pro lemování otvorů je užíváno převážně pevného nástroje, který je tvořen kovovým lisovníkem, maticí a přidržovačem. Matrice je vyrobena s poloměrem zaoblení r_m ,

který má shodnou velikost jako poloměr výsledného lemu. Lisovník působí na polotovar lemovací silou o velikosti:

$$F_L = 0,7 \cdot s \cdot D_{1L} \cdot \delta \cdot R_m, \quad [N] \quad (2.41)$$

kde D_{1L} ... vnější průměr lem. otvoru [mm],

δ ... poměr velikostí otvorů [-],

$$\delta = \frac{D_{1L} - d_L}{D_{1L}}. \quad (2.42)$$

Kromě lemovací síly vyvozené nástrojem je nutné navrhnout i přidržovač, a tudíž vypočítat přidržovací sílu lemování. Její hodnota, stejně jako při ohýbání, činí přibližně 30 % lemovací síly.

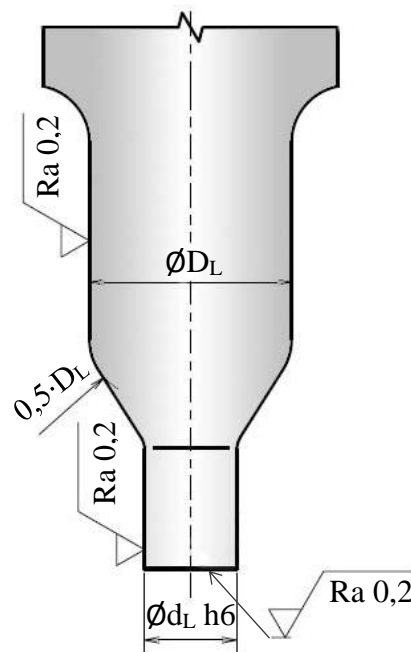
Pro volbu lisu je dále nutné vypočítat lemovací práci:

$$A_L = k \cdot F_{Lc} \cdot h, \quad [J] \quad (2.43)$$

kde k ... součinitel zohledňující vliv ohybové síly, obvyklá hodnota je $k = 0,33$,

F_{Lc} ... celková síla v průběhu lemování [N].

Lemovací nástroje jsou z důvodu vznikajícího tření mezi jejich povrchy a povrchem lisovaného plechu vytvářeny ve velmi vysokých povrchových jakostech. Funkční povrch nástroje je upravován na hodnotu $Ra\ 0,2$. Této hodnoty lze dosáhnout například broušením. Díky předepsání takto jakostního povrchu vznikají lemy vysoké kvality, aniž by docházelo k jejich výrazné deformaci. Předepisován je i rozměr pro náběhový rádius většího z průměrů. Rádius je polovinou velikosti výsledného lemovaného otvoru. Na obrázku 39 je znázorněna konstrukce lisovníku s předepsanou tolerancí rozměru d_L a drsnostmi povrchu.



Obr. 39 Lisovník [39]

2.4 Materiály pro výrobu nástrojů [35]

Výrobní materiál nástroje musí být takový, aby jeho životnost byla dostatečná a zároveň aby nedocházelo k jeho naddimenzování, což by mohlo vést k vyšším finančním nákladům. Je zapotřebí zvážit, jak se daná část nástroje opotřebovává, k jaké degradaci je náchylná. Doporučené materiály jsou vypsány v tabulce 9.

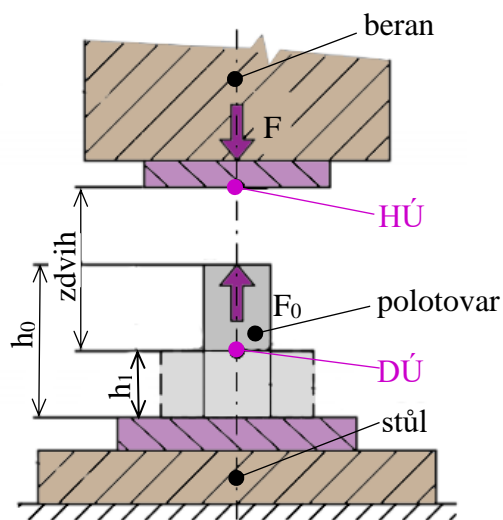
Tab. 9 Materiály pro pracovní části nástrojů [35]

druh nástrojů	část nástroje	materiál	tvrdost / tepelné zpracování
střížné	střížník, střížnice	19 191, 19 312, 19 436, 19 437, G3, G4, G5	61 až 63 HRC
	hledáčky	14 220, 19 191, 19 421	56 až 60 HRC
	vodící lišty	11 600, 14 220	cementováno, 60 až 62 HRC
ohýbací	ohýbací čelisti	19 191, 19 192, 19 221, 19 436	60 až 63 HRC
	pohyblivé klíny	19 192, 19 221	58 až 62 HRC
	vyhazovače malé	19 192, 19 221, 19 436	55 až 60 HRC
	vyhazovače velké	12 050, 12 060	45 až 55 HRC
lemovací	lisovník, matrice	19 191, 19 436	58 až 63 HRC
společné	stojánky – desky, sloupky, pouzdra	422456, 422661, 11 500, 12 061, 14 220	cementováno, 60 až 62 HRC

2.5 Stroje [41], [43], [44], [45], [46]

Procesy tváření za studena jsou téměř výhradně prováděny na lisech. Pro postupové sdužené nástroje je užíváno lisů s přímočarým pohybem vůči polotovaru. Lisy předávají svou energii (v podobě síly potřebné pro plastické přetvoření) skrze beran, do kterého je upnuta horní část nástroje. Spodní část je upevněna ke stolu lisu. Přímočarý pohyb vykonává beran pohybující se mezi horní a dolní úvrať, kdy horní úvrať (HÚ) je ve výšce maximálního zdvihu a dolní úvrať (DÚ) je v místě, kde je zdvih i rychlost beranu jsou nulové. Schéma lisu je na obrázku 40.

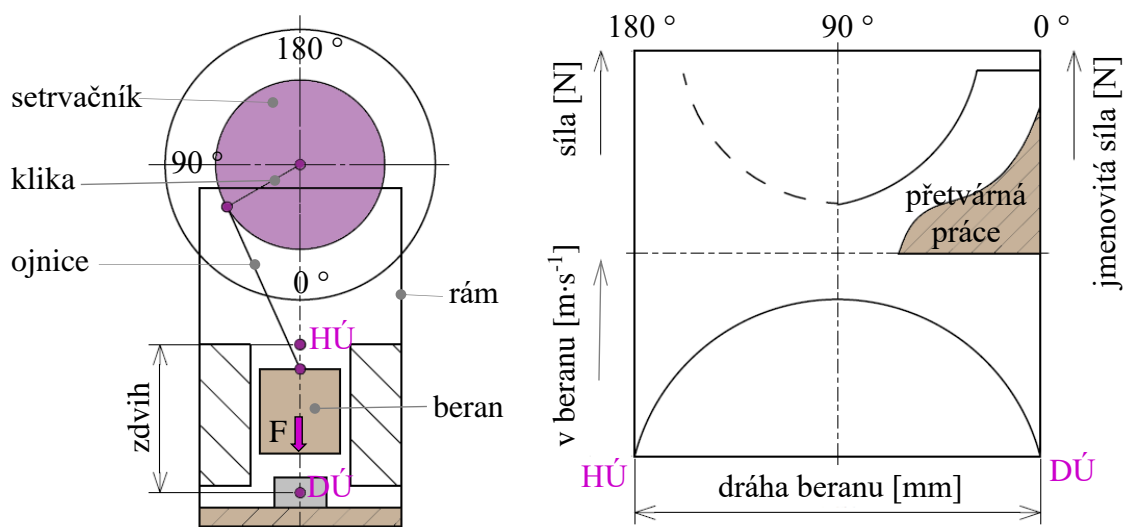
Volba stroje je prováděna na základě rozměrových a výkonových parametrů. Rozměr pracovního prostoru musí odpovídat rozměrům výrobku a zejména pak rozměrům nástrojů. Rozměrovými parametry se rozumí: upínací plocha stolu a beranu, průchod, vyložení, zdvih, přestavitelnost stolu a beranu, sevření a nastavitelný zdvih beranu, dále pak vnější rozměry stroje. Výkonové parametry jsou voleny dle požadavků výrobního procesu. Jedná se o jmenovitou sílu, což je největší povolená síla, kterou působí beran s horní částí nástroje na polotovar.



Obr. 40 Princip lisu [43]

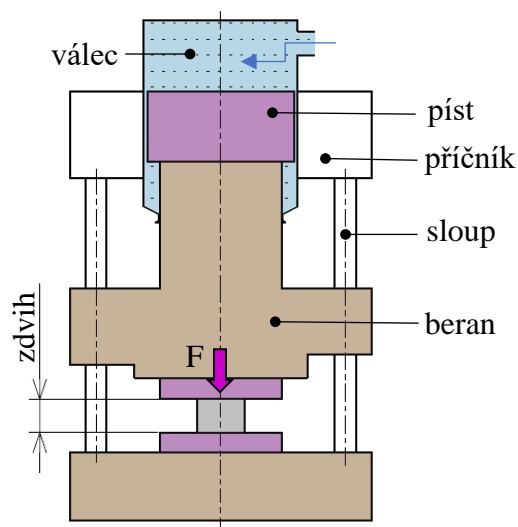
Lisy se liší mechanismem užitým k přenosu energie, v praxi se nejběžněji používají mechanické lisy klikové a hydraulické lisy. Alternativou těmto konvenčním strojům jsou servolisy.

- Mechanické lisy klikové – jedná se o zdvihový tvářecí stroj. Zdvihové stroje jsou to proto, že velikost deformace je závislá na zdvihu, respektive na poloze DÚ. U klikových lisů je převáděn rotační pohyb kliky, která je poháněna setrvačником, na přímočarý pohyb beranu. To se děje pomocí ojnice, která je k beranu připojena (obr. 41). Klikový pohyb je základním pohybem pro mechanické lisy, ostatní jsou od něj pouze odvozené, nebo jej kombinují. Síla má proměnný charakter a mění se v závislosti na dráze beranu. Tyto lisy jsou vhodné jak pro stříhání, tak i pro objemové tváření.



Obr. 41 Schéma a pracovní diagram klikového lisu [43]

- Hydraulické lisy – jsou silovými tvářecími stroji (obr. 42). Energie potřebná k vyvolání tvářecí síly je přenášena hydraulickým mechanismem. Jedná se o přeměnu potenciální tlakové energie na požadovanou přetvárnou práci. Výhodami použití těchto lisů jsou: vyvozovaná síla (až 10^3 MN) je konstantní a není závislá na zdvihu beranu, plynulá regulace rychlosti a tlaku, které mohou být i konstantní. Výhody však s sebou nesou i jisté nevýhody, a to: složitá konstrukce zejména pohonné jednotky, beran má oproti klikovému lisu pomalejší chod (viz tab. 10), a tím i nižší počet zdvihů za určitý časový úsek, což jde ruku v ruce s nižší produktivitou. Pořizovací cena hydraulického lisu je až o 30 % vyšší než pořizovací cena mechanického lisu.

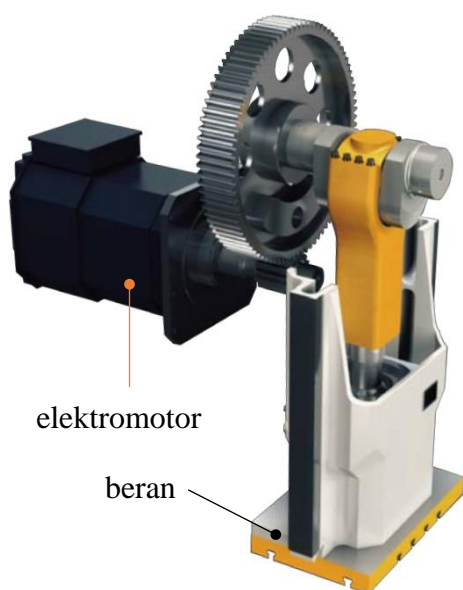


Obr. 42 Schéma hydraulického lisu [43]

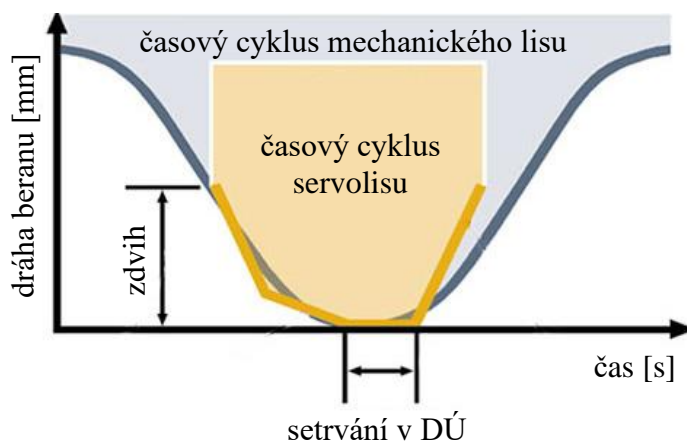
Tab. 10 Srovnání mechanického a hydraulického lisu [43]

druh stroje	rychlost nástroje	v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]	doba styku nástroje s polotovarem [s]
klikový lis	zvýšená lisovací	0,3 – 0,6	0,1 – 0,5
hydraulický lis	nízká lisovací	0,025 – 0,25	0,1 - 1

- Servolisy – jsou speciální mechanické lisy, jejichž pohyb je generován tzv. servem, což je určitý druh elektromotoru (obr. 43), který může být jak stejnosměrný, tak střídavý. Elektromotor je napřímo spojen s klikou, díky čemuž volitelně ovládají polohu beranu, ten může vykonávat velmi efektivní kyvadlový pohyb. Servolisy nedisponují brzdou, spojkou ani setrvačником. Výhodou je volná programovatelnost průběh zdvihu lisu s ohledem na tvářecí postup a stupeň automatizace. Lze docílit tzv. lehkého dotyku (z anglického soft touch) na začátku tvářecího procesu, čímž lze redukovat hlučnost výroby, vibrace, a tím prodloužit životnost strojů i nástrojů. Tento typ lisů je produktivnější až o 50 % a jeho zavedením do výroby je zvyšována kvalita výlisků. Cena stroje je vyšší o 10 až 20 % oproti běžným mechanickým lisům. Srovnání jejich časových cyklů je na obrázku 44.



Obr. 43 Horní část stroje s elektromotorem [45]



Obr. 44 Srovnání mechanického lisu a servolisu [46]

3 NÁVRH VÝROBY

Vyráběnou součástí je třmen zásuvky z pozinkované oceli DX51D. Tloušťka plechu je 0,8 mm. Tato součást bude vyráběna v postupovém sruženém nástroji kombinující stříh, ohyb a lemování v nákladu 200 000 ks. Základními rozměry jsou šířka a výška shodně 72 mm a hloubka 14,3 mm. Vyráběná součást je znázorněna na obrázku 45.

Zásadním a základním krokem pro přípravu výroby každého dílu je posouzení jeho technologičnosti. Rozměry třmenu nejsou zvláště přísně tolerovány, všechny rozměry jsou tolerovány dle normy ČSN ISO 2768-mK. Stříháním budou zhotovovány převážně otvory v tolerančním poli IT9 až IT11, což je vyhovující pro zadaný díl. Vztahy pro posouzení technologičnosti jsou udávány ve vztahu k tloušťce plechu, od níž se minimální doporučené rozměry odvíjí, a to pro následující tvary a parametry.

- Kruhové otvory – je požadováno, aby jejich minimální vzdálenost od okraje materiálu a mezi sebou navzájem byla z tab. 2:

$$a = 0,8 \cdot s = 0,8 \cdot 0,8 = 0,64 \text{ mm}$$

Minimální průměr otvoru by měl být dle tab. 2:

$$d = s = 0,8 \text{ mm}$$

Nejmenší vzdálenosti od okraje či mezi otvory jsou 1,8 mm a minimální průměr řešené součásti má 3 mm (znázorněno v obr. 46 zeleně). Požadavky jsou splněny.

- Obdélníkové otvory – je doporučená minimální vzdálenost od okraje opět z tab. 2:

$$c = 1,5 \cdot s = 1,5 \cdot 0,8 = 1,2 \text{ mm}$$

Na obrázku 46 je možné vidět, že nejmenší reálná vzdálenost otvorů je 1,8 mm (fialově).

- Rameno ohybu a vzdálenost otvoru od ohybu – platí vztah (2.38):

$$a_0 \geq 2 \cdot s = 2 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ mm}$$

Ramena mají délku rozměr 6,8 mm a vzdálenost otvoru je 1,8 mm (obr. 47 oranžově).

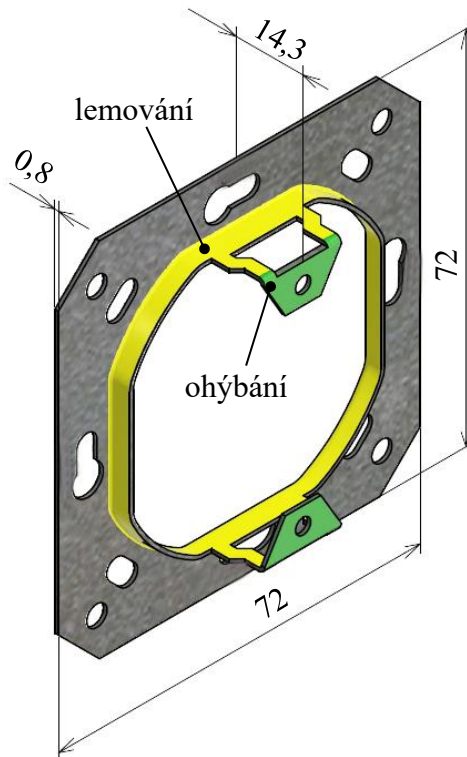
- Minimální poloměr ohybu – vztah (2.35):

$$R_{\min} = c_r \cdot s = 0,6 \cdot 0,8 = 0,48 \text{ mm}$$

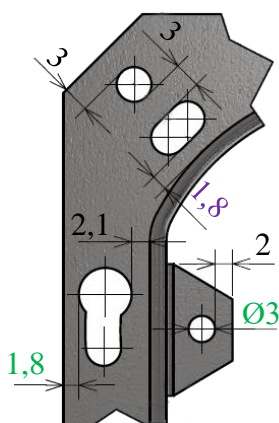
kde $c_r = 0,5$ až $0,6$, c_r bylo zvoleno $0,6$.

Nejmenší poloměr součásti má 0,8 mm (obr.47 modře).

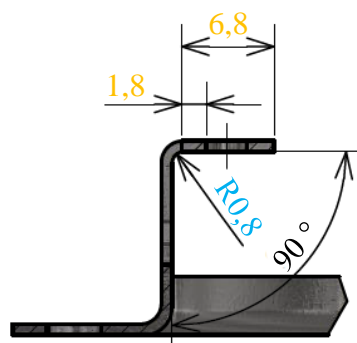
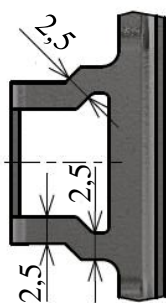
Součást vyhovuje dílčím technologickým požadavkům, je tedy plně vyrobiteľná.



Obr. 45 Model třmenu



Obr. 46 Technologičnost otvorů



Obr. 47 Technologičnost ohybu

3.1 Rozvin součásti

Rozvinem součásti je myšlena její „výkresová“ příprava pro stříhání. Pro jeho vytvoření dochází k rovnání navrhovaných ohybů a lemů. Na základě rozvinu vznikají potřebné nástroje.

Délky ohybů vychází z délek neutrální osy, která prochází středem tloušťky plechu. K těmto rozvinutým ohybům jsou přičítány rovinné úseky součástí. Délka ohnuté části (obr. 47) je vypočtena dle vztahu (2.20):

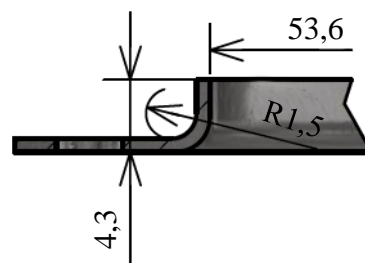
$$l_0 = \frac{\pi \cdot \gamma}{180^\circ} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot \gamma}{180^\circ} \cdot (R_0 + x \cdot s) = \frac{\pi \cdot 90^\circ}{180^\circ} \cdot (0,8 + 0,42 \cdot 0,8) = 1,78 \text{ mm}$$

Hodnota bude zaokrouhlena na 1,8 mm. Byl zde odvozován součinitel vyjadřující posunutí neutrální osy, a to z tab. 6, pro kterou musel být vypočten poměr poloměru ohybu ku tloušťce plechu. Poměr je roven 1, čímž lze ohyb zařadit jako ostrý ohyb s malým poloměrem zaoblení, ale zároveň lze určit součinitel „x“. Ten má hodnotu 0,42.

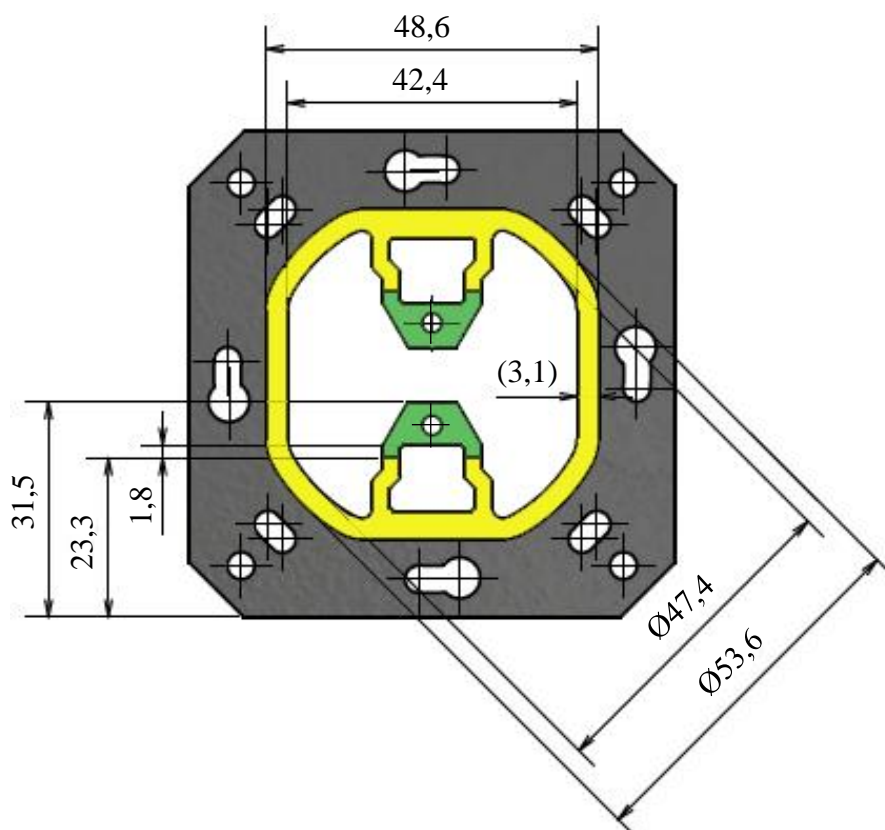
Lemování otvoru bude prováděno lemovacím trnem, který bude působit na vystřižený otvor, a tím jeho okraj ohýbat na výšku 4,3 mm (obr. 48). Takto vznikne požadovaný rozměr otvoru, do kterého bude vkládán plastový výlisek zásuvky. Výsledný rozměr je znám, proto je nutné dopočítat rozměr výchozího otvoru „d_L“ ze vztahu (2.39):

$$\begin{aligned} d_L &= D_L - 2 \cdot (H_L - 0,43 \cdot r_m - 0,72 \cdot s) = \\ &= 53,6 - 2 \cdot (4,3 - 0,43 \cdot 1,5 - 0,72 \cdot 0,8) \\ d_L &= 47,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

Vztah je určen pro výpočet kruhových otvorů. Lem vytvářený na třmenu je však kombinací kruhového a přímého úseku, viz obrázek 49. Vzorec tak byl použit, jako by se jednalo pouze o kruhový otvor s tím, že výška lemu je ve všech místech konstantní, a proto je možné od vypočítaného rozměru „d_L“ odvodit i výchozí délku přímého úseku.



Obr. 48 Parametry lemu



Obr. 49 Rozvin třmenu

Z výpočtu vyplývá, že výchozí poloměr je o 3,1 mm menší než výsledný rozměr otvoru. O tuto hodnotu je zmenšena i přímá část lemu. Hrany mezi kruhovou a rovinnou částí jsou zaobleny. Poloměr zaoblení je 5 mm. Výsledný návrh rozvinu je znázorněn na obrázku 49.

3.2 Nástřihový plán [47]

V praxi je plech dodáván buďto ve formě tabulí nebo svitků. Svitky jsou vhodnou volbou pro výrobu velkých sérií. Jsou-li zaváděny do výroby, je zapotřebí kromě tvářecího lisu zařadit do výrobního cyklu také odvíjecí, podávací a rovnací zařízení (obr. 50). Hlavní výhodou svitků je, že po zavedení do výroby je možné z jednoho svitku získat až desítky tisíc dílů (v případě třmenu), aniž by výroba musela být přerušena. To neplatí pro tabule plechu. Ty jsou rozřezány na jednotlivé pásy o maximální délce 3 m a je možné z nich vyrobit několik desítek dílů (opět v případě třmenu). S každým doplňovaným pásem je zapotřebí pozastavit výrobní proces a zařídit obsluhu, která doplní docházející pás. Proces tímto ztrácí na plynulosti a vznikají časové prodlevy. Navíc obsluha musí neustále doplňovat nové pásy. Z toho vyplývá, že třmen je vhodnější vyrábět ze svitků. Proto, aby bylo možné určit procentuální využití svitků a jejich finální počty, je nutné navrhnout varianty umístění součástí na pásu plechu.



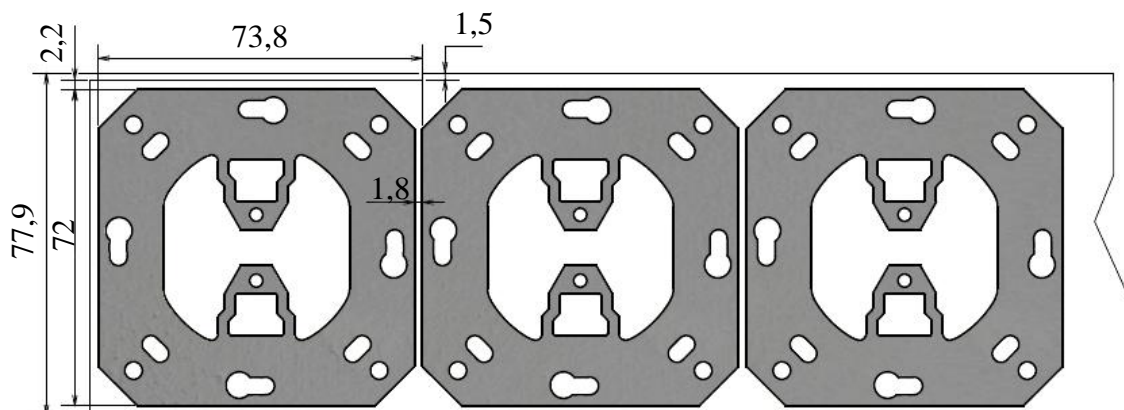
Obr. 50 Linka na svitky Coiltech [47]

3.2.1 Umístění výstřížků

Existuje několik možností rozložení rozvinu na pásu plechu. Ačkoliv pro čtvercové součásti, jakou je i vyráběný třmen, jsou možnosti omezené. Rozhodující je procentuální využití plechu. V některých případech je vhodné upravit tvar součástí tak, aby i nadále plně plnily svou funkci, ale jednotlivé kusy do sebe lépe zapadaly. V určitých případech, kdy jsou díly vhodně umístěny, lze součásti vyrábět bez prepážek. Využití plechu tak značně stoupá.

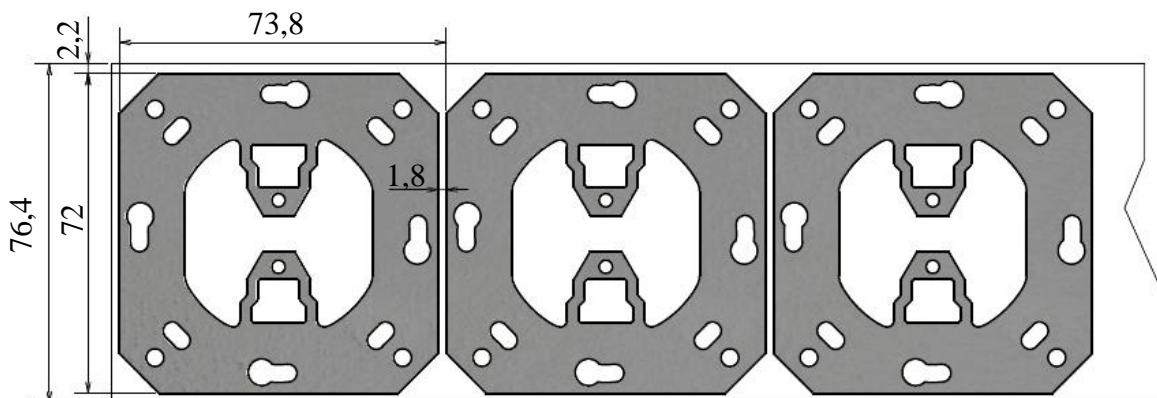
Jak již bylo naznačeno, variací čtvercových součástí není tolik, proto byla tato část zaměřena převážně na to, jak se změní procentuální využití plechu, je-li součást vyráběna s prepážkami a částečně nebo zcela bez nich. Níže je uvedeno několik možných variant.

- Varianta A – (obr. 51), jedná se o rozložení navržené s největšími přídávky v okolí rozvinu, a to z důvodu předpokládaného užití ostříhovacího dorazu. Pro tento doraz je předepisován speciální přídavek viz tab. 5. Ostatní přídávky jsou rovněž stanovovány z této tabulky a pro ostatní varianty jsou shodné, jelikož jsou určovány v závislosti na tloušťce materiálu a šířce pásu plechu, které se neliší. Z obrázku je patrné, že díky prepážce mezi jednotlivými kusy je velikost kroku 73,8 mm, šířka plechu vycházející z výšky součásti a šířky odpadu 77,9 mm.



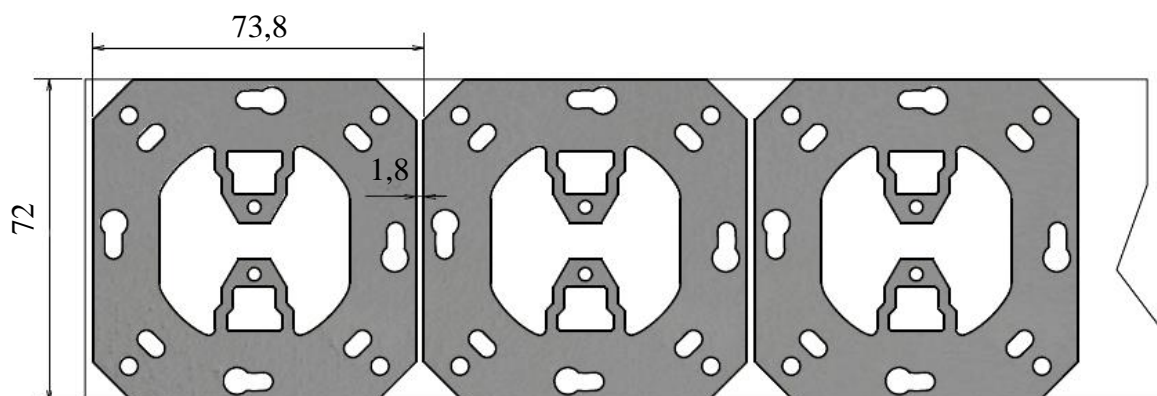
Obr. 51 Rozložení součástí varianta A

- Varianta B – (obr. 52), toto rozložení je velmi podobné předcházejícímu, avšak pozbývá přídatku pro ostříhovací doraz. Ten je nahrazen např. načínacím a zpětným dorazem. Délka kroku zůstává stejná, tzn. 73,8 mm. Šířka plechu je však 76,4 mm.



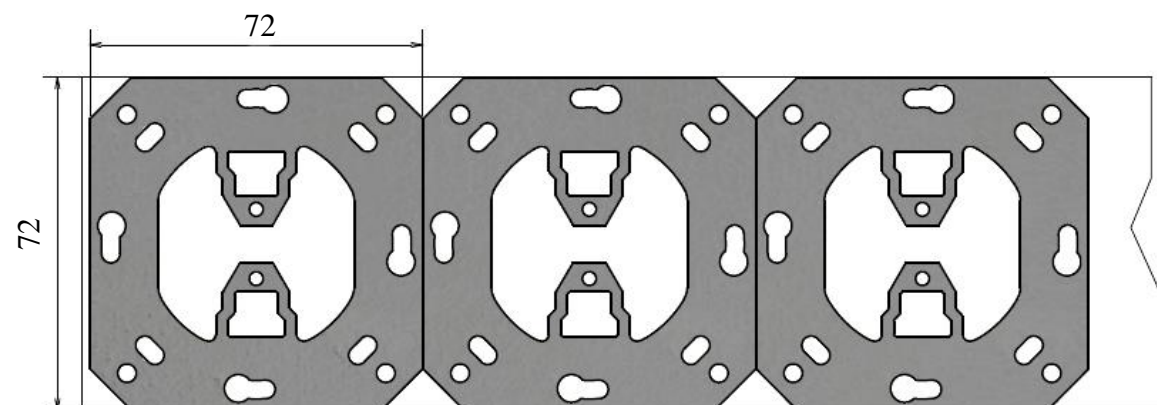
Obr. 52 Rozložení součástí varianta B

- Varianta C – (obr. 53), byly odstraněny přídatky na šířku pásu, jelikož pro daný výrobek nejsou požadovány přísné tolerance přesnosti. Přepážka mezi součástmi zůstává, aby mohlo být užito minimalistických střížníků. Krok má opět 73,8 mm, šířka plechu je 72 mm.



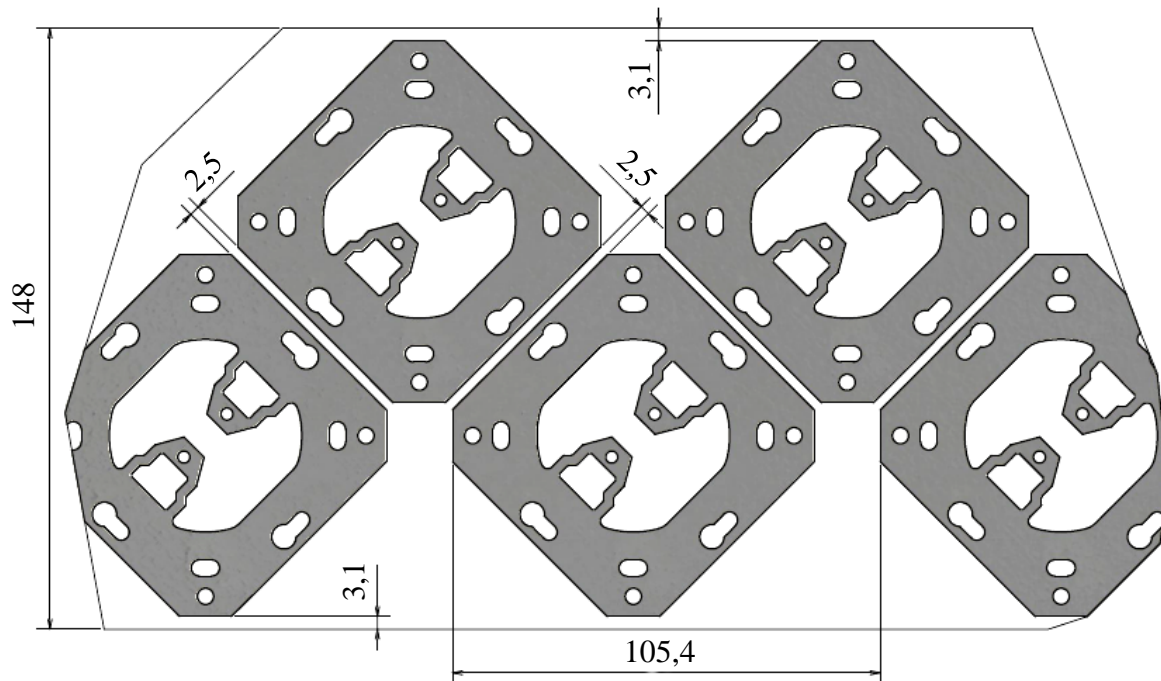
Obr. 53 Rozložení součástí varianta C

- Varianta D – (obr. 54), navrhovaná varianta je zcela bez přepážek, což je možné si dovolit v případě vhodně zvolených tvarů a tolerancí, které je možné zajistit pouze díky vedení nástroje. Oddělení jednotlivých kusů by bylo provedeno pomocí tenkého břitů nebo velkého čtvercového střížníku.



Obr. 54 Rozložení součástí varianta D

- Varianta E – (obr. 55), tato varianta úhlopříčného rozložení slouží převážně jako demonstrace nevhodného rozmístění součástí a toho, jak velká procentuální ztráta může vznikat. Byly zde zvětšeny velikosti přepážek, jelikož šířka plechu značně vzrostla, a tím tato varianta spadá do jiné kolony v tabulce 5.

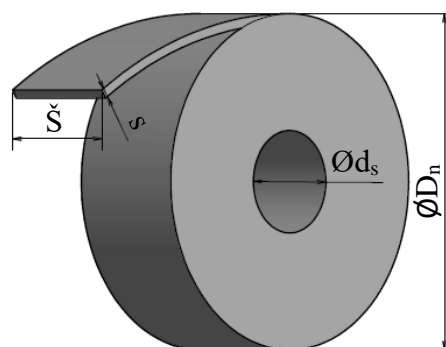


Obr. 55 Rozložení součástí varianta E

3.2.2 Polotovár a jeho využití [7], [48]

Polotovarem bude z důvodu hospodárnosti výroby svitek. Ten je dodáván v rozměrech dle požadavků odběratele. Firma Feron, a.s. nabízí svitky tlouštěk od 0,3 do 3 mm, šířek 500 až 1600 mm. Důležitými hodnotami je vnitřní a vnější průměr svitku. Vnitřní průměr „ d_s “ je vždy stejný a s gumovou objímkou má 610 mm (a to i u jiných dodavatelů), znázorněno na obrázku 56. Průměr návinu „ D_n “ je proměnný dle požadavků výroby, a to od 800 do 2000 mm. Délky návinů se dle tloušťky materiálů různí a je zapotřebí je dopočítávat pomocí jednoduchých výpočtů vycházejících z geometrie svitku.

Na ukázkou je proveden výpočet pro variantu A, průměr návinu „ D_n “ = 2000 mm a šířku svitku „ \check{S} “ = 77,9 mm:



Obr. 56 Rozměry svitku

- hmotnost svitku:

$$m_{sv} = V \cdot \rho = \pi \cdot \frac{(D_n^2 - d_s^2)}{4} \cdot \check{S} \cdot \rho \quad (3.1)$$

$$m_{sv} = \pi \cdot \frac{(2000^2 - 610^2)}{4} \cdot 77,9 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 1742,4 \text{ kg}$$

- délka návinu:

$$m_{sv} = V \cdot \rho \rightarrow \frac{m_{sv}}{\rho} = V = \check{S} \cdot s \cdot L_{sv}$$

$$L_{sv} = \frac{m_{sv}}{\rho \cdot \check{S} \cdot s} = \frac{1742,4}{7,85 \cdot 10^{-6} \cdot 77,9 \cdot 0,8} = 3561646,1 \text{ mm} \quad (3.2)$$

V případě výroby ze svitků je zapotřebí počítat s tím, že přibližně 100 mm z délky svitku slouží k jeho zavedení. Jedná se o odpadní materiál, z něhož nevznikají součástky a je třeba tuto délku od počáteční délky návinu „ L_{sv} “ odečíst.

- počet výstřížků ze svitku:

$$N_{výs} = \frac{L_{sv}}{K} = \frac{3561646,1 - 100}{73,8} = 48259,4 \rightarrow \text{z toho celých výstřížků 48259 ks} \quad (3.3)$$

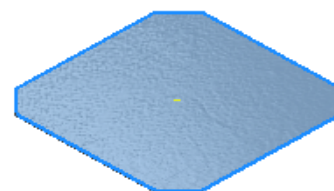
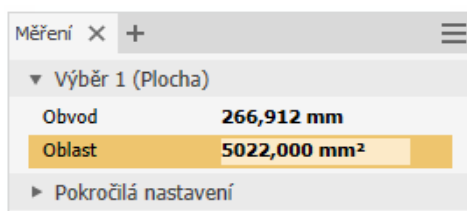
- potřebný počet svitků pro výrobu série:

$$N_{sv} = \frac{N_{série}}{N_{výs}} = \frac{200000}{48259} = 4,14 \rightarrow \text{pro vytvoření celé série je potřeba 5 svitků} \quad (3.4)$$

Pro procentuální výpočty je zapotřebí stanovit plochu výstřížků a plochu svitku.

- Plocha výstřížku – je počítána i s plochami otvorů. Velmi rychle a elegantně lze zjistit pomocí CAD programu, např. Autodesk Inventor 2020, což nachází uplatnění především u komplikovanějších tvarů. Výpočet plochy výstřížku viz obrázek 57.

$$S_v = 5022 \text{ mm}^2$$



Obr. 57 Plocha výstřížku [48]

- Plocha svitku:

$$S_{sv} = L_{sv} \cdot \check{S} = 3561646,1 \cdot 77,9 = 277452231,2 \text{ mm}^2 \quad (3.5)$$

- Procentuální využití jednoho svitku (2.8):

$$\eta_{svitku} = \frac{S_v \cdot N_{výs}}{S_{sv}} \cdot 100 = \frac{5022 \cdot 48259}{277452231,2} \cdot 100 = 87,4 \%$$

- Procentuální využití svitků potřebných k vytvoření celé série (2.9):

$$\eta_{série} = \frac{N_{série} \cdot S_v}{N_{sv} \cdot S_{sv}} \cdot 100 = \frac{200000 \cdot 5022}{5 \cdot 277452231,2} \cdot 100 = 72,4 \%$$

V praxi se používá procentuální využití vyšší než 70 %. Jak však bude možné vidět v následujících tabulkách, 72,4 % je jedno z nejméně hospodárných využití. Respektive varianty A až D dosahují u možnosti průměru návinu 2000 mm méně hospodárneho využití než v případě průměru návinu 1000 mm. Je to z důvodu počtu svitků, kdy početně vycházelo množství na 4,14 svitků, ale proto, aby bylo možné tuto sérii vytvořit celou bylo nutné zaokrouhlit jejich počet na 5 svitků. Procentuální využití svitků jako jednotek však vychází dle očekávání vysoké. Dále je vhodné se zamyslet nad šířkami plechů, které lze popsat z oceláren. Standartními šířkami svitků jsou 1000, 1250 a 1500 mm, pak je na dohodě, zda bude u dodavatele možné popsat svitky již nařezané na potřebné šířky, nebo budou děleny až u zákazníka. Pro tuto práci je volena varianta, kdy dodavatel dodá svitky v potřebné šíři.

Tab. 11 Hodnocení variant část a)

	Varianta A		Varianta B	
	Ø návinu na svitku [mm]		Ø návinu na svitku [mm]	
	1000	2000	1000	2000
L_{sv} [mm]	616501,6	3561646,1	616517,2	3561751,8
$N_{výs}$ [ks]	8352	48259	8352	48260
N_{sv} [ks]	24	5	24	5
S_{sv} [mm ²]	48025475	277452231	47101914	272117838
η_{svitku} [%]	87,4	87,4	89,1	89,1
$\eta_{série}$ [%]	87,2	72,4	88,9	73,8

Tab. 11 Hodnocení variant část a) (pokračování)

	Varianta C		Varianta B	
	Ø návinu na svitku [mm]		Ø návin na svitku [mm]	
	1000	2000	1000	2000
L_{sv} [mm]	616374,7	3561792,3	616374,7	3561792,3
N_{vys} [ks]	8350	48261	8359	49467
N_{sv} [ks]	24	5	24	5
S_{sv} [mm ²]	44378978	256449045	44378978	256449045
η_{svitku} [%]	94,5	94,5	96,9	96,9
η_{serie} [%]	94,3	78,3	94,3	78,3

Nejvhodnější varianty byly v tab. 11 (část a) vyznačeny zeleně. Dle očekávání se jedná o varianty s částečnými přepážkami a bez přepážek. Využití svitku u varianty D je o 2,4 % vyšší než u varianty C, avšak v celkové bilanci vzhledem k sérii jsou jejich výsledky totožné. Rozhodujícím faktorem může být to, kolik součástí je vyrobeno navíc, zda je firma, které je produkt dodáván, ochotna je odkoupit. Případně, zda je zapotřebí přebytky uskladnit a dodat s další dávkou produktů.

Varianta E byla do výpočtů zahrnuta čistě pro demonstraci nevhodnosti umístění. Pokud by bylo užito svitku, musel by být sestrojen nástroj téměř dvojnásobných rozměrů s dvojnásobným počtem střížníků, ohybníků atd. Proto by bylo hospodárnější použít variantu E v případě užití plechu, kdy by návrh byl stříhán postupně ve dvou řadách. Procentuální využití je i tak pouze 62,3 % (tab.11 část b). Pokud je srovnáno využití této varianty pro svitek o průměru návinu 1000 mm (64,8 %) s druhou nejhůře hodnocenou variantou (varianta A, 72,4 %) je zapotřebí připustit, že se nejedná o tak zásadní rozdíl (7,6 %). Vše se odvíjí od volby svitku.

Tab. 11 Hodnocení variant část b)

		Varianta E					
		L_{sv} [mm]	N_{vys} [ks]	N_{sv} [ks]	S_{sv} [mm ²]	η_{sv} [%]	η_{serie} [%]
$\varnothing D_n$ [mm]	1000	616393	11694	17	91226120	64,4	64,8
Šířka plechu [mm]	1500	3000	560	358	4500000	62,5	62,3

Na základě výše uvedených výpočtů byla výrobní variantou zvolena možnost C, která využívá svitek plechu na 94,5 % a celá série je efektivní na 94,3 %. Jak již bylo zmíněno, tato varianta uvažuje přídavky jen na dvou stranách součástí, ty jsou minimální (každý 1,8 mm). Přídavky zajistí, že nedojde ke kumulaci nepřesností rozměrů daných případným prořezem bříty odstříhovacího nože.

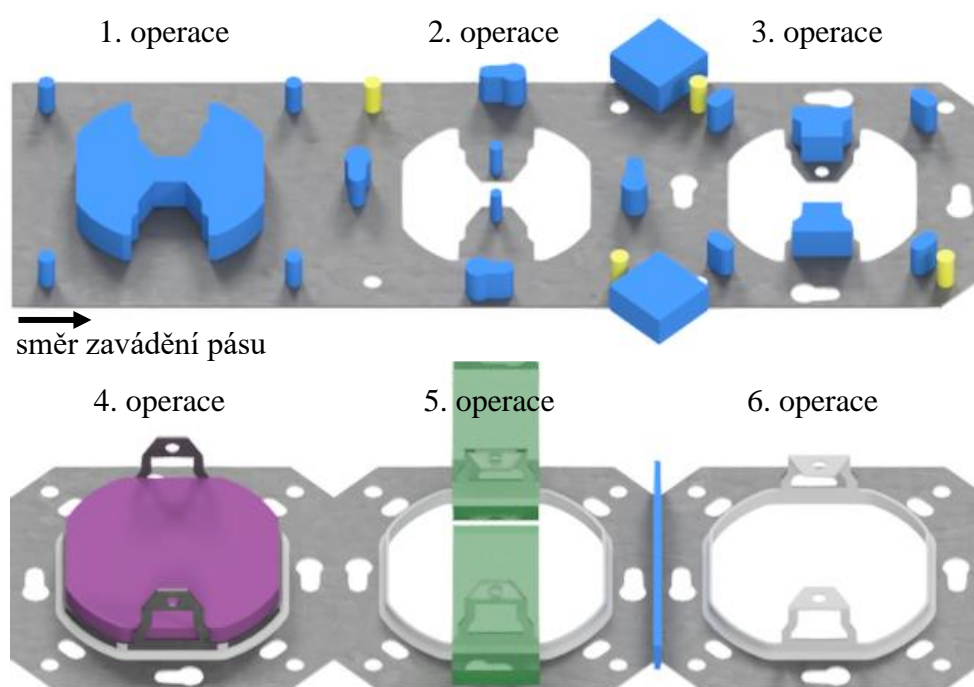
3.2.3 Volba postupu výroby

Pro konstrukci nástroje je velmi důležité se zamyslet nad postupem výroby, respektive nad pořadím dílčích operací a možností jejich provedení. Vhodným návrhem lze docílit snížení počtu operací, případně zjednodušit některý z procesů.

Pro návrh výroby třmenu se nabízí několik variant. Avšak jednoznačně lze říci, že děrování otvorů těsně sousedících s ohybem a lemem musí předcházet operacím ohýbání a lemování, jelikož bez nich tyto úkony nelze realizovat. Také je nutné pro zvýšení přesnosti do procesu zařadit hledáčky, pro které je užito již děrovaných otvorů třmenu. Oddělovací střížník musí být užít v poslední operaci, v jiném případě by se mohly díly vzpříčit mezi vodícími deskami a nedocházelo by k plynulému posuvu materiálu, a tudíž i k narušení výroby. Pořadí ohýbání

a lemování však není zcela jednoznačně dáno. Různí se vzhledem ke konstrukčnímu provedení stroje i nástroje. Dále je popsáno několik výrobních postupů.

- Varianta A – výroba je prováděna v šesti operacích a probíhá v jednom kontinuálním nástroji (obr. 58, 59 i 60 jsou rozděleny z důvodu jeho délky). V první operaci jsou vytvořeny největší z otvorů a otvory, které budou dále užity k ustavení hledáček (žlutě). Rozmístění střížníků (modře) je situováno tak, aby je bylo ve většině případů možné upnout bez kolizí s ostatními střížnými nástroji. K jediným úpravám upínacích hlav by došlo pravděpodobně v případě čtvercového střížníku (č. 8), který tvoří obrys součásti a oválného střížníku (č. 7). Po procesu stříhání dochází k lemování hlavního otvoru, a to zespodu. Poté je navrženo ohýbání pomocí klínů, které by byly doplněny o kolík vystupující zespodu do výšky ohybu, čímž by byla regulována pozice ohybu (pro přehlednost však není zahrnut do obrázku). Jak již bylo zmíněno, v posledním kroku by došlo k odstřížení hotové součásti.

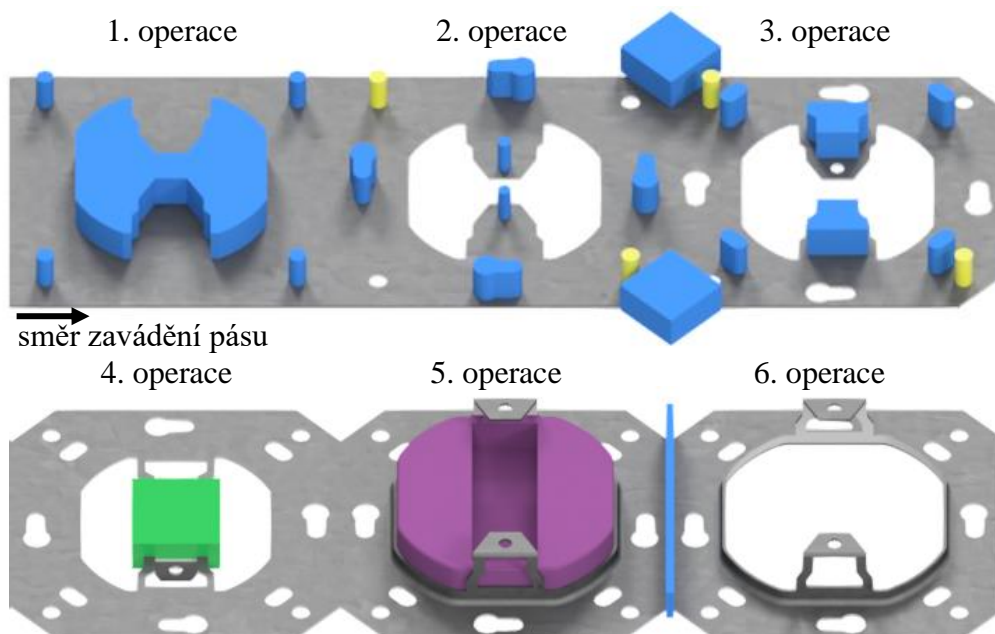


Vysvětlivky: stříhání, hledáčky, lisování, ohýbání

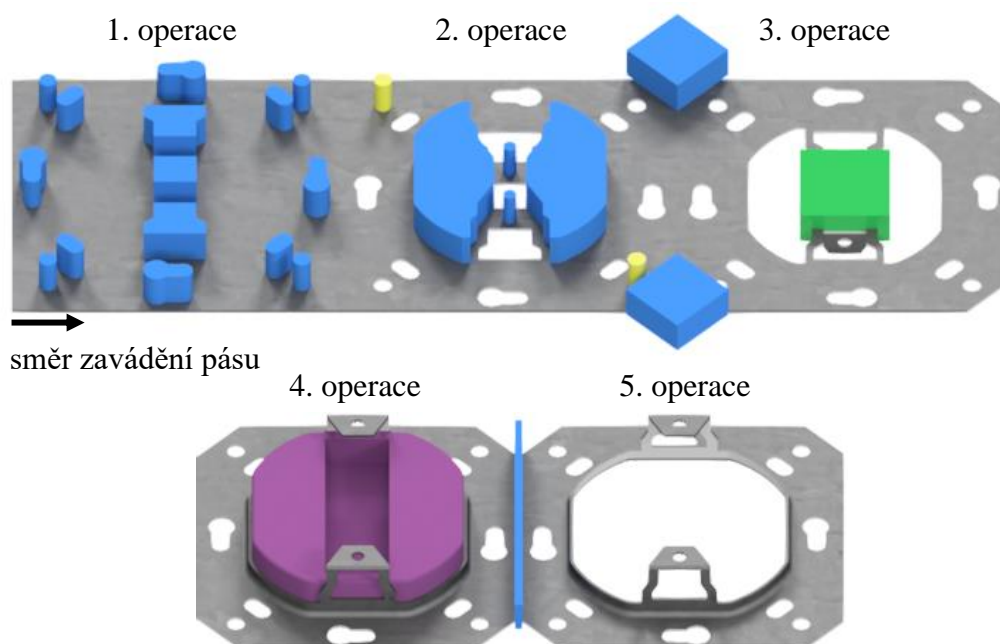
Obr. 58 Postup výroby – varianta A

- Varianta B – proces opět probíhá v šesti operacích, kdy první tři a poslední operace jsou shodné. K zásadní úpravě došlo u lemování a ohýbání. Došlo k záměně pořadí jmenovaných technologií, a to z důvodu zjednodušení nástroje. To spočívá v tom, že ohyb je prováděn jednoduchým ohybníkem dolů, jako v případě konvenčních ohybů. Protože nemůže dojít k vyhození plechu, jsou mezi ohybníci a lisovnicí vyfrézovány drážky s vůlí, jimiž ohnuté části plechu prochází. Nástroje pro lemování musí být vzhledem k již zhotovenému ohybu upraveny. V lisovnicí je zrealizováno dostatečně velké vybrání, aby v průběhu lemování neodcházelo ke kolizi plechu s nástrojem. Navíc je nutné zajistit kalibraci již ohnutých částí, které mohou být zpřesněny, a to tak, že v horní části nástroje bude uchycen kalibrační kolík, na který budou ohyby pomocí lisovnicí dotlačeny, a tudíž i prokalibrovány (v obrázku 59 není znázorněno).
- Varianta C – vznikla na základě myšlenky redukce počtu výrobních operací. Výrobní proces je zde rozdělen do pěti kroků. Nižšího počtu kroků bylo docíleno tím, že u většiny střížníků muselo dojít k úpravě upínací hlavy tak, aby bylo možné umístit co největší množství střížníků do jedné střížné operace. Tyto úpravy však nemají vliv na jejich funkci. V druhém kroku na obrázku 60 je také patrné, že došlo k rozdělení největšího střížníku na tři dílčí

střížníky. Je tomu z důvodu jednodušší výroby a úspory materiálu. Proces ohýbání a lemování zůstal zachován tak, jak byl popsán ve variantě B.



Obr. 59 Postup výroby – varianta B



Obr. 60 Postup výroby – varianta C

Zvoleným návrhem výroby je varianta C, jelikož spojuje menší počet operací s jednodušším nástrojem pro ohýbání a lemování.

3.3 Technologické a kontrolní výpočty

Jelikož již byl zvolen a popsán způsob výroby je zapotřebí provést technologické a kontrolní výpočty. Z technologického hlediska se jedná zejména o výpočty sil a prací, které slouží k volbě odpovídajícího stroje. Kontrolními výpočty jsou myšleny např. kontrola střížníku na otlacení a na vzpěr, takto lze odhalit správnost a funkčnost daných návrhů nástrojů.

3.3.1 Střížné nástroje [26], [49]

Střížné operace budou vytvářeny ve třech krocích pomocí devíti tvarových střížníků. Mnohé tvary jsou však duplicitní, proto pro výrobu bude užito celkem 22 nástrojů. Na obrázku 61 jsou pro lepší orientaci znázorněny a očíslovány plochy jednotlivých střížníků. Dvojice 4, 5 a 8, 9 jsou vytvářeny tak, aby se jejich plochy překrývaly. Je to z důvodu toho, že výroba otvoru je rozdělena do dvou kroků a překrytím je zamezeno vzniku „nedostříhnutí“ plochy. Dva kroky jsou voleny z důvodu jednodušší a mnohdy hospodárnější výroby nástrojů. Nástroje jsou dimenzovány na základě níže uvedených výpočtů.

- Střížné síly a práce – v případě střížníků 1 až 7 se jednoznačně jedná o děrování součástí. Pro výpočet síly k tomu potřebné je nutné vypočítat střížný odpor (2.2):

$$\tau_s = 0,77 \cdot R_m,$$

kde $R_m = 400 \text{ MPa}$.

$$\tau_s = 0,77 \cdot 400 = 308 \text{ MPa}$$

Odpor ve stříhu je společný pro všechny výpočty střížných sil, které následují.

V tabulce 12 jsou znázorněny délky střížných křivek (obvody střížníků) a počet výskytů daného střížníku. Obvody byly vypočteny pomocí modelu rozvinu v programu Autodesk Inventor 2020.

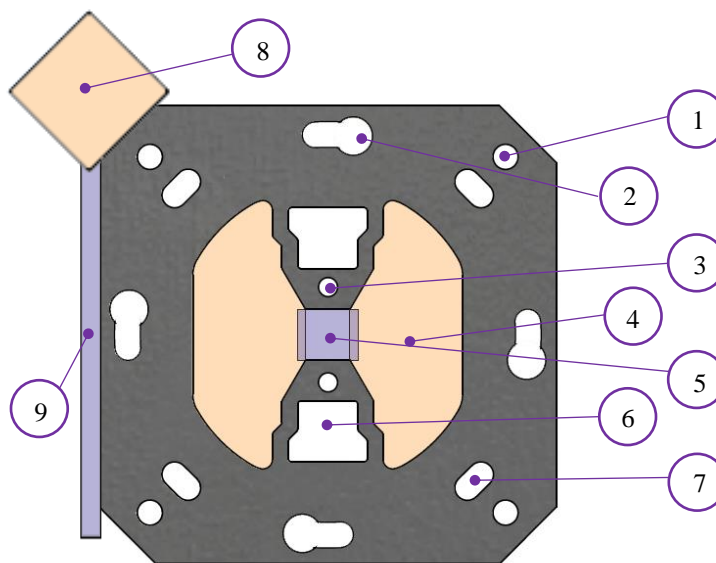
Pro jednotlivé střížníky (obr. 61) je střížná síla rovna (2.3):

- $F_{s1} = n \cdot L_1 \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 12,566 \cdot 0,8 \cdot 308 = 4025 \text{ N}$
kde „n“ bylo zvoleno z intervalu $\langle 1; 1,35 \rangle$, „n“ je voleno rovno 1,3. Tato hodnota bude shodná pro všechny střížníky a vyjadřuje míru utopení.
- $F_{s2} = n \cdot L_2 \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 28,304 \cdot 0,8 \cdot 308 = 9066 \text{ N}$
- $F_{s3} = n \cdot L_3 \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 9,425 \cdot 0,8 \cdot 308 = 3019 \text{ N}$
- $F_{s4} = n \cdot L_4 \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 91,3 \cdot 0,8 \cdot 308 = 29245,2 \text{ N}$
- $F_{s5} = n \cdot L_5 \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 34,962 \cdot 0,8 \cdot 308 = 11199 \text{ N}$
- $F_{s6} = n \cdot L_6 \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 41,377 \cdot 0,8 \cdot 308 = 13253,9 \text{ N}$
- $F_{s7} = n \cdot L_7 \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 18,566 \cdot 0,8 \cdot 308 = 5947,1 \text{ N}$
- $F_{s8} = n \cdot L_8 \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 64 \cdot 0,8 \cdot 308 = 20500,5 \text{ N}$
- $F_{s9} = n \cdot L_9 \cdot s \cdot \tau_s = 1,3 \cdot 112,7 \cdot 0,8 \cdot 308 = 36096 \text{ N}$

Do tabulky 12 byly zaneseny celkové síly pro daný typ střížníků.

Tab. 12 Základní údaje o střížnících

	1	2	3	4	5
L_i [mm]	12,566	28,304	9,425	91,3	34,962
N_s [ks]	4	4	2	2	1
F_{sni} [N]	16100	36264	6038	58490,4	11199



Obr. 61 Plochy střížníků

Tab. 12 Základní údaje o střížnicích (pokračování)

	6	7	8	9
L_i [mm]	41,377	18,566	64	112,7
N_s [ks]	2	4	2	1
F_{sni} [N]	26507,8	23788,2	41001	36096

Celková střížná síla je pak získána součtem všech dílčích střížných sil.

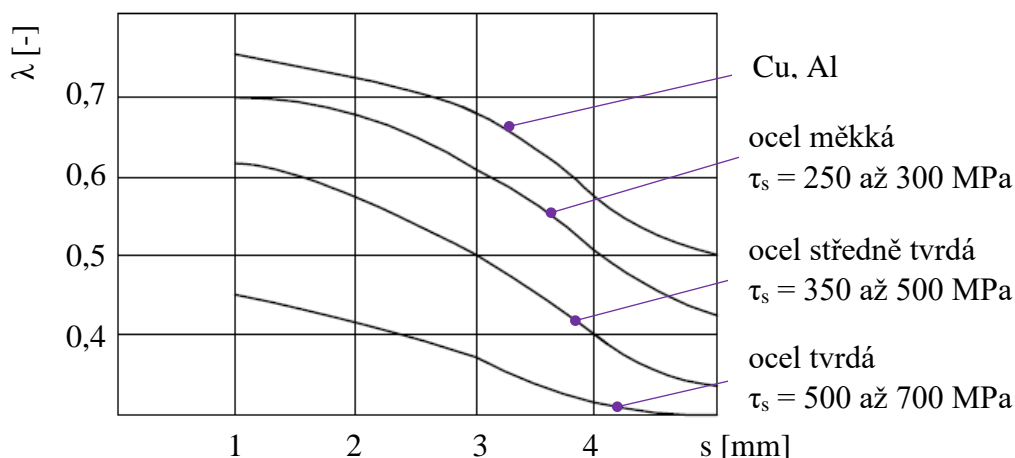
$$F_{sc} = \sum_{i=1}^9 F_{sni} = 16100 + 36264 + 6038 + 58490,4 + 11199 + 26507,8 + 23788,2 + 41001 + 36096 \quad (3.6)$$

$$F_{sc} = 255487 \text{ N} = 255,5 \text{ kN}$$

Z celkové střížné síly lze snadno získat jmenovitou střížnou práci vykonanou procesem stříhání (2.6):

$$A_s = \frac{\pi}{4} \cdot F_s \cdot s \cdot \lambda = \frac{\pi}{4} \cdot 255487 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 112369 = 112,4 \text{ J}$$

kde součinitel plnosti λ je bezrozměrnou veličinou, která je závislá na střížném odporu a tloušťce materiálu. Střížný odpor 308 MPa spadá ještě do kategorie středně tvrdých ocelí (τ_s je z intervalu 250 až 300 MPa). Tloušťka plechu je 0,8 mm. Pro tyto hodnoty je z diagramu (obr. 62) odečten součinitel plnosti, který je přibližně roven 0,7.



Obr. 62 Diagram součinitele plnosti [26]

Pro úplnost výpočtů souvisejících se střížnou silou je ještě nutné dopočítat protlačovací sílu, která působí na část materiálu procházející střížnicí (2.4):

$$F_{pr} = 0,04 \cdot F_s = 0,04 \cdot 255487 = 10219,5 \text{ N}$$

kde konstanta, kterou je střížná síla násobena, byla volena z intervalu 0,02 až 0,05 a stírací sílu potřebnou pro uvolnění střížníku ze sevření materiálem (2.5):

$$F_{st} = c_t \cdot F_s = 0,1 \cdot 255487 = 25548,7 \text{ N}$$

kde c_t ... hodnota součinitele daného tloušťkou byla opět volena, pro plechy tenčí než 1 mm nabývá hodnot od 0,02 do 0,12.

- Kontrolní výpočty – při dimenzování nástrojů je důležitá i revize jejich navržení. Kontrolou na vzpěr je myšlena taková revize, která udává maximální možnou délku střížníku, při jejíž překročení by došlo k vybočení nástroje případně k jeho deformaci. Nemusí být užita pro všechny střížníky, stačí ji provést u nejtenčích nástrojů. Před výpočtem kritických délek

nástrojů je zapotřebí vypočítat kvadratické momenty jednotlivých střížníků. Pro kruhové tvary je kvadratický moment roven:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} \quad [\text{mm}^4] \quad (3.7)$$

Pro hranaté je pak kvadratický moment dán vztahem:

$$I = \frac{a \cdot b^3}{12} \quad [\text{mm}^4] \quad (3.8)$$

Kontrola je provedena pro dva střížníky (obr. 63):

- Střížník 3 – pro něj je vypočten kvadratický moment dle vztahu (3.7):

$$I = \frac{\pi \cdot d_3^4}{64} = \frac{\pi \cdot 3^4}{64} = 3,976 \text{ mm}^4$$

Pro výpočet kritické délky je užito vztahu (2.14):

$$l_{\text{krit3a}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_{S3} \cdot \mu^2}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 3,976}{1,75 \cdot 3019 \cdot 2^2}} = 19,75 \text{ mm},$$

kde hodnota koeficientu bezpečnosti ,n' byla zvolena 1,75, ,μ' je pro nevedený střížník roven 2.

$$l_{\text{krit3b}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_{S3} \cdot \mu^2}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 3,976}{1,75 \cdot 3019 \cdot 0,75^2}} = 52,7 \text{ mm},$$

kde ,μ' je pro vedený střížník rovno hodnotě 0,75.

Kritická délka pro nevedený střížník činí pouhých 19,75 mm, proto je nutné volit střížník vedený, jehož délka by neměla překročit 52,7 mm v případě, kdyby nedošlo k jeho konstrukční úpravě.

- Střížník 9 - pro něj je vypočten kvadratický moment dle vztahu (3.8):

$$I = \frac{a \cdot b^3}{12} = \frac{60 \cdot 1,8^3}{12} = 29,16 \text{ mm}^4$$

Pro výpočet kritické délky je užito vztahu (2.14):

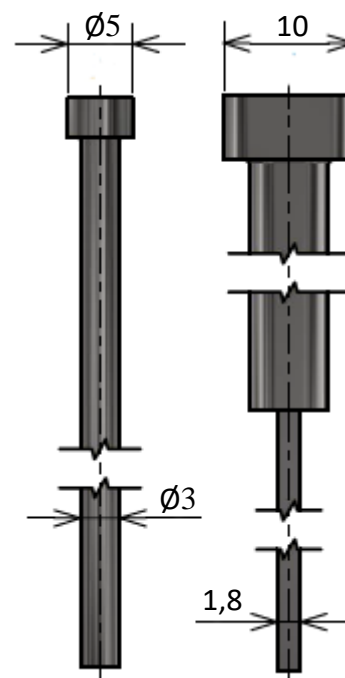
$$l_{\text{krit9a}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_{S9} \cdot \mu^2}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 29,16}{1,75 \cdot 36096 \cdot 2^2}} = 15,5 \text{ mm}$$

$$l_{\text{krit9b}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_{S9} \cdot \mu^2}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 29,16}{1,75 \cdot 36096 \cdot 0,75^2}} = 41,24 \text{ mm}$$

V případě odstřihovacího střížníku je dosahování ještě nižších hodnot. Nástroj bude muset být veden. Pokud by jeho délka byla nedostačující, musí dojít k jeho rozšíření v určité výšce nad střížnou hranou tak, aby toto rozšíření nevadilo procesu výroby. Tato konstrukční úprava je žádoucí vzhledem k minimální šířce nástroje.

K otláčení dochází tehdy, je-li působeno vyšším než dovoleným napětím na upínací desku nástroje. Ta je schopna se vyrovnat s napětím odpovídajícím 180 MPa (obvyklá hodnota pro ocel). Pokud otláčení hrozí, je do nástroje instalována kalená opěrná deska, která mu zabrání. Rovněž i zde platí, že pro menší střížníky je riziko otláčení vyšší. To, zda je dovolené napětí překročeno v případě střížníku 3 a 9 je zjištěno vztahem (2.15).

$$\sigma_{\text{otl3}} = \frac{F_{S3}}{S_{S3}} = \frac{F_{S3}}{\frac{\pi \cdot d_{\text{up3}}^2}{4}} = \frac{3019}{\frac{\pi \cdot 5^2}{4}} = 153,8 \text{ MPa} < 180 \text{ MPa}$$



Obr. 63 Střížník 3 a 9

$$\sigma_{otl9} = \frac{F_{s9}}{S_{s9}} = \frac{F_{s9}}{a \cdot b} = \frac{36096}{70 \cdot 10} = 51,6 \text{ MPa} < 180 \text{ MPa}$$

kde S_{s3} a S_{s9} jsou plochy upínacích hlav střížníků, proto jsou dosazovány hodnoty vyšší než v případě střížných ploch.

V obou kontrolovaných případech k otlačení nedochází. V tabulce 13 jsou znázorněna napětí vyvozená ostatními střížníky. Všechna jsou v pořádku. Nejvyšších napětí je dosahováno oválnými a kruhovými střížníky, jelikož jejich rozměr i plocha upínací hlavy jsou velmi minimalistické. Kalenou desku tedy není nutné užít.

Tab. 13 Kontrola střížníků na otlačení

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
σ_{otli} [MPa]	142,3	52,4	153,8	26,6	52	46	81	39	51,6

- Tolerování střížných nástrojů – z předchozích výpočtů je již zřejmé, jakou silou střížníky působí, jaká je jejich kritická délka a zda je užito kalené desky. Dalším krokem je určení výrobních tolerancí jejich střížných rozměrů. Jsou počítány na základě vztahů pro děrování a pro vystřihování. Jelikož všechny materiál, který propadává střížnici, je odpad, pak se pro všechny stříhací operace jedná o proces děrování. Stříhání třmenu lze dále zařadit do stříhání s běžnou přesností, čímž je docíleno toleranční třídy IT 12 až IT 11. V případě, že vzniká výstřížek stupně IT 11, pak nástroje jsou vyráběny v tolerančních stupních IT 7 až IT 8, viz tab. 3. Zpravidla je střížník zhotovován s přísnější tolerancí oproti střížnici, proto pro tuto práci bude platit, že střížníky jsou zhotovovány v toleranci IT 7 a střížnice v toleranci IT 8. Vše je detailně popsáno v příkladech výpočtů pro 1. střížník:

- Příklad určení tolerovaných rozměrů pro střížník číslo 1 – průměr střížníku je 4 mm, jedná se o jmenovitý rozměr, pro který jsou předepisovány mezní úchytky délkových rozměrů podle ČSN ISO 2768-1. Tato úchytky bude volena ze střední třídy přesnosti. Pro průměr 4 mm je to $\pm 0,1$ mm. V případě střížníku bude vycházeno z normalizovaných tolerancí podle ČSN EN ISO 286-1. Střížníku se jmenovitým rozměrem 4 mm a stupněm normalizovaných tolerancí IT 7 je přiřazena hodnota normalizovaných tolerancí 12 μ m. Pak již lze využít vztah (2.10):

$$Ak_1 = (A_j + \Delta)_{-\delta_k} = (4 + 0,1)_{-0,012} = 4,1_{-0,012} \text{ mm}$$

Tímto způsobem byly vyčísleny další hlavní rozměry střížníků (tab. 14). Pro výrobní praxi by však rozměry tolerované na tisíce nebyly vyrobitelné, proto je vhodné je upravit řádově na setiny. Upravené hodnoty jsou rovněž zaneseny v tabulce 14.

Tab. 14 Maximální rozměry střížníků s tolerancemi

	Otvor	Teoretické rozměry		Výkresové rozměry	
	Jmenovité rozměry: $\varnothing d$, a x b [mm]	Maximální rozměr $\varnothing d$ (a') [mm]	Maximální rozměr b' [mm]	Maximální rozměr $\varnothing d$ (a') [mm]	Maximální rozměr b' [mm]
1	4	4,100 $_{-0,012}$	-	4,10 $_{-0,01}$	-
2	6 x 10,988	6,100 $_{-0,012}$	11,188 $_{-0,018}$	6,10 $_{-0,01}$	11,19 $_{-0,02}$
3	3	3,100 $_{-0,010}$	-	3,10 $_{-0,01}$	-
4	17,7 x 42,18	17,900 $_{-0,018}$	42,480 $_{-0,025}$	17,90 $_{-0,02}$	42,48 $_{-0,03}$
5	9,5 x 7,98	9,700 $_{-0,015}$	8,180 $_{-0,015}$	9,70 $_{-0,02}$	8,18 $_{-0,02}$
6	9,61 x 12,43	9,810 $_{-0,015}$	12,630 $_{-0,018}$	9,81 $_{-0,02}$	12,63 $_{-0,02}$
7	7 x 4	7,200 $_{-0,015}$	4,100 $_{-0,012}$	7,20 $_{-0,02}$	4,10 $_{-0,01}$
8	16 x 16	16,200 $_{-0,018}$	16,200 $_{-0,018}$	16,20 $_{-0,02}$	16,20 $_{-0,02}$
9	1,8 x 60	1,900 $_{-0,010}$	60,300 $_{-0,030}$	1,90 $_{-0,01}$	60,30 $_{-0,03}$

V případě střížnic je postupováno obdobně pouze s tou obměnou, že se jedná o nástroj v tolerančním poli IT 8 a je upraven vzorec pro výpočet. Před jeho použitím je však nutné vypočítat střížnou vůli mezi nástroji, a to podle vzorce (2.1):

$$v = 2 \cdot c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0,025 \cdot 0,8 \cdot \sqrt{308} = 0,7 \text{ mm},$$

kde součinitel ,c' € (0,005 až 0,035), byl zvolen c = 0,025.

- Příklad určení tolerovaného rozměru pro střížnici číslo 1 – výpočet tolerovaného rozměru dle vztahu (2.16):

$$Ae_1 = (A_j + \Delta + v)^{+\delta_e} = (4 + 0,1 + 0,7)^{+0,018} \text{ mm}$$

Tímto způsobem byly vyčísleny další hlavní rozměry střížnic (tab. 15).

Tab. 15 Maximální rozměry střížnic s tolerancemi

	Otvor	Teoretické rozměry		Výkresové rozměry	
	Jmenovité rozměry: Ød, a x b [mm]	Maximální rozměr Ød (,a') [mm]	Maximální rozměr ,b' [mm]	Maximální rozměr Ød (,a') [mm]	Maximální rozměr ,b' [mm]
1	4	4,800 ^{+0,018}	-	4,80 ^{+0,02}	-
2	6 x 10,988	6,800 ^{+0,018}	11,888 ^{+0,027}	6,80 ^{+0,02}	11,89 ^{+0,03}
3	3	3,800 ^{+0,014}	-	3,80 ^{+0,01}	-
4	17,7 x 42,18	18,600 ^{+0,027}	43,180 ^{+0,039}	18,60 ^{+0,03}	43,18 ^{+0,04}
5	9,5 x 7,98	10,400 ^{+0,022}	8,880 ^{+0,022}	10,40 ^{+0,02}	8,88 ^{+0,02}
6	9,61 x 12,43	10,510 ^{+0,022}	13,330 ^{+0,027}	10,51 ^{+0,02}	13,33 ^{+0,03}
7	7 x 4	7,900 ^{+0,022}	4,800 ^{+0,018}	7,90 ^{+0,02}	4,80 ^{+0,02}
8	16 x 16	16,900 ^{+0,027}	16,900 ^{+0,027}	16,90 ^{+0,03}	16,90 ^{+0,03}
9	1,8 x 60	2,600 ^{+0,014}	61,000 ^{+0,046}	2,60 ^{+0,01}	61,00 ^{+0,05}

Mimo rozměry otvoru ve střížnici je dimenzována i její tloušťka. Střížnice bude dělena na dvě samostatné části z důvodu přerušení střížných operací vytvářením ohybu a lemu:

- výpočet výšky střížnice pro střížníky 1 až 8 dle vztahu (2.18):

$$H_1 = \sqrt[3]{(F_{sc} - F_{s9})} = \sqrt[3]{(255487 - 36096)} = 60 \text{ mm}$$

- výpočet výšky střížnice pro oddělovací střížník rovněž dle vztahu (2.18):

$$H_2 = \sqrt[3]{F_{s9}} = \sqrt[3]{36096} = 33 \text{ mm}$$

3.3.2 Ohýbací nástroje [8]

Pro součást je navrhován pouze jeden symetrický ohyb. Ten lze vnímat jako ohyb do tvaru ,U' (obr. 64) vzhledem k předpokládanému způsobu výroby. Z tohoto důvodu je pro výpočet ohýbací síly zapotřebí zvolit vztah, který je určen právě pro tento tvar ohybu. Pro něj je nutné vypočítat vzdálenost opor ,l_u' , a to dle vztahu (2.25):

$$l_u = 2 \cdot R_o \cdot 1,2 \cdot s = 2 \cdot 0,8 \cdot 1,2 \cdot 0,8 = 1,536 \text{ mm}$$

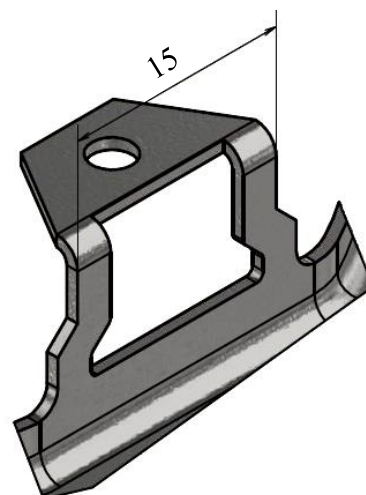
Pro výpočet ohybové síly lze jednoduše dosadit do vzorce (2.24):

$$F_{ou} = \frac{0,4 \cdot R_m \cdot B \cdot s^2}{l_u} = \frac{0,4 \cdot 400 \cdot 15 \cdot 0,8^2}{1,536}$$

$$F_{ou} = 1000 \text{ N}$$

Stejně jako u stříhání i zde jsou doprovodné síly. Jedná se o sílu kalibrovací a sílu přidržovací. Rovněž jsou závislé na velikosti ohýbací síly. Kalibrační síla je oproti síle ohybové větší o 50 až 100 %, vztah (2.27):

$$F_k = 1,5 \cdot F_o = 1,5 \cdot 1000 = 1500 \text{ N}$$



Obr. 64 Polovina ohybu

Přidržovací síla je naopak menší a čítá pouze 25 až 30 % ze síly ohybové, vztah (2.28):

$$F_p = 0,3 \cdot F_o = 0,3 \cdot 1000 = 300 \text{ N}$$

Výsledná síla potřebná k ohybu součásti je dána součtem jednotlivých dílčích sil (2.26):

$$F_{oc} = F_o + F_k + F_p = 1000 + 1500 + 300 = 2800 \text{ N}$$

Nedílnou součástí výpočtů pro následnou volbu stroje je opět výpočet ohybové práce (2.29):

$$A_o = m \cdot \frac{F_{oc} \cdot h}{1000} = 0,66 \cdot \frac{2800 \cdot 24,2}{1000} = 44,7 \text{ J}$$

Vůle nástrojů pro ohyb je závislá jak na tloušťce materiálu, tak na tření, které vzniká na plochách mezi ohybnicí a plechem. Je vypočítána vzorcem (2.30):

$$v = s + c_a \cdot s = 0,8 + 0,1 \cdot 0,8 = 0,88 \text{ mm},$$

kde součinitelem c_a , vyjadřuje vliv tření a jehož vybrané hodnoty byly sepsány v tabulce 7. Pro délku ramene do 10 mm a při tloušťce materiálu 0,8 mm je c_a rovno 0,1.

K dispozici je i zjednodušený vzorec (2.31):

$$v = 1,1 \cdot s = 1,1 \cdot 0,8 = 0,88 \text{ mm}$$

kde tloušťka materiálu je závislá pouze na konstantě z intervalu 1,05 až 1,15. Ta byla zvolena rovna 1,1, čímž bylo stejné hodnoty vůle jako v případě vztahu (2.30). Vztahy (2.30) a (2.31) jsou proto ekvivalentními.

Dalším krokem pro návrh ohybových nástrojů je výpočet odpružení. To by v případě, že bude jeho hodnota vysoká, způsobilo nutnost konstrukční úpravy nástrojů. Odpružení pro ohyb tvaru U' lze vyčíslit vztahem (2.33):

$$\text{tg}\beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E},$$

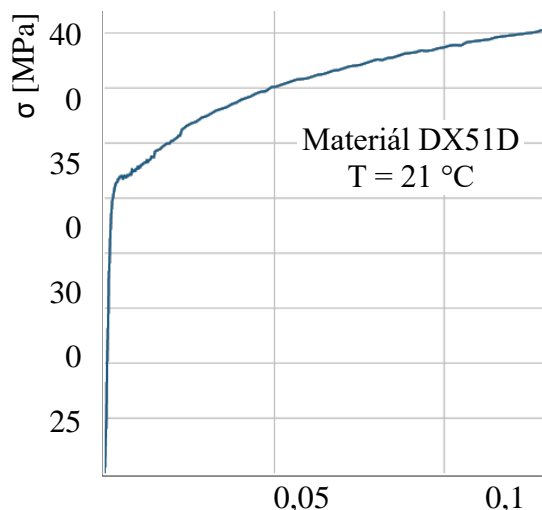
kde koeficient k , je dán tab. 8; poměr R_o ku s je roven 1, z toho vyplývá, že koeficient $k = 0,58$,

R_e je získána z grafu přetvoření (obr. 65) a má hodnotu přibližně 270 MPa.

$$\rightarrow \beta = \text{arctg} \cdot \left(0,75 \cdot \frac{1,536}{0,58 \cdot 0,8} \cdot \frac{270}{2,1 \cdot 10^5} \right) = 3,19 \cdot 10^{-3} \text{ rad}$$

$$\rightarrow \beta = 3,19 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{180}{\pi} = 0,183 = 0^\circ 10' 58''$$

Mezní úchylka úhlových rozměrů je stanovena z ČSN ISO 2768-1, kdy pro ramena do 10 mm (ohýbané rameno má 6,8 mm) je střední úchylka rovna $\pm 1^\circ$. To znamená, že vypočítané



Obr. 65 Graf přetvoření [8]

odpružení je v pořádku a není nutné jej kompenzovat konstrukcí nástroje.

Pro ohybnici a ohybník nejsou počítány tolerance tak, jak tomu bylo v případě střižných nástrojů. Jejich přesnost bude udávána 8. stupněm normalizovaných tolerancí (IT 8) podle ČSN EN ISO 286-1. Poloměr zaoblení ohybníku bude odpovídat vytvářenému poloměru ohybu na součásti, a to 0,8 mm. Pro poloměr zaoblení ohybnice r_m je postupováno jako v případě volby koeficientu c při výpočtu vůle mezi nástroji, tabulka 7 totiž udává mimo jiné i zaoblení ohybnice. Pro rameno o délce 6,8 mm a tloušťce materiálu 0,8 mm je r_m rovno 3 mm.

3.3.3 Lemovací nástroje

Pro výpočet lemovací síly je jako první potřeba vypočítat poměr velikostí otvorů δ ze vztahu (2.42):

$$\delta = \frac{D_{1L} - d_L}{D_{1L}} = \frac{55,2 - 47,4}{55,2} = 0,14,$$

kde základní rozměry jsou znázorněny na obrázku 66.

Následně je vyčíslena lemovací síla (2.41):

$$F_L = 0,7 \cdot s \cdot D_{1L} \cdot \delta \cdot R_m$$

$$F_L = 0,7 \cdot 0,8 \cdot 55,2 \cdot 0,14 \cdot 400$$

$$F_L = 1731,1 \text{ N}$$

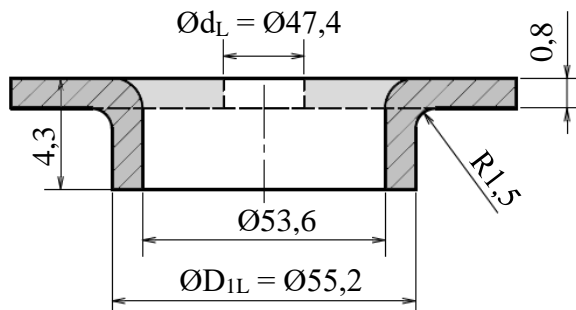
Přidržovací síla potřebná k tvorbě lemu je odvozena od přidržovací síly pro vytvoření ohybu (2.27):

$$F_{pL} = 0,3 \cdot F_L = 0,3 \cdot 1731,1 = 519 \text{ N}$$

$$F_{Lc} = F_L + F_{pL} = 1731,1 + 519 = 2250,1 \text{ N}$$

Lemovací práce je dána vztahem (2.43):

$$A_L = k \cdot F_{Lc} \cdot h = 0,33 \cdot 2250,1 \cdot 0,0242 = 18 \text{ J}$$



Obr. 66 Rozměry lemu

3.3.4 Těžiště sil

Těžiště sil je možné určit až v této fázi návrhu výroby, jelikož jsou již známy všechny dílčí síly. Do výpočtu těžiště vstupuje jedenáct dílčích sil, proto je vhodné předem vypočítat velikosti sil pro jednotlivé kroky výroby a určit polohu jejich těžišť (jsou-li složeny z více částí). Hojně je využíváno symetrie.

Síla v 1. operaci:

$$F_{1op} = F_{sn1} + F_{sn2} + F_{sn5} + F_{sn6} + F_{sn7} + F_{sn8}$$

$$F_{1op} = 18,6 + 41,8 + 12,9 + 30,6 + 27,5 + 47,3 = 178,7 \text{ kN}$$

Síla v 2. operaci:

$$F_{2op} = F_{sn3} + F_{sn4} = 7 + 73,4 = 80,4 \text{ kN}$$

Ostatní operace jsou tvořeny jednou silou.

Výpočet x-ové souřadnice těžiště sil je proveden dle vztahu (2.7):

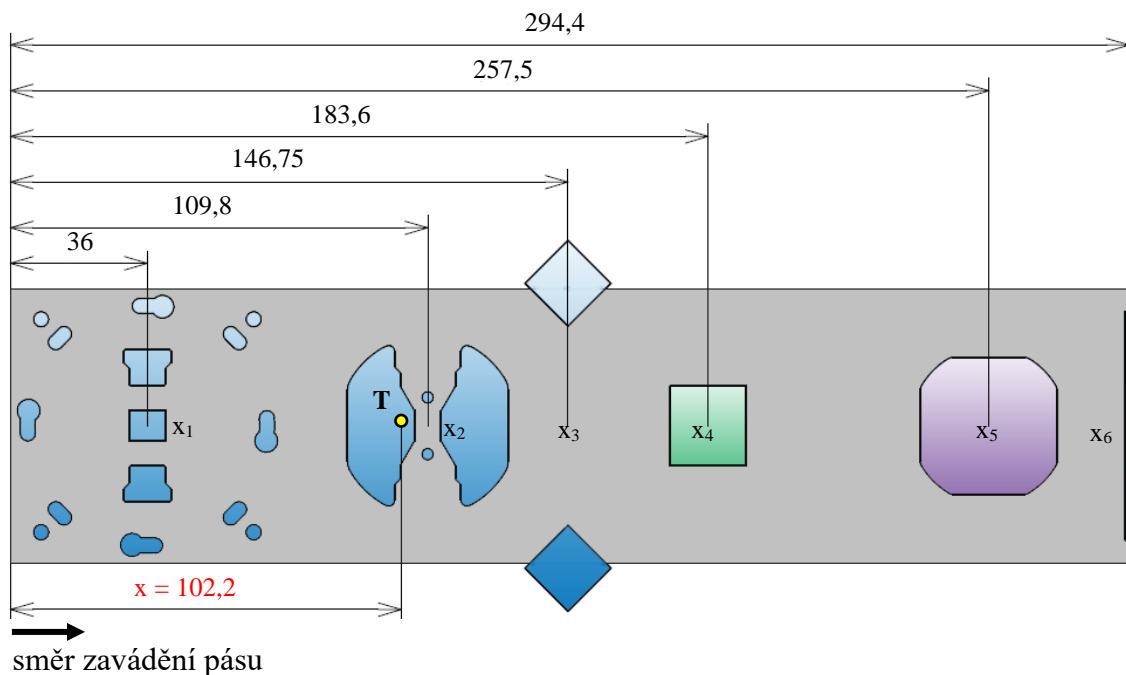
$$x = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n F_i}$$

$$x = \frac{(F_{1op} \cdot x_1) + (F_{2op} \cdot x_2) + (F_{sn3} \cdot x_3) + (F_{oc} \cdot x_4) + (F_{pL} \cdot x_5) + (F_{sn9} \cdot x_6)}{F_{1op} + F_{2op} + F_{sn3} + F_{oc} + F_{Lc} + F_{sn9}}$$

$$x = \frac{(178,7 \cdot 36) + (80,4 \cdot 109,8) + (47,3 \cdot 146,75) + (2,8 \cdot 183,6) + (0,52 \cdot 257,5) + (45,7 \cdot 294,4)}{(178,7 + 80,4 + 47,3 + 2,8 + 0,52 + 45,7)}$$

$$x = 102,2 \text{ mm}$$

X-ová souřadnice těžiště se nachází 102,9 mm od okraje zaváděného pásu, je vyznačeno na obrázku 67. Vzhledem k jisté symetrii třmenu je z výpočtů možné vyřadit výpočet y-ové souřadnice výslednice sil. Tato pozice je v polovině výšky pásu. Proto vyznačené místo těžiště T je jeho finální pozici.

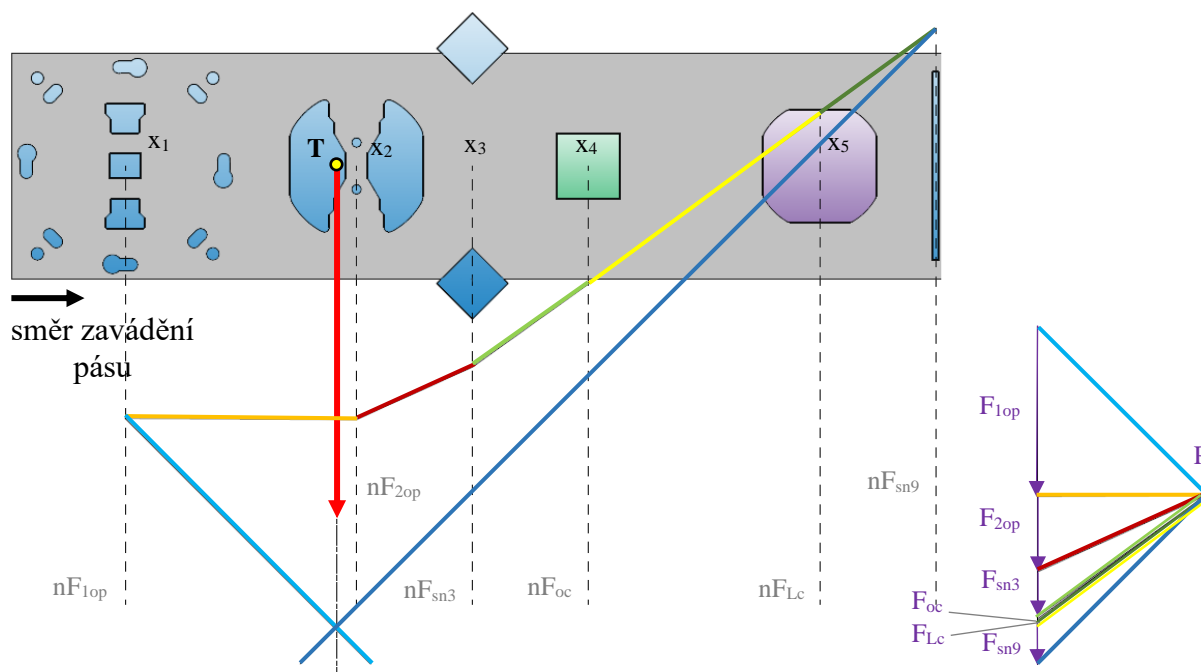


Obr. 67 Poloha dílčích těžišť a výsledného těžiště

Velikost výsledné síly působící v tomto místě je dána součtem jednotlivých sil vynaložených pro výrobu stříhů, ohybu a lemu:

$$F_v = F_{sc} + F_{pr} + F_{st} + F_{oc} + F_{pL} = 304,7 + 12,2 + 30,5 + 2,8 + 0,52 = 350,7 \text{ kN}$$

Velikost výsledné síly potřebné pro výrobu třmenu bude zohledněna při volbě výrobního stroje. Vzhledem k důležitosti umístění nositelky výsledné síly do osy stroje, a tudíž i správnosti výpočtu polohy této síly, je vhodné tento výpočet ověřit. Je možné využít grafické metody (obr. 68)

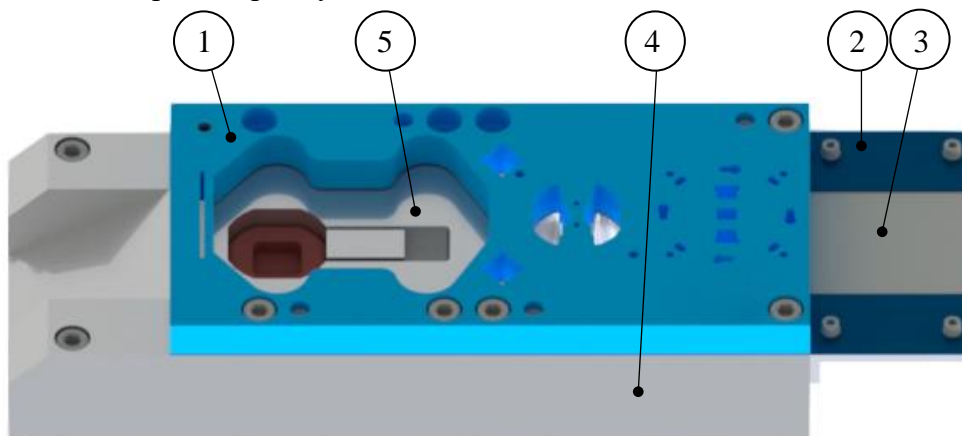


Obr. 68 Určení těžiště grafickou metodou

Jak je patrné z obrázku 1 i 2, umístění těžiště sil se shoduje, proto lze předpokládat jeho správnost.

3.3.5 Návrh konstrukce nástroje

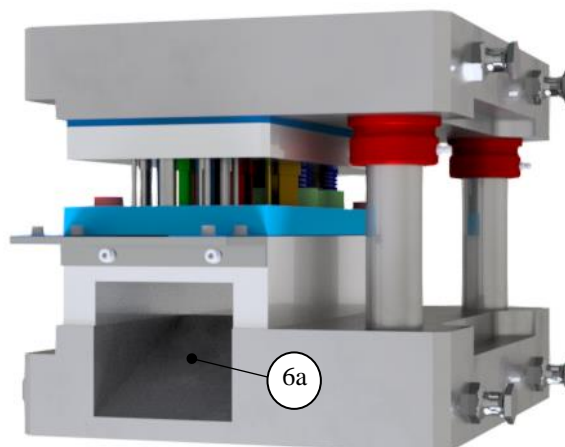
Konstrukce sduženého postupového nástroje byla realizována podle předpisu norem. Rozměr pásu plechu pro pět výrobních operací je 72 x 369 mm, jedná se o základní vstupní parametr pro volbu dalších dílčích rozměrů nástroje. Jako první byla volena skříň nástroje normou ČSN 22 6273. Pro plech daných rozměrů byla zvolena skříň 395 x 155 mm, která zaručuje dostatečný prostor pro výrobu a umístění vodících lišt.



Obr. 69 Skříň nástroje

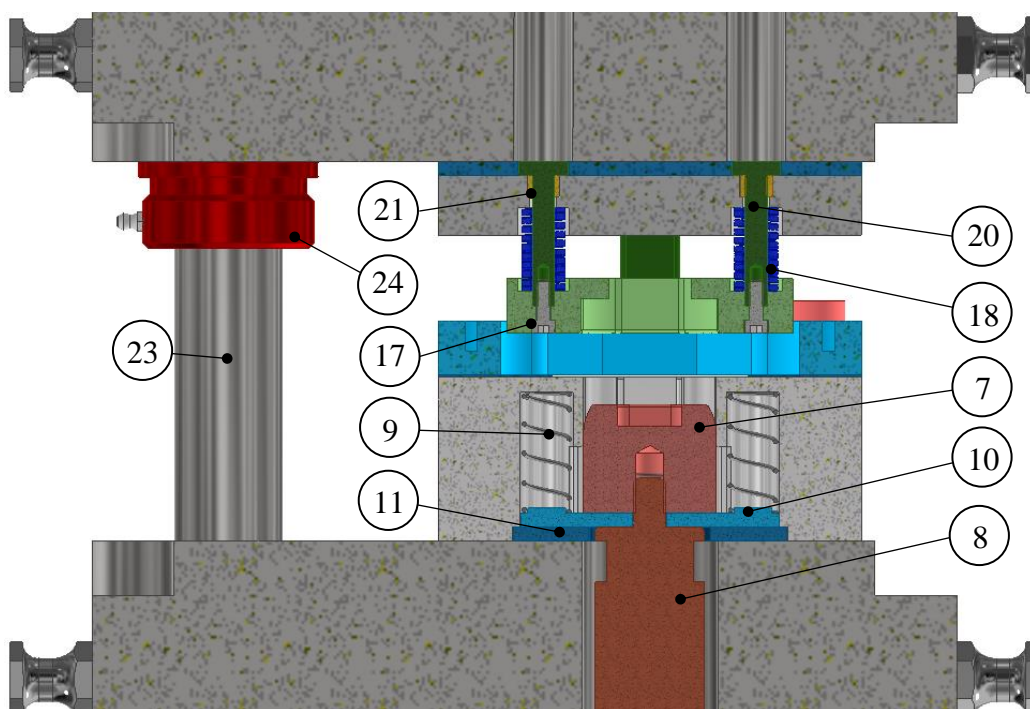
Skříň (obr. 69) sestává z následujících komponent.

- Vodící desky nástrojů (1) – jenž zaručuje jejich přesné vedení a snižuje riziko vzniku mezního stavu vzpěrné stability. Společně s vodícími lištami omezuje pohyb plechu tak, aby se pohyboval pouze požadovaným směrem.
- Vodících lišt (2) – které se dělí na levou a pravou část. Díky nim je plech přesně zaváděn a nedochází k jeho vybočení. Na jejich začátku je vytvářen rádius pro ještě snazší zavedení pásu. V případě konstruovaného nástroje jsou lišty velmi tenké (1 mm), a to z důvodu tváření plechu tloušťky 0,8 mm. Mezi pásem a vodící deskou tak vzniká pouze vůle pro posuv pásu. U velmi tenkých pásů je jednoduché docílit jejich deformace, proto je vodící deska, jejíž vzdálenost je vymezena výškou lišt, umístěna těsně k povrchu plechu, aby působila proti těmto případným deformacím. Navíc nahrazuje funkci stěrače.
- Podpěrného plechu (3) – který je umístěn pod vodícími lištami a je atypicky připevněn k tělu nástroje kvůli malé tloušťce vodících lišt, které by se jeho vahou mohly prohýbat.
- Střížnice (4) a ohybnice (5) – jsou funkční části nástroje vytvářející tvarovost plechu. Základní rozměry jsou dány rozměrem skříně nástroje. Minimální výška střížnice (60 mm) byla početně podložena a je dodržena v celé části nástroje včetně úseku ohýbání a lisování. Na obrázku 70 je možné vidět i návrh odvodu odpadního materiálu vytvářeného děrováním. V oblasti pod podpěrným plechem je ústí skluzu (obr. 70, 6a), jehož zkosená plocha sahá pod všechny střížníky prvního úseku. Ke stříhání dochází i v pátém kroku, pro který je vytvořen malý individuální skluz (obr. 73, 6b), který je nutné kontrolovat a pomocí drátu případně čistit. Poslední skloněná plocha je vytvořena za oddělovacím střížníkem. Tento sklon odvádí hotovou součást ven z nástroje (obr. 73, 6c).



Obr. 70 Pohled na skluz pod střížníky

Díky mohutnosti této části nástroje, bylo možné do jejích útrob zakomponovat pohybový mechanismus lisovníku (obr. 71). Lisovník (7) je tlačěn čepem (8), který je k němu přišroubován, vzhůru pomocí spodní části stroje (bude specifikováno při jeho volbě). K tomu, aby jej bylo možné pohodlně přišroubovat, jsou na něm vyfrézovány drážky pro klíč. Rovněž je v něm vyfrézováno hloubení, do kterého zajíždí již ohnuté části třmenu. Proto, aby se lisovník vždy zcela vrátil zpět do své výchozí pozice a nebránil tak posuvu plechu s již vytvořenými ohyby, je připevněn k mechanismu s dvěma pružinami (9). Ty jsou v průběhu jeho zdvihu stlačovány, dojde-li k uvolnění čepu, vracejí se do původního stavu a tím i lisovník. Vše drží přítlačná lišta (10) a doraz lemovníku se šrouby (11).

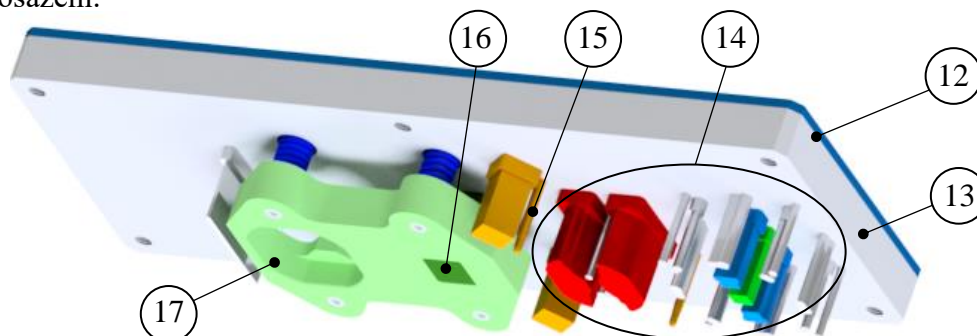


Obr. 71 Řez nástrojem a lisovacím mechanismem

Definováním rozměru skříně nástroje je možné provést další krok, a to přiřazení vhodné pravoúhlé hlavice pro upínání nástrojů (obr. 72). Dle ČSN 22 6208 je možné zvolit několik rozměrů hlavice, avšak pouze velikost 395 x 155 mm je dostatečnou pro danou výrobu. Pravoúhlé hlavice k vodícím stojánkům jsou definovány normou ČSN 22 6285. Skládají se z:

- opěrné desky (12) – v níž jsou vytvářeny otvory pro upnutí hlav nástrojů,
- kotevní desky (13) – s otvory pro těla nástrojů.

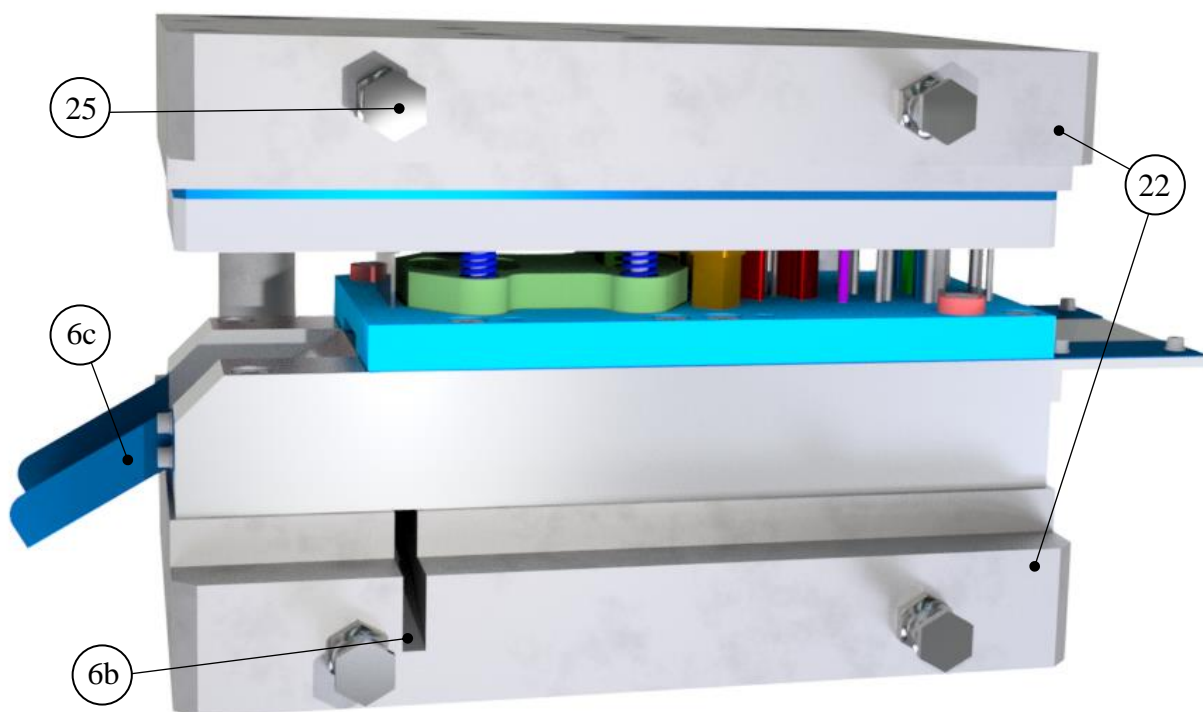
V případě nástroje pro výrobu třmenu je do hlavice upnuto 22 střižníků (14), dva hledáčky (15), ohybník (16) a mechanismus přidržovače (17). Upnutí nástrojů bylo realizováno pomocí osazení.



Obr. 72 Hlavice s nástroji

Výrazným prvkem (na obrázku 72), pro svůj nezvyklý tvar, je přídržovač. Z hlediska úspory místa se jedná o sdružení dvou přídržovačů v jeden, jelikož prostor mezi kroky byl velmi omezený pro dvě nezávislé konstrukce. Přídržovací síly potřebné pro jednotlivé operace si byly velikostně blízké, proto mohl být zvolen stejný typ pružin (18), které vyvozují sílu působící na plech. Mechanismus funguje tak, že jako první je v pohybu přídržovač společně s hlavicí a horní částí stojánku (19) a stroje. Poté, co přídržovač přijede k plechu, na který dosedne, se pohybuje horní část nástroje dál směrem k plechu, tímto pohybem jsou stlačovány pružiny a je vysunován ohybník, který postupně ohýbá část třmenu. Ze skříně nástroje se dává do pohybu také lisovník. Ve chvíli, kdy horní část nástroje urazí požadovanou délku zdvihu, vyvozuje každá dvojice pružin sílu 519 N a lisovník se ujímá své úlohy lemování. Pružiny byly zvoleny na základě potřebné přídržovací síly v katalogu firmy Sodemann. Korespondují také svými rozměry. Proto, aby byly pružiny pevně připevněny k přídržovači, je užito čepů (20), které během stlačování vyjíždějí kluznými pouzdry (21) ven z hlavice až do horního dílu stojánku, ve kterém jsou vyvrtány otvory. V průběhu lemování přídržovač vykonává nejen svou funkci, ale rovněž slouží jako kalibrační doraz pro již předem ohnuté části třmenu.

Byl zvolen ocelový stojánek (22) v provedení se dvěma sloupky (23) za pracovní plochou. Jeho velikost se odvíjela od potřebných rozměrů pracovní plochy (395 x 155 mm), kdy rozměrově nejbližší disponoval pracovní plochou 400 x 200 mm. Sloupky stojánku jsou vedeny pouzdry (24) s kluzným vedením. Dále byla navržena osazení, která umožňují uchycení nástroje do T drážek pomocí šroubů nebo hydraulických upínek. Pro snadnější manipulaci byly do stojánku přišroubovány úchyty (25). Na obrázku 73 je celkový pohled na vytvářený nástroj.

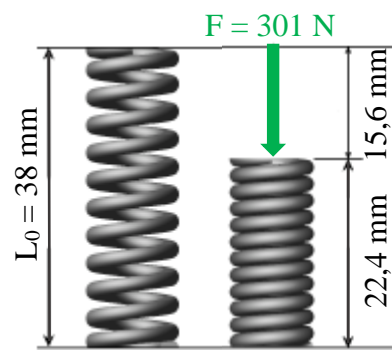


Obr. 73 Sdružený postupový nástroj pro výrobu třmenu

3.3.6 Volba stroje [50], [51], [52], [53]

Základními parametry pro volbu tvářecího lisu jsou lisovací síla, práce a rozměry nástroje. Je také důležité brát zřetel na konstrukční provedení nástroje, které bylo představeno v předchozí kapitole.

Přidržovač je ovládán pomocí čtyř pružin, jež byly zvoleny z katalogu firmy Sodemann na základě potřebného zdvihu a přitlačné síly. Nebylo možné docílit přesně požadované hodnoty přitlačení, proto její hodnota byla zvolena nejbližší vyšší. Pro jejich stlačení je nutné vyvodit sílu odpovídající jejich tuhosti a velikosti pružiny i stlačení. Pružina má ve výchozí poloze 38 mm a v poloze při maximálním sevření 22,4 mm, což je její nejnižší možná poloha (obr. 74). Podle katalogu firmy, je nutné pro takto stlačenou pružinu vyvinout sílu 301 N, což je rovněž velikost síly, kterou pružina působí na plech. Pro přidržovač je hodnota čtyřnásobná (1,2 kN). Přidržovací síly, které již byly zahrnuty do síly výsledné, činily pro operaci ohýbání a lemování celkem 819 N. Proto k výsledné síle bude přičteno již pouze 385 N. Práce pružiny nabývá hodnot 10^{-6} J, z toho důvodu je považována za zanedbatelnou. Významnější roli hraje vyčíslení u větších rozměrů.



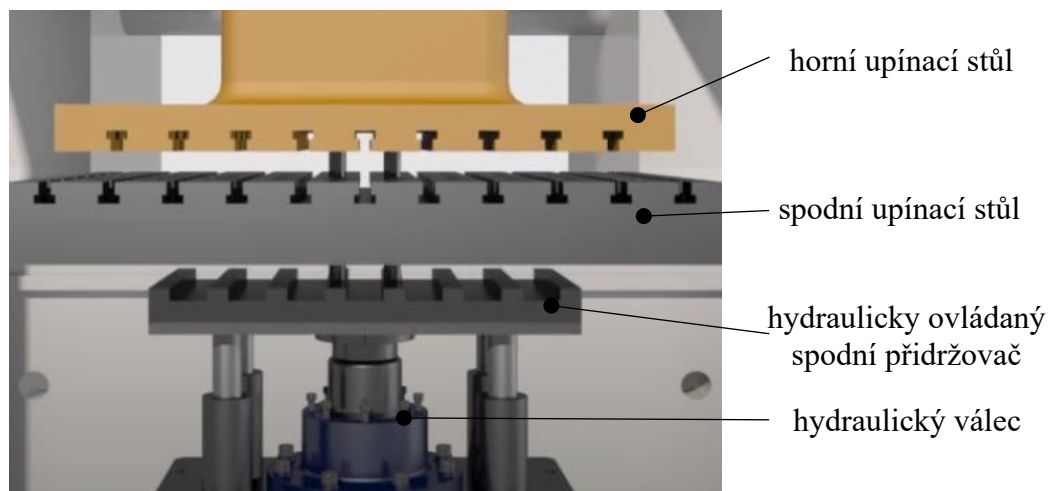
Obr. 74 Pružina přidržovače [50]

Souhrn parametrů potřebných pro volbu stroje je uveden v tabulce 16.

Tab. 16 Parametry pro volbu lisu

F_v [kN]	A_v [J]	délka [mm]	šířka [mm]	otevřený stav [mm]	sevřený stav [mm]
350,7 + 0,385	175,1	400	200	279	254,8

Dalším konstrukčním oříškem v případě nástroje pro třmen je atypický lisovník, který bude ovládán spodní částí nástroje. Proto, aby mohl být tento ovládací prvek navržen co nejjednodušším způsobem, je vhodné využít hydraulicky ovládaný spodní přidržovač, tzv. hydraulickou podušku (anglicky ‚die cushion‘, ‚bed cushion‘ apod.). Primárně je toto zařízení používáno u procesů hlubokého tažení a je mnohými firmami prodáváno jako speciální příplatkové vybavení lisu.



Obr. 75 Hydraulická poduška [52]

Na obrázku 75 jsou znázorněny hlavní části již zmiňovaného zařízení. Na spodní část stolu je pomocí T drážek upnut spodní stojan nástroje. V místě, kde je zapotřebí ovládat některý z dílčích nástrojů (např. lisovník), je vyvrtán otvor, do kterého je volně vložený kolík. Kolík je

podložen hydraulicky ovládaným spodním přidržovačem, čímž je zajištěn proti vypadnutí. V počáteční fázi je v jedné rovině s horní hranou spodního upínacího stolu, ve chvíli, kdy má dojít ke tváření, je pomocí hydraulického válce zvedána poduška společně s kolíkem, který tlačí do nástroje, čímž se i nástroj pohybuje vzhůru.

V případě lemování musí hydraulicky ovládaný spodní přidržovač vyvodit sílu rovnou sumě síly lemovací a pro stlačení pružin. Lemovací síla je rovna 1,7 kN. Potřebné zatížení jedné pružiny je dáno vztahem:

$$F = R \cdot s_n, \quad (3.9)$$

kde F ... síla pružiny [N],
 R ... tuhost pružiny [N/mm],
 s_n ... zdvih pružiny [mm].

$$F = 3,15 \cdot 23,45 = 73,9 \cong 75 \text{ N}$$

Pružina je v nástroji umístěna dvakrát. Proto je jejich celková síla rovna 150 N. To znamená, že poduška musí vyvodit zatížení 1,85 kN.

Výrobním strojem je zvolen servolis japonské značky AIDA, která je mezinárodně uznávanou značkou na trhu s lisy. Servolis byl zvolen na základě vysoké produktivity spojené s možností přesného individuálního nastavení chodu stroje. Výhodou je také kvalita tvářených dílů. Konkrétním zvoleným strojem je lis AIDA DSF-N1-800A (na obrázku 76 je možné vidět lis ze stejné série, pouze rozměrově větší). Pro tento model je výrobcem doporučen ovládaný spodní přidržovač s označením NCY-8-1 stejné značky. Společnost AIDA má ve svém portfoliu motorizované hydraulické podložky dolního přidržovače, kde je pohon hydraulických čerpadel realizován rovněž servomotorem. Lze předpokládat velkou flexibilitu automatizace a vyšší produktivitu výroby. Přesné parametry týkající se rychlosti výroby s poduškou však nejsou na webu ani v prospektech dostupné. V tabulce 17 jsou zaznamenány nejdůležitější technické parametry zvoleného lisu a podložky.

Tab. 17 Technické parametry lisu [53]

Servolis AIDA DSF-N1-800A		
Tvářecí síla	kN	800
Tvářecí práce	J	4000
Zdvih pro kyvadlový pohyb	mm	60/100/130
Plný zdvih	mm	160
Počet zdvihů pro kyvadlový pohyb	min ⁻¹	123/99/84
Počet zdvihů pro plný zdvih	min ⁻¹	1 – 80
Sevření	mm	320
Přestavení beranu	mm	80
Horní upínací plocha	mm	700x460
Spodní upínací plocha	mm	900x600
Příkon hlavního motoru	kW	38
Vnější rozměry	m	1,9x1,9x3
Hydraulická poduška NCY-8-1		
Tvářecí síla	kN	63
Zdvih	mm	70
Plocha	mm	410x260



Obr. 76 Servolis AIDA [53]

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ [54], [55], [56], [57], [58]

Třmen zásuvky je vyráběn sdruženým postupovým nástrojem, jenž je upnut pomocí T drážek do stroje AIDA DSF-N1-800A. Tvářecí síla lisu dosahuje až 800 kN, což směle přesahuje její požadovanou hodnotu pro výrobu součásti (353,7 kN). Síla, kterou může hydraulický přidržovač posunovat s čepem ovládajícím lisovník je maximálně 63 kN, potřebná velikost silového působení je však pouze 1,85 kN. Další sledovanou hodnotou je velikost tvářecí práce, která nesmí překročit hodnotu 4000 J, což je hodnota deklarovaná výrobcem. Během tváření je spotřebováno 175,1 J. Zdvih i rozměry nástroje korespondují s konstrukčními možnostmi stroje, a to jak u hlavního nástroje, tak i u lisovníku. Z technického hlediska proto zvolený stroj plně vyhovuje požadavkům výroby a nástroje.

Ekonomické zhodnocení slouží k tomu, aby bylo možné o dané výrobě říci, zda je její zavedení efektivní a pro firmu ziskové. Cílem tohoto zhodnocení je určení tzv. bodu zvratu, který udává, nejmenší nutné množství součástek, které je zapotřebí vyrobit, aby nedocházelo k finanční ztrátě. Je však nutné zdůraznit, že výpočty jsou pouze orientační, jelikož dílčí hodnoty použité pro výpočty se mohou lišit. Hodnoty použité v následujících výpočtech byly zjištěny při konzultaci s vedoucí práce a od firem zainteresovaných v daném oboru.

V prvním kroku jsou vypočteny náklady na výrobu jedné součásti, od nichž se vyvíjí prodejní cena. Náklady se dělí na přímé a nepřímé. Přímé náklady na výrobu jedné součásti jsou dány souhrnem několika aspektů, a to vydají na:

- Materiál – snadno vyčíslitelné na základě aktuálních nákupních a výkupních cen. Dle firmy Vykov steel s.r.o. je cena pozinkované oceli DX51D + Z200 rovna 32,30 Kč s DPH za kilo. Hmotnost jednoho svitku je dle vztahu (3.1):

$$m_{sv} = \pi \cdot \frac{(1000^2 - 610^2)}{4} \cdot 72 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 278,7 \text{ kg.}$$

Z tabulky 11, část a) lze převzít počet potřebných svitků, což čítá 24 kusů.

$$m_{svc} = m_{sv} \cdot 24 = 278,7 \cdot 24 = 6\,688,8 \text{ kg,} \quad (4.1)$$

kde m_{svc} ... hmotnost všech potřebných svitků [kg].

$$N_{sv} = m_{svc} \cdot c_m = 6\,688,8 \cdot 32,3 = 216\,048 \text{ Kč,} \quad (4.2)$$

kde N_{sv} ... náklady na koupi svitků [Kč],

c_m ... cena za jeden kilogram oceli ve formě svitku [Kč].

Částečnou návratnost lze zajistit prodejem ocelového odpadu. Firma Barko, s.r.o. vykupuje neznehodnocené zbytkové plechy za 4,50 Kč/kg. Hmotnost odpadu pro vyrábění třmen je možné vyčíslit na základě hmotnosti všech svitků a všech vyrobených součástek. Hmotnost jedné součástky je 0,021 kg (stanoveno z 3D modelu v programu Inventor 2020). Z 24 kusů stejných svitků lze vyrobit 200 424 součástek.

$$m_{odpad} = m_{svc} - N_c \cdot m_s = 6\,688,8 - 200\,424 \cdot 0,021 = 2\,480 \text{ kg,} \quad (4.3)$$

kde m_{odpad} ... hmotnost vystřiženého a vyděrovaného odpadu [kg],

N_c ... kusy zhotovené z 24 svitků včetně přebytku [ks],

m_s ... hmotnost součástky [kg].

$$N_{odpad} = m_{odpad} \cdot c_v = 2\,480 \cdot 4,5 = 11\,160 \text{ Kč,} \quad (4.4)$$

kde N_{odpad} ... částka obdržena za výkup odpadního materiálu [Kč],

c_v ... cena za kilogram vykupovaného odpadu [Kč].

Částka obdržena za výkup odpadního materiálu se může lišit v závislosti na tom, zda přebývající kusy (424 ks) budou dodány v další sérii nebo budou rovněž vyvezeny do šrotu.

Celková částka vydaná za hutní materiál je pak dána rozdílem pořizovací ceny svitků a částkou získanou za odpad vytvořený výrobou.

$$N_h = N_{sv} - N_{odpad} = 216\,048 - 11\,160 = 204\,888 \text{ Kč,} \quad (4.5)$$

kde N_h ... náklady vynaložené na hutní materiál [Kč].

- Mzdy – odvíjí se od počtu angažovaných dělníků a časové náročnosti výroby. Je uvažováno, že celá výrobní linka je obsluhována pouze jedním pracovníkem, ten po zavedení výroby zejména kontroluje její plynulost a rozměrovou adekvátnost. Pro zjednodušení bude počítáno pouze s jedním pracovníkem na směnu a s časem potřebným pouze pro lisování. Ten se odvíjí od počtu zdvihů, který je dán konstrukčními možnostmi stroje. V případě lisu DSF-N1-800A a vyráběného třmenu se jedná přibližně o 20 zdvihů za minutu.

$$T_{\text{výr}} = \frac{N}{n_z} = \frac{200\,000}{20} = 10\,000 \text{ min} = 166,7 \text{ hod}, \quad (4.6)$$

kde $T_{\text{výr}}$... výrobní čas celé série [min], resp. [hod],
 n_z ... počet zdvihů stroje za minutu [$\text{ks} \cdot \text{min}^{-1}$].

Z takto vypočítaného času lze snadno stanovit počet potřebných směn pro vyrobení série. Jedna směna zpravidla trvá 7,5 hodin (bez přestávky na oběd). Pak potřebný počet směn je:

$$n_{\text{směn}} = \frac{T_{\text{výr}}}{T_{\text{směna}}} = \frac{166,7}{7,5} = 22,2 \text{ směn}, \quad (4.7)$$

kde $n_{\text{směn}}$... počet potřebných směn pro výrobu celé série [směn],
 $T_{\text{směna}}$... délka trvání jedné směny [hod].

Mzda výrobního dělníka se pohybuje od 21 000 Kč po 40 000 Kč. Průměrně se tedy jedná o přibližně 30 000 Kč. V této částce jsou zahrnuty veškeré výdaje, které odvádí firma státu. Přibližná hodinová mzda dělníka je vyčíslena:

$$M_d = \frac{M_m}{n_{\text{pd}} \cdot T_{\text{směna}}} = \frac{30\,000}{22 \cdot 7,5} = 182 \text{ Kč}, \quad (4.8)$$

kde M_d ... hrubá hodinová mzda dělníka [Kč],
 M_m ... hrubá měsíční mzda dělníka [Kč],
 n_{pd} ... počet pracovních dní v měsíci (průměrně 22 dní) [dní].

Náklady na mzdu dělníka potřebného pro výrobu dané série jsou:

$$N_m = M_d \cdot T_{\text{výr}} = 182 \cdot 166,7 = 30\,339,4 \text{ Kč} \quad (4.9)$$

kde N_m ... náklady na mzdu dělníka [Kč].

- Energie – vyplývají ze spotřeby stroje a aktuálních cen energií. Příkon hlavního motoru je 38 kW, což znamená, že za 1 hodinu spotřebuje 38 kWh. Průměrná cena jedné kWh je 4,61 Kč. Stroj bude sérii 200 000 ks vyrábět 166,7 hodin.

$$N_e = T_{\text{výr}} \cdot 38 \cdot 4,61 = 166,7 \cdot 38 \cdot 4,61 = 29\,202,5 \text{ Kč} \quad (4.10)$$

Celkové přímé náklady jsou sumou těchto dílčích aspektů.

$$PN_c = N_h + N_m + N_e = 204\,888 + 30\,339,4 + 29\,202,5 = 264\,430 \text{ Kč} \quad (4.11)$$

Přímé náklady vynaložené na výrobu jednoho kusu:

$$PN_{1\text{ks}} = \frac{PN_c}{N} = \frac{264\,430}{200\,000} = 1,3 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

- Nástroj – pro účely diplomové práce je téměř nemožné vyčísřit tyto náklady bez nutnosti podání poptávky na výrobu nástrojů. Dle průzkumu nástrojů podobného typu je cena daného nástroje odhadnuta na přibližně $N_n = 500\,000 \text{ Kč}$.
- Režie – jedná se o nepřímé (režijní) náklady potřebné pro funkci výrobního podniku. Lze je rozdělit na variabilní a fixní, dále pak na výrobní a nevýrobní. Variabilními výrobními nepřímými náklady jsou výdaje na další energie (např. voda, světlo, teplo, chlazení...) Fixní režie jsou platy pracovníků administrativy, vedení, údržby atd., případně pronájmy prostor a výrobního zařízení, ty jsou voleny $FN = 1\,000\,000 \text{ Kč}$ (včetně pořizovací ceny nástroje). Jsou to takové náklady, které jsou neměnné vzhledem k sériovosti výroby.

Nepřímé náklady „NN“ jsou dány jako procentuální násobek přímých nákladů potřebných na výrobu dané série. Výrobní režie činí 350 % této částky a správní režie pak 100 %.

$$NN = \frac{PN_c \cdot (350 + 100)}{100} = \frac{264\,430 \cdot 450}{100} = 1\,189\,935 \text{ Kč} \quad (4.13)$$

Variabilní náklady jsou takové náklady, které s rostoucí sérií rovněž rostou.

$$VN = PN_c + NN = 264\,430 + 1\,189\,935 = 1\,454\,365 \text{ Kč} \quad (4.14)$$

I variabilní náklady mohou být přepočteny na jeden kus.

$$VN_{1ks} = \frac{VN}{N} = \frac{1\,454\,365}{200\,000} = 7,3 \text{ Kč} \quad (4.15)$$

Celkové nepřímé náklady jsou dány součtem variabilních nákladů s náklady fixními.

$$NN_c = VN + FN = 1\,454\,365 + 1\,000\,000 = 2\,454\,365 \text{ Kč} \quad (4.16)$$

V přepočtu na jeden kus:

$$NN_{c1ks} = \frac{NN_c}{N} = \frac{2\,454\,365}{200\,000} = 12,3 \text{ Kč} \quad (4.17)$$

Prioritou výroby je její ziskovost, proto je nutné stanovit její rentabilitu. Je udávána v procentech a může dosahovat až 100 % za rok, což znamená 100% ziskovost výroby. Tento zisk je vyčíslen z celkových nepřímých nákladů. Při stoprocentní rentabilitě je pak zisk ‚Z‘ roven ‚NN_c‘. Prodejní cena zásuvky by činila:

$$C_{1ks} = \frac{FN + VN + Z}{N} = \frac{1\,000\,000 + 1\,454\,365 + 2\,454\,365}{200\,000} = 24,5 \text{ Kč} \quad (4.18)$$

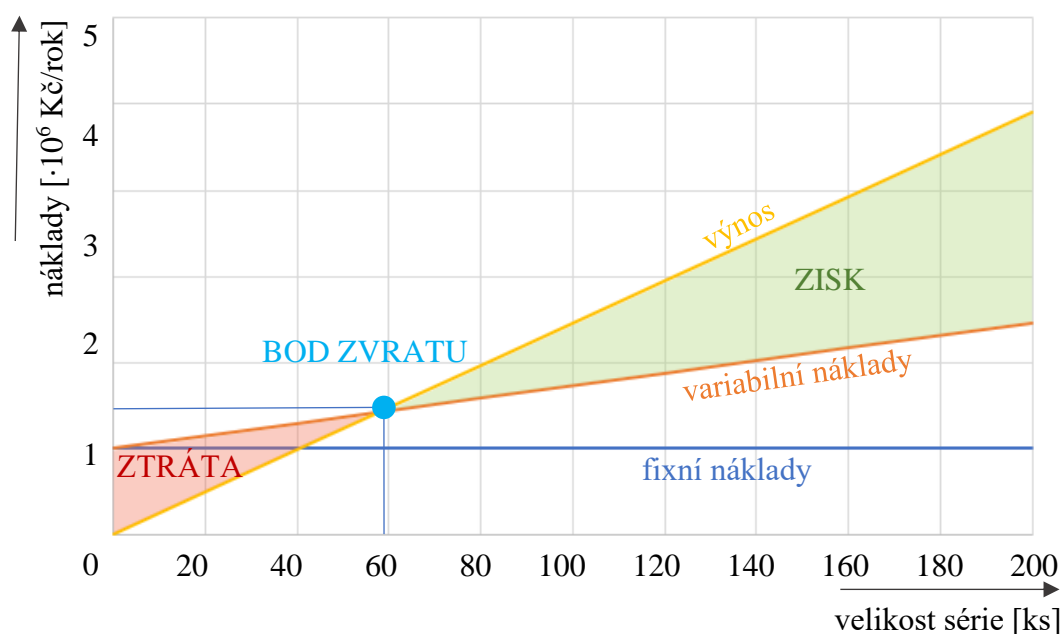
Při rentabilitě 100 % by cena zásuvky vyšplhala na 24,5 Kč, což ve srovnání s konkurencí je očekávaná cena. Konkurenční ceny se pohybují v intervalu přibližně 20 až 35 Kč. Díky tomuto poznatku lze předpokládat správnost odhadovaných cen fixních nákladů, respektive ceny výrobního nástroje.

Rovnovážným bodem neboli bodem zvratu, je nazýváno takové místo, kdy náklady se rovnají zisku.

$$RB = \frac{FN}{C_{1ks} - VN_{1ks}} = \frac{1\,000\,000}{24,5 - 7,3} = 58\,140 \text{ kusů} \quad (4.19)$$

Ten nastane, je-li vyrobeno 58 140 kusů z celkového počtu 200 000 kusů. Proto lze říci, že výroba třmenu zásuvky v dané sérii je zisková. Skladba nákladů na technologii tváření je znázorněna na obrázku 77.

GRAF ZÁVISLOSTI NÁKLADŮ NA POČTU VYROBENÝCH KUSŮ



Obr. 77 Grafické znázornění bodu zvratu

5 ZÁVĚRY

Vyráběnou součástí je třmen zásuvky o rozměrech 72 x 72 x 14,3 mm. Je vyráběna z hlubokotažné oceli DX51D+Z200-M-A-C (1.0917). Síla plechu činí 0,8 mm. Ročně bude vyráběna série čítající 200 000 ks. Výrobní metodou bylo zvoleno tváření ve sdruženém postupovém nástroji, který vykonává stříhání, ohýbání a lemování. Součást byla pro tuto metodu zkontrolována z technologického hlediska. Všechny dílčí kontroly byly vyhovující. Následovalo zhotovení rozvinu, kdy byl narovnan jak ohyb, tak lem třmenu. Polotovarem pro výrobu byl zvolen svitek. Pro takto nachystaný rozvin byly namyšleny varianty umístění na pás svitku. Vítěznou variantou byla možnost s můstkem mezi součástmi, jejíž využití v případě série je 94,3 %. Dále byly navrženy tři varianty postupu výroby, kdy třetí z nich jako jediná představovala pětikrokovou výrobu (zbylé dvě tvořilo shodně šest kroků). V prvních dvou a posledním pátém kroku je realizováno stříhání, ve třetím kroku je vytvářen ohyb a čtvrtý krok je věnován lemování. Pro stříhání bylo vytvořeno devět druhů střížníku v celkovém počtu dvaadvaceti kusů. Pro ně byly vypočteny jednotlivé střížné síly. Proběhla i kontrola vzpěrné stability a kontrola na otláčení. Pro střížníky bylo doporučeno rozšíření v místě, kde není zapotřebí funkčních rozměrů a použití vodící desky. Nebylo nutné použít kalenou desku proti otláčení, všechny střížníky dosahovaly nižších hodnot napětí, než je jeho maximální dovolená hodnota. Obdobně bylo postupováno i pro ohýbání a lemování. Mimo síly způsobující změnu tvaru byly vypočteny i síly přidržovací a kalibrační a také velikosti prací potřebných pro změnu tvaru. Výsledná síla má velikost 351 kN a její působíště bylo určeno početně i graficky na $x = 102,2$ mm od okraje prvního kroku (ypsilonová souřadnice leží na ose symetrie pracovní části nástroje). Součet prací je 175,1 J. Následně již mohl být zkonstruován nástroj, a to dle předpisů citovaných norem. Jedná se o ocelovou konstrukci s dvěma sloupky za pracovní plochou, v níž je umístěna pravoúhlá hlavice s upnutými nástroji (střížníky a ohybníkem) a přidržovačem pro ohýbání a lemování. Spodní část tvoří skříň nástroje se střížnicí, ohybnicí, skrytým mechanismem lisovníku a odvodními skluzy. Lisovník potřebuje pro svůj pohyb ovládaný spodní přidržovač, k čemuž bylo přihlíženo i při volbě vhodného stroje, který byl vybrán na základě tohoto požadavku, lisovací síly a práce a rozměrů pracovní plochy. Výrobním strojem byl zvolen servolis firmy AIDA DSF-N1-800A, který je velmi produktivní a vyhovuje požadavkům. Servomotorem řízený hydraulický spodní přidržovač lze dokoupit jako přídatné zařízení. Lis dokáže vyvinout sílu až 800 kN a vykonat práci rovnu 4 000 J. Výroba byla technicko-ekonomicky zhodnocena a zejména byla určena prodejní cena jednoho třmenu a bod zvratu výroby. Třmen by bylo možné prodávat za 24,5 Kč s tím, že je počítáno se 100% ziskovostí. Bod zvratu za stejného předpokladu nastává při 58 140 kusech z celkového počtu 200 000 kusů. Pro nástroj byla zpracována výkresová dokumentace.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [59]

1. KRÁL, Mirko, Jan ČERMÁK, Bohumír BEDNÁŘ a České vysoké učení technické v Praze. *Engineering technology I*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003 [cit. 2021-02-02]. ISBN 80-01-02775-9. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:c97ed010-4b8d-11e3-9c86-005056827e51>
2. Speciální díly a součásti. In: *BOLHOFF* [online]. Hostivice: Bolhoff, 2021 [cit. 2021-02-02]. Dostupné z: <https://www.boellhoff.com/cz-cs/vyrobky-a-sluzby/specialni-a-vykresove-dily/specialni-a-vykresove-dily.php>
3. KUNC, Josef. *Elektroinstalace krok za krokem*. Praha: Grada, 2010. s. 91 [cit. 2021-02-02]. ISBN 978-80-247-3249-7. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:36e22d10-4e75-11e4-b262-5ef3fc9ae867>
4. New socket-outlet with screwless termina. In: *Solislux.cz: the next level* [online]. Bulgarie: SOLISLUX GROUP, 2021 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: https://solislux.eu/site_files/2118f9ea4ef6e13a5e0be60bf96dd697.pdf
5. Vypínače a zásuvky. In: *Fibaro* [online]. Wysogotowo, Polsko: FIBAR GROUP S.A., 2021 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.fibaro.com/cz/products/smart-switches-and-outlets-product-range/>
6. Zásuvka se zemnicím kolíkem. In: *Elektro Valenta* [online]. Praha: Elektro Valenta, 2021 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.elektrovalenta.cz/Zasuvka-se-zemnicim-kolikem-21110-16A-250V-bezsroubova-d73.htm#detail-anchor-description>
7. Materiálové normy. *Ferona: online* [online]. Praha: Feron, 2017 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/materialove-normy/>
8. *Total materia* [online]. Švýcarsko, Zurich: Key to Metals, 2021 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=Home&LN=CZ>
9. LIDMILA, Zdeněk, Emil SVOBODA a Univerzita obrany. *Strojírenská technologie*. Brno: Univerzita obrany, 2006 [i.e. 2007]. s. 168. ISBN 978-80-7231-220-7. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:7d928350-8a2f-11e8-bb44-5ef3fc9ae867>
10. Laser-Cutting. *APEX DYNAMICS CZECH s.r.o.* [online]. Otrokovice: APEX DYNAMICS CZECH, 2021 [cit. 2021-2-5]. Dostupné z: <https://www.apexdynaczech.cz/produkty/l-rada/laser-cutting-technology-feature-image-964x580/>
11. MRŇA, Libor. *Speciální technologie svařování: HSV* [přednáška]. Brno, 2020. Přednášky.
12. Punching at a glance. *TRUMPF* [online]. Ditzingen: TRUMPF GmbH + Co. KG (Holding), 2021 [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/filestorage/TRUMPF_Master/Products/Services/01_brochures/TRUMPF-punching-at-a-glance-brochure-EN.pdf
13. Děrovací nástroje: multibend. *TRUMPF* [online]. Ditzingen: TRUMPF GmbH + Co. KG (Holding), 2021 [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/produkty/servis/servis-strojni-systemy-a-lasery/nastroje/derovaci-nastroje/derovaci-nastroje/multibend/

14. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 4., V Akademickém nakladatelství CERM 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. ISBN 978-80-214-3425-7.
15. ŘASA, Jaroslav, Jindřich KAFKA a Václav HANĚK. *Strojírenská technologie 4: návrhy nástrojů, přípravků a měřidel : zásady montáže*. Praha: Scientia, pedagogické nakladatelství, 2003. s. 317. ISBN 80-7183-284-7. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:c7239720-a04a-11e4-b7ae-001018b5eb5c>
16. Děrovací nástroj. In: *Swah* [online]. Dobřichovice - Lety: SWAH, 2021 [cit. 2021-02-04]. Dostupné z: <https://www.swah.cz/profilovaci-linky/derovaci-a-odstrihavaci-nastroje/>
17. DVOŘÁK, Milan a Vysoké učení technické v Brně. *Technologie II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. s. 95. ISBN 80-214-2683-7. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:b29eec50-9fb7-11e6-9328-005056825209>
18. ČERNOCH, Svatopluk. *Strojně technická příručka*. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1977. sv. 2. s. 2204. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:a92eec50-109e-11e5-b0b8-5ef3fc9ae867>
19. Ruční ohraňovací lis. In: *Emporo: vybavení pro firmy* [online]. Praha: Emporo, 2021 [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <https://www.emporo.cz/v/1356571/rucni-ohranovaci-lis>
20. LENFELD, Petr a Technická univerzita v Liberci. *Technologie II, Část 1: Tváření kovů*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009, s. 82. ISBN 978-80-7372-466-5. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:bcba1da0-ff4f-11e3-9806-005056825209>
21. Ohýbací lis. *Expondo* [online]. Berlin: expondo, 2021 [cit. 2021-2-5]. Dostupné z: https://www.expondo.cz/media/image/09/9a/e8/10061167-2_200x200.jpg
22. Kombinovaný postupový nástroj. In: *TOOL TECH CZ, s.r.o.* [online]. Jablunka: TOOL TECH CZ, 2021 [cit. 2021-02-06]. Dostupné z: <http://www.tooltechcz.com/cz/kategorie/lisovaci-nastroje.aspx>
23. BAREŠ, Karel. *Lisování*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1971. s. 242. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:69450ee0-0008-11e5-8ded-5ef3fc9ae867>
24. LIPKA, Ondřej. *Výroba držáku antény sdruženým nástrojem* [online]. Brno, 2015 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/40467>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.
25. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980. s. 20. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:ec4b76ae-4ffb-444d-f315-ac768cbc7b4b>
26. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : il. ISBN 80-214-2374-9.
27. ČSN 22 6001: *Názvoslovní technologie tváření kovů*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1968.
28. ČSN 22 6015: *Lisovací stroje. Stříhadla a střížné vřetě. Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1977.

29. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-00452-8.
30. LIDMILA, Zdeněk. *Ročníkový projekt – tváření, svařování: DR2* [laboratorní cvičení]. Brno, 2018. Laboratorní cvičení.
31. ILIESCU, Constantin a V VASILESCU. *Cold-pressing technology*. Amsterdam ; Oxford ; Tokyo: Elsevier, 1990, 556 s. : il. ISBN 973-29-0011-3.
32. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření: processes - machines - tools*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
33. PFROGNER, František a Vysoká škola strojní a elektrotechnická. *Konstrukce nástrojů pro tváření*. Plzeň: Vys. škola strojní a elektrotechn., 1984. s. 26. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:51a07d80-fd55-11e8-9984-005056825209>
34. 415-06-205. Směrnice pro stanovení šířky odpadu. Brno: Zbrojovka Brno, 1981
35. LIDMILA, Zdeněk. *Přípravky a nástroje: FPN* [přednáška]. Brno, 2019.
36. SUCHY, Ivana. *Handbook of die design: processes - machines - tools*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. ISBN 00-714-6271-6.
37. Upínání kuličkou. *Meusburger* [online]. Wolfurt, Rakousko: Meusburger, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.bvv.cz/msv/aktuality/meusburger-srovnani-ruznych-upevneni-strizniku/>
38. FOREJT, Milan. *Vybrané statě z teorie tváření: HVT* [přednáška]. Brno, 2021.
39. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: VUT, 1992. ISBN 80-214-0401-9. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:96c1b860-63d8-11e2-9d9f-005056827e52>
40. DVOŘÁK, Milan a Vysoké učení technické v Brně. *Technologie II*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:fc3098d0-8af6-11e6-88c5-005056827e52>
41. RUBÁŠ, Petr. *Výroba krycího plechu zámku*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116701>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný
42. DOLEŽAL, Václav. *Technologie výroby víka pro klimatizaci* [online]. Brno, 2011 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/15473>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Milan Dvořák.
43. RUDOLF, Bedřich. *Tvářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce : vysokoškolská učebnice*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1979. Dostupné také z: <https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:11487950-a8dc-11e2-b6da-005056827e52>
44. ŠANOVEC, Jan. *Jak dále s použitím servolisů. MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM Průmyslové spektrum, 2021, 2021-02-16 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/jak-dale-s-pouzitim-servolisu>
45. Servolisy AIDA. *AIDA ENGINEERING, LTD* [online]. Japonsko: Aida engineering, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: https://www.aida.co.jp/en/products/pdf/product11_catalog.pdf

46. Servolis. *BAUMULLER* [online]. Německo, Nurnberg: Baumüller Nürnberg, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.baumueller.com/cs/software-tools/strojni-moduly/servo-lis>
47. *FORMETAL: plechotvářecí stroje* [online]. Měšice: Formetal, 2021 [cit. 2021-05-11]. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/>
48. *Autodesk Inventor* [online]. Kalifornie USA: Autodesk, 2019 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://www.autodesk.cz/>
49. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Doplněné vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2016, 234 stran : ilustrace. ISBN 978-80-7204-838-0.
50. *Sodemann-pružiny* [online]. Hinnerup, Dánsko: Sodemann Industrifjedre A/S, 2020 [cit. 2021-5-18]. Dostupné z: <https://www.sodemann-pruziny.cz/>
51. *Konzultace s Evou Peterkovou, vedoucí diplomové práce. Brno 12. 5. 2021* [cit. 2021-05-12]
52. *Hanvit: servo and controls* [online]. Jižní Korea: Hanvit, 2021 [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <http://www.hanvit-ind.com/en/>
53. *AIDA Engineering, LTD* [online]. Japonsko: Aida engineering, 2021 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.aida.co.jp/en/index.html>
54. *VYKOV STEEL: Prodej hutního materiálu* [online]. Prachatice: VYKOV STEEL, 2021 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://www.vykov.cz/>
55. 55.Dělník plat. *Platy.cz* [online]. Praha: Profesia, 2021 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://www.platy.cz/platy/vyroba/delnik>
56. Praktické nástroje pro zaměstnance. *Iure: ... není nám to jedno* [online]. Praha: Iuridicum Remedium, o.s., 2012 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://sites.google.com/a/iure.org/prakticke-nastroje-pro-zamestnance/home/pracovni-doba-v-trismennem-pracovnim-rezimu-s-nerovnomerne-rozvrzenou-pracovni-dobou>
57. Režie. *FEBMAT* [online]. Jičín: Febmat, 2021 [cit. 2021-5-12]. Dostupné z: <https://www.febmat.com/clanek-neprime-rezijni-naklady/>
58. FOREJT, Milan. *Oborový projekt 2: Sylabus*. Brno, 2003. Dostupné také z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/h2p_oborovy_projekt_2_forejt.pdf
59. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2021-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
a	Délka ohýbaného ramene	[mm]
A	Výška vyráběné součásti	[mm]
Ae	Výrobní rozměr střižnice	[mm]
Aj	Jmenovitý rozměr vyráběné součásti	[mm]
Ak	Výrobní rozměr střižníku	[mm]
AL	Lemovací práce	[J]
Ao	Ohybová práce	[J]
As	Střižná práce	[J]
b	Délka strany obdélníku	[mm]
B	Šířka zaváděného pásu	[mm]
c	Součinitel závislý na požadované kvalitě střižné plochy	[-]
c _a	Součinitel pro vyjádření vlivu tření mezi ohybnicí a součástí	[-]
c _m	Cena za jeden kilogram oceli ve formě svitku	[-]
c _r	Součinitel pro výpočet R _{min}	[-]
c _t	Součinitel daný tloušťkou materiálu	[-]
c _v	Cena za kilogram vykupovaného odpadu	[-]
C	Součinitel ohybové síly do tvaru „V“	[-]
C _{1ks}	Prodejní cena 1 ks	[Kč]
d	Průměr otvoru	[mm]
d _L	Průměr děrovaného otvoru pro lem	[mm]
D _{1L}	Vnější průměr lemovaného otvoru	[mm]
D _L	Vnitřní průměr lemovaného otvoru	[mm]
D _n	Průměr návinnu na svitku	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
F	Síla pružiny lisovníku	[N]
F _c	Celková síla pro dílčí operace	[N]
F _k	Kalibrační síla	[N]
F _{krit}	Kritická síla	[N]
F _L	Lemovací síla	[N]
F _{Lc}	Celková lemovací síla	[N]
FN	Fixní náklady	[Kč]
F _o	Ohybová síla	[N]
F _{ou}	Ohybová síla pro ohyb do tvaru „U“	[N]
F _{ov}	Ohybová síla pro ohyb do tvaru „V“	[N]
F _s	Střižná síla	[N]
F _{si}	Dílčí střižné síly	[N]
F _{smax}	Maximální střižná síla	[N]
F _{st}	Stírací síla	[N]
F _v	Výsledná síla	[N]
h	Zdvih nástroje	[mm]
h _{el}	Elastické vniknutí nástroje	[mm]
h _{pl}	Plastické vniknutí nástroje	[mm]
h _s	Hloubka vniku střižné hrany	[mm]
H	Výška střižnice	[mm]
H _L	Výška lemu	[mm]
I	Kvadratický moment	[mm ²]
k	Koeficient bezpečnosti	[-]

K	Krok	[mm]
L	Obvod stříhaného otvoru	[mm]
l	Vzdálenost opor	[mm]
l _{krit}	Kritická délka střížníku	[mm]
l _o	Délka ohnuté části	[mm]
l _{red}	Redukovaná délka střížníku	[mm]
l _u	Vzdálenost opor	[mm]
L _{sv}	Délka návínů svitku	[mm]
m	Součinitel respektující průběh ohybové síly	[-]
M _d	Hrubá hodinová mzda dělníka	[Kč]
M _m	Hrubá měsíční mzda dělníka	[Kč]
m _{odpad}	Hmotnost odpadu	[kg]
m _s	Hmotnost součástky	[kg]
m _{sv}	Hmotnost svitku	[kg]
m _{svc}	Hmotnost všech svitků	[kg]
n	Koeficient zohledňující vliv vnějších podmínek a opotřebení	[-]
nF _i	Nositelka síly	[-]
n _{pd}	Počet pracovních dní	[dní]
n _{směn}	Počet směn	[směn]
n _z	Počet zdvihů stroje za minutu	[ks·min ⁻¹]
N	Počet kusů v sérii	[ks]
N _c	Kusy zhotovené z 24 svitků	[ks]
N _e	Energetické náklady	[Kč]
N _h	Hutní náklady	[Kč]
N _m	Náklady na mzdu	[Kč]
N _n	Náklady na nástroj	[Kč]
NN	Nepřímé náklady	[Kč]
NN _c	Celkové nepřímé náklady	[Kč]
NN _{c1ks}	Celkové nepřímé náklady na jeden kus	[Kč]
N _{odpad}	Suma za vykoupený odpad	[Kč]
N _{sv}	Počet svitků	[ks]
N _t	Počet tabulí	[ks]
N _{výs}	Počet výstřížků	[ks]
PN _{1ks}	Přímé náklady na 1 kus	[Kč]
PN _c	Celkové přímé náklady	[Kč]
r _m	Zaoblení ohybnice a lisovnice	[mm]
R	Tuhost pružiny	[N/mm]
RB	Rovnovážný bod	[ks]
Re	Mez kluzu	[MPa]
Rm	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
R _{min}	Minimální poloměr ohybu	[mm]
R _{max}	Maximální poloměr ohybu	[mm]
R _o	Poloměr ohybu	[mm]
s	Tloušťka plechu	[mm]
s ₁	Tloušťka plechu po zatížení	[mm]
s _n	Zdvih pružiny	[mm]
S _s	Střížná plocha	[mm ²]
S _t	Plocha tabule	[mm ²]
S _v	Plocha výstřížku	[mm ²]
Š	Šířka pásu plechu	[mm]

T	Těžiště	[x,y]
$T_{\text{směna}}$	Délka trvání jedné směny	[min]
$T_{\text{výr}}$	Výrobní čas celé série	[min]
v	Vůle	[mm]
V	Objem materiálu navinutého na svitku	[mm ³]
VN	Variabilní náklady	[Kč]
$VN_{1\text{ks}}$	Variabilní náklady na 1 kus	[Kč]
x	Xová souřadnice těžiště	[mm]
y	Yová souřadnice těžiště	[mm]
z	Střížná mezera	[mm]
Z	Zisk	[Kč]

α	Úhel ohybu	[°]
β	Úhel odpružení	[°]
γ	Úhel ohnutého úseku	[°]
δ	Poměr velikostí otvorů	[-]
δ_e	Výrobní tolerance střížnice	[mm]
δ_k	Výrobní tolerance střížníku	[mm]
Δ	Tolerance jmenovitého rozměru součásti	[mm]
Δ_s	Změna tloušťky materiálu v ohybu	[mm]
ϵ_{tmax}	Trvalá poměrná deformace	[-]
$\eta_{\text{série}}$	Využití materiálu při zhotovení celé série	[%]
η_{svitku}	Využití svitku	[%]
η_t	Využití tabule plechu	[%]
λ	Součinitel plnosti	[-]
μ	Koeficient pro výpočet redukované délky střížníku	[-]
ρ	Poloměr neutrální plochy	[mm]
σ_{dov}	Dovolené napětí	[MPa]
σ_k	Mez kluzu	[MPa]
σ_{otl}	Napětí na otláčení	[MPa]
τ_s	Deformační odpor ve stříhu	[MPa]

Zkratky:

CNC	Computer numerical control
DÚ	Dolní úvrat'
HÚ	Horní úvrat'

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Součástky vyrobené objemovým a plošným tvářením [2].....	9
Obr. 2 Schéma elektrické zásuvky	10
Obr. 3 Symetrický třmen [4]	10
Obr. 4 Třmen se zámky [5]	10
Obr. 5 Plastový třmen [6].....	10
Obr. 6 Vyráběný třmen.....	11
Obr. 7 Řezání laserem [11]	11
Obr. 8 Užití vysekávacího centra [12]	12
Obr. 9 Střížný nástroj [16].....	12
Obr. 10 Ruční ohraňovací lis [19].....	13
Obr. 11 Ohýbací lis [21].....	13
Obr. 12 Postupový sdružený nástroj pro stříhání a ohýbání [22].....	13
Obr. 13 Kombinovaný postupový nástroj [24].....	14
Obr. 14 Vzhled střížné plochy [26].....	15
Obr. 15 Průběh střížné síly [26]	15
Obr. 16 Protlačovací a stírací síla [24]	16
Obr. 17 Analytické řešení [31]	17
Obr. 18 Grafické řešení [31]	17
Obr. 19 Technologičnost konstrukce výstřížků [33].....	18
Obr. 20 Stanovení šířky odpadu [34]	19
Obr. 21 Děrování [28]	20
Obr. 22 Konstrukce střížníků [36].....	20
Obr. 23 Upínání kuličkou [37]	21
Obr. 24 Vystřihování [28]	21
Obr. 25 Celistvé střížnice [35]	22
Obr. 26 Vložkovaná střížnice [35]	22
Obr. 27 Složená střížnice [35].....	22
Obr. 28 Průběh ohybového napětí a hlavní parametry ohýbání [40]	23
Obr. 29 Ohyby a jejich průběhy sil [40].....	24
Obr. 30 Odpružení při ohybu [26].....	26
Obr. 31 Úpravy nástrojů [35]	27
Obr. 32 Vliv směru vláken [35]	27
Obr. 33 Schéma ohybu [26]	27
Obr. 34 Technologické úpravy [35]	28
Obr. 35 Konstrukce ohybníků [35]	28
Obr. 36 Klínové mechanismy [35].....	28
Obr. 37 Konstrukce ohybnic [35].....	29
Obr. 38 Lemování otvoru [39]	29
Obr. 39 Lisovník [39].....	30
Obr. 40 Princip lisu [43].....	31
Obr. 41 Schéma a pracovní diagram klikového lisu [43].....	31
Obr. 42 Schéma hydraulického lisu [43].....	32
Obr. 43 Horní část stroje s elektromotorem [45]	32
Obr. 44 Srovnání mechanického lisu a servolisu [46]	32
Obr. 45 Model třmenu	33
Obr. 46 Technologičnost otvorů.....	33
Obr. 47 Technologičnost ohybu	33
Obr. 48 Parametry lemu	34

Obr. 49 Rozvin třmenu.....	34
Obr. 50 Linka na svitky Coiltech [47].....	35
Obr. 51 Rozložení součásti varianta A.....	35
Obr. 52 Rozložení součásti varianta B.....	36
Obr. 53 Rozložení součásti varianta C.....	36
Obr. 54 Rozložení součásti varianta D.....	36
Obr. 55 Rozložení součásti varianta E.....	37
Obr. 56 Rozměry svitku.....	37
Obr. 57 Plocha výstřižku [48].....	38
Obr. 58 Postup výroby – varianta A.....	40
Obr. 59 Postup výroby – varianta B.....	41
Obr. 60 Postup výroby – varianta C.....	41
Obr. 61 Plocha střížníků.....	42
Obr. 62 Diagram součinitele plnosti [26].....	43
Obr. 63 Střížník 3 a 9.....	44
Obr. 64 Polovina ohybu.....	46
Obr. 65 Graf přetvoření [8].....	47
Obr. 66 Rozměry lemu.....	48
Obr. 67 Poloha dílčích těžišť a výsledného těžiště.....	49
Obr. 68 Určení těžiště grafickou metodou.....	49
Obr. 69 Skříň nástroje.....	50
Obr. 70 Pohled na skluz pod střížníky.....	50
Obr. 71 Řez nástrojem a lisovacím mechanismem.....	51
Obr. 72 Hlavice s nástroji.....	51
Obr. 73 Sdružený postupový nástroj pro výrobu třmenu.....	52
Obr. 74 Pružina přidržovače [50].....	53
Obr. 75 Hydraulická poduška [52].....	53
Obr. 76 Servolis AIDA [53].....	54
Obr. 77 Grafické znázornění bodu zvratu.....	57

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení a mechanické vlastnosti [7], [8].....	11
Tab. 2 Limitní hodnoty u výstřížků [30]	18
Tab. 3 Závislost přesnosti vystříhovaného výrobku na přesnosti nástroje [23]	18
Tab. 4 Limitní odchylky výrobků [31]	18
Tab. 5 Stanovení šířky odpadu [34]	19
Tab. 6 Závislost součinitele „x“ na poměrném rádiu ohybu „ R_o/s “ [40]	24
Tab. 7 Vybrané hodnoty pro určení koeficientu „c“ [39]	26
Tab. 8 Součinitel „k“ pro výpočet úhlu odpružení [39]	26
Tab. 9 Materiály pro pracovní části nástrojů [35]	30
Tab. 10 Srovnání mechanického a hydraulického lisu [43]	32
Tab. 11 Hodnocení variant část a).....	38
Tab. 11 Hodnocení variant část b)	39
Tab. 12 Základní údaje o střížnicích	42
Tab. 13 Kontrola střížníků na otláčení	45
Tab. 14 Maximální rozměry střížníků s tolerancemi	45
Tab. 15 Maximální rozměry střížnic s tolerancemi.....	46
Tab. 16 Parametry pro volbu lisu	53
Tab. 17 Technické parametry lisu [52]	54

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Střížná vůle [15]
Příloha 2 Tolerance vystříhovaných součástí [25]
Příloha 3 Graf závislosti koeficientu C na vzdálenosti opor [39]

SEZNAM VÝKRESŮ

Třmen	00_DP_183383
Postupový nástroj (list 1/3)	01_01_DP_183383
Postupový nástroj – horní (list 2/3)	01_01_DP_183383
Postupový nástroj – dolní (list 3/3)	01_01_DP_183383
Střížník 1	02_01_DP_183383
Střížník 2	02_02_DP_183383
Střížník 3	02_03_DP_183383
Střížník 4	02_04_DP_183383
Střížník 5	02_05_DP_183383
Střížník 6	02_06_DP_183383
Střížník 7	02_07_DP_183383
Střížník 8	02_08_DP_183383
Střížník 9	02_09_DP_183383
Střížnice	02_10_DP_183383
Ohybník	03_01_DP_183383
Ohybnice	03_02_DP_183383
Lisovník	04_01_DP_183383

Tab. 7.2. Střížné vůle v mezi střížnicí a střížníkem (v_{\min} , resp. v_{\max} , jsou nejmenší, resp. největší, dosažované hodnoty) Rozměry v mm

Tloušťka materiálu	Měkká ocel 10 001, měkká mosaz a mosazi		Středně tvrdá ocel 11 340 až 11 420 a tvrdá mosaz		Tvrdá ocel 11 500 až 12 050 a tvrdý bronz		Hliníkové slitiny	
	v_{\min}	v_{\max}	v_{\min}	v_{\max}	v_{\min}	v_{\max}	v_{\min}	v_{\max}
0,5	0,025	0,042	0,030	0,054	0,035	0,060	0,025	0,050
1,0	0,050	0,084	0,060	0,108	0,070	0,120	0,050	0,100
1,5	0,075	0,126	0,090	0,162	0,100	0,180	0,075	0,150
2,0	0,100	0,168	0,120	0,216	0,140	0,240	0,100	0,200
2,5	0,125	0,210	0,150	0,270	0,180	0,300	0,125	0,250
3,0	0,150	0,252	0,180	0,327	0,210	0,360	0,150	0,300
3,5	0,175	0,295	0,210	0,378	0,250	0,420	0,175	0,350
4,0	0,200	0,335	0,240	0,432	0,280	0,480	0,200	0,400
4,5	0,225	0,395	0,270	0,509	0,315	0,565	0,225	0,450
5	0,250	0,455	0,300	0,585	0,350	0,650	0,250	0,500
6	0,300	0,560	0,360	0,720	0,420	0,800	0,300	0,600
7	0,350	0,700	0,420	0,900	0,490	1,000	0,350	0,700
8	0,400	0,910	0,480	1,170	0,560	1,300	0,400	0,800
9	0,450	1,050	0,540	1,350	0,630	1,500	0,450	0,900
10	0,500	1,250	0,600	1,620	0,700	1,800	0,500	1,000
11	0,550	1,470	0,660	1,880	0,770	2,100	0,550	1,100
12	0,600	1,680	0,720	2,160	0,840	2,400	0,620	1,250
13	0,650	1,890	0,780	2,430	0,910	2,700	0,690	1,400
14	0,700	2,170	0,840	2,790	0,980	3,100	0,760	1,550
15	0,750	2,380	0,900	3,060	1,050	3,400	0,840	1,700
16	0,800	2,660	0,960	3,420	1,120	3,800	0,910	1,800
17	0,850	2,940	1,020	3,780	1,190	4,200	0,980	2,000
18	0,900	3,150	1,080	4,050	1,260	4,500	1,080	2,150
19	0,950	3,360	1,140	4,320	1,330	4,800	1,180	2,300
20	1,000	3,640	1,200	4,680	1,400	5,200	1,280	2,450
21	1,050	3,920	1,260	5,040	1,470	5,600	1,380	2,650
22	1,100	4,200	1,320	5,400	1,540	6,000	1,480	2,850
23	1,150	4,410	1,380	5,670	1,610	6,300	1,580	3,050
24	1,200	4,620	1,440	5,940	1,680	6,600	1,680	3,250
25	1,250	4,900	1,500	6,300	1,750	7,000	1,780	3,450

Udané hodnoty jsou počáteční, během výrobního pochodu se vlivem otěru a broušení zvyšují.

Tab. 9. Tolerance vystřihovaných součástí

Stupeň přesnosti	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16	
Základní tolerance																	
Rozsah průměrá (mm)	tolerance (µm)																
nad																	
do																	
1	3	1,5	2	3	4	5	7	9	14	25	40	60	90	140	250	400	600
3	6	1,5	2	3	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750
6	10	1,5	2	3	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900
10	18	1,5	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1 100
18	30	1,5	2	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1 300
30	50	2	3	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1 000	1 600
50	80	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1 200	1 900
80	120	3	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1 400	2 200
120	180	4	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1 000	1 600	2 500
180	250	5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1 150	1 850	2 900
250	315	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1 300	2 100	3 200
315	400	7	9	-13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1 400	2 300	3 600
400	500	8	10	-15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1 550	2 500	4 000

