VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH VÝROBY NAPÍNÁKU ŘETĚZU

MANUFACTURING OF THE TURNBUCKLE OF CHAIN

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE — **Bc. Pavel Ondráček**

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — **Ing. Eva Peterková, Ph.D.**

SUPERVISOR

BRNO 2022

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	**Bc. Pavel Ondráček**
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	**Ing. Eva Peterková, Ph.D.**
Akademický rok:	2021/22

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

Návrh výroby napínáku řetězu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude obsahovat návrh výroby napínáku řetězu motocyklu. Jedná se o prostorovou součást z plechu opatřenou tvarově jednoduchými otvory a ohnutou do U tvaru. Pro zadanou součást bude navržen vhodný postup výroby a tvářecí nástroj.

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 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 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na návrh technologie výroby napínáku řetězu. Je to prostorová součást vyrobena z ocelového plechu tloušťky 1,5 mm s povrchovou úpravou galvanickým zinkováním. Jako nejvhodnější materiál byla zvolena ocel DC01. Z možných výrobních technologií byla pro sérii 20 000 ks jako nejefektivnější zvolena výroba ve sdruženém postupovém nástroji. V navrženém nástroji složitější konstrukce s pružinami bude výroba probíhat ve čtyřech krocích, a to na excentrickém lisu LEN 63 s příslušenstvím pro podávání a odvíjení pásu plechu ze svitku. Výsledná cena napínáku řetězu včetně šroubu a dvou matic je 26 Kč.

Klíčová slova

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

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on the design of the production technology of a chain tensioner. It is a spatial component made of 1.5 mm thick steel sheet with galvanized surface treatment. DC01 steel was selected as the most suitable material. When considering the production technologies, the production in a combined process tool was selected as the most efficient one for the series of 20,000 pieces. Regarding the tool of more complex design including springs, the production will be done in four steps on the LEN 63 eccentric press with accessories used for feeding and unwinding the metal sheet belt from the coil. The final price of the chain tensioner including the bolt and two nuts is 26 CZK.

Key words

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

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ONDRÁČEK, Pavel. *Návrh výroby napínáku řetězu* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-02-08]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/137124. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.

PROHLÁŠENÍ

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

V Třebíči dne 17. 5. 2022

místo, datum

Pavel Ondráček

jméno, příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Evě Peterkové, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat rodině za jejich podporu po celou dobu mého studia.

OBSAH

ÚVOD 9
1 ROZBOR SOUČÁSTI 10
1.1 Možné technologie výroby 11
2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ 13
2.1 Stříhání 13
2.1.1 Střižná vůle a kvalita střižné plochy 16
2.1.2 Střižná síla a práce 17
2.1.3 Těžiště sil 19
2.1.4 Technologičnost stříhání 20
2.1.5 Nástřihové plány 22
2.1.6 Střižné nástroje 24
2.2 Ohýbání 31
2.2.1 Neutrální plocha (osa) a poloměry ohybu 32
2.2.2 Délka polotovaru, odpružení po ohybu a vůle mezi ohybníkem a ohybnicí 33
2.2.3 Ohybová síla a práce 35
2.2.4 Technologičnost ohýbání 37
2.2.5 Ohýbací nástroje 38
2.3 Stroje 40
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY 43
3.1 Rozvinutý tvar součásti 44
3.2 Rozmístění výstřižků 45
3.3 Výchozí polotovar 48
3.4 Postup výroby 49
3.5 Technologické výpočty – stříhání 52
3.6 Technologické výpočty – ohýbání 55
3.7 Konstrukční řešení nástroje 56
3.7.1 Funkce nástroje 59
3.8 Pružiny 62
3.9 Těžiště sil 63
3.10 Volba stroje 64
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ 67
ZÁVĚR 72
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 73
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 79
SEZNAM PŘÍLOH 84

ÚVOD

Ve vyspělých zemích představuje strojírenství nejvýznamnější odvětví ekonomiky z hlediska tvorby přidané hodnoty. Dělí se na těžké, střední, lehké a přesné. Pro svůj neustálý rychlý rozvoj využívá nejnovější poznatky vědy a techniky, což klade i vysoké nároky na znalosti z různých vědních oborů. Se zaváděním moderních technologií je ruční práce stále více nahrazována efektivnější prací automatů a robotů. Základními používanými technologiemi je slévárenství, svařování, pájení, obrábění, tváření, včetně technologií tepelného zpracování, povrchových úprav a montáže. Široká škála výrobních postupů a procesů slouží zejména pro výrobu nebo zpracování kovu či plastu. Nedílnou součástí je i návrh strojů a zařízení včetně jejich výroby. [1; 2; 3; 4]

Při tváření, na rozdíl od třískového obrábění, materiál mění svůj tvar beztřískově za pomoci působení vnějších sil. Díky tvorbě minimálního odpadu a menší energetické náročnosti patří mezi velice produktivní a hospodárné metody. Výhodou je také průběh vláken materiálu bez přerušení, přispívající k větší pevnosti a spolehlivosti strojních součástí. Při tváření objemovém dochází k přemísťování materiálu za tepla nebo za studena v celém jeho objemu se značnou změnou tvaru a plochy původního polotovaru. U tváření plošného je tvar polotovaru měněn bez výrazné změny jeho průřezu, a to převážně za studena. K získání požadovaného tvaru dílce je žádoucí vyvolat uvnitř polotovaru během procesu tváření napětí větší než napětí na mezi kluzu daného materiálu a způsobit tak trvalé plastické deformace polotovaru. Tato vzniklá napětí však nesmí překročit mezní hodnotu odpovídající mezi pevnosti materiálu. Výjimkou je operace stříhání, kdy při silovém působení dvou protiběžných břitů dochází k překročení meze pevnosti materiálu a k následnému oddělení dílce od polotovaru. [1; 2; 5]

Plošným tvářením, jako je například stříhání, ohýbání, tažení a jiné, se zpracovávají nejčastěji polotovary ve formě plechu. Vzniká tak široká škála výrobků (obr. 1) od velkých formátů profilovaného plechu, až po drobné součástky uplatňující se v mnoha oborech lidské činnosti. I přes nástup aditivních technologií a plastických materiálů je možné se s nimi stále ve velké míře setkávat v každodenním životě, a to i díky inovacím a zvyšováním efektivnosti jejich výroby. [1; 4; 5]

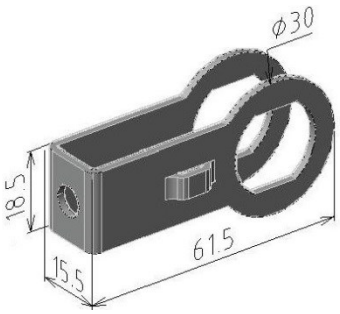
Obr. 1 Ukázka výrobků plošného tváření [6; 7; 8; 9; 10].

1 ROZBOR SOUČÁSTI

Součást, pro kterou je navrhována technologie a postup výroby, je napínák řetězu užívaný na malých motocyklech Jawa 05, 20, 21 a 23. Jedná se o repliku původního dílu určenou k opravě nebo k historické renovaci. Nová součástka by se měla svým tvarem, rozměry, použitým materiálem a povrchovou úpravou co nejvíce přibližovat původnímu vzoru. Slouží k nastavení geometrie zadního kola a napnutí článkového řetězu na správnou vůli (obr. 2). Motocykl má napínáky dva – pravý a levý, vzájemně se liší tvarem průchozího otvoru. [11]

Obr. 2 Napínák na motocyklu.

Obr. 3 Napínák řetězu.



Obr. 4 Model napínáku.

Řešenou součástí je pravý napínák (obr. 3), jehož otvor má tvar uzpůsobený pro průchod čepu rozety. Vyroben je z plechu o tloušťce 1,5 mm, ohnutého do tvaru U se shodnou délkou ramen, která jsou na koncích rozšířena do kruhového tvaru podložek o vnějším ∅ 30 mm. Vnitřní otvor je ∅ 20,5 mm s horní a dolní úsečí. Na jednom z ramen je prolis o šířce 5 mm, výšce 2,5 mm a délce 13 mm, určený k aretaci domečku tachometru. Středem krátké čelní stěny vede otvor ∅ 7 mm pro napínací šroub s šestihrannou hlavou M6 s dvěma maticemi. Povrchovou ochranu zajišťuje galvanické pozinkování. Výrobní série 20 000 ks vychází z počtu vyrobených motocyklů (cca 1 mil. ks). Pro jejich velké rozšíření je poptávka po náhradních dílech stále vysoká. Protože šroub i matice jsou normalizovaný spojovací materiál, návrh výroby se bude dále zabývat pouze plechem napínáku (obr. 4). [11; 12]

Na materiál pro výrobu součásti nejsou kladeny zvláštní požadavky, protože její namáhání je pouze mírné. Z hlediska výrobních nákladů by se mělo jednat o materiál cenově výhodný, z hlediska technologie výroby dostatečně tvárný pro zpracování zvolenou technologií plošného tváření, především tak pro ohýbání, stříhání, nebo jiný druh plošného dělení polotovaru. Dále musí umožňovat povrchovou úpravu zinkováním. Materiál také musí být běžně dostupný na trhu v požadované tloušťce a ve formátu tabulí, nebo svitku. [13; 14]

Vyhodnocením dostupných materiálů splňujících zadaná kritéria byl pro výrobu řešené součástky zvolen ekvivalent oceli 11 321, ocel DC01 (1.0330) tloušťky 1,5 mm. Je to jakostní nelegovaná ocel pro ploché výrobky válcované za studena. Základní mechanické vlastnosti a chemické složení této oceli obsahuje tab. 1. [15; 16; 17; 18; 19; 20]

Tab. 1 Základní mechanické a chemické vlastnosti oceli DC01 [17; 18; 21].

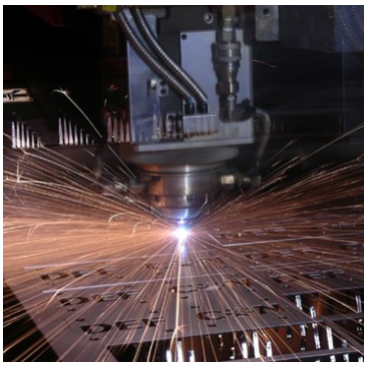
Materiál	Ocel DC01 (1.0330)			
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tažnost A_{80} [%]	Mez kluzu R_e [MPa]	Tvrdost dle Vickerse (HV) stav +A (žíhaný)
	270–410	min. 28	140–280	max. 105
Chemické složení	Uhlík – C [%]	Síra – S [%]	Fosfor – P [%]	Mangan Mn [%]
	max. 0,12	max. 0,045	max. 0,045	max. 0,6

Díky zaručené minimální tažnosti a dobré tvárnosti (získávané žíháním) je vhodná pro tváření za studena a k středně hlubokému tažení. Dále se hodí k povrchové úpravě lakováním, pokovováním ponorem, žárovému nebo elektrolytickému pokovování, potisku a smaltování. Dle rozměrů je při použití obvyklých procesů zaručena svařitelnost. [16; 18; 19]

1.1 Možné technologie výroby

Prvním krokem při výrobě ohýbané součástky je zhotovení její kontury v rozvinutém tvaru, poté následuje tvarování ohybem. Při výběru vhodné technologie je nutné posuzovat nejen ekonomiku, ale i vhodnost technologie pro tvarové dělení plechu o tloušťce 1,5 mm, splnění požadavků na tvarovou a rozměrovou přesnost, pohledovou kvalitu hrany a na nutnost jejího dalšího opracování po dělení. Z technologií plošného tváření lze uvažovat:

- Řezání laserem a ohyb v nástroji – při této metodě laserový paprsek místně taví řezaný materiál, jeho vyfukováním vzniká úzká řezná spára. Metoda je vhodná pro tenké plechy (obr. 5), vyniká přesností a kvalitou řezných ploch. Výhodná u tvarově složitých součástí, nebo v kusové výrobě, kdy se výroba střižného nástroje nevyplatí. Nevýhodou je tepelně ovlivněná oblast řezu, vznik možných návarků a natavení, vysoké pořizovací a provozní náklady, včetně menší produktivity. Vyřezaný rozvinutý tvar je následně ohnut v samostatném ohybovém nástroji (obr. 8) nebo na ohraňovacím lisu. Polotovar vložený mezi pevnou a pohyblivou část ohýbadla je při jejich vzájemném přibližování tvarován do prostorového tvaru vznikající ohybovou silou. Při kombinaci obou metod jsou nevýhodou další manipulace mezi stroji. [5; 22; 23; 24; 25; 26; 27; 28; 29]
- Řezání vodním paprskem a ohyb v nástroji – vodní paprsek patří mezi metody přesného řezání. Na rozdíl od metod tepelného dělení zde nedochází k tavení řezaného materiálu, ale materiál je odbrušován vysokým tlakem tenkého hydroabrazivního paprsku vody (obr. 6). Lze řezat prakticky všechny materiály bez tepelného nebo mechanického namáhání. Nevýhodou jsou vysoké náklady na pořízení, údržbu a provoz zařízení, vysoká hlučnost nebo nutnost antikorozního ošetření výrobku po řezu. Také zde by ohyb musel být proveden v samostatném ohybovém nástroji. [26; 30; 31; 32; 33]
- Vysekávání a ohyb v nástroji – kontura nebo otvor vzniká postupným vysekáváním razníky s matricemi jednoduchých tvarů na vysekávacích automatech (obr. 7). Pohyb stolu s plechem a razící hlavy s možností rotace je řízen počítačem. Pro různé tvary součásti lze kombinovat vyměnitelné nástroje umístěné v zásobníku. Je to efektivní způsob pro zpracování plechu o tloušťkách 0,3 až 8 mm od velkých formátů po malé přístřihy. Výhodou jsou levné nástroje, snadná obsluha a vysoká přesnost výrobků. Pro vytvoření složitějších tvarů je ovšem potřeba více zdvihů, nástrojů a delší čas výroby. Stejně jako u předchozích metod je nutné výstřižek následně tvarovat ohybem v samostatném ohybovém nástroji s nevýhodou dalších manipulací. [34; 35]

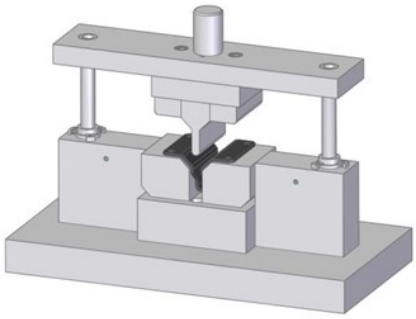


Obr. 5 Řezání laserem [24].

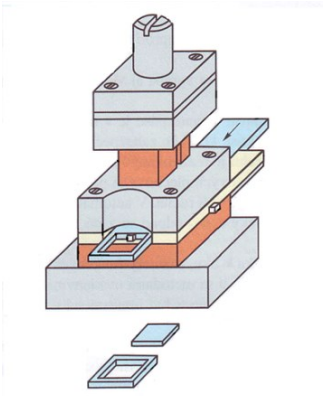
Obr. 6 Vodní parsek [31].

Obr. 7 Vysekávání [34].

- Stříhání a ohyb v nástroji – stříhání patří mezi metody plošného tváření kovů, kdy se dosahuje požadovaného tvaru bez výrazné změny průřezu nebo tloušťky výchozího materiálu. Je to nejrozšířenější způsob zpracování plechu. Stříháním se zhotovují polotovary určené k dalšímu zpracování jako pásy plechu, rondely pro tažení nebo výrobky různých tvarů – výstřižky. V postupovém střihadle (obr. 9) je výstřižek zhotovován postupně v několika krocích. Je to velmi produktivní metoda s levným provozem. Výhodou jsou jednoduché a levné nástroje se snadnou obsluhou, lze použít univerzální stroje využívané i pro jiné technologie plošného a objemového tváření. Při použití polotovaru ve formě svitku lze výrobu automatizovat. Výstřižek nemá tepelně ovlivněnou oblast. Naopak nevýhodou je možnost deformace výstřižku, vznik ostřiny, zaoblení vnější hrany a zkosení střižných ploch. U požadavku na vysokou rozměrovou přesnost může být nevýhodou dosahovaná přesnost a drsnost povrchu běžného stříhání. Do konečného prostorového tvaru by byl také v tomto případě takto vytvořený rozvinutý tvar ohýbán v samostatném ohýbacím nástroji. [5; 27; 29; 36; 37]

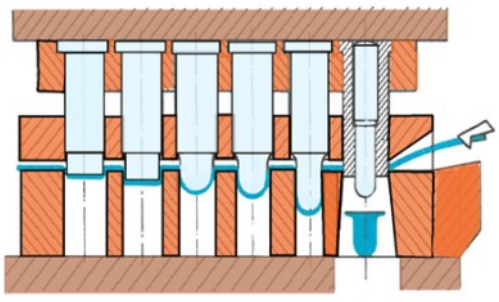


Obr. 8 Ohýbací nástroj [28].



Obr. 9 Postupové stříhání [36].

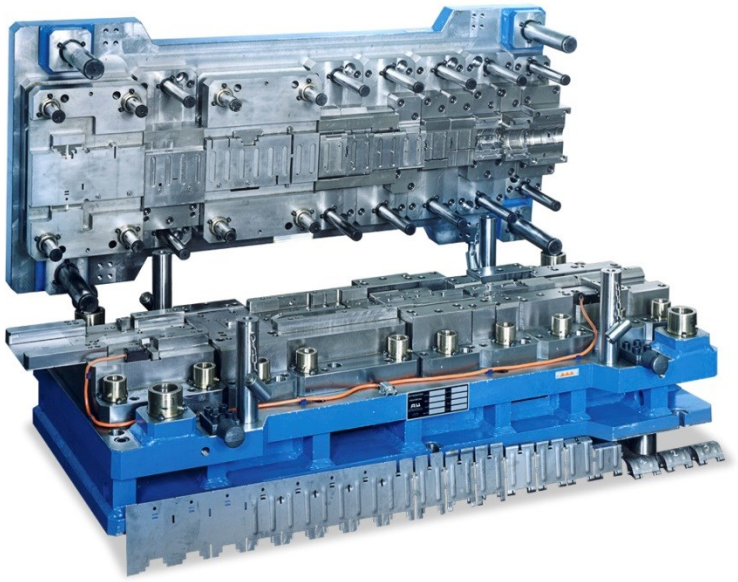
- Výsledné hodnocení - v rámci popisu výrobních variant byly posouzeny jejich výhody a nevýhody. Metody přesného dělení jsou pro součást bez zvláštních požadavků na přesnost nákladné a málo produktivní. Výrobně efektivní a ekonomicky výhodná varianta stříhání a ohýbání v samostatných nástrojích je stále zatížena nevýhodou nutných manipulací mezi stroji se zakládáním do nástroje. Výhodné je využití sdruženého nástroje (obr. 10) obsahující všechny potřebné pracovní úkony v jednom nástroji a s výrobou na jednom stroji. Pokud je to technologicky možné, je při dostatečně velké sérii tato metoda ekonomicky nejvýhodnější, a to i přes vyšší náklady na pořízení složitějšího nástroje. Pro výrobu řešené součásti byl i přes menší výrobní sérii zvolen sdružený postupový nástroj, který bude řešen v praktické části diplomové práce. [26; 29; 30; 36; 37; 41]



Obr. 10 Sdružený nástroj [29].

2 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ A OHÝBÁNÍ

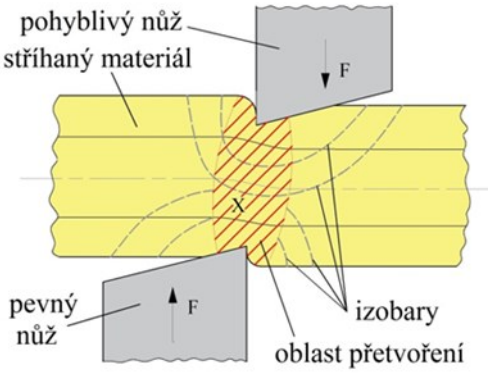
Vybraná technologie výroby sdruženým postupovým nástrojem zahrnuje nezbytné výrobní metody v jednom nástroji, zhotovující výrobek v postupných krocích. Pro výrobu napínáku řetězu je to stříhání a ohýbání, spojené s technologií pro zhotovení prolisu. V tomto tvářecím nástroji střižné nástroje vyvolávají takové napětí, které umožňuje oddělování materiálu v jednotlivých krocích. Postupně tak vzniká výchozí přístřih (rozvin), který je v určitém kroku posunut do ohýbací části nástroje, kde prostřednictvím ohýbacích nástrojů dochází ke konečnému či postupnému ohybu součásti do požadovaného tvaru. Do určitého kroku může být také vložena technologie tváření prolisu, kde se uplatní kombinace stříhání s mělkým vytažením nebo ražením. Všeobecně tyto nástroje mohou sdružovat různé technologie vhodné pro výchozí polotovar. V praxi se při tváření plošném nejčastěji kombinuje stříhání, ohýbání, tažení, ražení, viz obr. 11. Tyto nástroje se ve velké míře uplatňují ve velkosériové výrobě, dosahují kratších výrobních časů, protože odpadají manipulace při přenášení polotovaru mezi samostatnými nástroji. Není zde nutné řešit zakládání do nástroje druhé a následujících operací, snižují se náklady na provoz více strojů a na jejich obsluhu, je umožněna automatizace. Konstrukčně jsou navrhovány tak, aby umožňovaly výměnu opotřebovaných dílů nebo určité části, například při různých rozměrových variantách jednoho druhu výrobku. Kombinace více výrobních technologií je ovšem umožněna za cenu konstrukčně složitějšího nástroje, ve kterém je nutné přesnější sladění činných částí a ostatních komponent. [1; 5; 29]



Obr. 11 Sdružený postupový nástroj [38].

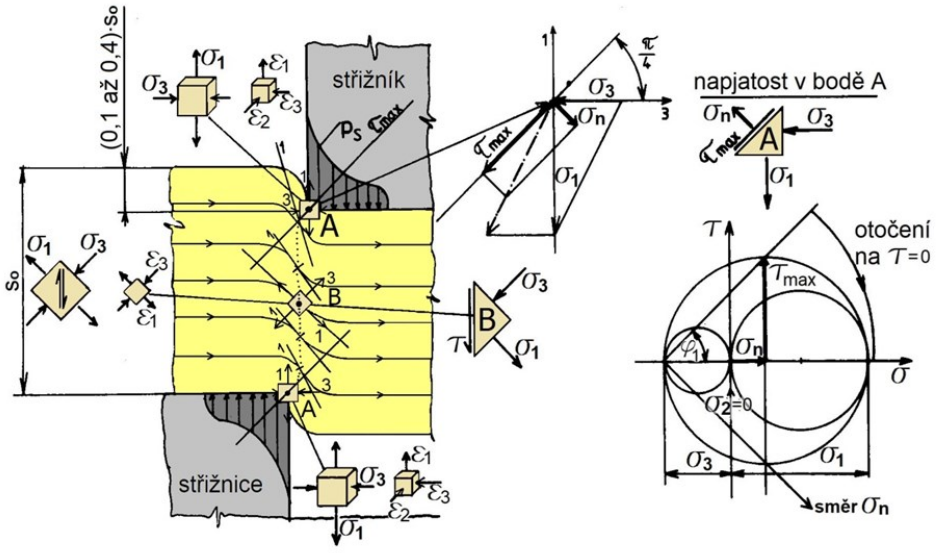
2.1 Stříhání

Stříhání je jediná metoda plošného tváření, při které dochází k cílenému porušení materiálu. Je zároveň jednou z nejrozšířenějších metod zpracování plechů spočívající v oddělování materiálu podél křivky střihu, danou tvarem dvou protilehlých břitů nožů zatlačovaných do materiálů dvojicí sil. Tímto relativním pohybem nožů se v rovině střihu vytváří střižné napětí, přibližující se téměř čistému smyku. Plochy izobar na obr. 12 znázorňují šíření tlaku ve stříhaném materiálu z místa styku s noži. V oblasti přetvoření X nože posunují materiál proti sobě, dochází zde k ohýbání a protahování jeho vláken. [1; 41; 43; 45; 46; 47; 51]



Obr. 12 Schéma střižné roviny [43].

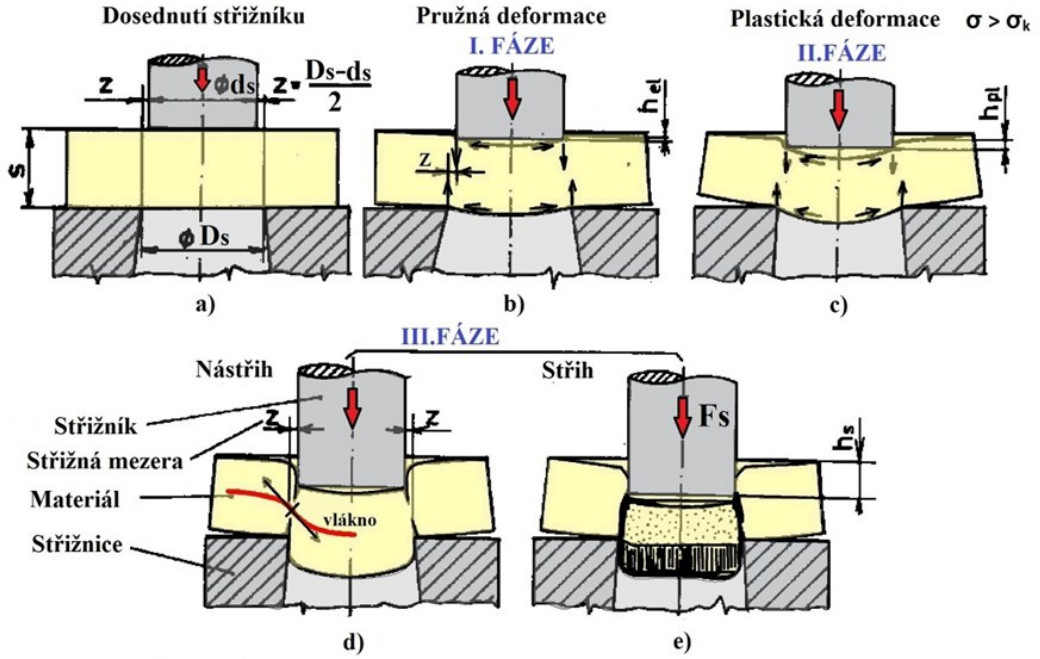
Stav napětí a deformace – křivka střihu při stříhání ve střižných nástrojích je uzavřená čára, tvořená obrysem hrany střižníku nebo střižnice. Při procesu stříhání střižník svým pohybem vtlačuje stříhaný materiál do střižnice. Břity nástroje při svém pronikání vytlačují materiál do stran, dochází k deformacím, které jsou největší u střižných hran. Mezi střižnými hranami je zároveň materiál ohýbán a natahován, čímž se také zeslabuje jeho tloušťka v oblasti střihu. Linie v materiálu na obr. 13 zobrazují změnu křivosti v jednotlivých vrstvách, ke které při tomto procesu dochází. Následkem této změny dochází k natáčení vztažných rovin s osami hlavních napětí. Poměry těsně u střižných hran charakterizují body *A*. Zde jsou největší tahová hlavní napětí $\boldsymbol{\sigma_1}$ působící ve směru pohybu střižníku a relativním pohybu střižnice. Kolmo k nim působí tlakové hlavní napětí $\boldsymbol{\sigma_3}$ o přibližně poloviční hodnotě ($\sigma_3 = -\frac{\sigma_1}{2}$). Kolmo k rovině napětí $\boldsymbol{\sigma_1\sigma_3}$ (tzn. ve směru šířky plechu) působí zbývající hlavní napětí $\boldsymbol{\sigma_2}$, které při volném stříhání a dostatečné šířce plechu lze považovat za nulové. To znamená, že stav napjatosti v bodech *A* je přibližně rovinný. [1; 44; 46; 51; 52]



Obr. 13 Schéma napjatosti a deformace při běžném uzavřeném stříhán [1].

Z Mohrových kružnic, nebo vektorového součtu na obr. 13 lze zjistit, že kolmo k rovině $\boldsymbol{\tau_{max}}$ působí navíc kladná složka normálového napětí $\boldsymbol{\sigma_n}$, která napomáhá v rozevírání vznikajících počátečních trhlin a jejich dalšímu rychlému rozvoji. Toto napětí vzniká vlivem rozdílné velikosti napětí $\boldsymbol{\sigma_1}$ a $\boldsymbol{\sigma_3}$. Postupně směrem ke středu střižné plochy se mění natočení roviny $\boldsymbol{\tau_{max}}$ způsobené značně nerovnoměrnou deformací v jednotlivých vrstvách. S tím se mění i směry hlavních napětí a jejich velikost. Uprostřed v bodě *B* jsou hlavní osy natočeny vůči stavu v bodech *A* přibližně o 45°, hlavní napětí $\boldsymbol{\sigma_1}$ a $\boldsymbol{\sigma_3}$ mají stejnou velikost při nulovém

napětí σ_2, nastává zde prostý smyk. K porušení soudržnosti materiálu a k jeho oddělování dochází ve směru roviny τ_{max} (maximální smykové napětí), změnou její orientace ve směru tloušťky materiálu má střižná plocha charakteristický tvar písmene S. [1; 44; 46; 51; 52]



Obr. 14 Průběh stříhání s normální střižnou vůlí [1].

Průběh procesu stříhání je většinou rozdělován na tři základní fáze, někdy je uváděna i fáze čtvrtá. Samotný proces začíná dosednutím střižníku na střihaný materiál (obr. 14a). [1; 5; 50] Jednotlivé fáze jsou následující [1; 5; 40; 44; 45; 46; 47; 50; 52]:

- První fáze – vnikání střižníku do povrchu materiálu v oblasti pružných deformací, kdy napětí v materiálu je menší než mez pružnosti σ_E. Hloubka vniku je asi 4 až 8 % tloušťky **s** v závislosti na mechanických vlastnostech materiálu. Síly působící v rovinách kolmých ke střižným plochám vznikající na obvodu střižníku a střižnice namáhají stříhaný materiál na ohyb (obr. 14b). Při tomto vtlačování vzniká nežádoucí zaoblení vytlačením materiálu na straně střižnice a výdutím na straně střižníku. Fáze končí dosažením meze kluzu materiálu Re.
- Druhá fáze – je oblast plastických deformací (obr. 14c). Pokračující vtlačování materiálu do střižnice v něm vyvolává napětí překračující mez kluzu, dochází k plastické deformaci (prodloužení). Vnik střižníku do materiálu odpovídá 10 až 25 % jeho tloušťky. V závěru této fáze, v místech střižných hran, se napětí v materiálu blíží až k mezi pevnosti ve střihu (smyku) τ_s.
- Třetí fáze – je nazývána oblastí střižných deformací, nebo pásmem utržení. Napětí v materiálu přesahuje mez pevnosti ve střihu. V místech styku materiálu a střižných hran vznikají prvotní trhlinky, vzniká nástřih (obr. 14d). Rozvoj trhlinek je podporováno tahovým normálovým napětím působícím ve směru vláken materiálu. Při vnikání střižníku se trhlinky rychle šíří, až dojde k utržení materiálu a tím k oddělení výstřižku od výchozího polotovaru (obr.14e). Hloubka vniku je 10 až 60 % tloušťky materiálu. Na mechanických vlastnostech materiálu a na velikosti střižné vůle závisí také vznik a rychlost šíření trhlin. V měkkých a houževnatých materiálech je jejich rozvoj pomalý a hloubka vniku střižníku do materiálu dosahuje až maximálních hodnot. Naopak tvrdý a křehký materiál se rychlým šířením trhlin oddělí již při malém vniku střižníku do materiálu a téměř okamžitě.

- Čtvrtá fáze – vznik pásma otlačení (otěru). Tato fáze je uváděna spíše zřídka. Při ní je oddělený materiál výstřižku vytlačován ze zbytku okolního stříhaného materiálu. Vlivem vzniku zakřivené plochy střihu se materiály třou o sebe, nebo materiál výstřižku o hranu střižnice. Velikost tohoto pásma nejvíce ovlivňuje vhodně zvolená střižná vůle.

2.1.1 Střižná vůle a kvalita střižné plochy

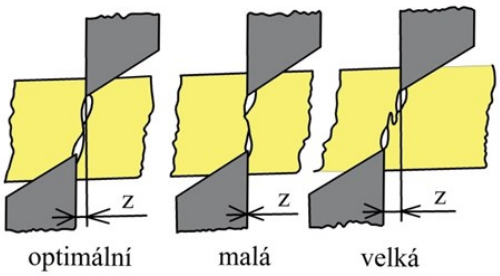
Střižná vůle **v** - má zásadní vliv na kvalitu střižné plochy. Pokud je zvolena optimálně, tak se trhliny šířící se od hrany střižníku a střižnice v době střihu setkají. Pokud je malá nebo příliš velká, případně po obvodě nestejnoměrná, trhliny se míjejí, je vytvářen nerovný a nekvalitní povrch, rozšiřuje se pásmo otěru, zvětšuje se ostřina, viz obr. 15. Její velikosti závisí především na tloušťce stříhaného materiálu a na jeho mechanických vlastnostech. Rovnoměrným ustavením střižníku vzniká po obou stranách stejně velká střižná mezera**.** Určení velikosti střižné vůle je možné z tabulek v přílohách 2 a 3, nebo z tabulek v přílohách normy ČSN 22 6015. [43; 44; 46; 47; 49; 50; 51; 56] Pro plechy do tloušťky 3 mm lze k zjištění její optimální velikosti využít také vzorec [50]:

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

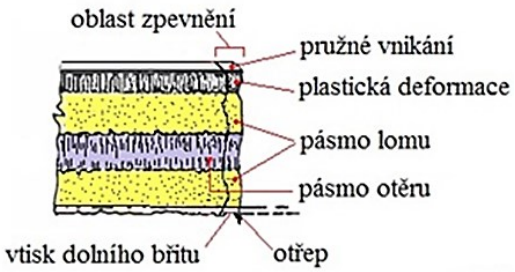
kde: z - střižná mezera [mm],
c - součinitel závislý na stupni střihu [-]; obvykle c = 0,005 až 0,025, dle grafu v příloze 1, pro kvalitnější povrch volit nižší hodnoty, pro menší střižnou sílu hodnoty vyšší,
s - tloušťka stříhaného materiálu [mm],
τ_s - střižný odpor [MPa]; lze dle [1] určit vztahem:

$$\tau_s = 0{,}77 \cdot R_m \doteq 0{,}8 \cdot R_m, \tag{2.2}$$

kde: R_m - mez pevnosti materiálu [MPa].



Obr. 15 Vliv střižné vůle [43].

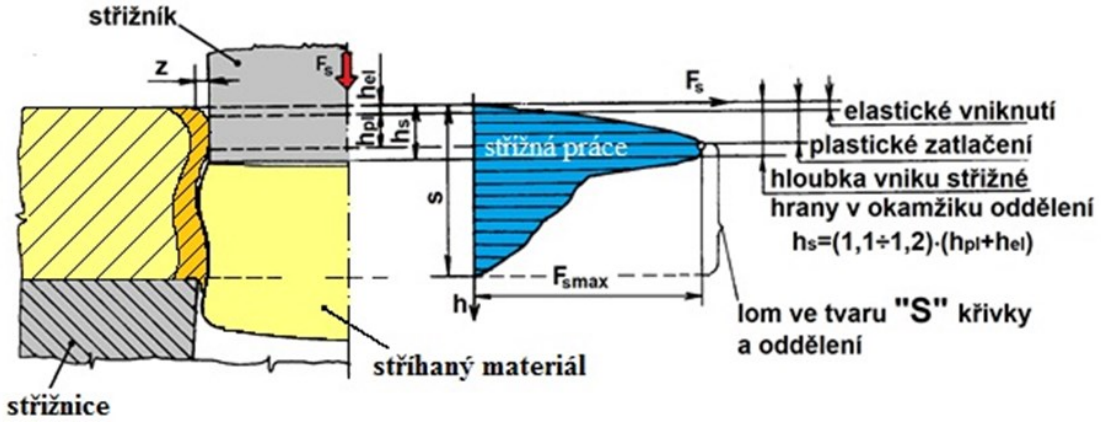


Obr. 16 Vzhled střižné plochy [1].

Na kvalitu střižné plochy má kromě střižné vůle a mechanických vlastností stříhaného materiálu vliv také míra otupení nástroje a zvolený způsob stříhání. Nerovný charakteristický vzhled jejího tvaru při normální střižné vůli je na obr. 16. Lze zde také určit jednotlivá pásma s rozdílnou drsností povrchu. Plochy vzniku prvotních trhlin mají větší drsnost než ty zbývající. Pásmo pružné deformace (pružného vnikání) se vyznačuje zaoblením (stažením) hrany stříhaného materiálu na straně střižníku. Je tím větší, čím je materiál tvárnější. Pásmo vytvořeno plastickou deformací je hladká a lesklá část střižné plochy s vyšší kvalitou. Pásmo lomu s nekvalitní střižnou plochou je vytvořeno samovolným oddělováním stříhané části pod smykovým napětím. Stlačování materiálu střižníkem má za následek vznik zpevněného pásma. Při ohýbání je v této oblasti nebezpečí vzniku trhlin. Zpevnění lze odstranit obrobením ovlivněné plochy nebo vyžíháním. Otřep (někdy také ostřina nebo jehla) je ostrý cíp na spodním okraji, vznikající při stříhání prakticky vždy. Tvrdé a křehké materiály ho mají minimální, houževnatý a měkký materiál větší. Pásmo otěru vzniká, jak již bylo uvedeno, vzájemným otěrem v závislosti na vhodně zvolené střižné vůli. [1; 5; 40; 43; 48; 52]

2.1.2 Střižná síla a práce

Zejména pro správnou volbu tvářecího stroje a k návrhu nástrojů je důležité znát velikost celkové přetvárné síly a práce. U postupového sdruženého nástroje je využívána kombinace více technologií, proto i celková tvářecí síla a práce je dána součtem jednotlivých dílčích sil a prací v těchto operacích. [45; 47]



Obr. 17 Charakteristický průběh střižného procesu a střižné síly [1].

Velikosti střižné síly **F_s** - je důležitým technologickým parametrem návrhu procesu stříhání. Je vyjádřením odporu materiálu, který materiál klade na střižné ploše vnikajícímu střižnému nástroji. V průběhu procesu stříhání se její velikost mění v závislosti na hloubce vniku nástroje do materiálu. Tento průběh na obr. 17 vytváří charakteristickou křivku. Je na ní patrný rychlý nárůst střižné síly již při malém elastickém vniknutí střižníku do materiálu **h_{el}**. Při něm je materiál pěchován pod břitem a dalším posunem v hloubce vniku **h_{pl}**, vzniká již plastické přetvoření. Nárůst síly pokračuje i přes zmenšující se střižnou plochu vlivem lokálního zpevňování materiálu, a to až do okamžiku porušení stříhaného materiálu prvními trhlinami. Střižná síla poté pozvolně klesá. Při hloubce vniku **h_s** (součet dráhy elastického a plastického vniknutí navýšeného o 10 až 20 %) dochází k úplnému oddělení výstřižku lomen materiálu se zřetelným poklesem střižné síly, zmírněným při dalším posunu střižníku vzájemným otěrem střižných ploch ve tvaru S. [1; 27; 43; 44; 46; 47]

Faktory ovlivňující velikost střižné síly jsou především mechanické vlastnosti materiálu, velikost střižné mezery nebo míra otupení střižných hran. Lze ji snížit zešikmením střižných ploch pro postupné oddělování materiálu o 30 až 40 %. V případě, že průměr střižníku **d_s** bude menší než tloušťka materiálu ($d_s/s < 1$), napětí ve střihu výrazně vzroste. [1; 43; 47] U nástrojů s rovnoběžnými hranami a při děrovacím poměru $d_s/s \geq 1$ platí vztah [1]:

$$F_s = n_k \cdot S \cdot \tau_s = n_k \cdot L \cdot (s - h_s) \cdot \tau_s, \tag{2.3}$$

kde: n_k - zvyšující koeficient, ($n_k = 1{,}0$ až $1{,}3$) [-],
S - střižná plocha [mm^2],
L - délka křivky střihu [mm],
h_s - hloubka vniknutí střižné hrany [mm].

Zvyšující koeficient **n_k** zahrnuje vlivy vnějších podmínek při stříhání, a to hlavně otupení střižných hran, vliv má také nerovnoměrnost tloušťky materiálu nebo nerovnoměrnost napjatosti. Střižný odpor **τ_s** – vyjadřuje odpor, který klade materiál během procesu stříhání. S rostoucí pevností a snižující se tvárností materiálu se odpor zvyšuje. Roste také se zvýšením střižné rychlosti nebo otupením břitů. Pozitivní vliv má optimální střižná vůle a použití maziv. [1; 5; 37; 44; 50]

Celková střižná síla **F_{cs}** - se využívá pro výběr vhodného stroje (lisu) nebo nástroje při návrhu technologického procesu stříhání. Stroj musí být schopen vyvinout dostatečnou sílu pro

vyhotovení daného výstřižku zvolenou technologií a nástrojem dané konstrukce. Základem je střižná síla $\mathbf{F_s}$ určena dle vztahu (2.3), zvětšená o sílu protlačovací $\mathbf{F_v}$ a sílu stírací $\mathbf{F_u}$. Protlačovací síla je síla potřebná k protlačení výstřižku střižnicí. Stírací síla je nutná k setření děrovaného materiálu ze střižníku, který na něm vlivem pružné deformace ulpí. Na velikost obou sil má vliv druh stříhaného materiálu, jeho tloušťka, střižná vůle, tvar a rozměry křivky střihu a druh mazaní při střihu. [1; 44; 50; 52; 57] Vztah pro celkovou střižnou práci je [1; 50]:

$$F_{cs} = F_s + F_v + F_u, \tag{2.4}$$

kde: F_v - protlačovací síla [N],

$$F_v = k_{ev} \cdot F_s \cdot n_{vys}, \tag{2.5}$$

kde: k_{ev} - koeficient protlačování (pro ocel $k_{ev} = 0{,}05$) [-],

n_{vys} - počet výstřižků v neodlehčené části střihadla [-],

F_u - stírací síla [N],

$$F_u = k_{eu} \cdot F_s, \tag{2.6}$$

kde: k_{eu} - koeficient stírání (ocel $k_{eu} = 0{,}10$ až $0{,}13$) [-].

Střižnou práci **A** u stříhání rovnoběžnými hranami lze určit z grafu průběhu velikosti střižné síly, v závislosti na hloubce vniku střižníku do stříhaného materiálu. Práce je dána integrálem plochy pod vzniklou křivkou. Matematický výpočet plochy pod touto křivkou by byl obtížný, proto se v praxi užívají zjednodušení. Dostatečně přesnou metodou je nahrazení průběhu střižné síly eliptickou závislostí viz. obr. 18 červená čerchovaná čára. Polovina plochy této elipsy je velikost střižné práce. Delší poloosa elipsy $\boldsymbol{a_e}$ představuje velikosti střižné síly, kratší poloosa $\boldsymbol{b_e}$ je polovina hloubky vniku nože do materiálu. [5; 43; 46; 51] Ve vztahu pro výpočet střižné práce je tak $a_e = F_{smax}$, $b_e = \frac{1}{2} \cdot x_e \cdot s$ [43]:

$$A = \frac{\pi}{2} \cdot a_e \cdot b_e = \frac{\pi}{4} \cdot F_{smax} \cdot x_e \cdot s, \tag{2.7}$$

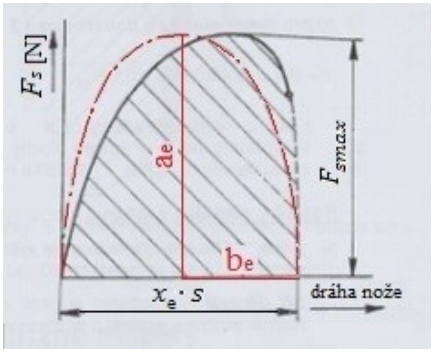
kde: a_e - delší poloosa elipsy nahrazující křivku střižné síly [N],

b_e - kratší poloosa elipsy nahrazující křivku střižné síly [mm],

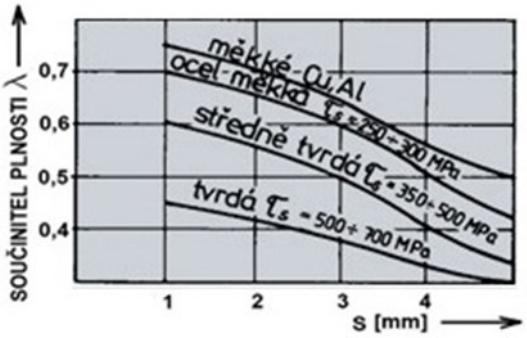
F_{smax} - maximální střižná síla [N],

x_e - součinitel [-], pro ocel o vyšších pevnostech $x_e = 0{,}2$,

pro ocel nízkouhlíkovou $x_e = 0{,}4$.



Obr. 18 Nahrazení průběhu střižné síly [43].



Obr. 19 Graf pro určení součinitele λ [1].

Jinou možností je výpočet využívající součinitele plnosti **λ** diagramu F–s. Jeho hodnotu lze určit z grafu na obr. 19 pro zde uvedené materiály v závislosti na tloušťce stříhaného materiálu. [1; 5; 45] Vztah pro výpočet má tuto podobu [1]:

$$A = \lambda \cdot F_{smax} \cdot s, \tag{2.8}$$

kde: λ - součinitel plnosti diagramu F–s [-].

V normě ČSN 22 6015 je uveden vztah, který má hodnoty koeficientu **k** stanovené přímo z tabulky obsažené v příloze normy nebo v tabulkách dalších níže uvedených zdrojů. Hodnoty pro některé materiály jsou též uvedeny v tabulce přílohy 4. Při porovnání korespondují

s hodnotami odečítaných z grafu pro vztah (2.8). [44; 50; 65] Rovnice pro výpočet střižné práce rovnými střižnými hranami je [50]:

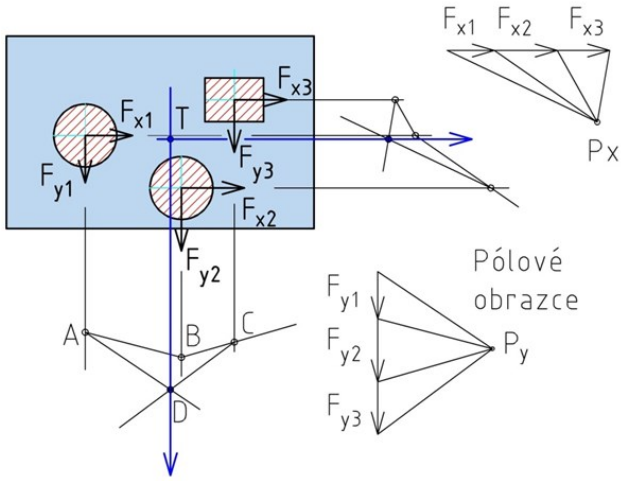
$$A = \frac{k \cdot F_S \cdot s}{1000}, \tag{2.9}$$

kde: k - koeficient závislý na druhu a tloušťce materiálu [-].

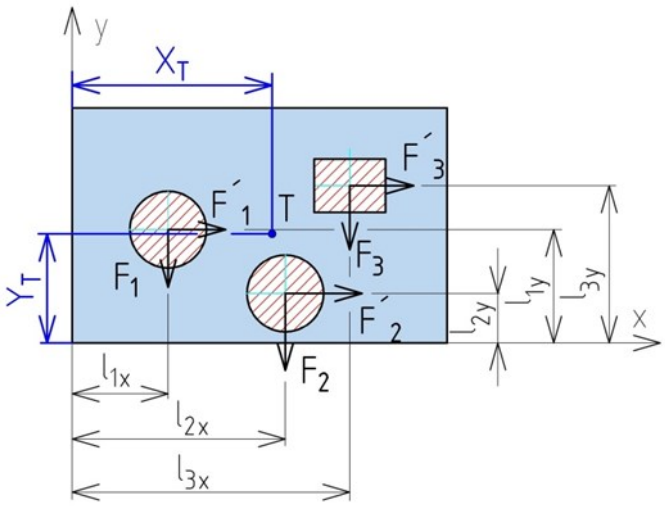
2.1.3 Těžiště sil

Při konstrukci sdruženého postupového nástroje je třeba určit též polohu výslednice všech spolupůsobících tvářecích sil s působištěm v jejich těžišti. Jeho poloha je důležitá zejména při současném tváření více nástroji, například při postupovém stříhání. Je žádoucí, aby výslednice sil působila v ose tvářecího stroje. V opačném případě dochází ke klopnému momentu, který nadměrně namáhá vodící plochy stroje i nástroje, čímž je zvýšeným opotřebením nejen snižována jejich životnost, ale má také negativní vliv na přesnost použitých výrobních metod. Z konstrukčního hlediska se do působiště výslednice tvářecích sil umisťuje stopka nástroje, kterou je pohyblivá část nástroje uchycena v beranu tvářecího stroje. Polohu těžiště sil lze určit grafickou metodou nebo výpočtem. K tomu lze přistoupit až po předchozím stanovení velikosti jednotlivých tvářecích sil od použitých nástrojů, jejichž hodnoty se využívají v obou metodách. U plošného tváření je využíván zjednodušující výchozí předpoklad stejné tloušťky a mechanických vlastnosti tvářeného materiálu. Pro stříhání má tak každá z těchto sil velikost úměrnou délce obvodu daného střihaného tvaru s působištěm v jeho těžišti. [43; 49; 55]

Při určení polohy těžiště sil grafickou metodou (obr. 20) jsou nejprve v určitém jednotném měřítku vyneseny do obou uvažovaných směrů velikosti jednotlivých dílčích sil z jejich působišť v těžištích děrovaných otvorů. Pro každý směr (x, y) je sestrojen pólový obrazec. Vzniká přenesením velikostí sil na rovnoběžku v daném směru a spojením jejich koncových bodů s libovolně zvoleným vrcholem P_v, P_w. Rovnoběžky spojnic jsou poté vyneseny na přímky prodlužující směry jednotlivých sil z jejich působišť. Nejprve je libovolně zvolen první bod například A. Z něj jsou vyneseny rovnoběžky se spojnicemi náležející k velikosti síly $\boldsymbol{F_1}$. Z nich společná, i pro sílu $\boldsymbol{F_2}$ protne vynášecí přímku síly $\boldsymbol{F_2}$, průsečík je označen písmenem B. Z něj se pokračuje rovnoběžkou s druhou společnou spojnicí (náležející k $\boldsymbol{F_2}$ a $\boldsymbol{F_3}$), vznikne bod C. Z tohoto bodu je vynesena i poslední rovnoběžka se spojnicí z koncového bodu síly $\boldsymbol{F_3}$. Průsečíkem rovnoběžek s okrajovými spojnicemi (bod D) prochází osa těžiště v daném směru. Polohu těžiště T určuje průsečík obou takto nalezených os a to bez výpočtu přímo na nákresu výstřižku. Tato metoda je vhodná pouze pro jednoduché nástroje o několika silách. [43; 49; 55]



Obr. 20 Určení těžiště sil grafickou metodou [43].



Obr. 21 Určení těžiště sil početní metodou [43].

U nástrojů složitějších, kde se vyskytuje větší množství sil, je vhodnější metoda početní. Ta vychází z podmínky rovnovážného stavu, kdy v těžišti nepůsobí žádný moment od těchto sil. V příkladu na obr. 21 to znamená, že moment výslednice sil $\mathbf{F_z}$ na rameni vzdálenosti těžiště sil od počátku souřadného systému $\mathbf{X_T}$ či $\mathbf{Y_T}$ je roven součtu momentů jednotlivých sil ve shodném směru. [37; 43; 55; 57] Matematicky lze tuto rovnost zapsat [43]:

$$F_z \cdot X_T = F_1 \cdot l_{1x} + F_2 \cdot l_{2x} + F_3 \cdot l_{3x}, \tag{2.10}$$

kde: X_T - vzdálenost těžiště sil od osy *y* [mm],
l_{ix} - vzdálenost i-té síly od osy y [mm],
F_i - i-tá tvářecí síla vztažená k ose x [N],
F_z - výslednice tvářecích sil [N],

$$F_z = F_1 + F_2 + F_3. \tag{2.11}$$

Stejně lze matematicky vyjádřit tento vztah i pro osu y. Z toho vyplývají vzorce pro výpočet souřadnic těžiště sil [55]:

$$X_T = \frac{F_1 \cdot l_{1x} + F_2 \cdot l_{2x} + F_3 \cdot l_{3x}}{F_1 + F_2 + F_3} = \frac{\sum F_i \cdot l_{ix}}{\sum F_i}, \tag{2.12}$$

$$Y_T = \frac{F'_1 \cdot l_{1y} + F'_2 \cdot l_{2y} + F'_3 \cdot l_{3y}}{F'_1 + F'_2 + F'_3} = \frac{\sum F'_i \cdot l_{iy}}{\sum F'_i}, \tag{2.13}$$

kde: Y_T - vzdálenost těžiště sil od osy *x* [mm],
F'_i - i-tá tvářecí síla vztažená k ose y [N],
l_{iy} - vzdálenost i-té síly od osy x [mm].

2.1.4 Technologičnost stříhání

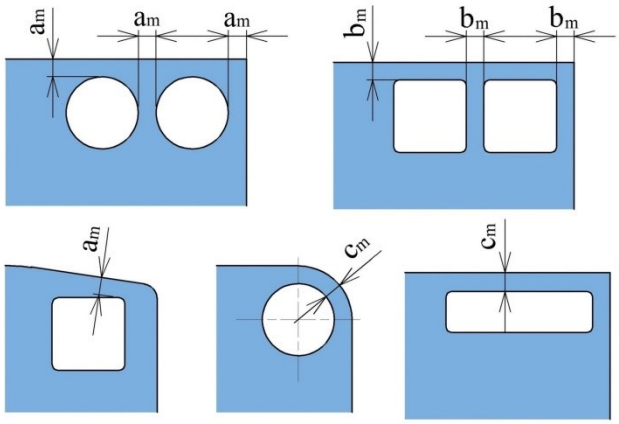
Při návrhu tvaru výrobku nebo výrobního postupu je třeba respektovat určitá pravidla technologičnosti konstrukce. Cílem těchto pravidel je zhotovení výrobku při co nejnižších výrobních nákladech, s nejkratší výrobní dobou, a to vše při zachování funkčnosti výrobku a jeho estetiky. Výrobek by tak měl být pro výrobu konstrukčně jednoduchý, respektovat vlastnosti materiálu a zejména minimalizovat odpad vstupního materiálu. Hospodárné využití materiálu řešené v nástřihových plánech je důležité, protože jeho pořizovací náklady mohou při velkosériové výrobě tvořit až 90 % z celkových výrobních nákladů. [41; 44; 46; 52] Technologičnost konstrukce výstřižku respektuje nedokonalosti procesu stříhání uvedené v těchto bodech [44; 46; 52]:

- Střižná plocha – její drsnost je ovlivněna lomem materiálu, s jeho rostoucí tvárností se zlepšuje.

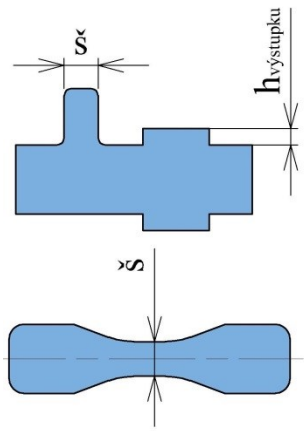
- Odchylka kolmosti střižné plochy – postupně se zvětšuje s vzrůstajícím otupením nástroje.
- Zeslabení tloušťky plechu podél střižné plochy – při otevřeném střihu u úzkých výstřižků se navíc podél této plochy projevuje zvětšení šířky výstřižku.
- Zpevnění matriálu – je zpevňován asi do hloubky 0,1 až 0,2 s.
- Rozměrové odchylky výstřižků – způsobené výrobními vlivy, hlavně otupením střihadla s již zmíněným zešikměním střižné plochy a částečně také odpružením.
- Prohnutí výstřižků – může vznikat u klasického stříhání vlivem působení ohybového momentu obou střižných sil. To lze odstranit metodami přesného stříhání, jejich využití ovšem vede k zvýšení výrobních nákladů.

Ze znalosti výše uvedených specifik technologie stříhání jsou sestaveny následující zásady technologičnosti uplatňující se při výrobě výstřižků [29; 44; 46; 47; 52; 57; 59]:

- Materiálová technologičnost – volí se vždy co nejlevnější materiál optimálně vyhovující výrobnímu procesu a z hlediska funkce součásti. Nejkvalitnější střižné plochy se dosahuje při stříhání polotvrdých materiálů. Při jejich stříhání dochází k menším deformacím výstřižku a jeho ztenčení u střižné hrany, menší hloubce pásma zpevnění při střižné ploše, menší tvorbě otřepu. Otupení nástroje přitom není rychlejší než u stříhání měkkých materiálů. Stříhat lze materiály do maximální meze pevnosti 1000 až 1200 MPa.
- Tolerance – volit v mezích dosažitelných při vystřihování a děrování. Běžná přesnost výstřižků s rozměry do 150 mm je IT12 až IT14. Při použití přesnějších střihadel s vodícími sloupky IT9 až IT11.
- Kolmost a drsnost střižné plochy – předepisovat pouze výjimečně u funkčních ploch. Běžně lze dosahovat Ra = 3,2 až 6,3. Přesnějšími metodami stříhání a děrováním pak Ra = 0,2 až 0,8.
- Minimální rozměr otvorů – zhotovitelných děrováním je limitován druhem materiálu a jeho tloušťkou. U kruhových otvorů a měkkých ocelí je to ∅ 0,8 mm, při použití přidržovače ∅ 0,3 mm, u tvrdých ocelí pak ∅ 1,5 mm a ∅ 0,5 mm. Minimální šířka děrovaného obdélníkového otvoru u měkkých ocelí je 0,6 mm, s přidržovačem 0,25 mm, pro oceli tvrdé 1,2 mm a 0,4 mm.



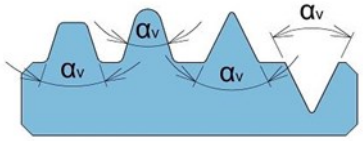
Obr. 22 Minimální vzdálenosti otvorů [44].



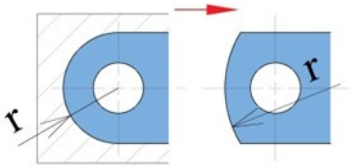
Obr. 23 Minimální šířky a výšky [44].

- Tvary otvorů – přednostně volit kruhové. Otvory nekruhové a tvarové vyžadují dražší nástroje.

- Minimální vzdálenosti – otvorů od okraje a minimální přepážky výstřižku (obr. 22) je nutné dodržet. Platí, že součást je vyrobitelná stříháním, pokud: $a_m \geq 0{,}8 \cdot s$, $b_m \geq s$, $c_m \geq 1{,}5 \cdot s$. Tyto rozměry se pro měkké materiály zvětšují o 10 až 15 % u tlouštěk plechu 1,5 mm a menších, u silnějších plechů o 20 až 25 %.
- Minimální šířka **š** – úzkého výstřižku (obr. 23) nebo části vystupující z obrysu by měla být $š = 1{,}5 \cdot s$. Výška delších výstupků nebo zaoblení $h_{výstupku} \geq 1{,}2 \cdot s$.
- Rohy výstřižku – ostré nutno vyrábět na dvě operace. Proto je navrhovat se zaoblením nebo se sražením – nejlépe pod úhlem 45° (u postupového stříhání obrysu je tento úhel nezbytností). Úhel α_v (obr. 24) vyčnívajících částí a zářezů by měl být větší než 90° pro materiály tvrdé ($R_m > 600\,MPa$) a více než 45° u materiálů měkkých ($R_m < 300\,MPa$). Také by se neměly měnit poloměry zaoblení rohů nebo nestřídat zaoblené a ostré rohy. Poloměr zaoblení by měl být tím větší, čím je roh ostřejší.



Obr. 24 Rohy, úhly [44].



Obr. 25 Oblouky [46].

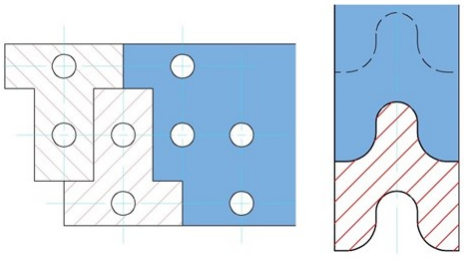
- Tvar výstřižku – co nejjednodušší, aby k jeho vytvoření bylo zapotřebí co nejméně zdvihů. Nejvýhodnějším tvarem k sestavení nástřihového plánu je takový, který má strany tvarované jako pozitiv a negativ stejné křivky. Trojúhelníkové výstřižky navrhovat jako trojúhelník symetrický rovnoramenný. Pokud možno nevyužívat kruhové výstřižky pro jejich vysoký podíl odpadu (až 30 %). Tyto zásady zvyšují podíl využití materiálu, kdy za hospodárné se považuje využití polotovaru ze 70 %.
- Obrys – s plynulým přechodem oblouku do přímé části vyžaduje dražší nástroje, uzavřený střih s menším využitím materiálu vlivem nutných přepážek a bočním odpadem. Úpravou oblouků dle obr. 25 je možnost neuzavřeného střihu.

2.1.5 Nástřihové plány

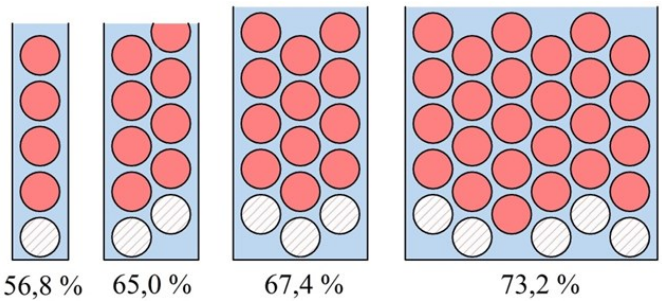
Při postupovém stříhání je důležitým kritériem technologičnosti hospodárné uspořádání výstřižku na ploše polotovaru. Výchozí materiál je ve formě svitků nebo pruhů (pásů) stříhaných z tabulí plechu. Pro velkosériovou výrobu je výhodnější užití dlouhých pásů plechu navinutých do svitků. Postupné odvíjení svitku umožňuje větší automatizaci výroby. Také oproti pásům plechu dochází ke snížení nákladů o 5 až 6 %. Nevýhodou je složitější manipulace s těžkými svitky a nutnost zařízení pro odvíjení a rovnání plechu. Pro nalezení nejvýhodnější varianty výroby z hlediska spotřeby materiálu se sestavuje nástřihový plán. Jeho účelem je rozložení součástek na ploše výchozího materiálu tak, aby jeho plocha byla co nejvíce využita. To zároveň znamená vznik minimálního odpadu. Poloha součásti musí také být výhodná pro snadnou manipulaci, možnost stříhání více součástek najednou nebo stříhání s krátkým krokem. [44; 45; 51; 58; 59; 65]

Na možnost sestavení hospodárného nástřihového plánu má zásadní vliv tvar výstřižku. Vhodné tvary výstřižku, uvedené již v zásadách technologičnosti, se při návrhu tvaru součásti volí přednostně, viz obr. 26. Nevýhodné tvary (kruhový, jednostranně složitě tvarované součásti) je vhodné upravit při zachování jejich funkčnosti. Spotřebu materiálu také zvyšuje nutnost přepážek (můstků), které lze u postupových nástrojů zmenšit lepší fixací polotovaru pomocí hledáčků, použitím postranních nožů nebo klešťových či válečkových podavačů. Při přesných šířkách pásu nebo dostatečném bočním vedení pomocí pružných vodících lišt lze snížit i odpad zmenšením bočních okrajů. Nejvýhodnější je, pokud lze přepážky a okraje

zcela vynechat. Obrys součásti vzniká pomocí více střihů při tzv. otevřeném střihání vyžadující dostatečnou přesnost střihadla a podávání. [5; 29; 37; 44; 51; 57; 58; 63; 66]

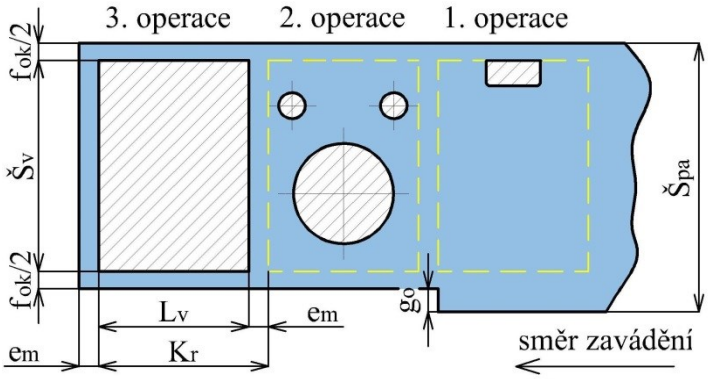


Obr. 26 Vhodný tvar výstřižků [44].



Obr. 27 Stupeň využití materiálu [37].

Pro sestavení součástek v nástřihovém plánu je možné využít více možností. Empirická metoda – je jednoduchá, tvary vystřižené např. z papíru se kladou na plochu výchozího materiálu a hledá se nejlepší využití plochy. Početní metoda – při velkosériové výrobě pravidelných výstřižků, využívá k nalezení vhodného rozmístění jednoduché matematické principy. Z této metody vychází i dnes nejpoužívanější metoda pomocí specializovaných počítačových programů, které jsou schopny po zadání vstupních veličin sestavit ideální nástřihový plán. Při více variantách (obr. 27) je posuzována hospodárnost zvoleného rozmístění výpočtem stupně využití materiálu pásu, kdy za hospodárné je považováno více než 70% využití materiálu. [40; 45; 51; 52; 57; 58; 66] Stupeň využití materiálu a potřebné dílčí hodnoty se vypočítají v následujících bodech [41; 52; 57; 58]:



K_r - délka kroku [mm]
$Š_{pa}$ - šířka pásu [mm]
$Š_v$ - rozměr výstřižku po šířce pásu plechu [mm]
L_v - rozměr výstřižku po délce pásu plechu [mm]
e_m - mezera (můstek) [mm]
f_{ok} - okraje (přepážky odpadu) [mm]
g_o - odstřihovaný okraj [mm]

Obr. 28 Postupové střihání [52; 57].

- Velikost mezery (můstku) $\mathbf{e_m}$ a velikost okrajů $\mathbf{f_{ok}}$ – lze stanovit z příslušných grafů (příloha 5), a to dle tvaru výstřižku, jeho velikosti měřené rovnoběžně s kratší stranou pásu plechu **Šv** (obr. 28) a také z tloušťky plechu **s**.
- Délka kroku $\mathbf{K_r}$ a potřebná šířka pásu $\mathbf{Š_{pa}}$ – lze určit až při znalosti můstků a okrajů:

$$K_r = L_v + e_m, \tag{2.14}$$

$$Š_{pa} = Š_v + f_{ok} + g_o. \tag{2.15}$$

- Počet kusů z pásu – lze určit, pokud jsou součástky stříhány ze známé délky pásů (pruhů) plechu. U dlouhých svitků lze počítat např. počet kusů na 1 m:

$$n_v = \frac{L_p}{K_r}, \tag{2.16}$$

kde: n_v - počet kusů z jednoho pásu (pruhu) plechu [ks],
L_p - délka pásu (pruhu) plechu [mm].

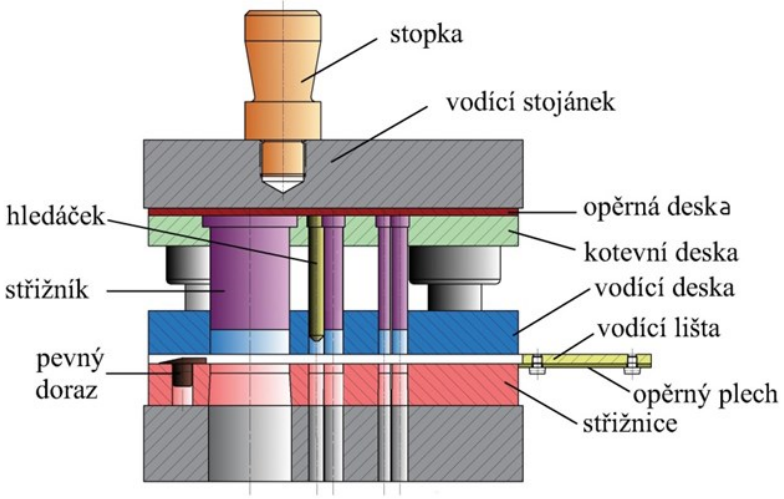
- Stupeň využití pásu – umožňuje porovnání jednotlivých variant rozmístění výstřižků na pásu:

$$\eta_p = \frac{n_v \cdot S_v}{S_p} \cdot 100, \tag{2.17}$$

kde: S_v - plocha hotového výstřižku [mm^2],
S_p - plocha pásu [mm^2].

2.1.6 Střižné nástroje

Střižné nástroje se skládají z velké části z normalizovaných dílů. Zkracuje a zlevňuje se tím příprava výroby s vysokou dosahovanou přesností komponent, k návrhu lze použít výpočetní techniku. Mohou být konstruovány jako nevedené nebo vedené. Nevedené jsou závislé na přesnosti vedení beranu využívané pro výrobky s malými požadavky na přesnost a kvalitu střižné plochy. Nástroje s vlastním vedením jsou složitější a tím i dražší, ovšem dosahuje se vyšší přesnosti výstřižku. Obě výše uvedené varianty se skládají ze dvou hlavních částí, a to dolní pevné nazývané střižná skříň a z horní pohyblivé nazývané upínací hlavice. Části vedeného střižného nástroje s vodícím stojánkem jsou zobrazeny na (obr. 29). Jeho dolní deska nahrazuje základovou desku střižnice a horní deska upínací desku hlavice nevedených nástrojů. Upínací hlavice dále obsahuje stopku, kterou je nástroj upevněn v beranu stroje, kotevní desku se střižníky, pro které může být instalována i opěrná deska nebo hledáčky pro přesnější ustavení součásti při postupovém stříhání. Střižná skříň, kromě střižnice jako hlavní časti, může obsahovat vodící desku střižníků, vodící lišty s opěrným plechem pro vedení polotovaru a dorazy pro jeho přesné ustavení nebo posun v krocích. Díly obou hlavních částí jsou vzájemně spojeny šrouby a pro vymezení polohy kolíky. Při návrhu střižné skříně se vychází z počtu kroků a z šířky pásu. Podle tvaru se dělí na skříně kruhových střihadel a pravoúhlých střihadel. [40; 42; 52; 55; 63; 65; 66]

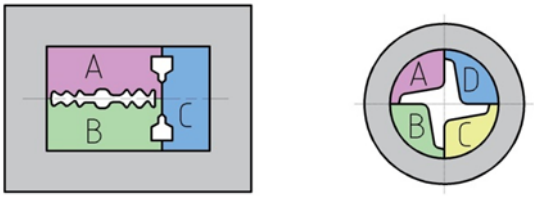


Obr. 29 Sestava střižného nástroje [52].

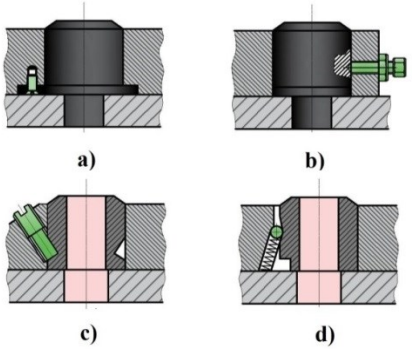
Střižnice je pevná činná část střižných skříní. Na její konstrukční provedení má vliv velikost a tvarová složitost výstřižku, velikost výrobní série a také technologie výroby. [55; 63] Rozdělují se na celistvé střižnice, skládané střižnice, střižnice vložkované [55; 63]:

- Celistvé střižnice – jsou vyrobeny z jednoho kusu, hodí se pro jednoduché i složité tvary, otvory pro střižníky jsou vyrobeny elektrojiskrovým řezáním. Obsahuje též otvory pro dorazy, ostřihovače, hledáčky a montážní otvory. Z konstrukčního hlediska by měla být velikost můstků mezi jednotlivými střižnými obvody úměrná střižným odporům.

- Skládané střižnice – jsou určeny pro tvarově složité součástky a pro rozměrné výstřižky. Obvod střižnice je rozdělen na několik segmentů (obr. 30), které jsou zalisovány do měkké nekalené střižnice nebo připevněny na základovou desku šrouby a kolíky. Výroba segmentů složitějších tvarů broušením je tím snadnější, přesnější a také levnější. Vyšší je i jejich životnost, proto jsou vhodné pro sériovou a hromadnou výrobu.

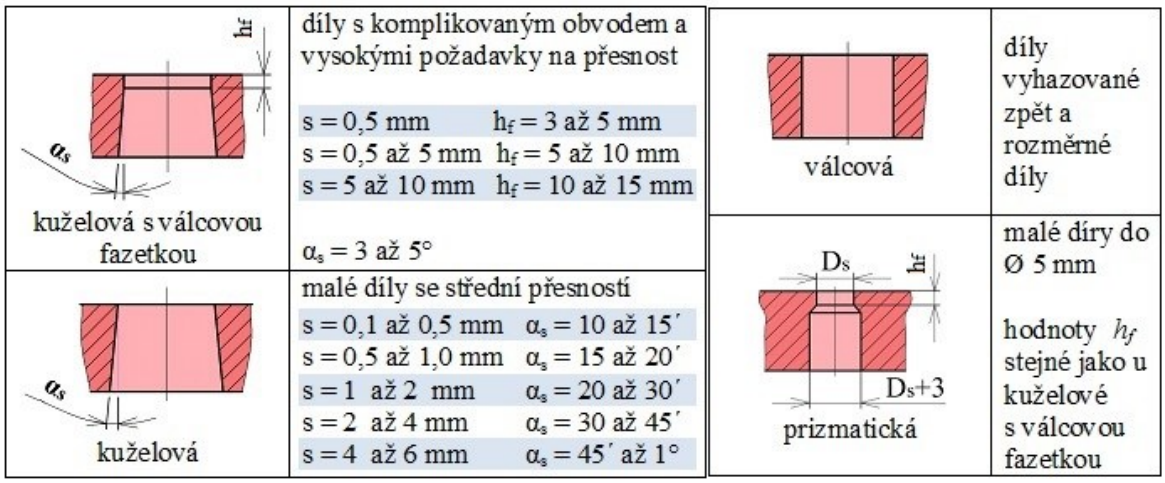


Obr. 30 Střižnice skládané [55].



Obr. 31 Střižnice vložkované [55].

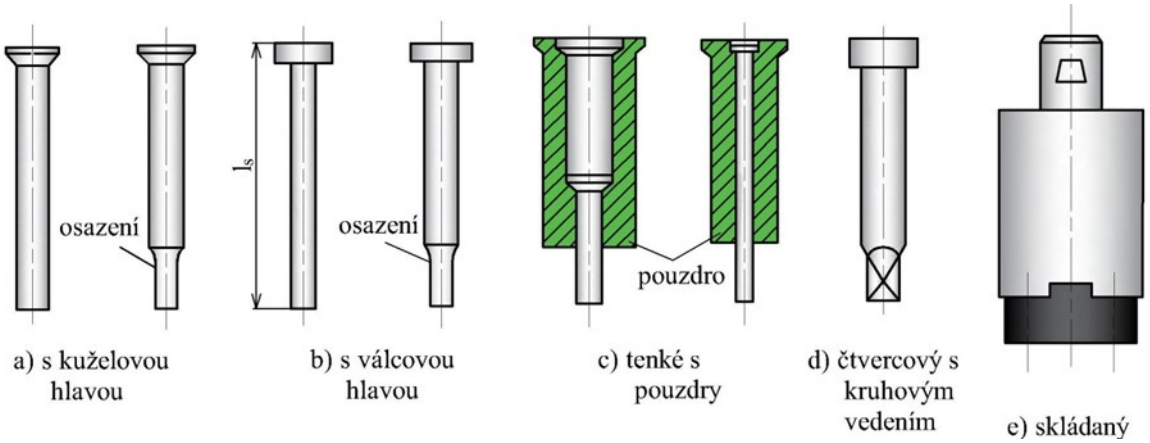
- Vložkované střižnice – mají podobné výhody jako střižnice skládané. Do tělesa střižnice z konstrukční oceli se vkládá vložka z nástrojové oceli nebo slinutých karbidů. Proti vytažení z objímky jsou do ní zalisovány, mohou být i přichyceny za přírubu (obr. 31a) nebo zajištěny různým způsobem šrouby (obr. 31b). Rychlou výměnu umožňují rychloupínací systémy s kuličkou, šroubem nebo kolíkem (obr. 31c a obr. 31d). Nekruhové tvary se jistí proti pootočení kolíkem, perem nebo drážkou. Z důvodu broušení objímku vložka obvykle přečnívá o 2 až 5 mm. Výhodou vložek je jejich jednoduchá výroba, úspora dražších nástrojových materiálů, minimalizace nebezpečí vzniku trhlin a deformací po kalení. V případě opotřebování nebo poškození se dají snadno vyměnit, čímž se prodlužuje životnost nástrojů. Jejich hlavní využití je tak v sériové nebo hromadné výrobě.



Obr. 32 Geometrie otvorů střižnic [46; 55].

Geometrie střižnice je přizpůsobena potřebám a podmínkám stříhání. Na obr. 32 jsou uvedeny používané varianty s proměnnými hodnotami šířky fazetky střižnice $\mathbf{h_f}$ a úhlu kuželového otvoru střižnice $\boldsymbol{\alpha_s}$ v závislosti na tloušťce materiálu. Základní válcová geometrie se používá při užití vyhazovače nebo u rozměrných tvarů. Prizmatická pro malé otvory, kuželová s válcovou fazetkou pro vysoké počty kusů, složitější tvary a při požadavcích na přesnost. Kuželová se volí pro středně velké počty kusů, menší části a dosahuje se při ní střední přesnosti. [46; 49; 55; 64]

Střižnice musí mít dostatečnou tloušťku **H**, aby svojí tuhostí odolala působícím tlakům. Rozměry střižnice se doporučují volit dle ČSN 22 6273. Jejich obvyklá tloušťka se pohybuje v rozmezí 22 až 30 mm. [42; 43]



Obr. 33 Ukázka druhů střižníků [64].

Střižník je při stříhání protikusem střižnice. Zpravidla má čelo kolmé k vlastní podélné ose. Lze je rozdělit podle více kritérií. Jedním ze základních je rozdělení podle tvaru průřezu na kruhové, čtvercové, obdélníkové, tvarové a další (obr. 33). Vyrábějí se také buď z jednoho kusu (monolitní) nebo jako dělené. U dělených je větší nosná část z konstrukční oceli a pouze malá funkční část z oceli nástrojové nebo slinutého karbidu (obr. 33e). Tyto vyměnitelné části snižují cenu nástroje. Dle technologického použití jsou střižníky ostřihovací a přestřihovací, vystřihovací a prostřihovací, odstřihovače. Naposled uvedené odstřihovače mají funkci pouze technologickou. Postupně odstřihují při každém kroku úzký pás okraje plechu (jednostranně nebo oboustranně), tím je pás plechu sestříháván na přesnou šířku a zároveň vytváří dorazovou plošku, kterou se pás zarazí o doraz při posunu do následujícího kroku. Odstřihovací se užívají pro příčné dělení pásu nebo svitku, pro odstřihnutí výstřižku od odpadu nebo k samotnému stříhání odpadu. Vystřihovací a prostřihovací vystřihují obrysy různých tvarů do děrovaného polotovaru. [46; 55; 63; 64]

Z hlediska vedení se střižníky rozdělují na nevedené, vedené a zesílené. Volba jejich provedení se řídí štíhlostním poměrem, u štíhlých se provádí kontrola na vzpěr. Zjišťuje se kritická délka, která by měla za následek ztrátu stability vybočením z podélné osy (prohnutí), případně až prasknutí střižníku. Pokud na vzpěr nevyhovuje, snižuje se jeho volná délka vedením nebo zesílením. [43; 55; 57; 63] Pro nevedené střižníky se užívá vztah [57]:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F_{si}}}, \tag{2.18}$$

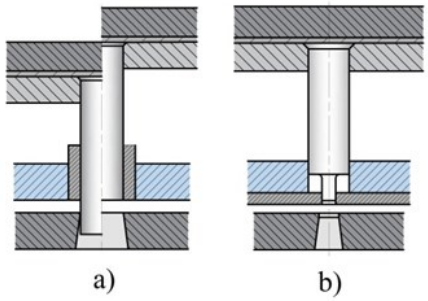
kde: E - modul pružnosti (ocel $2{,}1 \cdot 10^5$) [MPa],
I - moment setrvačnosti průřezu (příloha 6) [mm^4],
k_b - koeficient bezpečnosti ($k_b = 1{,}5$ až 2) [-].

Pro vedené střižníky pak vztah [57]:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F_{si}}}. \tag{2.19}$$

Zjednodušeně pro válcové střižníky platí, že nevedené lze použít od děrovacího poměru $s/d_s > 0{,}7$ a štíhlostního poměru $l_s/d_s < 4$, kde $\mathbf{d_s}$ je průměr střižníku a $\mathbf{l_s}$ je délka střižníku. Vyrábějí se jako neosazené a pro malé průměry (3 až 10 mm) jako osazené (obr. 33a, b). Pokud nejsou splněny výše uvedené podmínky, užívají se válcové střižníky vedené (obr. 34a). Pro ně se užívá vodící deska, viz obr. 29, kterou střižník prochází až těsně nad stříhaný

materiál. Vedení snižuje volnou délku střižníku a poskytuje mu oporu proti vybočení z osy, které by mohlo způsobit jeho zlomení. Pokud je $s/d_s > 1{,}6$, dělají se vedené střižníky s osazením (obr. 34b). Střižníky o průměru menším než 5 mm používané k stříhání tvrdého materiálu nebo při poměru $0{,}6 > s/d_s < 1{,}4$, jsou střižníky nejen vedeny ve vodící desce, ale i zesíleny pouzdrem (obr. 33c). [63]



Obr. 34 Vedené střižníky [63].

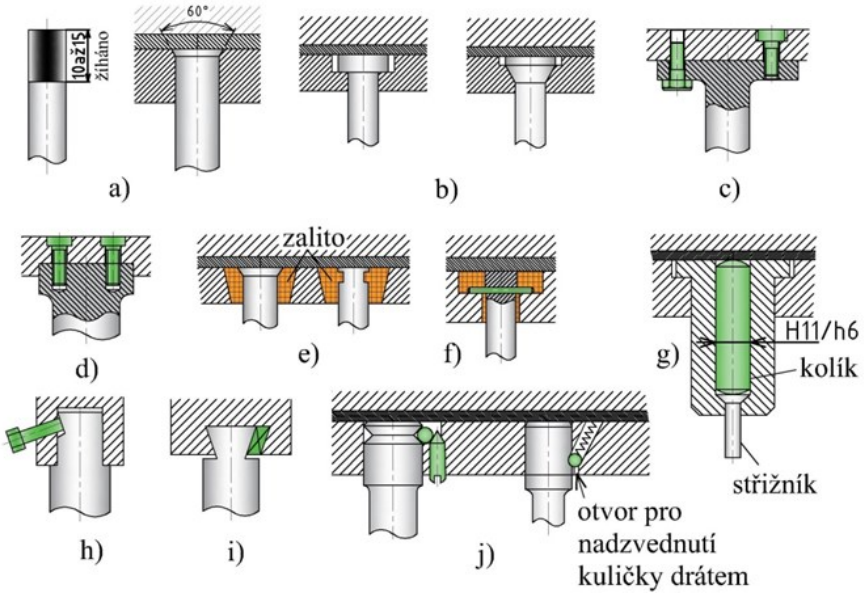
Při návrhu provedení střižníku je nutné také provést kontrolu na otlačení. Tato kontrola porovnává napětí na střižníku a dovolené tlakové namáhání upínací hlavice. Pokud by napětí na dosedací ploše hlavy střižníku $\boldsymbol{\sigma_{si}}$ přesáhlo dovolené napětí dané materiálem upínací hlavice, střižník by se vtlačoval do upínací desky. U oceli je dovolené napětí $\boldsymbol{\sigma_{dov}}$ 180 MPa (u litiny 90 MPa). [43; 55; 57] Pod hlavy střižníků se vkládá kalená opěrná deska, pokud neplatí následující vztah pro kontrolu otlačení [55]:

$$\sigma_{si} = \frac{F_{si}}{S_{si}} \leq \sigma_{dov}, \tag{2.20}$$

kde: S_{si} - dosedací plocha hlavy i-tého střižníku [mm^2],

$$S_{si} = \frac{\pi \cdot d_{hs}^2}{4}, \text{ pro hlavy s kruhovým průřezem,} \tag{2.21}$$

kde: d_{hs} - průměr hlavy střižníku [mm].

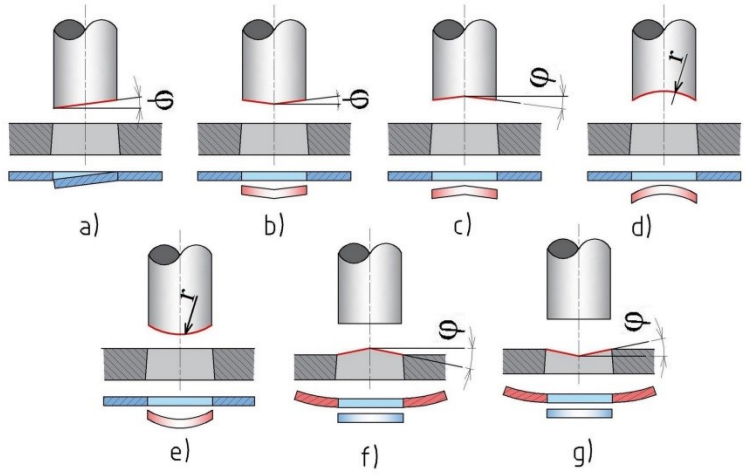


Obr. 35 Upevnění střižníků [43; 55].

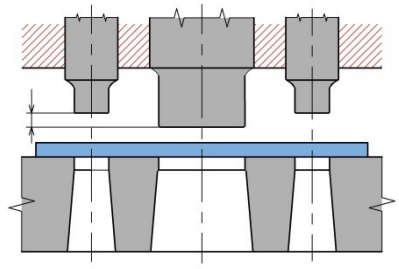
Upnutí střižníků – střižník je svojí horní částí upevněn v kotevní desce. Způsob ukotvení je různorodý a má na něj vliv tloušťka stříhaného materiálu, tvarová složitost střižníku nebo způsob jeho výroby. Ukotvení musí být natolik tuhé, aby byla zaručena kolmost a odolnost proti bočním silám a natolik pevné, aby zamezilo vytažení střižníku z kotevní desky stírací silou. Ta je mnohem menší než síla střižná, proto v mnoha případech stačí vytvoření kuželové

hlavy roznýtováním vyžíhaného konce u menších střižníků (obr. 35a) nebo vytvoření válcové či kuželové hlavy třískovým obráběním (obr. 35b) u střižníků větších. Velké střižníky dostatečně od sebe vzdálené lze upnout za přírubu (obr. 35c) nebo do kotevní desky zapustit a přišroubovat (obr. 35d). Tvarově složitější střižníky se do kotevní desky zalévají pryskyřicí (obr. 35e), což výrazně zjednoduší výrobu otvoru v kotevní desce. Pro větší stírací síly se střižník proti vytažení dodatečně fixuje kolíkem (obr. 35f). Střižníky na malé otvory se vyrábějí jako osazené, nebo se vsadí do pouzdra (obr. 35g), toho je využíváno i pokud střižník nevyhovuje na vzpěr. Jinou možností pro malé střižníky bez příruby je upevnění šroubem (obr. 35h) nebo klínem (obr. 35i). Pro rychlou výměnu nebo vyřazení střižníku ze střihu se využívá rychloupínacích způsobů (obr. 35j) například s kolíkem a kuličkou nebo s kuličkou a dotlačovací pružinkou. [43; 49; 55; 63]

Tvarová úprava činných částí střihadla – k úpravě břitů střižníku nebo střižnice různým zkosením se přistupuje, zejména pokud je nutné snížit střižnou sílu. Její průběh je pozvolnější s nižším maximem díky postupnému střihu. Úhel zkosení pro materiály o tloušťce $s \leq 3\ mm$ je $\varphi \leq 5°$. Střižnou sílu lze touto úpravou snížit o 30 až 60 %. Toho se například využívá, pokud dostupný stroj nedokáže požadovanou střižnou sílu vyvinout. Negativním jevem těchto úprav je deformace stříhaného materiálu ohybem. Proto se při ostřihování zkosením upravuje střižnice a střižník má čelo rovné. Tím se deformuje pás plechu, tedy odpad a výstřižek zůstává rovný (obr. 36f, g). Při děrování je tomu naopak, upravuje se střižník a střižnice je rovná. Pod střižníkem se tak deformuje odpad procházející střižnicí a nikoliv děrovaná součást. Nejčastější varianty úprav střižníku obsahuje obr. 36, kde na obrázku obr.36a je střižník s jednostranným zkosením, používaný také pro nastřihování s ohnutím. Při této úpravě ovšem vznikají boční síly způsobující posun stříhaného materiálu, tím jsou namáhány ostatní střižníky, což může u tenkých střižníků vést až k jejich zlomení. Posunu materiálu lze zabránit jeho vhodnou fixací. Pro děrování je výhodnější symetrické zkosení střižníků nebo úprava s rádiusem (obr. 36b, c, d, e). Boční síly se zde vyrovnávají a zatlačením břitu do materiálu se zlepšuje středění střižníku, protože je zabráněno klouzání střižníku po povrchu polotovaru. Nevýhodou je pracné a zdlouhavé broušení zvláště tvarově složitějších střižníků. [40; 43; 44; 49; 55; 63; 65]



Obr. 36 Úprava střižníků a střižnic zkosením [65].

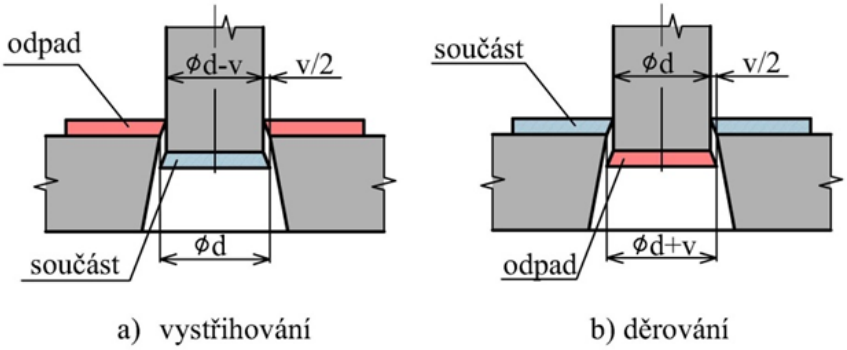


Obr. 37 Odstupňování délky [63].

Při děrování více střižníky lze celkovou střižnou sílu snížit i jejich odstupňováním (obr. 37). Střižníky o nestejné délce se do záběru dostávají postupně a jejich střižné síly se tak nesčítají. Nejprve stříhají střižníky větší, protože vznikající radiální napětí by mohlo zlomit tenčí střižníky. Ty stříhají až následně, když střižná síla poklesne. Střižný proces je tím sice delší

ovšem plynulejší a s menším namáháním stroje. Výhodnější je také broušení nástrojů s rovnými čely, s možností jejich přebroušení přímo na stroji. [43; 49; 63]

Životnost střihadel je závislá na konstrukci nástroje, úpravě jeho činných částí, použitém materiálu a jeho tepelném zpracování, použité výrobní technologii a také na použití mazadel. Na rychlost opotřebení má dále vliv stříhaný materiál se závislostí na poměru tloušťky a tvrdosti materiálu k délce střižného obvodu, dále seřízení nástroje nebo tuhost stojanu vedení beranu stroje. Rozeznává se celková trvanlivost neboli životnost a dílčí trvanlivost mezi dvěma přebroušeními. Nástroj se dá takto opětovně naostřit až 25krát. Rychlost opotřebení nemá lineární charakter, ale probíhá ve třech fázích. V první fázi roste rychle vlivem rychlého opotřebení naostřených břitů, v druhé je pozvolnější, protože se zvětšením plochy břitu poklesl tlak na jednotku plochy. Ve třetí fázi se opět opotřebení zrychluje vlivem změny deformace na střižné hraně (pěchování). V důsledku opotřebení se zvyšuje střižná síla, snižuje se kvalita střižné plochy s růstem ostřin a klesá rozměrová přesnost výstřižku. To je způsobeno úbytkem materiálu na činných plochách nástroje vlivem abraze a adheze při vysokých tlacích v průběhu střihu. To v případě střižnice znamená postupné zvětšování jejího otvoru a u střižníku zmenšování jeho průřezu. [65]



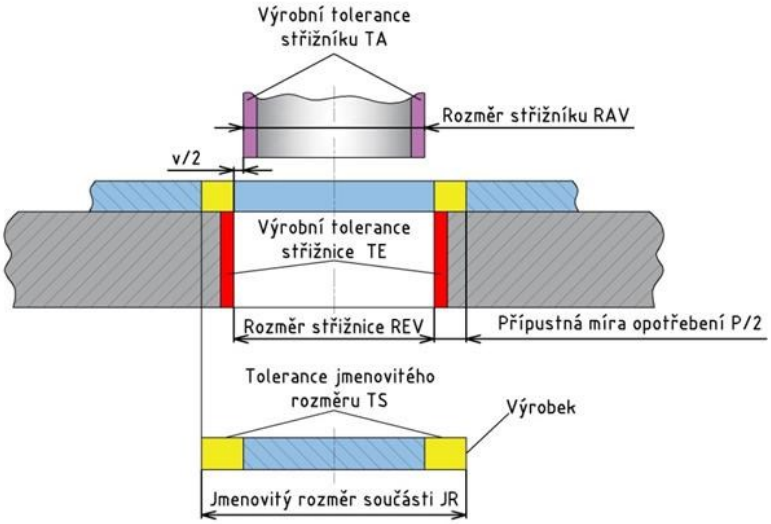
Obr. 38 Vystřihování a děrování [44].

Podle toho o jaké stříhání se jedná, se volí i výrobní tolerance nástroje. Jak při vystřihování, tak děrování (obr. 38) se vždy jedna pracovní část střihadla považuje za základní, ta má zásadní vliv na rozměr výrobku, její rozměry se tak volí dle rozměrů a tolerancí výstřižků. Jedná- li se o vystřihování, kdy výrobek propadává otvorem střižnice a zbývající polotovar ve střihadle je odpad, velikost výrobku závisí především na velikosti otvoru střižnice (obr. 39). Rozměr jejího otvoru tak odpovídá velikosti nejmenšího přípustného rozměru výstřižku a střižník je menší o velikost střižné vůle. Větší část velikosti tolerance výstřižku je účelné použít jako přídavek k rozměru otvoru střižnice pro omezení vlivu jejího opotřebení. [44; 49; 50; 55; 63] Zdroj [55] uvádí následující všeobecné vzorce pro výpočet střihadel při vystřihování, označení veličin je přizpůsobeno normě ČSN 22 6015 [50; 55]:

$$REV = (JR - TS) + TE, \tag{2.22}$$

$$RAV = (JR - TS - v) - TA. \tag{2.23}$$

V praxi se k určení rozměrů střižníku a otvoru střižnice při vystřihování více využívá postup uvedený v normě ČSN 22 6015. Nejprve je určena povaha změny rozměru při opotřebení pracovních částí (příloha 7) a dle orientace odchylek **TS** se zvolí příslušný vztah pro výpočet z tabulky přílohy 8. Přípustné míry opotřebení střižných součástí **P** a výrobní tolerance **TE**, **TS** se určí z tabulky 18 v příloze uvedené normy dle velikosti tolerance. [50]



REV - rozměr otvoru střižnice při vystřihování [mm],
RAV - rozměr střižníku při vystřihování [mm],
JR - jmenovitý rozměr součásti [mm],
TS - tolerance jmenovitého rozměru [mm],
TE - výrobní tolerance otvoru střižnice [mm],
TA - výrobní tolerance střižníku [mm].

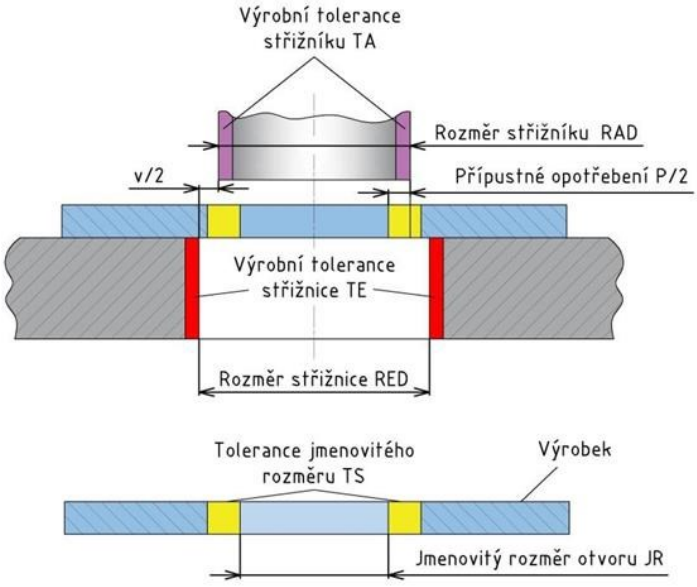
Obr. 39 Vystřihování – rozměry činných částí [50].

Pokud se děrují otvory do výrobku, tzn. výrobek je část, která zůstává ve střihadle a odpadem je střižnicí propadlý kus o ploše děrovaného otvoru, je základní částí střižník (obr. 40). Protože má zásadní vliv na rozměr děrovaného otvoru, použije se většina tolerance výrobku jako prostředek na kompenzaci jeho opotřebení. Velikost nového střižníku tedy odpovídá přibližně maximální přípustné velikosti otvoru. [44; 49; 50; 55; 63] K určení rozměru střižníku a otvoru střižnice při děrování lze použít následující všeobecné vzorce [55]:

$$RED = (JR + TS + v) + TE, \tag{2.24}$$

$$RAD = (JR + TS) - TA, \tag{2.25}$$

Také pro děrování se v praxi více využívá již popsaného postupu určení dle normy ČSN 22 6015. Využijí se vzorce obsažené v tabulce přílohy 9. [50]

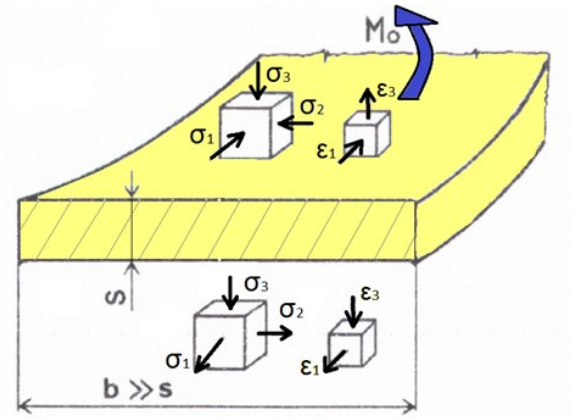


RED - rozměr otvoru střižnice při děrování [mm],
RAD - rozměr střižníku při děrování [mm].

Obr. 40 Děrování – rozměry činných částí [50].

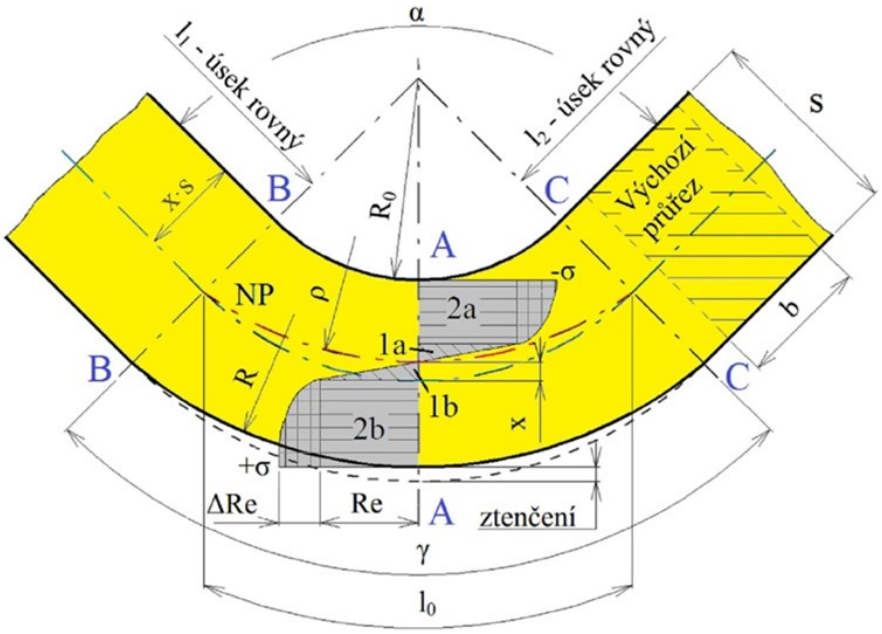
2.2 Ohýbání

Vlivem působení ohybových momentů nebo lokálních sil je materiál při ohybu tvářen s trvalou změnou jeho křivosti. Přitom nedochází k podstatné změně tloušťky materiálu. Pro tváření plechu je to jedna ze základních velmi rozšířených výrobních technologií. [1; 5; 54].



Obr. 41 Napjatost a deformace v ohybu [1; 51].

Napětí a deformace při ohybu - při tváření ohybem jsou významná tahová napětí, jejichž kritické hodnoty nedosahují meze pevnosti zpracovávaného materiálu. V místě největšího ohybového momentu vzniká poměrně úzká oblast ohybu, kde dochází k přetvoření (pružně – plastické deformaci). Ostatní materiál zůstává neovlivněn. Pokud je šířka ohýbaného plechu **b** nejméně trojnásobkem jeho tloušťky **s**, platí schémata stavu napjatosti a deformace pro široké pásy viz obr. 41. V tomto případě odpor materiálu v šířce plechu zamezuje deformacím průřezu v příčném směru. Tyto deformace lze považovat za nulové $\varepsilon_2 = 0$. Mechanická schémata strany stlačované a natahované se od sebe liší, avšak na obou se uvažuje prostorový stav napjatosti a rovinný stav deformace. Na vnější straně ohybu se tahovým napětím polotovar prodlužuje do délky a tlakovým napětím od vnějších vrstev působící na vrstvy vnitřní se snižuje jeho tloušťka ($\varepsilon_1 = -\varepsilon_3$). Na vnitřní straně ohybu vzniká všestranná tlaková napjatost, jejímž důsledkem je materiál stlačován, dochází k jeho zkracování a nárůstu tloušťky ($-\varepsilon_1 = \varepsilon_3$). [1; 44; 51; 53; 54]



Obr. 42 Schéma procesu ohýbání [51].

Průběh procesu ohýbání v příčném průřezu je na obrázku obr. 42. V oblasti tahových napětí *2b* dochází po překonání meze kluzu k plastické deformaci, a to nejvíce v krajních vláknech. S velikostí deformace roste i zpevnění materiálu, které zvyšuje jeho deformační odpor. Jinak konstantní napětí v této oblasti se tím zvětšuje o přírůstek ΔR_e. Podobně je tomu i v oblasti stlačování *2a*, kde má ovšem napětí opačný směr. V oblasti *1a* a *1b* nacházející se blízko středu průřezu materiálu jsou napětí menší než mez kluzu a materiál je deformován pouze pružně. Průběhy napětí se zde řídí Hookovým zákonem. [1; 44; 51; 53; 54]

2.2.1 Neutrální plocha (osa) a poloměry ohybu

Ohybové napětí skokově mění z tahového na tlakové v místě neutrální plochy (neutrální osy) **NP,** viz obr. 42. Materiál je zde bez napětí, není stlačován ani natahován, jeho délka se tak nemění. Toho se využívá při výpočtu rozvinuté délky polotovaru, pro určení délky v ohnutém úseku se zjišťuje poloměr neutrální vrstvy **ρ**. [1; 5; 45; 54] Poloha neutrální osy (plochy) je u ohybů s poloměrem R_o/s ≥ 12 shodná s geometrickou osou tloušťky materiálu a její poloměr lze určit jako střední hodnotu mezi vnějším poloměrem **R** a vnitřním poloměrem $\mathbf{R_o}$ dle vztahu [5]:

$$\rho = \frac{(R+R_o)}{2} = R_o + \frac{s}{2}, \tag{2.26}$$

kde: R - vnější poloměr ohybu [mm],
R_o - poloměr ohybu [mm].

U ohybů s malým poloměrem ohybu se ovšem neutrální plocha vlivem zeslabení tloušťky materiálu na straně tahu a zesílením na straně pěchování posunuje směrem k vnitřnímu povrchu ohybu. K tomuto posunu přispívá, i pokud je z vnitřní strany povrch ohybu namáhán tlakem nástroje (ekvivalent ohybu s tažením). Ve výpočtu poloměru **ρ** je tato skutečnost promítnuta přidáním součinitelů ztenčení a rozšíření odrážející deformaci průřezu polotovaru v místě ohybu. Pro ohýbání širokých pásů, kdy se materiál pouze ztenčuje, jsou tyto součinitele nahrazeny součinitelem posunutí polohy neutrální plochy **x**. Jeho hodnota je závislá na poměru velikosti poloměru ohybu a tloušťce ohýbaného materiálu. Hodnoty **x** úhlu ohybu 90° oceli třídy 11 a 12 uvedené v tabulce 2 je možné použít pro přibližné určení i pro ostatní třídy oceli. [1; 5; 40; 51; 53; 54] Výpočet poloměru neutrální plochy u malých poloměrů ohybu širokých pásů je [39]:

$$\rho = R_o + x \cdot s, \tag{2.27}$$

kde: x - součinitel posunu neutrální plochy [-].

Tab. 2 Hodnoty součinitele x [5].

$\frac{R_o}{s}$	0,1	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,455	0,47	0,475	0,478	0,48	0,424	0,486

Při volbě poloměru ohybu je nutné znát jeho hranici danou minimálním poloměrem ohybu $\mathbf{R_{min}}$. Je to poloměr, kdy při ohybu ještě nedojde na vnější straně ohybu k porušení materiálu trhlinami. Na jeho velikost má vliv převážně tvárnost ohýbaného materiálu s příspěvky vlivu jeho anizotropie, dále jeho tloušťka a šířka, způsob ohýbání, úhel ohybu a případně další technologické podmínky. Menšího poloměru ohybu lze použít například, pokud je otřep polotovaru stlačován na vnitřní straně ohybu nebo po tepelném zpracování žíháním u málo plastických materiálů. Při výpočtu jsou tyto vlivy obsaženy v součiniteli technologických podmínek $\mathbf{c_o}$. Mezní prodloužení $\boldsymbol{\varepsilon_c}$ v krajní natahované vrstvě je prodloužení, při kterém napětí v materiálu dosahuje meze pevnosti v tahu. V praxi se minimální poloměr ohybu užívá

pouze zřídka a volí se spíše poloměry o 20 % větší. [1; 5; 39; 48; 51] Výpočtový vztah pro $\mathbf{R_{min}}$ je [48]:

$$R_{min} = \frac{s}{2}\left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1\right) = c_o \cdot s, \tag{2.28}$$

kde: c_o - součinitel technologických podmínek [-];
pro měkkou ocel $c_o = 0{,}5$ *až* $0{,}6$.

Při návrhu ohybku je užitečné také znát maximální poloměr ohybu $\mathbf{R_{max}}$. Je to poloměr, při kterém nastávají v krajních vrstvách materiálu první plastické deformace, materiál tak získává trvalý zakřivený tvar. U ohýbání s větším poloměrem je materiál deformován pouze elasticky a po odtížení působící deformační síly se opět narovná do původního stavu. [1; 5; 39; 48; 51] Tento důležitý hraniční poloměr ohybu se vypočítá dle [39]:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1\right) \doteq \frac{s \cdot E}{2 \cdot R_e}, \tag{2.29}$$

kde: E - modul pružnosti v tahu [MPa],
R_e - mez kluzu materiálu [MPa].

2.2.2 Délka polotovaru, odpružení po ohybu a vůle mezi ohybníkem a ohybnicí

Po stanovení poloměrů ohybu je možné určit výchozí (rozvinutou) délku polotovaru ohybku. Je to důležité, protože pouze polotovar potřebné délky zaručuje, že výrobek bude odpovídajících rozměrů. Celková délka rozvinu (obr. 43) se skládá ze součtu všech rovných úseků, k němuž se přičítají délky jednotlivých oblouků ohybů v místě jejich neutrální plochy. [5; 39; 40; 41] Universální rovnice pro ohybek s libovolným počtem ohybů je [39]:

$$l_c = l_1 + l_2 + l_3 + \cdots + l_n + l_{o1} + l_{o2} + l_{o3} + \cdots + l_{o(n-1)}, \tag{2.30}$$

kde: l_i - délka i-tého rovného úseku [mm],
l_{oi} - délka i-tého ohnutého úseku [mm].

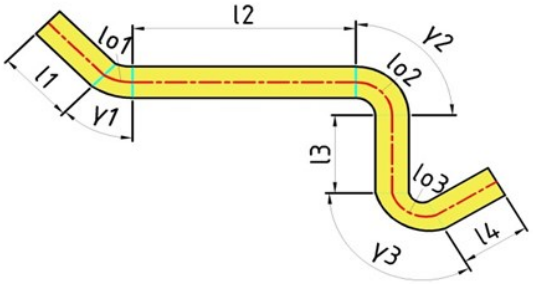
Ve výpočtu délky ohnutých úseků se poloměr neutrální plochy **ρ** pro jednotlivé ohyby vypočítá dle vzorce (2.27). K dílčímu výpočtu úhlu ohnutého úseku **γ** se využije požadovaný (předepsaný) úhel ohybu **α**. [5; 39; 44, 51] Výpočtový vztah pro jednotlivé délky ohnutých úseků je [39]:

$$l_o = \frac{\pi \cdot \gamma \cdot \rho}{180}, \tag{2.31}$$

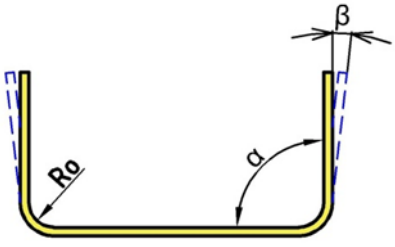
kde: γ - úhel ohnutého úseku [°],

$$\gamma = 180° - \alpha°, \tag{2.32}$$

α - úhel ohybu (sevřený úhel ramen ohnuté části) [°].



Obr. 43 Výchozí délka polotovaru [44].



Obr. 44 Odpružení [5].

Negativním jevem při ohýbání je odpružení po ohybu (obr. 44). Projevuje se zpětným rozevřením ohybu o odchylku požadovaného úhlu ohybu – úhel odpružení ***β***. Tím by vznikl výrobek nepřesného tvaru, proto je nutné s odpružením počítat již při návrhu ohýbacího nástroje a způsobu ohýbání. Odpružení vzniká po odtížení deformačního silového působení

ohýbacího nástroje a projevuje se tím výrazněji, čím jsou délky ohýbaných ramen větší. Odpružení je způsobeno pružnou deformací materiálu v okolí neutrální plochy. Na velikost úhlu odpružení mají zásadní vliv mechanické vlastnosti ohýbaného materiálu, jeho tloušťka, velikost úhlu ohybu nebo konstrukce ohýbadla. Jeho obvyklá velikost u běžně ohýbaných materiálů je 3 až 15°. Přibližnou velikost je možné určit z grafů sestrojených pro různé materiály a úhly ohybu v závislosti na poměru poloměru ohybu k tloušťce materiálu. Ukázka grafu je v příloze 10 (dole). Jinou možností je odečet přímo z tabulky uvedené v příloze 10 (nahoře). [1; 5; 40; 41; 53; 54; 55] Pro určení z grafu v příloze 10 (uprostřed) slouží koeficient **K** stanovený dle vztahu [1; 55]:

$$K = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{R_1 + 0{,}5 \cdot s}{R_2 + 0{,}5 \cdot s}, \tag{2.33}$$

kde: α_1, R_1 - hodnoty úhlu ohybu a poloměru ohybu, které je nutné dosáhnout, aby vznikl ohyb o poloměru ohybu α_2 a poloměru R_2,

α_2, R_2 - požadovaný úhel ohybu a poloměr ohybu (obr. 45).

K přibližnému výpočtu odpružení při ohybu U s velkým poloměrem ($R_o/s > 20$), jehož schéma je na obr. 46, je možné použít i výpočtový vztah pro tangentu β a z něj určit samotný úhel odpružení $\boldsymbol{\beta}$ dle [39; 48]:

$$tg\beta = 0{,}75 \cdot \frac{l_m}{k_n \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} => \beta, \tag{2.34}$$

kde: k_n - součinitel určující polohu neutrální plochy dle poměru R_o/s [-]; obvyklá velikost $k_n = 0{,}5$ až 0,6, přesněji lze určit z tabulky v příloze 11,

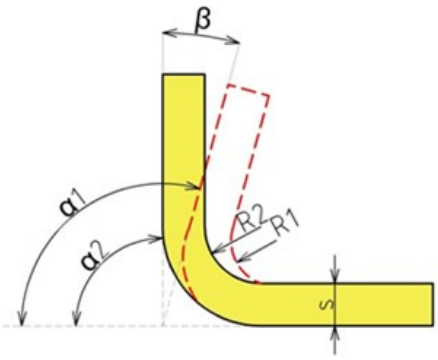
l_m - vzdálenost středů poloměru zaoblení ohybníku a ohybnice [mm]

$$l_m = r_m + r_p + 1{,}2 \cdot s \text{ [mm]}; \text{ uvedeno v normě [62]}, \tag{2.35}$$

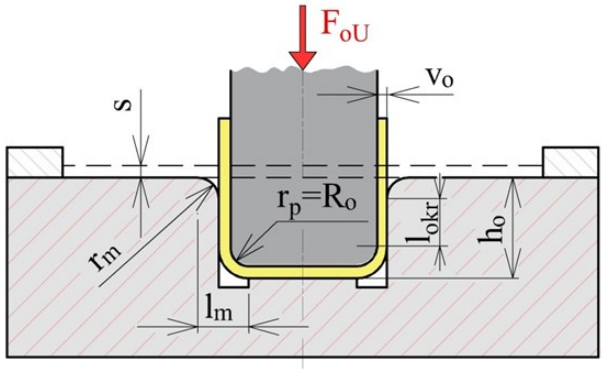
kde: r_m - poloměr zaoblení ohybnice [mm]; dle zdrojů [1; 62] pro $s < 3\ mm$ je $r_m = (2$ až $6) \cdot s$, více lze konkretizovat z tabulky v příloze 11,

r_p - poloměr ohybníku [mm]; $r_p = 0{,}5 \cdot s$ pro materiály s vyšší tažností.

Poloměr ohybníku je většinou shodný s poloměrem ohybu $r_p = R_o$, případně může být upraven k snížení odpružení. [1; 55; 62]



Obr. 45 Koeficient K [1].



Obr. 46 Schéma nástroje k ohýbání do tvaru U [1].

Pro omezení odpružení nebo její úplnou eliminaci existuje více metod [1; 53; 54; 55; 61; 62]:

- Ohyb s větším úhlem – úhel ohybu zvětšen o úhel odpružení. Po odtížení tak vznikne úhel požadovaný. K tomuto účelu je upraven i nástroj například úkosem nebo vybráním stěny ohybníku.

- Použití kalibrace – při které se v závěru lisovacího cyklu použije větší lisovací síla, vzniklou místní plastickou deformací se odpružení zmírní nebo zcela vymizí.
- Použití prolisů (výztužných žeber) na výlisku – umožní až plné odstranění odpružení.
- Tváření rázem – se zpevněním materiálu v rozích.
- Úpravou částí ohýbadla – zaoblením dolní části ohybníku s příslušným zaoblením přidržovače.

Velikost vůle mezí ohybníkem a ohybnicí $\mathbf{v_o}$ je závislá na druhu a tloušťce ohýbaného polotovaru, na jeho výrobní toleranci, dále má vliv délka ohýbaného okraje $\mathbf{l_{okr}}$, což je délka polotovaru mezi poloměrem zaoblení ohybníku a ohybnice (obr. 46). Malé vůle mají za následek větší ohýbací síly, záporná vůle $v_o = (0{,}8\ až\ 0{,}9) \cdot s$ při ohybu U zmenšuje velikost odpružení. [1; 44; 54; 55] Pro oceli je obvyklá velikost vůle [55]:

$$v_o = (1{,}05\ až\ 1{,}15) \cdot s. \tag{2.36}$$

Při ohybu do tvaru U jsou stěny součásti ohnuty rovnoběžně se směrem pohybu pohyblivé části ohýbadla. Vůle je více závislá na skutečných podmínkách práce a geometrii nástroje. Pro kvalitní výlisek je důležitá také výrobní tolerance tloušťky polotovaru. [44; 54] Pokud je $l_{okr} \leq 2 \cdot s$, pak by vůle měla být rovna dolnímu meznímu rozměru tloušťky polotovaru [44]:

$$v_o = s_{min}, \tag{2.37}$$

kde: s_{min} - minimální tloušťka polotovaru [mm].

V případě, že $l_{okr} \geq 3 \cdot s$, je možná úprava ohybníku skosením stěn o 1 až 3°, což snižuje tlak na stěnu ohybnice a také umožňuje přihnutí stěn výlisku pro eliminaci odpružení. [44; 54] V tomto případě [44]:

$$v_o = s_{min}\ až\ s. \tag{2.38}$$

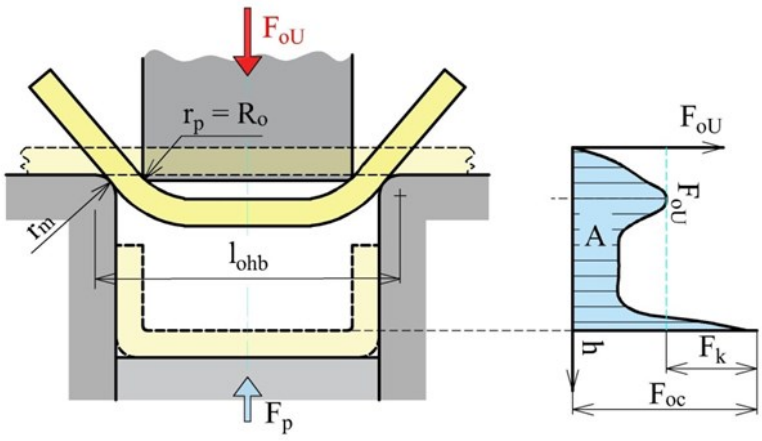
U činných částí s rovnou stěnou je pak vůle pro materiály $s \leq 3\ mm$ doporučena o shodné velikosti jako tloušťka polotovaru **s** [44].

2.2.3 Ohybová síla a práce

Pro výpočet ohybové síly ohýbání v ohybnici se rozlišuje, jedná-li se o ohyb do tvaru V nebo U. Pro ohyb se uvažuje o polotovaru jako o nosníku uloženém na dvou oporách s jejich vzájemnou vzdáleností $\mathbf{l_{ohb}}$, viz obr. 47. Na tento nosník působí ohybová síla ohybníku pohybujícího se po dráze zdvihu nástroje **h**. Při U ohybu se také uplatňuje vzdálenost mezi středy zaoblení ohybnice a ohybníku $\mathbf{l_m}$ (obr. 46). Po prvotním rychlém nárůstu ohybové síly v oblasti pružných deformací dochází při dalším posunu ohybníku k zvětšování křivosti polotovaru a trvalým deformacím. Ohýbací síla $\mathbf{F_{oU}}$ se zvětšuje až o 1/3 také třením polotovaru o funkční části ohybnice. Po dosednutí ohýbané součásti na stěny ohybnice ohýbací síla poklesne, aby se při dosednutí na dno ohybnice opět zvýšila při rovnání výlisku, nebo při jeho případném kalibrování vzrostla až několikanásobně. Na velikost ohýbací síly při U ohybu má také vliv zaoblení ohybnice, kdy se vzrůstajícím poloměrem ohýbací síla klesá. [1; 5; 46; 51; 56; 62] K výpočtu ohybové síly existuje více vztahů, z nichž se nejčastěji využívá vztahu, který uvádí norma ČSN 22 7340 [62]:

$$F_{oU} = \frac{0{,}4 \cdot R_m \cdot s^2 \cdot b}{l_m}., \tag{2.39}$$

kde: b - šířka pásu [mm].



Obr. 47 Způsob ohýbání a průběh ohýbací síly do tvaru U [5].

Celková síla pro provedení ohybu $\mathbf{F_{oc}}$ se v případě použití přidržovače zvyšuje o sílu přidržovače $\mathbf{F_p}$ a pokud je pro získání tvarové stálosti zařazeno i kalibrování, je zvýšena ještě o sílu kalibrovací $\mathbf{F_k}$. [5; 27; 45; 46; 51; 62] Velikost celkové síly pro ohýbání se vypočítá jako součet těchto dílčích sil [46; 51]:

$$F_{oc} = F_{oU} + F_p + F_k, \tag{2.40}$$

kde: F_p - síla přidržovače [N]; $F_p = 0{,}25$ až $0{,}30 \cdot F_{oU}$,

F_k - kalibrovací síla [N],

$$F_k = S_k \cdot p, \tag{2.41}$$

kde: S_k - kalibrovaná plocha polotovaru [mm^2]; je to plocha v průmětu kolmém na pohyb ohybníku,

p - měrný tlak pro kalibrování [MPa].

Hodnoty **p** pro některé materiály obsahuje tabulka v příloze 12, nebo dle [56] se celková síla pro ohyb zvyšuje 2,5 až 3 krát. V normě ČSN 22 7340 je výpočet pro $\mathbf{F_{oc}}$ [62]:

$$F_{oc} = 3 \cdot (F_{oU} + F_p). \tag{2.42}$$

Celková ohýbací síla se dále zvětšuje až o 25 % při speciální úpravě čela ohybníku k zamezení odpružení [45].

Ohybová práce - práce, kterou je nutné vykonat při plošném tváření ohýbáním k získání konečného tvaru výlisku. Lze ji určit z hodnot ohýbací síly a jejího průběhu. Podobně jako u střižné práce je dána obsahem plochy pod křivkou průběhu ohybové síly. Průběh síly je závislý na pracovním zdvihu ohýbadla $\mathbf{h_o}$. Výpočet integrací je u tak složitého tvaru křivky složitý, proto se výpočet zjednodušuje zavedením opravného koeficientu **m**, který je součinitelem zaplnění diagramu ohybové síly. [5; 45; 46; 51; 62] Pro U ohyb je výpočet ohybové práce [44; 62]:

$$A_{oU} = m \cdot \frac{F_{oU}}{1\,000} \cdot h_o, \tag{2.43}$$

kde: m - opravný koeficient respektující průběh ohýbací síly [-],

pro ohyb U je $m = \frac{2}{3}$, norma ČSN 22 7340 uvádí $m = \frac{1}{6}$,

h_o - pracovní zdvih ohýbadla (hloubka ohybnice) [mm],

$$h_o = l_{okr} + r_p + r_m + s, \tag{2.44}$$

kde: l_{okr} - délka rovné stěny ohybnice [mm].

Pokud je potřebná síla pro ohyb zvýšena o sílu přidržovací nebo kalibrovací, pak se počítá se silou $\mathbf{F_{oc}}$ [62]:

$$A_{oU} = m \cdot \frac{F_{oc}}{1\,000} \cdot h_o. \tag{2.45}$$

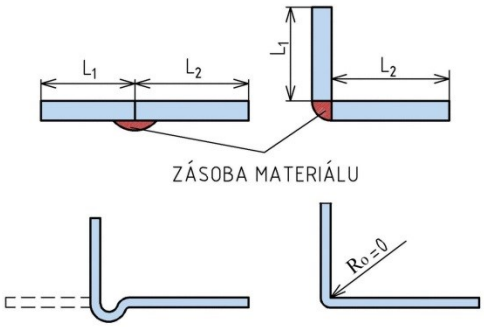
2.2.4 Technologičnost ohýbání

Tak jako pro stříhání i pro vytvoření kvalitního ohybku existují zásady technologičnosti, kterými je nutné se při návrhu konstrukce řídit. [44; 60; 61] Jsou to zásady respektující níže popsané nedokonalosti a specifika procesu ohýbání [44; 60; 61]:

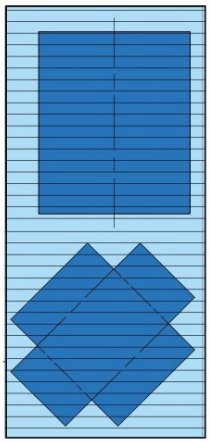
- Vlivem různé velikosti odpružení dochází k nepřesnostem v úhlu ohybu.
- Zvláště úzké pásy a profily jsou v oblasti ohybu a v přilehlých částech ramen deformovány do šířky. V menší míře je zde také patrné ztenčení tloušťky materiálu.
- Vliv nesprávného uložení polotovaru a rozdílné tření na hranách čelistí se projevuje nepřesností v umístění ohybu, čímž vznikají nepřesné délky ramen. Ramena jsou při metodě volného ohýbání často deformována.
- Tvářením materiál v oblasti ohybu zpevňuje.
- Pokud není respektován minimální ohyb dle tvárnosti materiálu a směru vláken, vznikají na vnější straně ohybu trhliny.

Tyto projevy lze částečně snížit například přídavnými operacemi rovnáním, kalibrováním nebo úpravou oblasti ohybu tvarováním, nabráním materiálu atd. Přídavné operace a dražší nástroje ovšem zvyšují výrobní náklady. [44] S ohledem na výše uvedená specifika technologie ohýbání jsou sestaveny následující zásady technologičnosti, uplatňující se při výrobě ohybku [39; 44; 46; 51; 53; 54; 60; 61]:

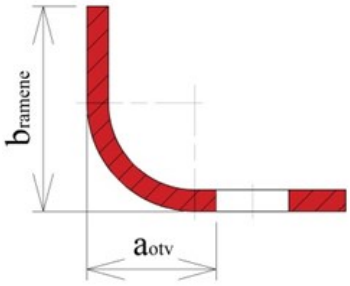
- Materiálová technologičnost – tak, jako pro výstřižek i pro ohybek se volí co nejlevnější materiál optimálně vyhovující výrobnímu procesu a z hlediska funkce součásti. Volí se materiály tvárné v závislosti na geometrii ohybu. Po ohybu měkké tažné materiály méně odpružují, avšak při jejich velké tažnosti dochází v místě ohybu k značnému ztenčení. Tvrdší materiály odpružují více, jsou citlivější na anizotropii materiálu vzhledem k ose ohybu. Také poloměry ohybu musí být větší než u měkkých materiálů. Místo ohybu se volí tím dále od okraje, čím je materiál tvrdší.
- Odpružení ohybu – pro minimalizaci odpružení volit dovolený co nejmenší poloměr ohybu nebo použít dodatečnou kalibraci, úpravu nástroje, popřípadě vyztužit ohyb prolisy (velké poloměry ohybu s malou tuhostí).
- Přípustné ztenčení materiálu v ohybu – doporučuje se maximální ztenčení o 20 %. U tvárných materiálů je tím ovlivněn minimální poloměr ohybu. Ostré ohyby ($R_o = 0$) lze vytvořit pouze dodatečným ražením. Proti nadměrnému ztenčení je nutné v místě ohybu vytvořit zásobu materiálu (obr. 48).
- Trhliny na vnější straně ohybu – jejich vznik je limitujícím faktorem při volbě minimálního poloměru ohybu u méně tvárných materiálů. Jejich vznik podporují také trhlinky ve střižné ploše a otřepy, které je nutno odstranit nebo zaoblit vnější hrany, popřípadě otřep orientovat na vnitřní stranu ohybu. Z důvodu citlivosti vůči anizotropii materiálu osu ohybu volit přednostně kolmou vůči vláknům materiálu, u dvou odlišně orientovaných ohybů kompromis 45° (obr. 49). Pokud není takto potlačen vznik trhlin, zvětšuje se minimální ohyb 1,5 až 2krát, v případě ohybu ostřejšího než 90° se zvětšuje o 10 až 30 %.
- Tolerance ohybku – pokud je to možné, tak ponechávat netolerované. V případě požadavku na tolerované rozměry nezvyšovat požadavky na přesnost nad míru dosažitelnou běžným způsobem ohýbání.



Obr. 48 Zásoba materiálu v ohybu [46].



Obr. 49 Anizotropie [60].

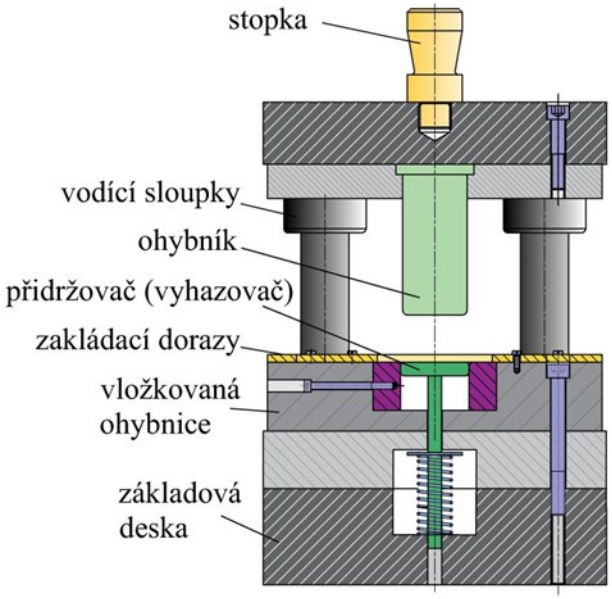


Obr. 50 a_{otv}, b_{ramene} [44].

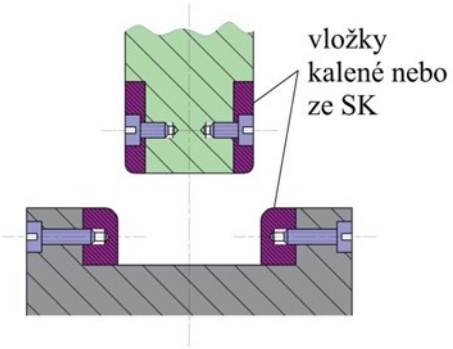
- Otvory u ohybu – v ovlivněné oblasti ohybem se deformují. Pokud mají zůstat nedeformované, dodržet vzdálenost $a_{otv} \geq R + 2 \cdot s$ (obr. 50). Přesné otvory blíže k ohybu než $\mathbf{a_{otv}}$ je nutné vystřihnout dodatečně.
- Ramena ohybku – při poloměru ohybu $R_o < 1\ mm$ by jejich minimální délka měla být $b_{ramene} \geq 3 \cdot s + R_o$ (avšak minimálně 2 mm). Při $R_o > 1\ mm$ (obr. 50) pak $b_{ramene} \geq (2{,}5\ až\ 3) \cdot s$. Nedodržení jejich minimální délky současně s jejich odlišnou délkou nebo šířkou se místo ohybu posunuje směrem k delšímu (širšímu) rameni. K zabránění posunu jsou nutná dodatečná opatření, například fixace pomocí kolíků.
- Tvar ohybku – volit co nejméně ohybů a nejlépe v jednom směru (ohyb oběma směry znamená nutnost odstranit otřepy nebo zaoblit hrany), nestřídat poloměry ohybu. Dostatečně uvolnit místo ohybu od neohýbaných částí (hrozí nepravidelností ohybu nebo natržení okraje). Pro jednoduchý tvar ohybníku a usnadnění zakládání nebo vyjímání součásti ji neuzavírat vícenásobnými ohyby. Zajistit kolmost okrajů polotovaru vůči ose ohybu vhodnou orientací ohybu nebo úpravou polotovaru. Pokud to není možné, dochází na krajích ohybu k deformacím s větší poloměrem ohybu.

2.2.5 Ohýbací nástroje

Nástroje pro ohýbání (ohýbadla) mají podobnou konstrukci jako nástroje střižné. Jsou rozděleny také na pohyblivou a pevnou část. V části pohyblivé je upnut činný nástroj – ohybník, který se pohybuje proti pevné činné části – ohybnici. V ní je uložen polotovar, který je ohýbán ohybovou silou vznikající pohybem ohybníku. Jednoduché nástroje jsou zpravidla nevedené. Na obr. 51 je nástroj vedený s vodícími sloupky, používaný pro přesné výrobky a při velkých sériích. Jsou zde zobrazeny také další možné části ohybadla, základová deska nebo desky stojánku, upínací deska, stopka – pro upnutí pohyblivé části do beranu stroje, zakládací dorazy – pro přesné založení polotovaru, přidržovač (vyhazovač) – pro eliminaci prohnutí dna ohybku nebo nežádoucímu posunutí polotovaru v průběhu ohýbání, také ve funkci vyhazovače vyhodí výrobek z ohybnice. Ohýbadlo také může být vybaveno stíračem pro setření výlisku z ohybníku, upevněným k pevné časti nástroje či stroje, dalšími mechanismy pro příčný pohyb ohýbacích klínů u složitějších výrobků apod. [36; 49; 55; 62]



Obr. 51 Sestava ohýbacího nástroje [61].

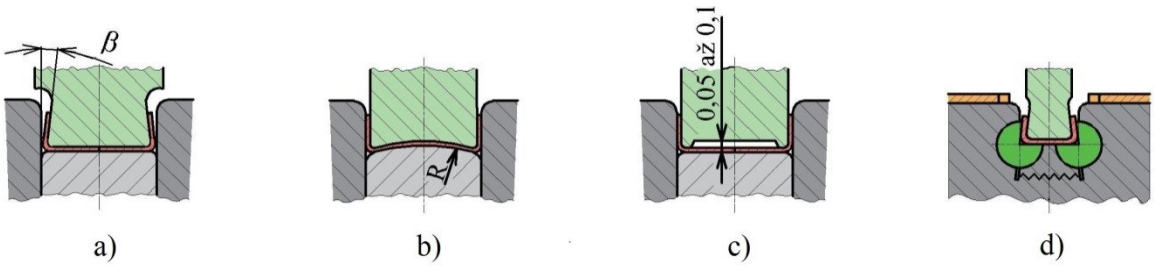


Obr. 52 Vložkované nástroje [1].

Ohybnice se vyrábějí jako celistvé nebo složené z několika kusů. Tvar jejich otvoru odpovídá danému druhu ohybu a to do V nebo U. Hloubka ohybnice $\mathbf{h_o}$ při ohybu do U, viz obr. 46, by měla být stejně velká jako délka ramen s přídavkem $2 \cdot s$. [1; 55; 63] Pokud není nutná vysoká přesnost ohybku stačí [63]:

$$h_o = r_p + r_m + (5 \cdot s). \tag{2.46}$$

Poloměr zaoblení ohybnice $\mathbf{r_m}$ má vliv na velikost ohýbací síly a na přesnost výlisku. Určení velikosti poloměru je řešeno v kapitole 2.2.2, ohýbací sílu také snižuje přebroušení a vyleštění povrchu zaoblení po jeho zakalení. Pro plechy s > 3 mm se používá sražení hrany pod úhlem 45° o velikosti odpovídající hodnotě $\mathbf{r_m}$. Funkční kluzné plochy ohýbadel jsou vysoce namáhány, jsou proto vyráběny z ušlechtilých nástrojových ocelí, které se dále kalí a popouští na HRC 58 až 60. U rozměrných nástrojů a nástrojů pro velké série (výměna po opotřebení) lze uspořit drahou nástrojovou ocel využitím vložkovaných nástrojů (obr. 52). Ty mají z těchto ušlechtilých ocelí nebo slinutých karbidů pouze vložky funkčních ploch, přišroubovaných na tělese nástroje z ocelí konstrukčních. Levné konstrukční uhlíkové oceli lze využít i na funkční plochy, pokud je předpokládán malý počet vyráběných kusů. [49; 55]



Obr. 53 Úpravy geometrie ohybníku proti odpružení [55].

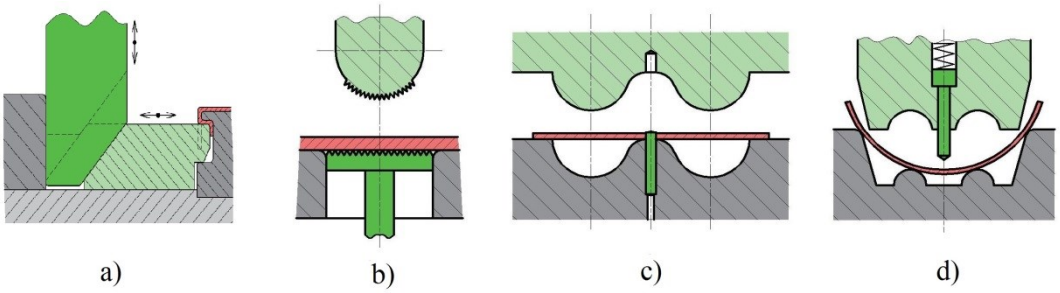
Ohybník může být také jako ohybnice celistvý nebo vložkovaný (obr. 52). Malé ohybníky mohou být v jednom kuse se stopkou. Šířka ohybníku by měla být minimálně tak velká jako šířka ohýbané součásti. Poloměr jeho zaoblení $\mathbf{r_p}$ je shodný s ohýbaným poloměrem, případně upraven pro zmírnění odpružení. [1; 55; 63]

Proti odpružení slouží také různé tvarové úpravy ohybníku, z nichž některé uvádí obr. 53. Na obr. 53a je ohybník zkosen o dodatečný úhel odpružení. Třením o ohybnici se o tento úhel

ramena ohybku více ohnou a po odlehčení budou v požadovaném úhlu. Na obr. 53b je zaoblen přidržovač i spodní strana ohybníku. Prohnutí dna výlisku se po odtížení narovná a tím přihne o úhel odpružení ramena směrem ke středu součásti. Na obr. 53c zpevněním (ztenčením) materiálu v rozích v blízkosti ohybu (3 až 4 mm), obr. 53d kalibrování bočními čelistmi, které po zatlačení natočením vyvinou boční kalibrační tlak. Boční ohýbací tlak vyvíjejí i boční ohýbací klíny pro ohyb kolmý na směr pohybu beranu (obr. 54a). Tvoří samostatnou skupinu ohybníků. Jejich boční pohyb je konán pomocí úkosů klínů. [55; 62; 63]

Rozměry ohybnice a ohybníku se volí podle požadavku výlisku. Podle toho, jaký rozměr je důležitý, je vůle mezi funkčními částmi na úkor ohybnice nebo ohybníku. Protože více jsou opotřebovávány ohybnice, volí se pro ně optimální přídavek na opotřebení. [44]

Při ohýbání nestejně širokých materiálů, nebo nesymetrických výlisků dochází k posuvu materiálu k jedné straně. K zamezení tohoto pohybu se zdrsňuje povrch ohybníku nebo přidržovače (obr. 54b), případně se do jejich povrchu zalisují kalené hroty. Další možností je použití silného tlaku přidržovače nebo fixace kolíky za vystřižené otvory (obr. 54c, d). Kolíky mohou být pevné nebo pružné a být součástí ohybnice nebo ohybníku. [55; 62; 63]



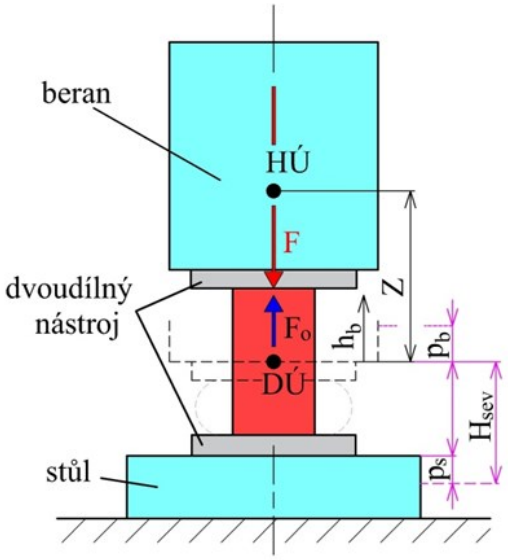
Obr. 54 Boční klíny a úpravy geometrie ohybníku proti odpružení [55; 63].

2.3 Stroje

Pro výrobu součásti je také důležitý výběr vhodného stroje. Stroj musí splňovat výkonové požadavky, musí tedy být schopen vyvinout dostatečnou jmenovitou sílu při tvářecím procesu. Rovněž i jeho produktivita musí být dostatečná vzhledem k uvažovanému množství vyráběných kusů. Ta je daná především počtem zdvihů za minutu. Dalším kritériem jsou rozměrové charakteristiky, které musí vyhovovat rozměrům navrženého nástroje. Kontroluje se zdvih **Z** beranu, což je dráha mezi jeho horní a dolní úvratí, dále sevření $\mathbf{H_{sev}}$, které je důležité, aby bylo vůbec možné nástroj do stroje upnout. Je to nejmenší vzdálenost upínací plochy beranu v dolní úvrati (u lisů výstředníkových při největším zdvihu) a upínacími plochami stolu lisu, přičemž přestavitelnost beranu $\mathbf{p_b}$ je nahoře a přestavitelnost stolu $\mathbf{p_s}$ dole (obr. 55). Velikost upínací plochy stolu musí být dostatečná pro upnutí upínací desky nástroje nebo jeho spodní části. Také propad (středový otvor uvnitř stolu) musí rozměry odpovídat pro odvod odpadu nebo výlisků, případně použitému přidržovači. Stroj musí mít dostatečný prostor pro nástroj i od svého stojanu. Kontroluje se vyložení dané vzdáleností mezi kolmou osou beranu a čelní plochou stojanu v pracovním prostoru. Velikost a výkon stroje se volí přiměřená k velikosti nástroje a vyráběnému výrobku. Příliš velký a výkonný stroj je z ekonomického hlediska provozu nevýhodný, naopak malý stroj pracující na hranici svých dosažitelných výkonů je nadměrně namáhán a konstrukce jeho stojanu již nemusí byt dostatečné tuhá. [52; 69; 70]

Tvářecí stroje se rozdělují podle relativního pohybu nástroje k tvářenému materiálu na stroje s pohybem rotačním nebo obecným a na stroje s přímočarým pohybem. Posledně jmenované stroje se hojně využívají právě při tváření sdruženým nástrojem. V beranu, který koná vratný přímočarý pohyb, je upnut horní díl nástroje. Beran má v počátečním bodu horní úvratě **HÚ**

nulovou rychlost. Při pohybu dolů v místě dotyku nástroje s materiálem se pohybuje rychlostí **v** a svojí silou **F** překonávající sílu tvářecí $\mathbf{F_o}$ polotovar přetváří. Nulovou rychlost nabývá znovu v dolní úvratí **DÚ**, kde se orientace pohybu mění na opačný směr (obr. 55). Tvářecí stroje s přímočarým pohybem nástroje se dále rozdělují podle hlavní formy využitelné energie na tvářecí stroje silové, stroje zdvihové a stroje energetické (buchary). Pro tváření plechu se využívají silové a zdvihové stroje nazývané lisy, které na materiál působí klidnou silou. Podle druhu mechanismu použitého k přenosu energie se stroje také dělí na mechanické, hydraulické, pneumatické, parní a ostatní nebo kombinované. K plošnému tváření za studena se hodí zejména mechanické výstředníkové a klikové lisy nebo lisy hydraulické. [52; 69; 70]

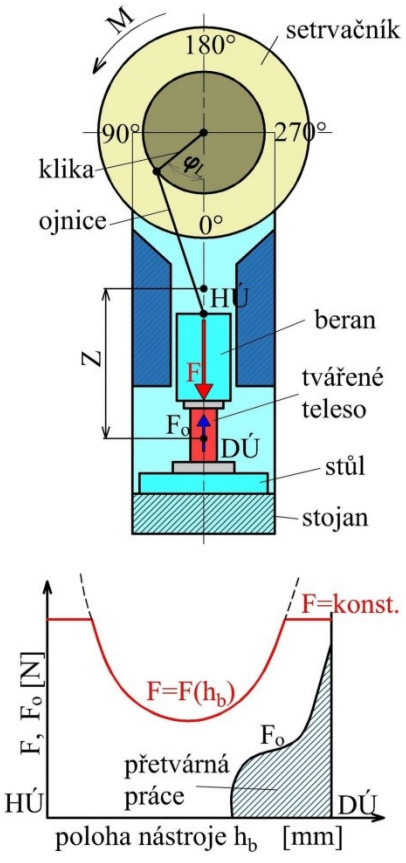


Obr. 55 Princip tvářecího stroje [69].

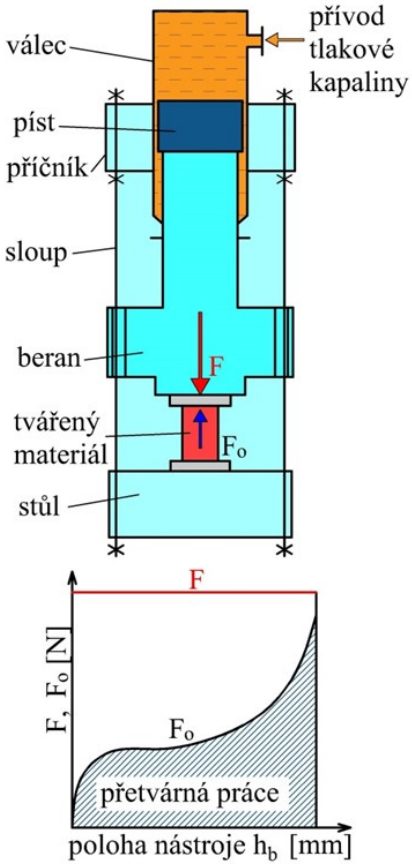
Výstředníkové a klikové lisy - jsou nejpoužívanější tvářecí stroje s mechanickým přenosem energie. Vyznačují se vysokou výrobností a poměrně jednoduchou konstrukcí. Klikový mechanismus pomocí klikového hřídele s ojnicí (výstředníkové lisy mají hřídel s výstředníkovým pouzdrem) převádí rotační pohyb klikového kola na přímočarý pohyb beranu. Rozdílem je, že u výstředníkových lisů lze měnit nastavení zdvihu, zatímco klikové lisy pracují se zdvihem konstantním. Nevýhodou těchto lisů je možnost využít pro pracovní zdvih nanejvýš jednu čtvrtinu otáčky $\varphi_L = 0°$ až $90°$ (obr. 56). Maximální síly lze dosáhnout těsně před dolní úvratí. Aby nedošlo k poškození lisu vyšší silou než jmenovitou, musí být stroj opatřen celou řadou pojistek proti přetížení. [43; 67; 68; 69; 70]

- Klikové lisy používané pro děrování, vystřihování a ohýbání mají obvykle jmenovitou sílu 1 až 8 MN, dosahují 9 až 50 zdvihů za minutu. Jednotlivé typy lze stavebnicově přizpůsobit v mnoha variantách. V obvyklém konstrukčním řešení je setrvačník poháněn elektromotorem pomocí klínových řemenů. Přenos krouticího momentu je přes vestavenou spojku přenášen dále přes ozubené převody na klikový hřídel a kolo klikového mechanismu. Spojka je pro zastavení beranu spřažena s brzdou. Zdvih nelze přestavit, ale požadovaného počtu zdvihů a jeho různé velikosti lze v rámci jedné typové řady docílit změnou poloměru klikového hřídele a změnou počtu zubů klikového kola. [43; 67; 68; 69; 70]
- Výstředníkové lisy používané pro plošné tváření se vyrábějí pro síly od 20 kN do 4 MN s počtem zdvihů 40 až 400 za minutu. Produktivita je zvyšována různými druhy automatických podávacích zařízení. Výstředníkem nastavitelný zdvih beranu spolu se změnou délky ojnice umožňuje měnit pracovní rozsah lisu, což také zvyšuje bezpečnost provozu. Konstrukčně se podle stojanu rozdělují na jednostojanové a dvoustojanové.

Setrvačník poháněný elektromotorem je posazený na výstředníkovém hřídeli. Setrvačník a výstředník je spojen vypínatelnou spojkou. Při přerušovaném pracovním cyklu se spojka po vykonání jednoho zdvihu samočinně vypne v horní úvrati, beran je v této poloze držen brzdou. Pro další pracovní cyklus se musí znovu zapnout. To umožňuje volný přístup do pracovního prostoru lisu. Při přetížení je nevýhodou možnost vyosení beranu vlivem napružení stojanu, což může mít za následek nižší životnost nástrojů. Správné seřízení dolní úvratě je důležité zvláště při použití těchto lisů pro ohýbací nástroje. [43; 67; 68; 69; 70]



Obr. 56 Klikový lis [69].

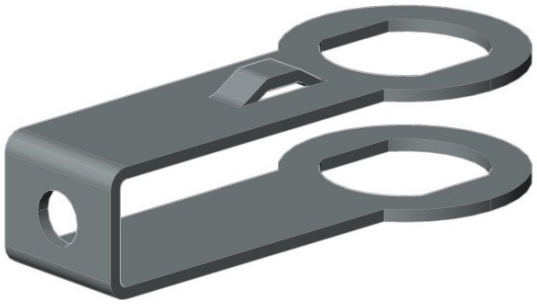


Obr. 57 Hydraulický lis [69].

Hydraulické lisy - jsou typickým představitelem silových strojů. Využívají principu Pascalova zákona o rovnoměrném šíření tlaku v kapalině všemi směry. Tlaková kapalina (olej nebo vodní emulze) je od hydraulických čerpadel přiváděna do válce lisu, zvyšující se tlak v kapalině působí na píst, který se spolu s beranem posouvá do pracovního prostoru (obr. 57). Oproti mechanickým lisům je rychlost posuvu beranu poměrně malá (do 0,25 $m.s^{-1}$), ovšem lze dosahovat velmi vysokých sil (až 103 MN). Výhodou je možnost dosažení konstantní rychlosti i síly s možností využít její maximální hodnoty v jakékoliv výšce zdvihu. Dalšími výhodami je snadná automatizace, možnost plynulé regulace rychlosti, velikosti tvářecí síly a nastavení libovolného pracovního zdvihu. Kromě čerpadel a ventilů pracují klidně bez rázů a hluku. Jsou snadné na obsluhu, nelze je přetížit. Nevýhodou je naopak větší konstrukční složitost, menší účinnost, menší výrobnost (způsobena pomalejším chodem), vyšší pořizovací náklady (až o 30 %) při srovnatelné jmenovité síle. Nemají pevně stanovenou spodní úvrať, výšku je nutno regulovat zarážkou. U moderních hydraulických lisů jsou již některé nedostatky eliminovány, proto tyto stroje nacházejí stále širší uplatnění. [67; 68; 69; 70]

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY

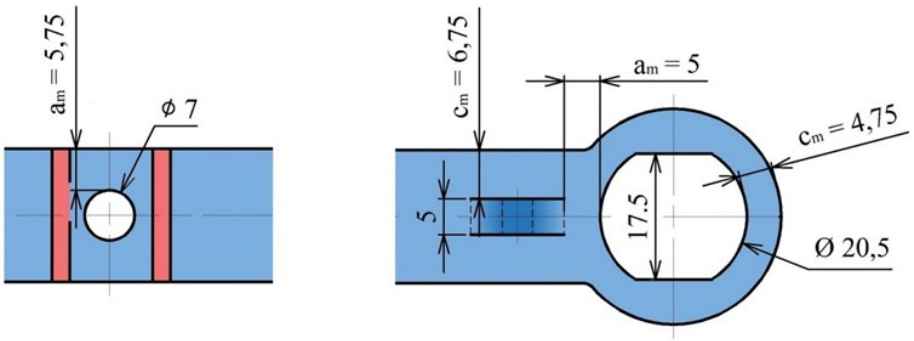
Řešenou součástí je pravý napínák řetězu malých motocyklů Jawa (obr. 58). Je to součástka vyráběná z plechu s povrchovou úpravou proti korozi zinkováním. Z možných výrobních postupů byla jako nejvhodnější zvolena varianta výroby sdruženým postupovým nástrojem, obsahujícím kombinaci technologie střihání a ohýbání. Uvažovaná výrobní série je 20 000 ks, zvoleným polotovarem je za studena válcovaný plech z jakostní nelegované oceli DC01 tloušťky 1,5 mm. Výkres součásti 2022-DP-184327-0 je součástí výkresové dokumentace.



Obr. 58 3D model plechu napínáku řetězu.

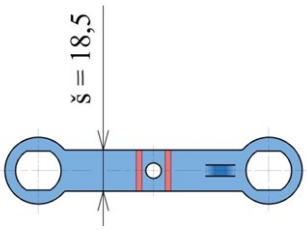
Nejprve je nutné posouzení součásti z hlediska technologičnosti pro ověření vyrobitelnosti zvolenou technologii. V případě zjištěných neshod lze například upravit tvar součásti, změnit předepsané mezních úchylky rozměrů nebo se zvolí nástroje umožňující přesnější výrobu. Krajním případem je konstatování, že uvažovanou technologií je součást nevyrobitelná.

- Materiál polotovaru – ocel DC01 je vhodná pro metody plošného tváření za studena. Také umožňuje po tváření následnou povrchovou úpravu zinkováním. Jedná se o materiál cenově výhodný a běžně na trhu dostupný.
- Z funkčního hlediska součástky jsou dostatečné netolerované rozměry o třídě přesnosti dle ČSN ISO 2768 – mK. Zda je tato přesnost dosažitelná jednotlivými technologiemi, je posouzeno v příloze 16. Bylo zjištěno, že pro některé rozměry již přesnost IT12 až IT14 dosahovaná nevedeným nástrojem nevyhovuje. Proto bude zvolen nástroj vedený s dosahovanou přesností IT9 až IT11.
- Součástka má nejmenší rozměr kruhového otvoru Ø 7 mm (obr. 59), což dostatečně převyšuje nejmenší vyrobitelný otvor v měkké oceli (Ø 0,8 mm) i v oceli tvrdé (Ø 1,5 mm). Rozměr mezi hranami úsečí větších otvorů, které lze tím považovat za nekruhové, by měly mít nejmenší rozměr pro oceli měkké 0,6 mm a pro oceli tvrdé 1,2 mm, i zde rozměr 17,5 mm plně vyhovuje, a to i v případě oboustranně nastřiženého prolisu o šířce 5 mm.

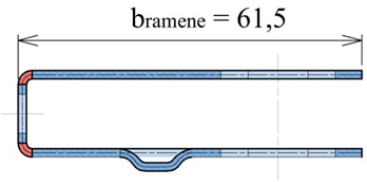


Obr. 59 Velikost otvorů a přepážek součásti.

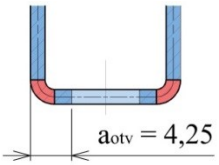
- Vzdálenost kruhového otvoru Ø 7 mm od okraje $a_m = 5{,}75\ mm$ (obr. 59) splňuje podmínku uvedenou v kapitole 2.1.4. Stejně tak velikost rovnoměrného okraje u velkých otvorů $c_m = 4{,}75\ mm$ a u prolisu $c_m = 6{,}75\ mm$ vyhovuje dané podmínce. Z minimálních rozměrů lze ověřit i šířku úzké části výstřižku (obr. 60), která by měla být přinejmenším $š = 1{,}5 \cdot s \rightarrow š = 2{,}25\ mm$, což při šířce výstřižku 18,5 mm v úzké části je více než dostatečné.



Obr. 60 Šířka výstřižku.



Obr. 61 Délka ramen.



Obr. 62 Hodnota a_{otv}.

- Délky ohýbaných ramen (obr. 61) i jejich šířka jsou shodné, a to včetně poloměrů a úhlů ohybu. To je dobrým předpokladem proti vzniku posunu míst ohybu k některé ze stran. Ramena jsou dlouhá $b_{ramene} = 61{,}5\ mm$, tím splňují pravidlo pro minimální délku ramene uvedené v kapitole 2.1.4.
- Určení poloměrů ohybů je důležitou součástí posouzení technologičnosti ohýbání. Jejich určení je důležité i pro následné stanovení výchozí délky polotovaru. Velikost poloměru ohybu by se měla pohybovat nad hodnotou $\mathbf{R_{min}}$ vypočítanou dle (2.28), čímž bude zaručeno, že ohyb nebude porušován trhlinami.

$$R_{min} = c_o \cdot s = 0{,}5 \cdot 1{,}5 = 0{,}75\ mm \rightarrow 1\ mm,$$

kde: c_o - pro tvárnou ocel DC01 zvolen $c_o = 0{,}5$

Po výpočtu je pro ohyby součásti zvolen poloměr ohybu s určitou rezervou $R_o = 1\ mm$. Anizotropie materiálu se u zvolené oceli (dle tabulky v příloze 18) neprojevuje, není tedy třeba poloměr z tohoto důvodu navyšovat. Ověřit je možné dle (2.29) i maximální poloměr ohybu:

$$R_{max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1\right) = \frac{1{,}5}{2} \cdot \left(\frac{2{,}1 \cdot 10^5}{280} - 1\right) = 561{,}75\ mm,$$

kde: E - modul pružnosti v tahu, pro ocel je $2{,}1 \cdot 10^5$ MPa,
R_e - mez kluzu oceli DC01 dle tabulky 1 je 280 MPa.

Z výpočtu je zřejmé, že při poloměrech ohybu součástky dojde vždy bezpečně k jejímu ohnutí.

- Vzdálenost otvoru Ø 7 mm od ohybu $a_{otv} = 4{,}25\ mm$ (obr. 62), pokud je nutné zamezení deformace otvoru, má být $a_{otv} \geq r + 2 \cdot s \rightarrow a_{otv} \geq 5{,}5\ mm$. Tato podmínka není splněna a je tedy možnost deformace kruhovitosti otvoru. Mírná deformace k místům ohybů je přípustná a není z funkčního hlediska problém, protože pro šroub M6 má otvor dostečnou vůli (1 mm).

3.1 Rozvinutý tvar součásti

Po technologickém posouzení součástky a určení poloměrů ohybu je nutný výpočet rozvinutého tvaru. Ohyby se narovnají a součástka má tvar výstřižku před ohybem. Spočítaný rozměr udává konečnou délku výstřižku potřebnou k vytvoření ohybku o správných rozměrech. Při výpočtu rozvinuté délky podle rovnice (2.30) se sečtou délky rovných úseků a úseků ohybů (obr. 63). Zatímco délky rovných úseků v rozvinu odpovídají svým rozměrům, u ohybů se jejich délky musí vypočítat dle (2.31) s ohledem na posun neutrální plochy

v místech ohybu. Rovné úseky se dopočítají z rozměrů výkresu součásti odečtením poloměrů ohybu nebo tloušťky materiálu. Délky rovných úseku jsou:

$$l_1 = 68\ mm,\ l_2 = 68\ mm,\ l_3 = 11{,}5\ mm.$$

Výpočet posunutí neutrální plochy se doporučuje provést, pokud je poměr $R_o/s < 12$. U součástky činí $1/1{,}5 = 0{,}67 < 12$. K určení délky ohnutých úseku se tak použije výpočet dle vzorce (2.27). Pro něj je nejprve určen příslušný součinitel posunu neutrální osy x z tabulky 2. Pro poměr $R_o/s = 0{,}67$ byla za pomoci lineární aproximace stanovena hodnota $x = 0{,}39$. Hodnota poloměru posunuté neutrální plochy je pak:

$$\rho = R_o + x \cdot s = 1 + 0{,}39 \cdot 1{,}5 = 1{,}585\ mm.$$

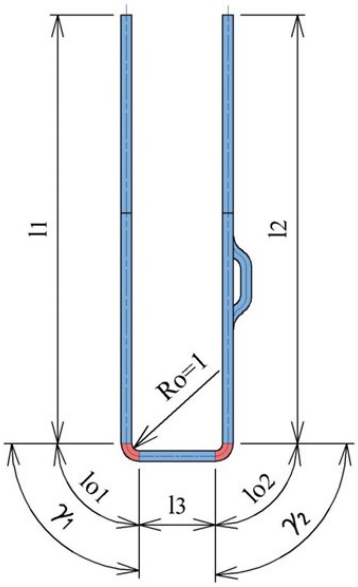
Pro výpočet délky ohnutého úseku je ještě potřebný dílčí vypočet úhlu ohnutých úseků $\gamma_{1,2}$ dle (2.32):

$$\gamma_{1,2} = 180° - \alpha° = 180° - 90° = 90°,$$

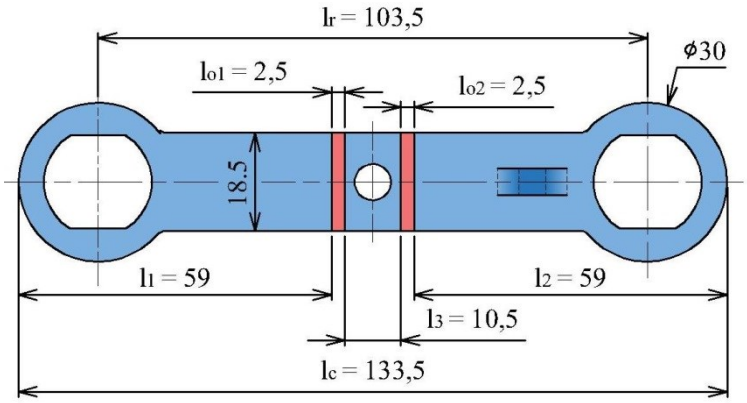
kde: α - úhel ohybu = 90°.

Součást je symetrická o shodných poloměrech ohybu. Vypočítanou délku ohnutého úseku dle (2.31) je proto možné použít pro oba ohyby:

$$l_{o1} = l_{o2} = \frac{\pi \cdot \gamma_{1,2} \cdot \rho}{180} = \frac{\pi \cdot 90 \cdot 1{,}585}{180} = 2{,}5\ mm.$$



Obr. 63 Úseky rozvinu.



Obr. 64 Rozvinutý tvar součásti.

Při znalosti všech délek dílčích úseků lze již přistoupit k jejich sečtení podle (2.30):

$$l_c = \sum_{n=1}^{n} l_i + \sum_{n=1}^{n} l_{oi} = l_1 + l_2 + l_3 + l_{o1} + l_{o2} = 59 + 59 + 10{,}5 + 2{,}5 + 2{,}5 =$$
$$= 133{,}5\ mm.$$

Výsledkem je celková délka rozvinu $l_c = 133{,}5\ mm$ (obr. 64). Tyto rozměry slouží pro proces stříhání, jelikož z výkresu součásti v ohnutém tvaru nejsou zřejmé některé důležité rozměry, například rozteč velkých otvorů $l_r = 103{,}5\ mm$, která se vypočítá z celkové délky výstřižku odečtením dvou poloměrů kruhového rozšíření konců ramen o Ø 30 mm.

3.2 Rozmístění výstřižků

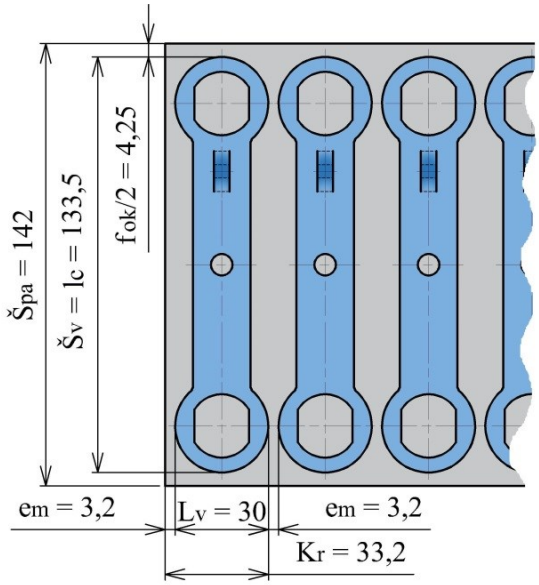
Posouzení tvaru součástky z hlediska technologičnosti je předpokladem k vytvoření hospodárného nástřihového plánu. Součást je symetrická s kruhovými konci ramen a střední

užší obdélníkovou částí. Při prvním posouzení je zřejmé, že kruhový tvar konců výstřižku není výhodný a z ekonomického hlediska se bude dosahovat nižší využití plochy polotovaru. Tento tvar také nedovoluje poskládat výstřižky na pás tak, aby do sebe vzájemně zapadaly a byl umožněn bezodpadový střih. Pro kruhové zakončení také nelze uvažovat o otevřeném střihu bez okrajů. U navrhovaných variant tak bude nutné vždy nechat mezi výstřižky určité přepážky (můstky) a boční okraje. U sdruženého postupového nástroje se užívá umístění součástky na pás:

- Varianta č. 1 – umístění výstřižku v jedné řadě „na výšku“
- Varianta č. 2 – umístění výstřižku v jedné řadě „na délku“

U zvoleného typu nástroje se přednostně jako polotovar využívá pás odvíjený ze svitku (v příloze 17 označení C), který byl také zvolen pro výrobu zadané součásti. Pro porovnání stupně využití výchozího polotovaru jsou v příloze 17 spočítány i varianty s pásy stříhanými z tabule plechu (polotovary A, B) a méně vhodné varianty s umístěním součásti pod úhlem 45° (varianta č. 3) nebo rozmístěním víceřadým (varianty č. 4 a 5).

- Varianta č. 1 – v které je umístění výstřižku v jedné řadě „na výšku“ (obr. 65).



Obr. 65 Nástřihový plán – Varianta č. 1.

Podélná osa výstřižku je příčně k podélné ose pásu. Varianta výhodná kratším krokem pro ohýbání jsou uvolněny obě ramena při současném stálém spojení neohýbané střední části s polotovarem. Nevýhodou může být větší šířka pásu a širší přepážky odpadu. Pro určení přepážek z nomogramu v příloze 5 je rozhodující tloušťka plechu $s = 1{,}5\ mm$ a šířka výstřižku $\mathbf{Š_v}$, respektive vypočtená délka rozvinu $l_c = 133{,}5\ mm$. Z nomogramů použitý tvar „kruhový typ přímý“, pro vstupní hodnoty platí lineární křivky $\mathbf{e_{m4}}$, $\mathbf{f_{ok4}}$. Odečtené hodnoty (v příloze 5 označeny červenou barvou) jsou:

- šířka můstku $e_m = 3{,}2\ mm$,
- šířka okraje $f_{ok} = 8{,}5\ mm \rightarrow f_{ok}/2 = 4{,}25\ mm$.

Při znalosti velikosti přepážek (můstků) a přepážek bočního odpadu je možné dle (2.14) vypočítat délku kroku, kde délka výstřižku $\mathbf{L_v}$ je daná kruhovým průměrem 30 mm, a šířku pásu dle (2.15).

Délka kroku $\mathbf{K_r}$ dle (2.14):

$$K_r = L_v + e_m = 30 + 3{,}2 = 33{,}2\ mm.$$

Šířka pásu $\mathbf{Š_{pa}}$ (bez odstřihovače $g_o = 0$) dle (2.15):

$$Š_{pa} = Š_v + f_{ok} + g_o = 133{,}5 + 8{,}5 = 142\ mm.$$

Počet výstřižků z pásu $\mathbf{n_v}$ je stanoven pro zvolenou délku pásu $L_p = 1000\ mm$ dle (2.16):

$$n_v = \frac{L_p}{K_r} = \frac{1\,000}{33{,}2} = 30{,}12 = 30\ ks.$$

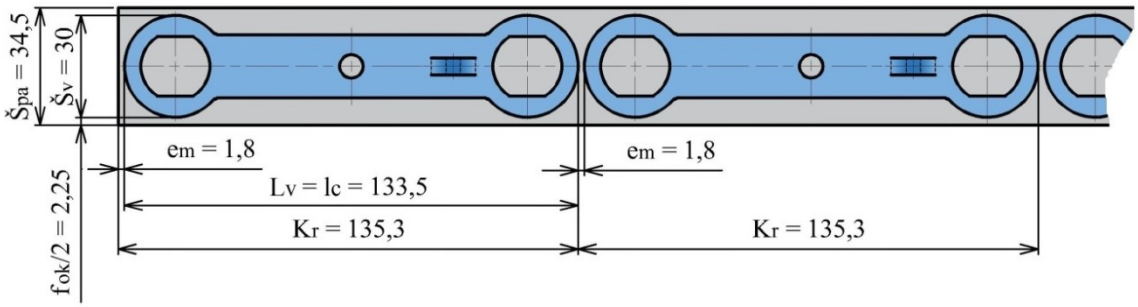
Plocha výstřižku $\mathbf{S_v}$ vypočtena programem AutoCAD:

$$S_v = 2\,155{,}72\ mm^2.$$

Stupeň využití pásu $\boldsymbol{\eta_p}$ dle (2.17) je pro zvolený polotovar 1 m délky:

$$\eta_p = \frac{n_v \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{30 \cdot 2\,155{,}72}{142 \cdot 1\,000} \cdot 100 = 45{,}54\ \%.$$

- Varianta č. 2 – má umístění výstřižků v jedné řadě „na délku“ (obr. 66), tzn. podélné osy výstřižku a pásu se shodují.



Obr. 66 Nástřihový plán – Varianta č. 2.

Výhodou této varianty je menší šířka odpadu. Nevýhodou je dlouhý krok s dlouhým posunem materiálu, také spojení výstřižku s polotovarem je nutné před ohybem odstřihnout.

Tak, jako u předchozí varianty jsou podle vstupních hodnot tloušťky plechu $s = 1{,}5\ mm$ a šířky výstřižku $Š_v = 30\ mm$, viz obr. 66, určeny velikosti přepážek odpadu, a to můstků a okraje pásu, z nomogramu v příloze 5. V tomto případě je použit „tvar kruhový typ přímý“, lineární křivky $\mathbf{e_{m2}}$, $\mathbf{f_{ok2}}$ (v grafu označeny modře). Odečtené hodnoty jsou spolu s výsledky výpočtů (shodný postup jako u předchozí varianty), uvedeny v přehledové tabulce tab. 3.

Tab. 3 Tabulka porovnání hodnot variant 1 a 2.

	Varianta č. 1	Varianta č. 2
Šířka výstřižku $Š_v$ [mm]	133,5	30
Velikost můstku e_m [mm]	3,2	1,8
Velikost okraje f_{ok} [mm]	8,5	4,5
Délka kroku K_r [mm]	33,2	135,3
Šířka pásu $Š_{pa}$ [mm]	142	34,5
Počet výstřižků z pásu n_v [ks]	30	7
Stupeň využití pásu η_p [%]	45,54	43,74

Výsledky pro stupeň využití pásu při obou variantách nástřihových plánů potvrzují výchozí předpoklad nižšího využití materiálu vstupního polotovaru, což je dáno především tvarem součástky.

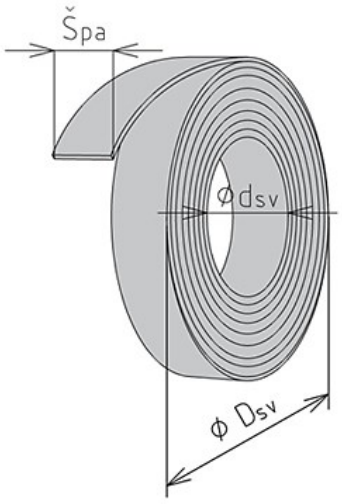
Podrobněji jsou výpočty uvedeny v příloze 17, jak již bylo uvedeno výše. V této příloze jsou pro srovnání provedeny i výpočty s polotovarem ve formě pásů délky 1000 mm – varianta polotovaru A), pásů délky 2000 mm – varianta B), které byly stříhány z tabule plechu 1000 x 2000 mm. Výsledky pro polotovar ve formě svitku jsou zde označeny jako varianta polotovaru C). Obsahem jsou také nástřihové plány, o kterých lze uvažovat jako o možném výhodnějším poskládání součástek na pásu, ale které nejsou vhodné pro sdružený postupový nástroj. U žádné z variant nebylo dosaženo výrazně lepšího využití materiálu, což potvrzuje správný výběr polotovaru ve formě svitku v kombinaci s nástřihovým plánem. U malých rozdílů ve spotřebě materiálu se upřednostňuje krátký krok před úzkým pásem [65]. Obě výše popsané varianty budou ještě zhodnoceny sestavením výrobních postupů. Z nich bude vybrána konečná verze pro výrobu zadané součásti.

3.3 Výchozí polotovar

Vstupní materiál bude dle výběru dodáván ve formě pásu příslušné šířky odvíjený ze svitku. Větší využitelnost polotovaru se projeví až při výpočtu využitelnosti celkové délky pásu. Výhodnější je také automatizace podávání do stroje oproti krátkým pásům z tabule plechu. Délky pásu mohou být různé, ovšem v určitých limitech daných parametry dělící linky výrobce a parametry odvíjecího zařízení zpracovatele. Uváděny jsou minimální a maximální hodnoty šířky pásu, tloušťky děleného materiálu, jeho pevnosti v tahu, mez kluzu, vnější průměr a vnitřní průměr svitku (obr. 67). Uvažovaný materiál a délku svitku je tak nutné podrobit kontrole, jestli splňuje tyto podmínky. [19; 20] Délka navinutého pásu se vypočítá pomocí vzorce vycházejícího z výpočtu obsahu mezikruží poděleného tloušťkou pásu [75]:

$$L_p = \frac{\pi}{4 \cdot s} \cdot \left({D_{sv}}^2 - {d_{sv}}^2 \right), \tag{3.1}$$

kde: D_{sv} - vnější průměr svitku [mm],
d_{sv} - vnitřní průměr svitku [mm].



Obr. 67 Rozměry svitku.

Při známé potřebné délce pásu lze vypočítat úpravou vzorce (3.1) vnější průměr svitku. Tím je možné zkontrolovat, zda by po navinutí pásu na svitek jeho vnější průměr nepřesáhl uváděnou maximální hodnotu pro dělící linku dodavatele nebo pro odvíjecí zařízení zpracovatele. To platí i pro uváděné průměry minimální. Vzorec pro D_{sv} má podobu:

$$D_{sv} = \sqrt{\frac{L_p \cdot 4 \cdot s}{\pi} + {d_{sv}}^2}. \tag{3.2}$$

Hmotnost svitku lze vypočítat vzorcem pro hmotnost dutého rotačního válce. Ta nesmí přesáhnout maximální hmotnost uváděnou výrobcem a také nosností odvíjecího zařízení zpracovatele [74; 75]:

$$m_{sv} = V \cdot \rho_o = \pi \cdot \frac{(D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4} \cdot \check{S}_{pa} \cdot \rho_o, \tag{3.3}$$

kde: ρ_o - hustota oceli 7,85 $\cdot 10^{-6}$ kg·m^{-3}.

Konkrétní rozměry svitku a jejich potřebný počet vzhledem k zadané výrobní sérii bude stanoven v kapitole 4, neboť výpočet těchto hodnot je závislý na zvoleném postupu výroby (kap. 3.4) a volbě vhodného odvíjecího zařízení (kap. 3.10).

3.4 Postup výroby

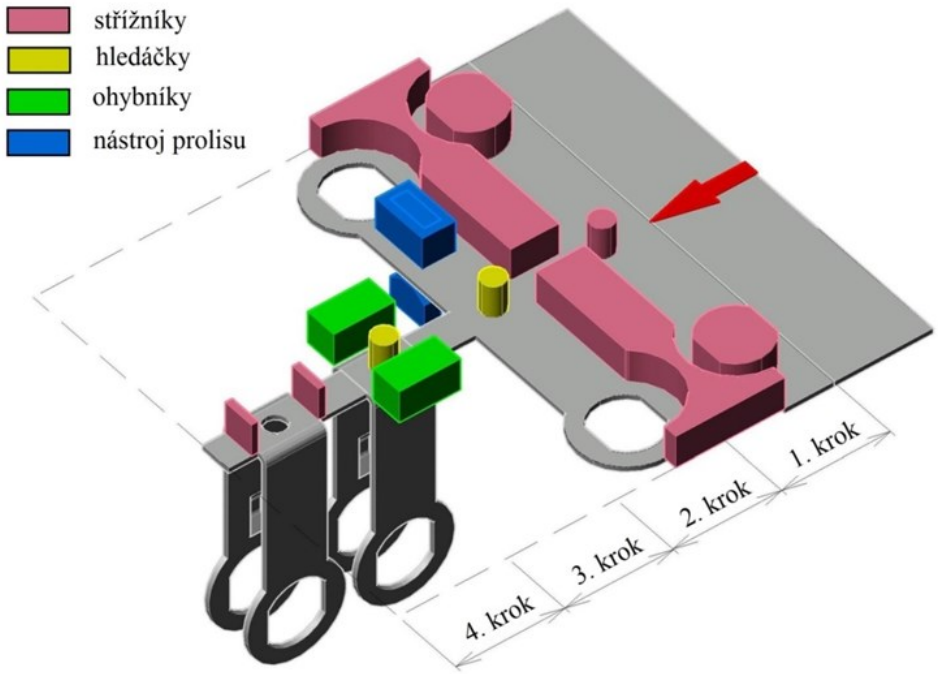
Pro vybrané varianty rozmístění výstřižků na pásu polotovaru je nutné navrhnout vhodný postup výroby ve sdruženém postupovém nástroji. Jednotlivé kroky obsahující střižné nebo ohybové operace musí být vhodně seřazeny tak, aby umožňovaly vyrobení součásti v dané rozměrové a geometrické přesnosti. Výrobně efektivnější je výrobní postup bez zbytečně vysokého počtu kroků a operací. V malosériové výrobě je ovšem před počtem kroků upřednostňována jednoduchost nástroje. Pro výrobu lze použít dvě možnosti [63]:

- Stříhání do řetízku – součást je v pásu udržována pomocí přepážek až do předposlední nebo poslední operace, kdy je součást z pásu uvolněna přestřižením tohoto spojení. Tato možnost se hojně využívá, protože součást se přesně posouvá spolu s pásem v jednotlivých krocích.
- Vystřižení celého obrysu součástky v předposlední operaci a její návrat zpět do pásu pomocí spodního vyhazovače v kombinaci s pružnou vodící deskou – výstřižek je tak umístěn na své původní místo v pásu a spolu s ním se posune do poslední operace. V té může být například takto uvolněný výstřižek tvarován ohybem.

Dle uvedených možností a variant nástřihového plánu č. 1 („na výšku“) a č. 2 („na délku“) jsou sestaveny následující možnosti výrobních postupů.

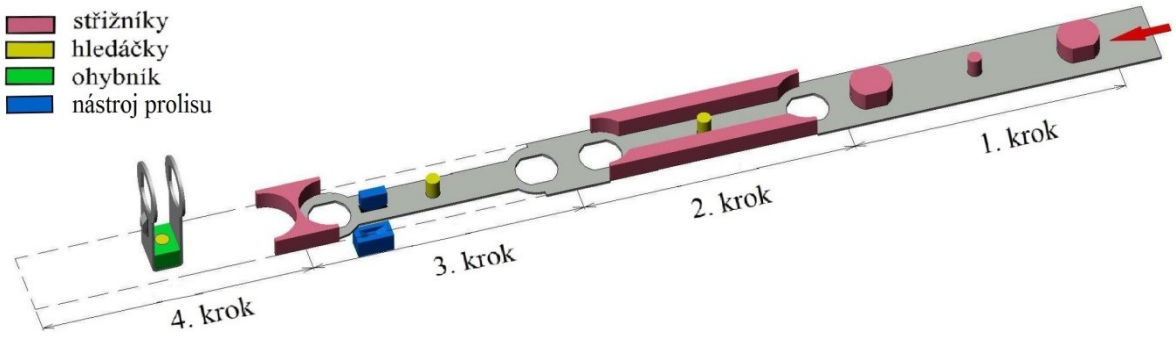
Výrobní postup 1a) - je zobrazen na obr. 68 podle varianty nástřihového plánu č. 1 se střihem do řetízku, obsahuje 4 kroky:

- První krok – vystřižení otvoru Ø 7 mm a dvou otvorů Ø 20,5 mm s úsečemi, ostřižení levé poloviny obrysu součástky tvarovými střižníky s vynecháním pro středovou přepážku.
- Druhý krok – zahledání otvoru Ø 7 mm hledáčkem, ostřižení obrysu levé poloviny obrysu součástky tvarovými střižníky s vynecháním pro středovou přepážku, zhotovení prolisu tvarovým razníkem s raznicí.
- Třetí krok – opětovné zahledání otvoru Ø 7 mm hledáčkem, provedení ohybu ramen ohybníky.
- Čtvrtý krok – oboustranné oddělení součástky z pásu přestřižením středové přepážky.



Obr. 68 Výrobní postup 1a).

Výrobní postup 2a) – je postup podle varianty nástřihového plánu č. 2 se střihem do řetízku se zobrazením na obr. 69, obsahuje 4 kroky:



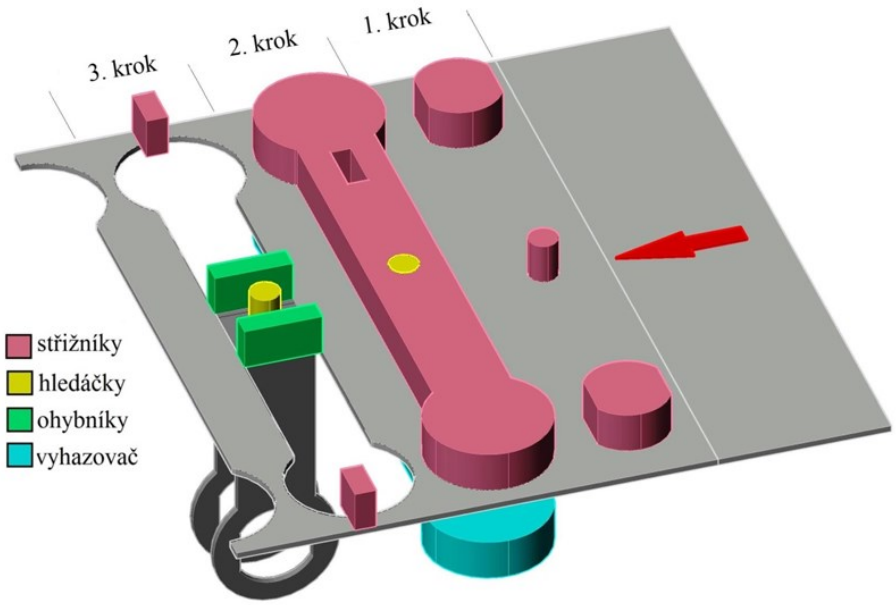
Obr. 69 Výrobní postup 2a).

- První krok – vystřižení otvoru Ø 7 mm a dvou otvorů Ø 20,5 mm s úsečemi.
- Druhý krok – zahledání otvoru Ø 7 mm hledáčkem a ostřihnutí obrysu střední části součástky tvarovými střižníky.
- Třetí krok – opětovné zahledání otvoru Ø 7 mm hledáčkem a zhotovení prolisu razníkem a raznicí.
- Čtvrtý krok – uvolnění součástky ostřižením zbývající části obrysu tvarovým střižníkem, provedení ohybu ramen ohybníkem s hledáčkem, zahledávající středový otvor Ø 7 mm.

Postup výroby 1b) - je postup dle varianty nástřihového plánu č. 1 s navrácením výstřižku zpět do pásu spodním vyhazovačem s využitím pružné vodící desky, obr. 70. Tento postup obsahuje 3 kroky:

- První krok – vystřižení otvoru Ø 7 mm a dvou otvorů Ø 20,5 mm s úsečemi.

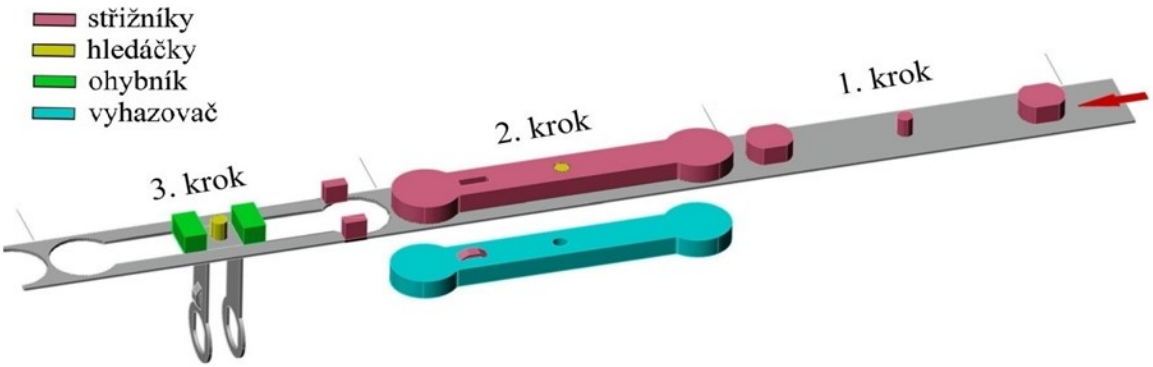
- Druhý krok – zahledání otvoru Ø 7 mm hledáčkem na střižníku a ostřižení obrysu tvarovým střižníkem se současným vytvořením prolisu naostřeným razníkem umístěným na vyhazovači směrem do otvoru ve střižníku obrysu. Uvolněný výstřižek navrácen do pásu.
- Třetí krok – opětovné zahledání otvoru Ø 7 mm hledáčkem a zhotovení ohybu ramen, rozstřižení odpadu pro snadnější uvolnění hotové součástky z pásu.



Obr. 70 Výrobní postup 1b).

Postup výroby 2b) – je sestaven podle varianty nástřihového plánu č. 2 s navrácením výstřižku zpět do pásu spodním vyhazovačem s využitím pružné vodící desky, viz obr. 71. Obsahuje 3 kroky:

- První krok – vystřižení otvoru Ø 7 mm a dvou otvorů Ø 20,5 mm s úsečemi.
- Druhý krok – zahledání otvoru Ø 7 mm hledáčkem na střižníku a ostřižení obrysu tvarovým střižníkem se současným vytvořením prolisu naostřeným razníkem umístěným na vyhazovači směrem do otvoru ve střižníku obrysu. Uvolněný výstřižek navrácen do pásu.
- Třetí krok – opětovné zahledání otvoru Ø 7 mm hledáčkem na ohybníku, zhotovení ohybu ramen ohybníkem, odstřižení odpadu.

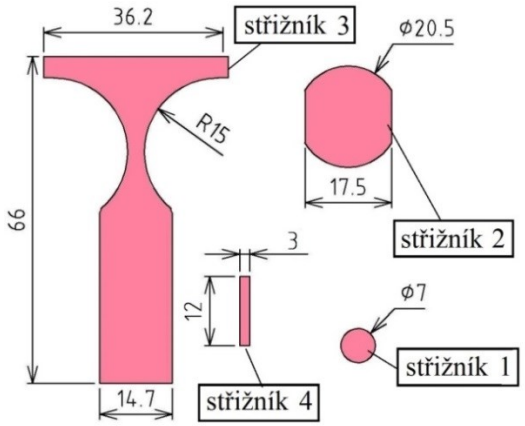


Obr. 71 Výrobní postup 2b).

Při vyhodnocení postupů výroby jsou pro plech $s = 1{,}5\,mm$ jako nevhodné vyloučeny postupy s navracením výstřižku do pásu plechu (1b, 2b). Je u nich nepravděpodobný spolehlivý návrat do pásu a posun výstřižku s plechem. U varianty 1a) je výhodou kratší krok, přesný posun součástky spolu s pásem až do posledního kroku, výhodné uvolnění ramen pro ohyb. Nevýhodou je problematické vytvoření prolisu tak, aby byl umožněn další posun pásu po jeho vzniku. Postup 2a) je nevýhodný delším krokem, problematický pro operaci ohybu a vypadávání součásti z nástroje. Také vytvořený prolis by plech při posunu zvedal. Pro výrobu součásti byl zvolen jako nejvhodnější postup 1a).

3.5 Technologické výpočty – stříhání

Při konstrukci nástroje jsou prováděny nutné výpočty činných částí, které určují jeho složení a dimenzování dílů.



Obr. 72 Číslování střižníků.

Nástroj obsahuje střižníky číselně označené podle obr. 72. Kromě střižníku č. 1 jsou všechny ostatní v nástroji zastoupeny ve dvou kusech. Nejprve je vhodné stanovit velikost střižného odporu dle (2.2):

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

kde: $Rm = 410\,MPa$, zvolena nejvyšší hodnota z rozsahu uvedeného v tab. 1, nebo v příloze 18, pro ocel DC01.

Vzorový výpočet je proveden pro střižník č. 1 (veličiny s indexem 1), pro ostatní střižníky jsou výsledky v tab. 4. K výpočtu střižných sil slouží vzorec (2.3). Rozdílná délka křivky střihu je vypočítána pomocí vzorců pro obvody základních tvarů, u složitých tvarů pomocí programu AutoCAD. Pro výpočet zvolena hodnota zvyšujícího koeficientu $n_k = 1{,}3$:

$$F_{s1} = n_k \cdot S_1 \cdot \tau_s = n_k \cdot L_1 \cdot s \cdot \tau_s = 1{,}3 \cdot 21{,}99 \cdot 1{,}5 \cdot 328 = 14\,064{,}8\,N = 14{,}1\,kN,$$

kde: L_1 - délka křivky střihu střižníku č. 1,

$L_1 = \pi \cdot d_{s1} = \pi \cdot 7 = 21{,}99\,mm$,

kde: d_{s1} - průměr střižníku č. 1, $d_{s1} = 7$ mm.

Protlačovací síla podle (2.5):

$$F_{v1} = k_{ev} \cdot F_{s1} \cdot n_{vys} = 0{,}05 \cdot 14\,064{,}8 \cdot 1 = 703{,}2\,N,$$

kde: $k_{ev} = 0{,}05$ pro ocel,

$n_{vys} = 1$.

Stírací síla dle (2.6):

$$F_{u1} = k_{eu} \cdot F_{s1} = 0{,}12 \cdot 14\,064{,}8 = 1\,687{,}8\,N,$$

kde: $k_{eu} = 0{,}12$ zvolen z rozmezí pro ocel z tabulky ČSN 22 6015 [50].

Celková střižná síla dle (2.4):

$$F_{CS1} = F_{s1} + F_{v1} + F_{u1} = 14\,064{,}8 + 703{,}2 + 1\,687{,}8 = 16\,456\ N$$

Tab. 4 Výsledky výpočtů střižných sil.

	F_s [N]	F_v [N]	F_u [N]	F_{CS} [N]	Počet v nástroji [ks]	Celkem F_{CS} dle počtu ks [N]
Střižník č. 1	14 064,8	703,2	1 687,8	16 456	1	16 456
Střižník č. 2	40 480	2 024	4 857,6	47 362	2	94 724
Střižník č. 3	109 538	5 477	13 144,6	128 160	2	256 320
Střižník č. 4	12 792	639,6	1 535	14 967	2	29 934
					$\sum F_{CS}$ = 397 434 N	

Pro dimenzování nástroje je užitečné znát i součet pouze střižných sil $\sum \mathbf{F_{si}}$, který je dán jejich součtem dle počtu v nástroji:

$$\sum F_{si} = F_{s1} + 2 \cdot (F_{s2} + F_{s3} + F_{s4}) \qquad (3.4)$$
$$= 14\,064{,}8 + 2 \cdot (40\,480 + 109\,538 + 12\,792) = 339\,685\ N = 339{,}7\ kN.$$

Hodnota $\sum \mathbf{F_{CS}}$ je využita k výpočtu střižné práce $\mathbf{A_s}$, dle vzorce (2.9) z ČSN 22 6015:

$$A_s = \frac{k \cdot F_{cs} \cdot s}{1000} = \frac{0{,}61 \cdot 397\,434 \cdot 1{,}5}{1000} = 363{,}7\ J,$$

kde: k = 0,61 určením z tabulky v příloze 4.

Výpočet střižné vůle podle (2.1) je:

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot c \cdot s \cdot 0{,}32 \cdot \sqrt{\tau_s} = 2 \cdot 0{,}02 \cdot 1{,}5 \cdot 0{,}32 \cdot \sqrt{328} = 0{,}348 \cong 0{,}35\ mm$$

kde: c - součinitel závislý na stupni střihu (0,005 až 0,025), zvoleno c = 0,020.

K určení výrobních tolerancí rozměrů střižníků a střižnic je využit postup dle ČSN 22 6015. U střižníku č. 1 se jedná o děrování a základní částí je tak střižník, úchylky netolerovaných rozměrů otvoru Ø 7 mm jsou $\pm 0{,}5\ mm \rightarrow TS = 1\ mm$, z tabulky 18 obsažené v normě je přípustná míra opotřebení $P = 0{,}760\ mm$, výrobní tolerance střižnice $TE = 0{,}290\ mm$ a střižníku $TA = 0{,}185\ mm$. Dle přílohy 7 určen rozměr jako zmenšující se, toleranční pole $(\pm)$. Tím jsou určeny níže uvedené vzorce z tabulky v příloze 9. Postup určení je v přílohách označen červeně. Stejně je postupováno u ostatních činných částí nástroje. [50] Výpočet výrobní velikosti střižníku č. 1 je [50]:

$$RAD = \left(JR + \frac{P}{2}\right)_{-TA}, \qquad (3.5)$$
$$= \left(7 + \frac{0{,}76}{2}\right)_{-0{,}185} = 7{,}38_{-0{,}185} \cong 7{,}38_{-0{,}19}\ mm.$$

Pro otvor ve střižnici je rozměr stanoven dle odpovídajícího vztahu v přílohy [50]:

$$RED = (RAD + v - TE)^{+TE}, \qquad (3.6)$$
$$= (7{,}38 + 0{,}35 - 0{,}29)^{+0{,}29} = 7{,}44^{+0{,}29} mm.$$

Kontrola střižníků na vzpěr se provádí pouze u nejtenčích střižníků. Pro střižník č. 1 dle (2.19) je při vedeném střižníku kritická délka:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F_{si}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5 \cdot 117{,}9}{1{,}75 \cdot 14\,064{,}8}} = 199{,}3\ mm,$$

kde: $I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 7^4}{64} = 117{,}9\ mm^4$, pro kruhový průřez z tabulky v příloze 6,

k_b - koeficient bezpečnosti (k_b = 1,5 až 2) → zvolen 1,75.

Další tenké střižníky jsou střižníky č. 4. Dle (2.19) je pro ně vedená kritická délka:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{k_b \cdot F_{si}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5 \cdot 27}{1{,}75 \cdot 12\,792}} = 100\ mm,$$

kde: $I = \frac{b \cdot a^3}{12} = \frac{12 \cdot 3^3}{12} = 27\ mm^4$, dle vzorce pro obdélníkový průřez z přílohy 6.

Volná délka vedených střižníku je maximálně 16 mm, ke ztrátě vzpěrné stability tak nedojde.

Dále se kontrolují činné části nástroje na otlačení. Pokud by bylo překročeno dovolené napětí $\boldsymbol{\sigma_{dov}}$, které je u oceli σ_{dov} = 180 MPa, musela by být použita kalená opěrná deska. Níže je uvedený vzorový výpočet pro střižník č. 1 dle (2.20). Výsledky jsou pro všechny střižníky a razníky přehledně uvedené v tab. 5:

$$\sigma_{s1} = \frac{F_{s1}}{S_{s1}} = \frac{14\,064{,}8}{95{,}03} = 148 \rightarrow \sigma_{s1} \leq 180\ MPa,$$

kde: S_{s1} - dosedací plocha hlavy střižníku č. 1 dle (2.21) při jejím průměru d_{hs} = 11 mm je $S_{si} = \frac{\pi \cdot d_{hs}^2}{4} = \frac{\pi \cdot 11^2}{4} = 95{,}03\ mm^2$.

Prolis na rameni ohybku je vytvářen razníkem stříhajícím naostřenými hranami jako střižník a čelem o profilu prolisu tvarujícím podélně nastřihovaný pruh prohnutím s tažením. Při tvarování je protikusem razníku raznice s tvarovou dutinou o profilu vnější strany prolisu.

Síla pro vytvoření prolisu se tak skládá ze střižné síly pro nastřižení podélných stran prolisu a tažné síly k jeho vytvarování. Výpočet střižné složky je dle (2.3) pro výpočet střižné síly, kde L_5 je dána délkou dvou podélně nastřižených stran prolisu a $n_k = 1{,}3$:

$$F_{s5} = n_k \cdot S_5 \cdot \tau_s = n_k \cdot L_5 \cdot s \cdot \tau_s = 1{,}3 \cdot 26 \cdot 1{,}5 \cdot 328 = 16\,629{,}6\ N.$$

Pro složku tažení lze použít upravený vzorec (bez zaoblení rohů) pro výpočet tažné síly obdélníkových výtažků [39]:

$$F_{tp} = s \cdot R_m \cdot L_{rp} \cdot c_2, \qquad (3.7)$$
$$= 1{,}5 \cdot 410 \cdot 10 \cdot 0{,}2 = 1230\ N,$$

kde: L_{rp} - součet přímých částí stěn výtažku [mm],
$L_{rp} = 2 \cdot 5 = 10\ mm$ (dvě stěny prolisu na jeho šířku),
c_2 - koeficient přidržovacího tlaku, pro nulový přidržovací tlak c_2 = 0,2 [-].

Celková tvářecí síla prolisu $\mathbf{F_{LP}}$ je součtem střižné a tažné složky:

$$F_{LP} = F_{s5} + F_{tp}, \qquad (3.8)$$
$$= F_{s5} + F_{tp} = 16\,629{,}6 + 1230 = 17\,859{,}6\ N = 17{,}9\ kN.$$

Kontrola razníku na vzpěr není nutná, je veden s volnou délkou při vysunutí pouze 2,5 mm.

Tab. 5 Kontrola střižníků, razníku a raznice na otlačení.

	F_{si}, F_{LP} [N]	S_{si} [mm^2]	σ_{si} [Mpa]	Výsledek
Střižník č. 1	14 064,8	95,3	148	$\sigma_{s1} \leq 180$ MPa
Střižník č. 2	40 480	640,6	63,2	$\sigma_{s2} \leq 180$ MPa
Střižník č. 3	109 538	1092,4	100,3	$\sigma_{s3} \leq 180$ MPa
Střižník č. 4	12 792	239	53,5	$\sigma_{s4} \leq 180$ MPa
Razník	17 859,6	117,8	151,6	$\sigma_{razník} \leq 180$ MPa
Raznice	17 859,6	308,54	57,9	$\sigma_{raznice} \leq 180$ MPa

Napětí od všech střižníků razníku i raznice je menší než dovolené, opěrné desky nejsou nutné.

3.6 Technologické výpočty – ohýbání

Výstřižek je symetricky tvarován ohybem dvou stejně dlouhých ramen do tvaru U. Před návrhem konstrukce ohýbacích nástrojů se zjišťuje velikost odpružení, které vlivem pružné deformace materiálu zpětně rozevírá ohyb o úhel $\boldsymbol{\beta}$ a ovlivňuje přesnost ohybu (obr. 73). Podle velikost poměru R_o/s se zvolí vhodná metoda určení:

$$R_o/s = 1/1{,}5 = 0{,}667.$$

Poměr $R_o/s < 20$, proto je pro určení velikosti úhlu odpružení nejvhodnější použít vztah (2.34) pro výpočet tangenty β při ohybu U a z něj samotný úhel $\boldsymbol{\beta}$:

$$tg\beta = 0{,}75 \cdot \frac{l_m}{k_n \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} = 0{,}75 \cdot \frac{11{,}7}{0{,}608 \cdot 1{,}5} \cdot \frac{280}{2{,}1 \cdot 10^5} = 0{,}0128 => \beta,$$

$$\beta = arctg0{,}0128 = 0{,}733° = 0°44´,$$

kde: k_n - součinitel dle poměru R_o/s dopočítán z tabulky v příloze 11,
$k_n = 0{,}608$,

l_m - vzdálenost středů poloměru zaoblení ohybníku a ohybnice podle (2.35):
$l_m = r_m + r_p + 1{,}2 \cdot s = 8 + 1 + 1{,}2 \cdot 1{,}5 = 11{,}7\ mm$,

kde: r_m - poloměr zaoblení ohybnice z tabulky v příloze 11 pro délku ramene do 75 mm a $s = 1{,}5\ mm$ je $r_m = 8$ mm,

r_p - poloměr ohybníku je většinou shodný s poloměrem ohybu, $r_p = R_o = 1\ mm$.

Pro zvolenou třídu přesnosti dle ČSN ISO 2768 – mK je tolerance odchylky úhlu ohybu $\pm 0°20´$. Odpružení tedy převyšuje povolenou hodnotu pro předepsanou třídu přesnosti. K eliminaci odpružení bude ohýbací síla v závěru zvýšena na sílu kalibrační. Protože součástka bude po montáži na motocykl stažena maticí na šířku vidlice, případné menší úhlové odchylky nemají vliv na kvalitu výrobku a jeho funkci.

Vůle mezi ohybnicí a ohybníkem podle (2.36):

$$v_o = (1{,}05\ až\ 1{,}15) \cdot s = 1{,}1 \cdot 1{,}5 = 1{,}65\ mm,$$

kde: z uvedeného rozsahu násobku tloušťky materiálu je zvolena hodnota 1,1

Dle normy ČSN 22 7340 lze vypočítat sílu U ohybu ze vzorce (2.39):

$$F_{oU} = \frac{0{,}4 \cdot R_m \cdot s^2 \cdot b}{l_m} = \frac{0{,}4 \cdot 410 \cdot 1{,}5^2 \cdot 37}{11{,}7} = 1166{,}9\ N,$$

kde: b - šířka ohybu U je součet obou ohýbaných šířek, $b = 2 \cdot 18{,}5 = 37\ mm$.

Celková síla pro ohyb dle (2.42) je vyšší zařazením závěrečné kalibrace:

$$F_{oc} = 3 \cdot (F_{oU}) = 3 \cdot (1166{,}9) = 3501\ N$$

Hloubka ohybnice $\mathbf{h_o}$ – pro ohybky do U bez zvláštních požadavků na přesnost by měla mít minimálně hodnotu vypočítanou dle (2.46):

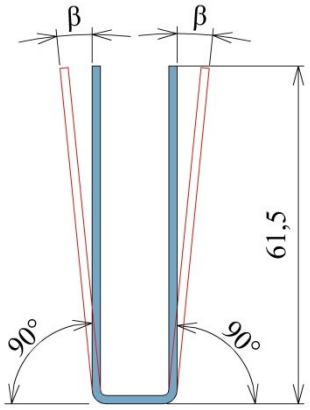
$$h_o = r_p + r_m + (5 \cdot s) = 1 + 8 + (5 \cdot 1{,}5) = 16{,}5\ mm,$$

Zároveň je zkontrolováno (obr. 74), že prolis nebude zasahovat až do ohybnice.

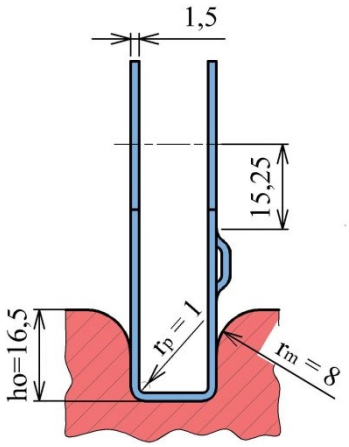
Ohybová práce dle (2.45):

$$A_{oU} = m \cdot \frac{F_{oc}}{1000} \cdot h_o = \frac{1}{6} \cdot \frac{3501}{1000} \cdot 16{,}5 = 9{,}6\ J,$$

kde: m - opravný koeficient dle normy ČSN 22 7340 je $m = \frac{1}{6}$,



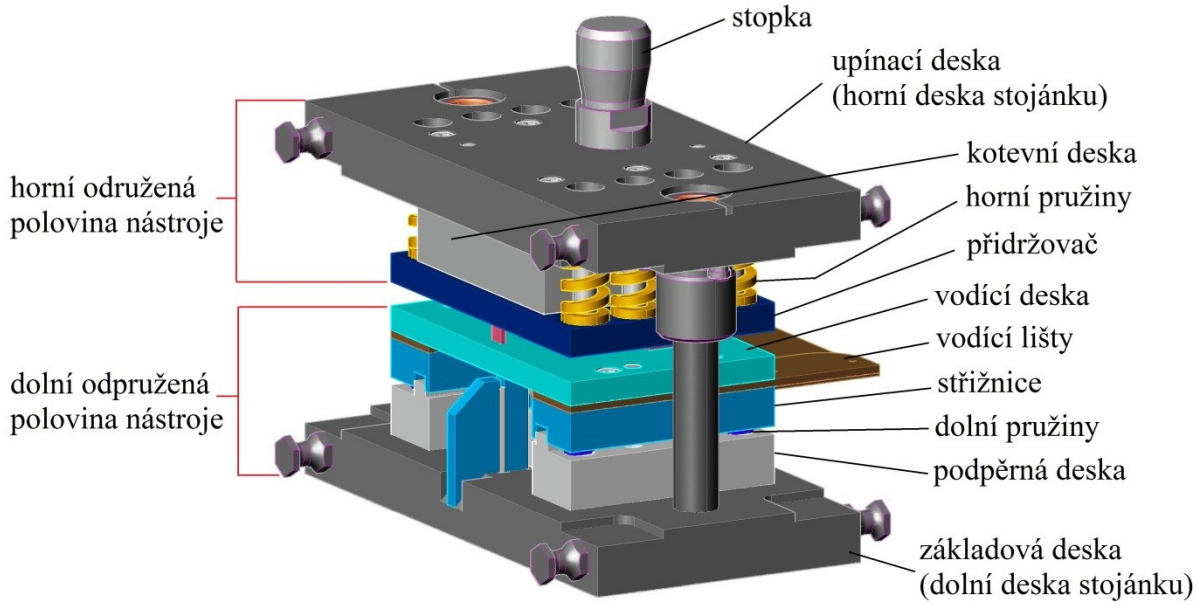
Obr. 73 Odpružení po ohybu.



Obr. 74 Hloubka ohybnice.

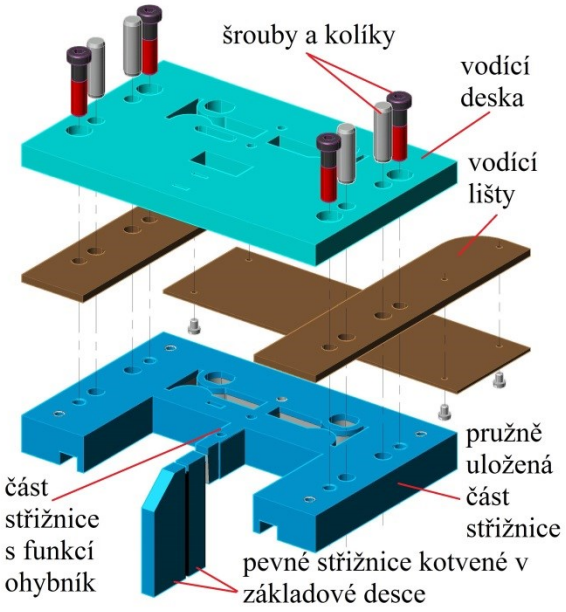
3.7 Konstrukční řešení nástroje

Konstrukce nástroje vychází ze zvoleného výrobního postupu. Tomu odpovídá rozmístění činných částí (střižníků, ohybnice a razníku) v nástroji. Při konstrukci jsou maximálně využity normalizované díly, katalogové díly dodavatelů komponent nebo z nich vycházející rozměrově upravené díly. Návrh byl vytvořen za pomoci programu AutoCAD Mechanical 2017. Postupový sdružený nástroj v sobě zahrnuje potřebné operace pro vytvoření konečného výrobku, a to stříhání, ohýbání a tváření prolisu. Aby bylo umožněno jejich současné použití v jednom zdvihu nástroje, bylo nutné upravit horní i spodní polovinu nástroje odpružením. Při stlačení dolního dílu je vysunut razník proti raznici pro vytvoření prolisu a následným stlačením i horního dílu sjede do dolní polohy ohybnice pro dokončení ohybu ramen spolu se střižníky provádějící střih. Při opětovném otevření nástroje a uvolnění pružin jsou činné části schovány ve výchozích polohách umožňující bezproblémový posun pásu plechu do dalšího kroku. Složení a konstrukce nástroje je zobrazena na obrázku obr. 75.

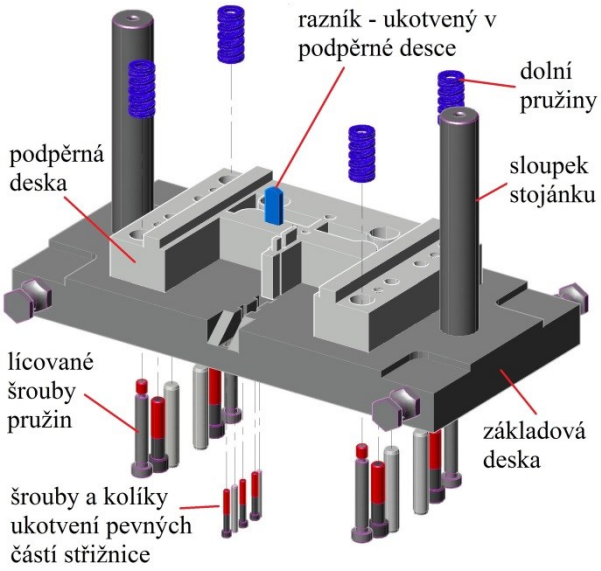


Obr. 75 Model sdruženého postupového nástroje.

Polotovar ve formě pásu plechu je do nástroje postupně posouván o délku jednoho kroku podávacím zařízením. Jeho přesnou polohu vůči činným částem zajišťují dva hledáčky zahledávající středový otvor Ø 7 mm vystřižený v prvním kroku. Jeden hledáček je samostatný a druhý umístěn v pohyblivé ohybnici. V nástroji je pás veden pomocí dvojice vodících lišt, na jejichž volné konce je jako opora pro jeho posun připevněn čtveřicí šroubů podpěrný plech. Lišty jsou sevřeny mezi vodící desku a střižnici (obr. 76). Tyto díly jsou do jednoho celku smontovány ze strany vodící desky šrouby s válcovou hlavou a vzájemná poloha dílů vymezena čtveřicí válcových kolíků.

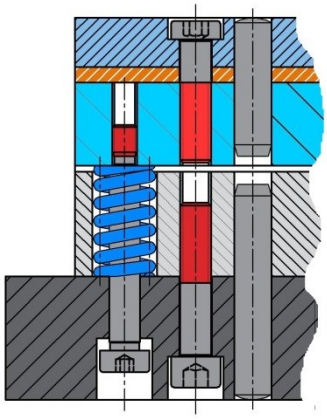


Obr. 76 Rozložený celek odpružené střižnice.

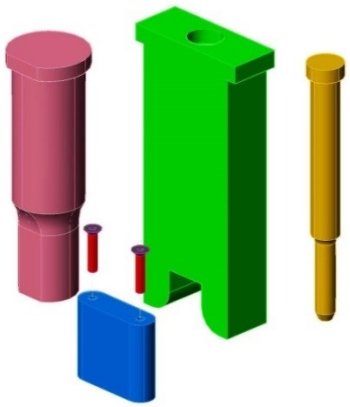


Obr. 77 Pevná část dolního dílu nástroje.

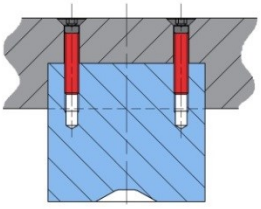
Součástí střižnice je také část uzpůsobená jako ohybník. Samostatné jsou dva díly střižnice pro odstřihovací střižníky pevně ukotveny k základové desce (dolní desce stojánku). Jejich spojení se střižnící by neumožňovalo vypadávání odpadu od odstřihovacích střižníků nebo posun již ohnuté součástky. Do drážek na spodní straně střižnice zapadají výstupky na podpěrné desce (viz obr. 77) pro lepší vedení při vzájemném pohybu.



Obr. 78 Šroubové spoje.



Obr. 79 Kotvení činných částí.



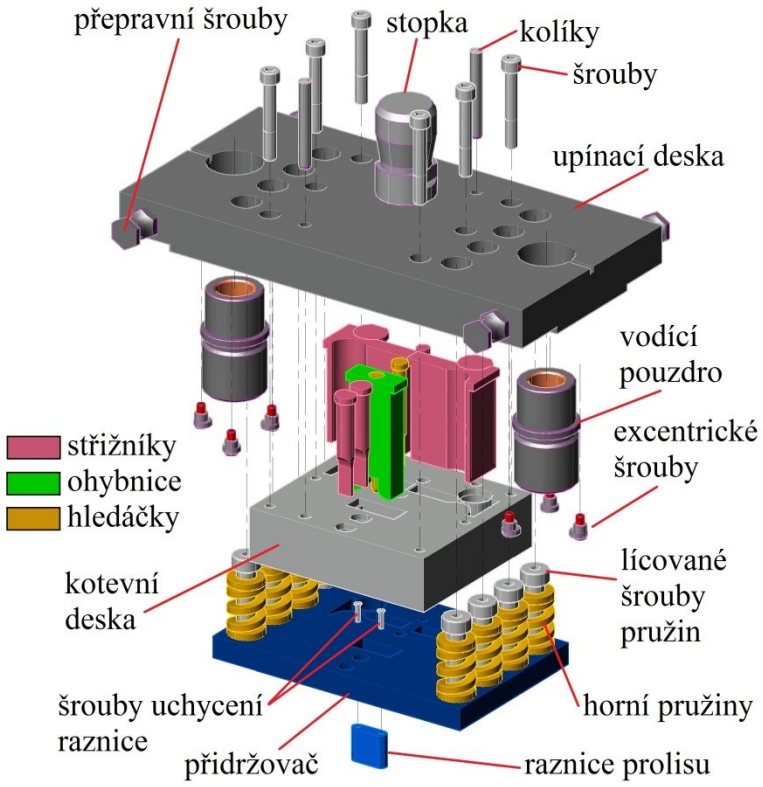
Obr. 80 Řez raznicí.

Podpěrná deska, ve které je pevně ukotven razník prolisu, tvoří spolu se základovou deskou druhý pevný celek spodního dílu nástroje zobrazený v částečně rozloženém stavu na obr. 77.

Také zde je k spojení použito šroubů s válcovou hlavou a kolíků. Pružné spojení tohoto celku a celku střižnice zajišťují čtyři pružiny umístěné mezi základovou desku a střižnici. Pro ně jako vodící čepy slouží lícované šrouby s vnitřním šestihranem s hlavou posuvně uloženou v základové desce a pevným spojením závitovou částí v celku střižnice. Délkou šroubů jsou také staženy pružiny na výchozí pracovní sílu v rozevřeném stavu nástroje. V detailu toto šroubové spojení zobrazuje obr. 78 ve stlačené fázi pružin. Snadnější vypadávání odstřižené hotové součástky z nástroje umožní zkosením upravená koncová část pevné části střižnice. Z tohoto důvodu jsou vyfrézovány i šikminy v základové desce, viz obr. 76 a obr. 77. Vypadávání odpadu od střižníků umožňují postupně se zvětšující otvory v součástech nástroje pod střižnicí.

Horní díl na obr. 81 je složen z horní desky stojánku – upínací desky, spojené šrouby a kolíky do jednoho celku s kotevní deskou. V ní jsou ukotveny střižníky, hledáčky a ohybnice. Ukázka provedení hlavic těchto částí je na obr. 79. Pružně je k tomuto celku připevněna deska přidržovače s raznicí prolisu zajištěnou v dutině šrouby proti vytažení (obr. 80). Pro vyvození dostatečné tuhosti je použito 8 ks pružin umístěných mezi upínací desku a přidržovač, stlačených na výchozí sílu podobně jako u spodního dílu délkou lícovaných šroubů s vnitřním šestihranem. Jejich hlava je také zde uložena posuvně v desce upínací a závitová část pevně spojena s deskou přidržovače.

Přesnější vedení nástroje umožňuje použitý sloupkový stojánek. Dvojice vodících sloupků je nalisována v otvorech spodní desky stojánku (základové desky) a dvojice kluzných pouzder připevněna excentrickými držáky v otvorech horní (upínací) desky stojánku. Ta také obsahuje závitem připevněnou stopku pro upnutí horního pohyblivého dílu nástroje do beranu stroje. Pro upínky pojišťující toto spojení a připevňující dolní polovinu nástroje ke stolu stroje jsou v obou deskách vytvořené rohové plošky. K snadnější manipulaci s nástrojem jsou po stranách obou desek stojánku závitové otvory pro připevnění přepravních šroubů.

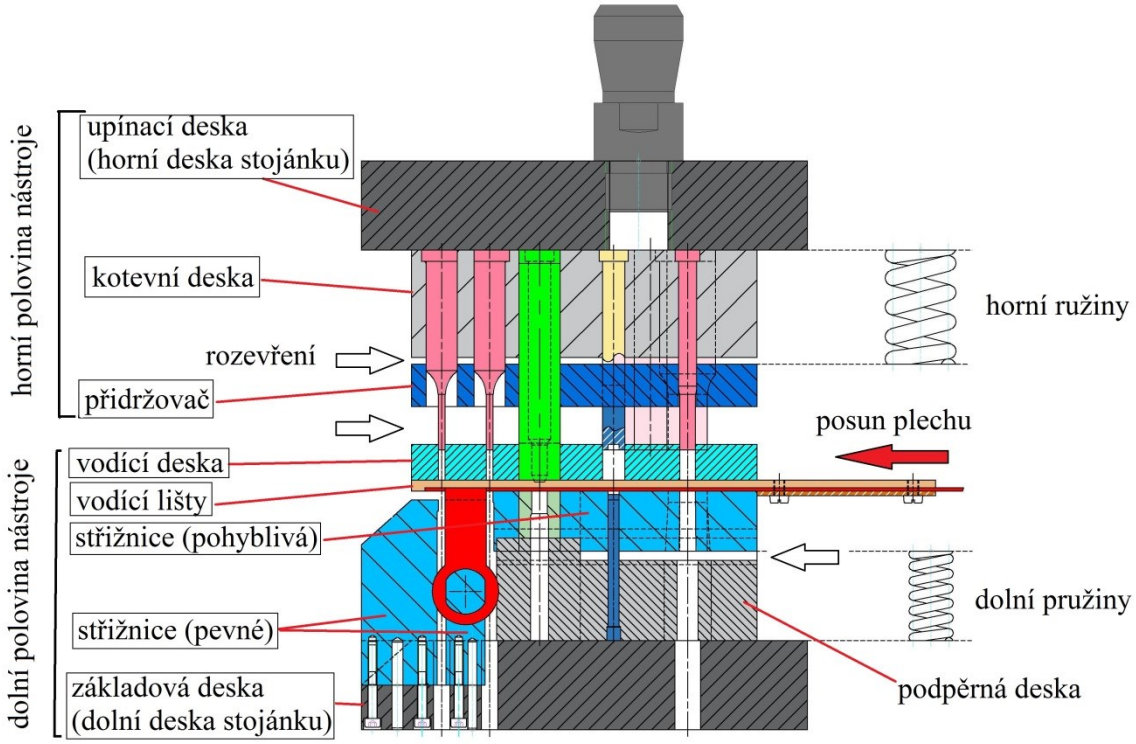


Obr. 81 Horní polovina nástroje v částečném rozložení.

3.7.1 Funkce nástroje

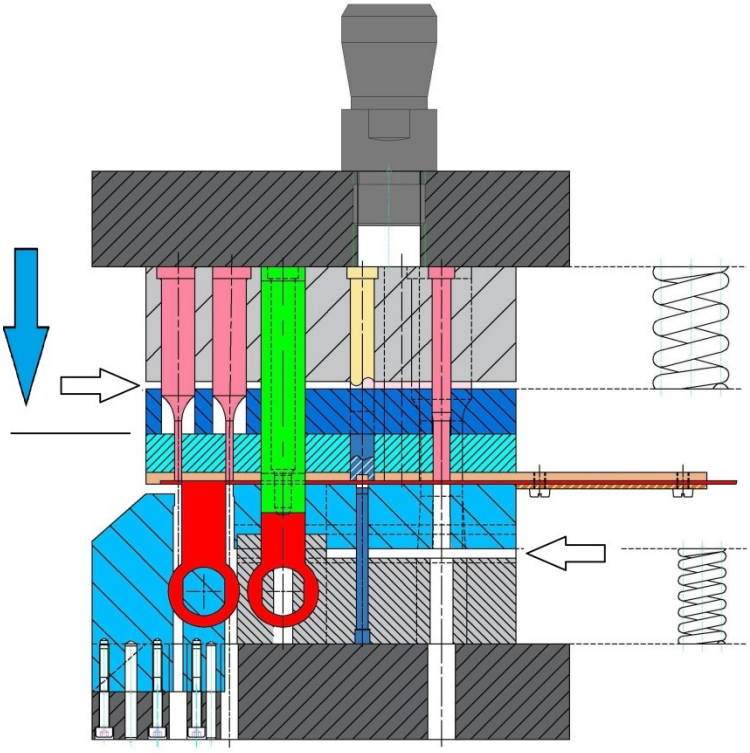
V této podkapitole je popsána funkce nástroje ve schématech jednotlivých fází. Pro přehlednost byly některé části nástroje vynechány a zobrazena v řezu raznice. Červenou barvou je zobrazena i poloha pásu plechu. Protože pružiny nelze zobrazit v jednom řezu s činnými částmi, je jejich pozice schématický naznačena mimo nástroj.

V počáteční fázi na obr. 82 je nástroj rozevřený, činné části nástroje v horní poloze. Pružiny jsou stlačeny pouze délkou šroubů ve výchozí délce a síle. Bílými šipkami je naznačena otevřená mezera mezi horním a dolním dílem a otevřené mezery v odpruženém horním a dolním dílu.

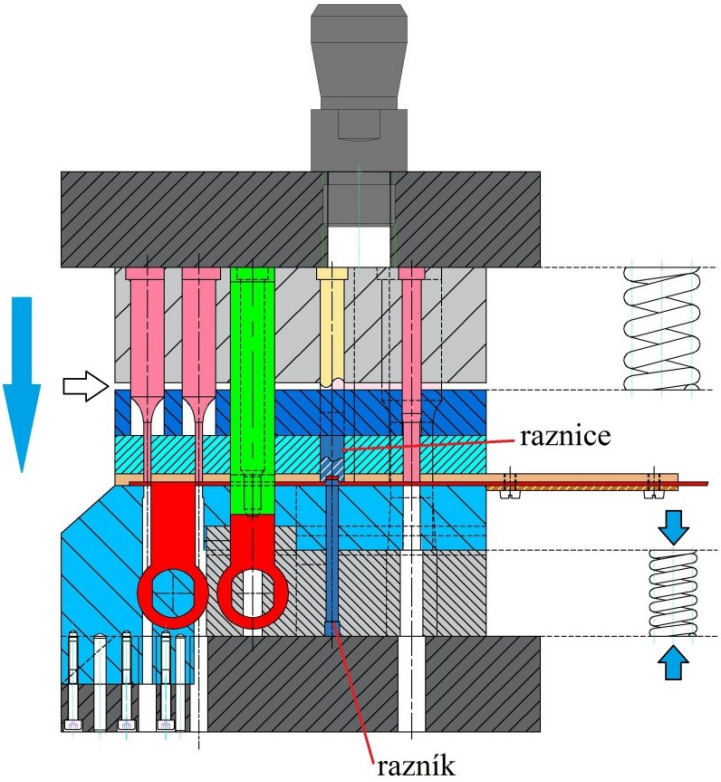


Obr. 82 Rozevřený nástroj v horní poloze.

Horní pohyblivý díl za stopku upnutý v beranu stroje postupně klesá spolu se střižníky, ohybnicí a hledáčky. Všechny tyto díly jsou vedeny ve vodící desce. První na polotovar narazí ohybnice, která začne ohýbat ramena ohybku. Jako ohybník slouží k tomuto účelu uzpůsobená část střižnice. Ta je v této fázi držena silou dolních pružin v horní nestlačené poloze. Dalším pohybem dolů pokračuje ohyb, až do dotyku přidržovače s vodící deskou. Střižníky a raznice uložena v přidržovači je v dotyku s polotovarem. Mezera mezí horní a dolní částí nástroje je uzavřena. Tento moment zachycuje obr. 83. Modrá šipka naznačuje pohyb horní poloviny nástroje směrem dolů. Obě mezery v odpružených částech jsou stále rozevřeny.

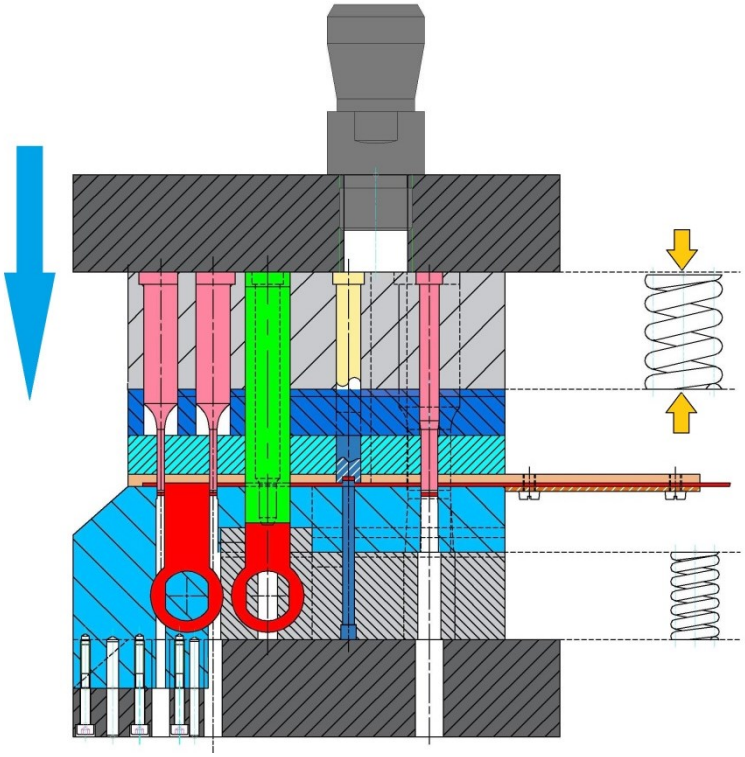


Obr. 83 Nástroj ve fázi dotyku přidržovače s vodící deskou.



Obr. 84 Fáze tváření prolisu stlačením dolních pružin.

Při dalším pohybu horní poloviny nástroje směrem dolů, viz obr. 84, jsou silou přidržovače stlačeny dolní pružiny, odpružený komplet střižnice dosedne na podpěrnou desku. Tím se proti raznici vysune razník a je proveden prolis. Proti deformaci plechu také napomáhá dotyk střižníků s pásem plechu.



Obr. 85 Fáze střihu a kalibrace ohybu při uzavření nástroje.

Dalším pohybem horní poloviny nástroje dolů už je možné pouze sevření horních pružin. Při něm sjedou o velikost rozevření střižníky a ohybnice do své dolní polohy, viz obr. 85. Je proveden střih a kalibrace ohybu, střižníky také přestihují přepážky mezi polotovarem a výrobkem. Po otevření nástroje se plech podávacím zařízením posune o jeden krok, odstřižený výrobek je plechem vysunut z nástroje a vypadává po zkosení pevné části střižnice do přepravky. Posloupnost stlačování pružin a tím vytváření patřičného tlaku tvářecích nástrojů a umožnění jejich funkce je dána vhodně navrženou tuhostí jednotlivých pružin.

Rozměrově návrh konstrukce nástroje vychází ze vzdálenosti dvojice vodících lišt, jejichž provedení se řídí normou ČSN 22 6307, poté následuje výběr střižné skříně dle ČSN 22 6273 potřebných rozměrů dle rozmístění nástrojů v jednotlivých krocích. [42; 72] Od sebe jsou lišty vzdáleny na šířku pásu zvětšenou o vůli mezi lištami dle [55; 72; 73]:

$$a_{lišt} = Š_{pa} + es + v_l \,, \qquad (3.9)$$
$$= 142 + 0{,}8 + 0{,}3 = 143{,}1\ mm,$$

kde: es - horní mezní úchylka pásu [mm],
$es = +0{,}8\ mm$, daná normou ČSN EN 10 131, pro $Š_{pa} = 142\ mm$,
$s = 1{,}5\ mm$,
v_l - vůle mezi pásem a lištami [mm],
$v_l = 0{,}3\ mm$ určena z tabulky odstavce 13 normy ČSN 22 6307 pro ostatní materiály a tloušťku plechu od 1 do 2 mm.

Výrobní tolerance rozměru $\mathbf{a_{lišt}}$ je 0,1 až 0,2 mm pro konstrukci je určena vzdálenost mezi lištami [72]:

$$a_{lišt} = 143{,}1\ {}^{+0{,}1}_{0}\ mm.$$

Tloušťka lišt je zvolena vzhledem k tloušťce plechu minimální a činí 5 mm, široké jsou 51 mm [75].

3.8 Pružiny

Navržená konstrukce postupového sdruženého nástroje obsahuje dvě skupiny pružin. Spodní drží nazdvižen komplet střižnice v počáteční fázi operace ohýbání tak, aby razník byl ještě zasunutý v podpěrné desce. Síla spodních pružin $\sum \mathbf{F_{prs}}$ v této fázi tak musí být větší než síla ohybová $\mathbf{F_{oU}}$ a silové působení tíhy kompletu střižnice **G** [74]:

$$\begin{aligned} \sum F_{prs} &> F_{oU} + G, \\ &> 1\,166{,}9 + 126, \\ &> 1292{,}9\ N, \end{aligned} \tag{3.10}$$

kde: G - tíha [N],

$$\begin{aligned} G &= g \cdot m, \\ &= 9{,}81 \cdot 12{,}82 = 126\ N, \end{aligned} \tag{3.11}$$

kde: g - gravitační zrychlení; $g = 9{,}81\ N \cdot kg^{-1}$,

m - hmotnost; plných desek $m = 12{,}82\ kg$.

Zvolena byla čtveřice nástrojových pružin ISO 10243 firmy Fevos, s. r. o. katalogového čísla B20 – 051, viz příloha 19 [77]. Ve výchozí pozici otevřeného nástroje jsou stlačeny o 11 mm délkou vodících lícovaných šroubů [78]. Počáteční síla spodní pružiny $\mathbf{F_{prs}}$ bude [75; 77]:

$$\begin{aligned} F_{prs} &= k_{pr} \cdot \Delta l_{pr}\ , \\ &= 41{,}7 \cdot 11 = 458{,}7\ N, \end{aligned} \tag{3.12}$$

kde: k_{pr} - tuhost pružiny; $k_{pr} = 41{,}7\ N \cdot mm^{-1}$,

Δl_{pr} - stlačení pružiny; $\Delta l_{pr} = 11\ mm$.

Síla všech 4 ks spodních pružin o síle $\mathbf{F_{prs}}$ v rozevřeném stavu nástroje je:

$$\sum F_{prs} = 4 \cdot F_{prs} = 4 \cdot 458{,}7 = 1834{,}8\ N \tag{3.13}$$

Horní pružiny jsou umístěny mezi horní desku stojánku a desku přidržovače. Jejich síla musí být taková, aby horní díl nástroje zůstal rozevřen i při stlačení spodních pružin přidržovačem, kdy dojde k vysunutí razníku k provedení prolisu do raznice umístěné na přidržovači. To znamená, že síla horních pružin $\sum \mathbf{F_{prh}}$ musí být větší než tvářecí síla prolisu $\mathbf{F_{LP}}$ spolu se silou spodních pružin $\sum \mathbf{F_{prs}}$ ve fázi stlačení při zavření spodního dílu nástroje:

$$\begin{aligned} \sum F_{prh} &> \sum F_{prs} + F_{LP}, \\ &> 2502 + 17\,859{,}6, \\ &> 22\,262{,}1\ N \end{aligned} \tag{3.14}$$

kde: $\sum \mathrm{F_{prs}}$ = 2502 N (síla pružin při stlačení $\Delta l_{pr} = 15\ mm$)

Pro potřebnou sílu je použito 8 ks nástrojových pružin ISO 10243 pro velmi vysoké zatížení. Vybrány byly pružiny o vnějším průměru 32 mm a délce 64 mm firmy Atila Stýl, s. r. o., pod objednacím číslem 1218658, viz příloha 20 [76]. Pružiny jsou stlačeny na výchozí délku vodícími lícovanými šrouby o $\Delta l_{pr} = 12{,}8\ mm$ [78]. Při tuhosti $k_{pr} = 273{,}3\ N \cdot mm^{-1}$ má jedna pružina sílu $\mathbf{F_{prh}}$ [75; 76]:

$$\begin{aligned} F_{prh} &= k_{pr} \cdot \Delta l_{pr}\ , \\ &= 273{,}3 \cdot 12{,}8 = 3498\ N. \end{aligned} \tag{3.15}$$

Síla 8 ks horních pružin o síle $\mathbf{F_{prh}}$ v rozevřeném stavu nástroje je:

$$\sum F_{prh} = 8 \cdot F_{prh} = 8 \cdot 3498 = 27\,986\ N \tag{3.16}$$

Při volbě pružin je třeba také dbát na možnost jejich stlačení. U zvolených pružin je pracovní rozsah $\Delta l_{pr} = 16\ mm$. To u předepnutých pružin umožní jejich další stlačení o další 3 mm

k uzavření nástroje s provedením střihu a dokončení ohybu. Po dosazení $\Delta l_{pr} = 15{,}8\ mm$ do rovnice (3.15) je síla horní pružiny ve stlačeném stavu $F_{prh} = 4318{,}1\ N$. [40; 76]

3.9 Těžiště sil

Po výpočtu všech tvářecích sil lze přistoupit k určení jejich výslednice s působištěm v jejich těžišti. To je důležité z konstrukčního hlediska, protože je do něj umísťována stopka nástroje. Zamezuje se tím možnému příčení nástroje při jeho chodu, zvýšenému opotřebení nástroje nebo vodících ploch stroje. Na nástroj působí síly nejen střižníků, ohybníku a razníku, ale i pružin. Při větším množství sil je výhodnější metoda početní. Jako dílčí výsledek je nejprve spočítána dle (2.12) vzdálenost těžiště sil činných částí nástroje od osy y $\mathbf{X_{Tn}}$ [mm]. Síly od párových nástrojů ve shodné vzdálenosti lze násobit dvěma. Naopak u střižníků č. 4 je nutné počítat s rozdílnou vzdáleností od osy y (obr. 86):

$$X_{Tn} = \frac{F_{s1}\cdot l_{1x}+(2\cdot F_{s2})\cdot l_{2x}+(2\cdot F_{s3})\cdot l_{3x}+F_{s4}\cdot l_{4x1}+F_{s4}\cdot l_{4x2}+F_{oc}\cdot l_{5x}+F_{LP}\cdot l_{6x}}{F_{s1}+(2\cdot F_{s2})+(2\cdot F_{s3)}+(2\cdot F_{s4})+F_{oc}+F_{LP}} =$$

$$= \frac{14\,064{,}8\cdot 146{,}35+80\,960\cdot 146{,}35+219\,076\cdot 129{,}75+12\,782\cdot 57{,}5+12\,792\cdot 36+3501\cdot 79{,}95+17\,859{,}6\cdot 113{,}15}{14\,064{,}8+80\,960+219\,076+(2\cdot 12\,792)+3501+17\,859{,}6}$$

$$= \frac{45\,828\,186{,}17}{361\,045{,}4} = 126{,}9\ mm.$$

Pro výpočet vzdálenosti těžiště sil od osy ***y*** je využitý princip vzorce (2.12) uzpůsobený do níže uvedeného vzorce:

$$X_T = \frac{F_{cn}\cdot X_{Tn}+F_{cpr}\cdot X_{Tp}}{F_{cn}+F_{cpr}}, \tag{3.17}$$

$$= \frac{F_{cn}\cdot X_{Tn}+F_{cpr}\cdot X_{Tp}}{F_{cn}+F_{cpr}} = \frac{361\,045{,}6\cdot 126{,}9+37\,047\cdot 100}{361\,045{,}6+37\,047} = 124{,}4\ mm\ ,$$

kde: F_{cn} - celková tvářecí síla činných částí nástroje [N],

$$F_{cn} = \sum F_s + F_{oc} + F_{LP}, \tag{3.18}$$

$$= 339\,685 + 3\,501 + 17\,859{,}6 = 361\,045{,}6\ N,$$

F_{cpr} - celková síla pružin [N]

$$F_{cpr} = \sum F_{prh} + \sum F_{prs}, \tag{3.19}$$

$$= \left(8\cdot 4\,318{,}1\right) + (4\cdot 625{,}5) = 37\,046{,}8\ \cong 37\,047\ N,$$

kde: F_{prh} - síla horní pružiny při Δl_{pr} = 15,8 mm (stlačeny) [N],

F_{prs} - síla spodní pružiny při Δl_{pr} = 15 mm (stlačeny) [N],

X_{Tp} - vzdálenost těžiště sil pružin od osy y [mm],

$X_{Tp} = 100\ mm$; pružiny jsou rozmístěny symetricky (obr. 86) znamená to, že těžiště sil pružin leží na ose symetrie y upínací desky.

Pro výpočet vzdálenosti těžiště sil od osy ***x*** je využitý princip vzorce (2.13) uzpůsobený pro tento konkrétní sdružený postupový nástroj. Protože střižníky, ohybník a pružiny jsou rozmístěny symetricky (obr. 86), lze počítat s těžištěm jejich silového působení v ose symetrie. Posun těžiště sil z této osy bude způsobovat pouze razník prolisu. To cely výpočet zjednodušuje:

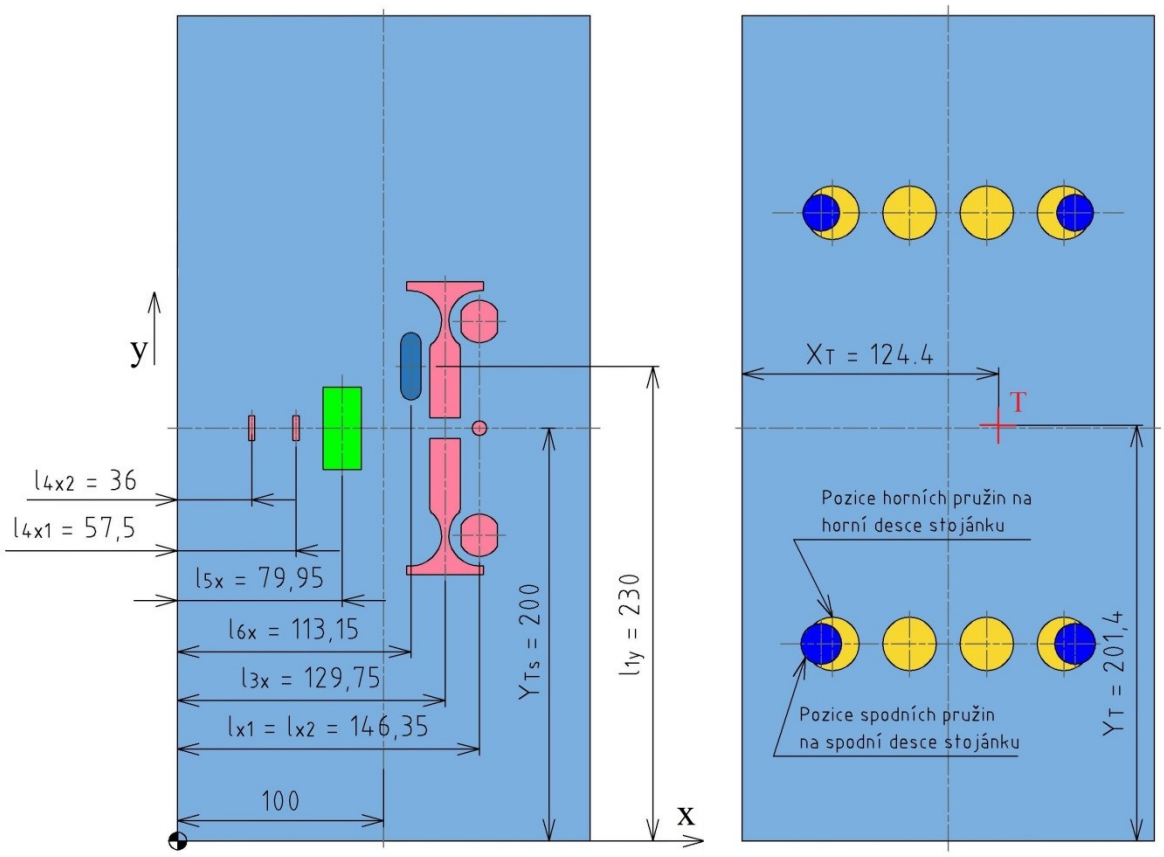
$$Y_T = \frac{(F_{cn}-F_{LP})\cdot Y_{Ts}+F_{cpr}\cdot Y_{Ts}+F_{LP}\cdot l_{1y}}{F_{cn}+F_{cpr}}, \tag{3.20}$$

$$= \frac{(361\,045{,}6-17\,859{,}6)\cdot 200+37\,047\cdot 200+17\,859{,}6\cdot 230}{361\,045{,}6+37\,047} = \frac{80\,154\,308}{398092{,}6} = 201{,}4\ mm$$

kde: Y_{Ts} - vzdálenost těžiště sil od osy x s výslednicí v ose symetrie [mm]

$Y_{Ts} = 200\ mm$

Stopku nástroje by tak nebylo v ose **y** nutné posouvat, ale v případě, že je nutnost posunu v ose x, je umístěna do těžiště sil se souřadnicemi **T** = [X_T; Y_T] = [124,4; 201,4] mm.



Obr. 86 Schéma rozmístění nástrojů a pružin pro výpočet těžiště sil.

3.10 Volba stroje

U volby stroje je důležitá celková síla pro tváření, kterou musí síla stroje nejméně vyvinout. Je to tedy součet všech tvářecích sil operací, ale i síla pružin ve stlačené fázi $\mathbf{F_{cpr}}$. I když nebudou všechny síly působit současně, například nebude při kalibraci ohybu probíhat střih nebo při střihu nejsou ještě horní pružiny zcela stlačeny, počítá se s určitým naddimenzováním stroje. Dále se při trvalém provozu stroje počítá s 80% zatížením, proto je k vypočítané síle přidáno 20 % této síly [57]:

$$F > \left(F_{cs} + F_{oc} + F_{LP} + F_{cpr}\right) + 20\ \%, \tag{3.21}$$
$$F > 397 + 3{,}5 + 19{,}8 + 37{,}1,$$
$$> 457{,}4 + 20\ \%,$$
$$> 549\ kN.$$

Dalším kritériem při volbě stroje jsou rozměry pracovního prostoru, velikost zdvihu, možnosti upnutí v beranu stroje nebo velikost otvoru propadu odpadu. Podle těchto údajů byl vybrán výstředníkový lis LEN 63 (obr. 87) výrobce Toma trading (dříve Šmeralovy závody Trnava) [79]. Jeho jmenovitá síla je 630 kN, což je pro výrobu součásti dostačující i s rezervou ve výkonu. Provedení rámu stroje je ve tvaru písmene C. Dostatečně také vyhovuje velikost pracovní plochy stolu 800 x 630 mm a nastavitelnost zdvihu 10 až 105 mm. Také průchod strojem 355 mm nebrání v použití nástroje. Vybraný lis je vhodný zejména pro tváření za studena jako stříhání, ražení, ohýbání, rovnání nebo mělké tažení. Jeho výhodou je také snadné zapojení do výrobní linky a vybavení příslušenstvím jako odvíjecí, rovnací a podávací zařízení. Důležité parametry jsou obsaženy v tab. 6.

Obr. 87 Excentrický lis LEN [79].

Tab. 6 Parametry excentrického lisu LEN 63 výrobce Toma trading [52; 79].

Jmenovitá síla lisu [kN]	630	Počet rychlostních stupňů [ks]	(P/R) = 2
Stavitelnost zdvihu [mm]	10 až 105	Počet zdvihů trvalý chod [1/min]	65/130
Stavitelnost beranu [mm]	70	Využitelný počet zdvihů [1/min]	32/45
Vyložení [mm]	315	Max. tloušťka zpracovávaného plechu (trvalý chod) [mm]	3,5/2,5
Průchod strojem [mm]	355	Výkon elektromotoru [kW]	5/7
Délka stolu [mm]	800	Maximální odevzdaná práce (trvalý chod) [J]	770/700
Šířka stolu [mm]	630	Hmotnost lisu [kg]	5 850
Výška lisu [mm]	2550	Šířka x hloubka lisu [mm]	1 425 x 1 790
Průměr otvoru stolu [mm]	250	Pruměr upínací dutiny beranu [mm]	50

Při zpracování polotovaru ve formě svitku je k vybranému lisu přidáno zařízení pro jeho odvíjení, rovnání a přesné podávání do nástroje. Toma trading je i dodavatelem tohoto příslušenství. Je zvoleno odvíjecí zařízení QOPJ 250/1400 (obr. 88), které umožňuje šířku svitku až 250 mm a tím větších možností využití i pro jinou výrobu. Základní parametry obsahuje tab. 7. K odvíjení svitku je trn motoricky poháněn se samočinnou brzdou při vypnutí pohonu. [79]

Tab. 7 Parametry odvíjecího zařízení QOPJ 250/1400 [79].

Max. šířka svitku [mm]	250	Max. vnější průměr svitku [mm]	1250
Max. hmotnost svitku [kg]	1400	Max. vnitřní průměr svitku [mm]	600
		Min. vnitřní průměr svitku [mm]	400

Na odvíjecí zařízení navazuje rovnací a podávací zařízení. Je zvolena podávací rovnačka QPRM 300/4 výrobce Eltech Slovakia (obr. 89) s parametry v tab. 8. Ta k pevnému spojení se

strojem potřebuje jednoduchou nastavitelnou konstrukci. Odvíjený svitek je v tomto zařízení narovnán a pomocí servomotoru přesně podáván do nástroje. Odměřování zabezpečuje odměřovací kolečko přitisknuté k plechu. Ovládání je dotykovým displejem umožňující nastavení podávání a zobrazení parametrů nebo chybových hlášení. Jako příslušenství je možné zařízení osadit dalšími kontrolními čidly. [79; 80]

Tab. 8 Parametry podávací rovnačky plechu QPRM 300/4 [80].

Max. šířka svitku [mm]	300	Délka podávání [mm]	1 až 9 999,9
Max. tloušťka plechu [mm]	4	Max. rychlost podávání [m/min]	45
Příkon [kW]	3,2	Přesnost podávání [mm]	±0,1
Přenastavení výšky [mm]	±50	Nastavitelný počet kusů [ks]	1 až 99 999

Obr. 88 Odvíječ QOPJ 250/1400 [79].

Obr. 89 Podávací rovnačka QPRM 300/4 [79].

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Pro ověření vhodného způsobu výroby součásti navrženým nástrojem slouží technicko-ekonomické zhodnocení. Je nutné vyčíslit veškeré náklady spojené s výrobou, náklady spojené s provozem firmy a přiměřený zisk. Výsledkem je stanovení ceny na jeden kus v závislosti na plánované výrobní sérii 20 000 ks. Prodejní cenu lze pak srovnat s výrobky konkurenčních firem. Bod zvratu udává množství kusů, při kterém je již výroba rentabilní. Protože není rozpočet vypracováván pro konkrétní firmu, jednotlivé položky jsou ve zjištěných obvyklých hodnotách. Je také uvažováno, že potencionální výrobce disponuje již potřebným strojním vybavením. Souhrn nákladů lze rozdělit do následujících kategorií:

- materiál
- povrchová úprava
- mzdy
- režie
- energie
- nástroj

Náklady na materiál – obsahují náklady na dodání potřebného množství hutního materiálu pro výrobu v požadovaném formátu polotovaru a kvalitě. Protože jednotková cena je počítána za 1 kg, je nutné zjistit celkovou hmotnost pásu plechu ve svitku.

Počet kusů výrobní série n_{vs} = 20 000 ks.

Potřebná délka pásu s přídavkem 120 mm na jeho zavedení do stroje a při počtu kusů z pásu $n_v = n_{vs}$ dle (2.16):

$$n_v = \frac{L_p+120}{K_r} \rightarrow L_p = K_r \cdot n_v + 120 = 33{,}2 \cdot 20\,000 + 120 = 664\,120\ mm.$$

Vnější průměr svitku dle (3.2) při d_{sv} = 500 mm:

$$D_{sv} = \sqrt{\frac{L_p \cdot 4 \cdot s}{\pi} + {d_{sv}}^2} = \sqrt{\frac{664\,120 \cdot 4 \cdot 1{,}5}{\pi} + 500^2} = 1232{,}2\ mm.$$

Porovnáním s maximálním dovoleným D_{sv} = 1250 mm odvíječe je možný celý pás navinout na jeden svitek.

Hmotnost svitku dle (3.3):

$$m_{sv} = \pi \cdot \frac{(D_{sv}^2 - d_{sv}^2)}{4} \cdot \check{S}_{pa} \cdot \rho_o = \pi \cdot \frac{(1232{,}2^2 - 500^2)}{4} \cdot 142 \cdot 7{,}85 \cdot 10^{-6} = 1110{,}4\ kg.$$

Využití materiálu polotovaru (pásu plechu) dle (2.17):

$$\eta_p = \frac{n_v \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{20\,000 \cdot 2155{,}72}{142 \cdot 664\,120} \cdot 100 = 45{,}72\ [\%].$$

Hmotnost odpadu $\mathbf{m_{odp}}$:

$$m_{odp} = m_{sv} \cdot \left(1 - \frac{\eta_p}{100}\right), \qquad (4.1)$$
$$= 1\,110{,}4 \cdot (1 - 0{,}4572) = 602{,}8\ kg.$$

Materiálové náklady – obsahují cenu vstupního polotovaru [71]:

- Cena potřebných svitků $\mathbf{N_{sv}}$:

$$N_{sv} = m_{sv} \cdot C_{sv}, \quad (4.2)$$
$$= 1110{,}4 \cdot 70{,}50 = 78\,283\ K\check{c},$$

kde: C_{sv} - cena polotovaru; $C_{sv} = 70{,}50\ K\check{c}/kg$ vzhledem k okolnostem na trhu s hutním materiálem v době války na Ukrajině bylo možné zjistit cenu u dodavatelů pouze neoficiální orientační, bez záruky dostupnosti. [19; 20]

- Zhodnocení odpadu výkupem $\mathbf{N_{odp}}$:

$$N_{odp} = m_{odp} \cdot C_o, \quad (4.3)$$
$$= 602{,}8 \cdot 8 = 4822{,}4\ K\check{c},$$

kde: C_o - výkupní cena 1kg odpadu; dle [81] je výkupní cena ocelového plechu $C_o = 8\ K\check{c}/kg$.

- Celkové náklady na hutní materiál $\mathbf{N_m}$:

$$N_m = N_{sv} - N_{odp}, \quad (4.4)$$
$$= 78\,283 - 4822{,}4 = 73\,460{,}6\ K\check{c}.$$

- Materiálové náklady na 1ks výrobku $\mathbf{N_{ms}}$:

$$N_{ms} = \frac{N_m}{n_{vs}}, \quad (4.5)$$
$$= \frac{73\,460{,}6}{20\,000} = 3{,}7\ K\check{c}.$$

Náklady na povrchovou úpravu galvanickým zinkováním - tato povrchová úprava bude realizována po vyrobení součástí externí firmou:

- Cena zinkování celková $\mathbf{Z_{vs}}$:

$$Z_{vs} = m_{vs} \cdot C_{zin}, \quad (4.6)$$
$$= 507{,}6 \cdot 17 = 8629\ K\check{c},$$

kde: m_{vs} - hmotnost všech kusů ve výrobní sérii [kg],

$$m_{sv} = m_c - m_{odp}, \quad (4.7)$$
$$= 1110{,}4 - 602{,}8 = 507{,}6\ kg,$$

C_{zin} - cena zinkování; C_{zin} = 17 Kč/kg [82; 83].

- Cena povrchové úpravy na jednu součást $\mathbf{N_{zins}}$:

$$N_{zins} = \frac{Z_{vs}}{n_{vs}}, \quad (4.8)$$
$$= \frac{Z_{vs}}{n_{vs}} = \frac{8629}{20\,000} = 0{,}43\ K\check{c}.$$

Mzdové náklady – náklady na obsluhu výrobního stroje:

- Počet vyrobených kusů za hodinu $\mathbf{n_{hod}}$ [71]:

$$n_{hod} = 60 \cdot n_z, \quad (4.9)$$
$$= 60 \cdot 32 = 1920\ ks,$$

kde: n_z - počet zdvihů stroje; dle tab. 6 využitelný počet zdvihů u lisu LEN 63 na rychlost P je n_z = 32 1/min.

- Počet vyrobených součástí za směnu $\mathbf{n_s}$ [84; 85]:

$$n_s = n_{hod} \cdot E_{ts}, \quad (4.10)$$
$$= 1920 \cdot 7{,}12 = 13\ 670\ ks,$$

kde: E_{ts} - efektivní čas strojního pracoviště [hod/směna],

$$E_{ts} = E_{rs} - (0{,}11 \cdot E_{rs}); \quad (4.11)$$
$$= 8 \cdot (0{,}11 \cdot 8) = 7{,}12 \text{ hod/směna},$$

kde: E_{rs} - efektivní doba ručního pracoviště za směnu; při pracovním úvazku 40 hodin týdně je E_{rs} = 8 hod/směna. Pro strojní pracoviště se snižuje o 11 % pro případné opravy a podobně.

- Počet potřebných směn $\mathbf{N_{sm}}$:

$$N_{sm} = \frac{n_{vs}}{n_s}, \quad (4.12)$$
$$= \frac{20\ 000}{13\ 670} = 1{,}46 \cong 1{,}5\ směny.$$

- Počet potřebných hodin $\mathbf{N_{hod}}$:

$$N_{hod} = N_{sm} \cdot E_{rs}, \quad (4.13)$$
$$= 1{,}5 \cdot 8 = 12\ hod.$$

- Přímé mzdové náklady $\mathbf{N_{mz}}$:

vzhledem k malému počtu výrobních hodin s jedním nástrojem je připočítána rezerva 4 hod práce dělníka na montáž a demontáž nástroje, přípravu a seřízení stroje,

$$N_{mz} = (N_{hod} + 4) \cdot M_{ov} \cdot SZP, \quad (4.14)$$
$$= (12 + 4) \cdot 168 \cdot 1{,}34 = 3602\ Kč,$$

kde: SZP - pojištění sociální (25 %) a zdravotní (9 %) [-],
M_{ov} - průměrná mzda obsluhy stroje (operátora výroby); je odhadnuta z pracovních nabídek na trhu práce na: M_{ov} = 168 Kč/hod.

- Mzdové náklady na jednu součást $\mathbf{N_{mzs}}$ [71]:

$$N_{mzs} = \frac{N_{mz}}{n_{vs}}, \quad (4.15)$$
$$= \frac{3602}{20\ 000} = 0{,}18\ Kč.$$

Výrobní a správní režie $\mathbf{N_{mr}}$ - jsou to náklady na provoz a řízení firmy, jejich výše se liší od velikosti firmy, stanovuje se procenty ze mzdy zaměstnance [71]:

$$N_{mr} = N_{mz} \cdot (V_r + S_r), \quad (4.16)$$
$$= 3602 \cdot (4 + 1) = 18\ 010\ Kč,$$

kde: V_r - výrobní režie (400 %) [-],
S_r - správní režie (100 %) [-].

Náklady na energie – zahrnují náklady na elektrickou energii výrobních strojů:

- Příkon celkový $\mathbf{P_c}$:

$$P_C = P_L + P_{RP} + P_O, \quad (4.17)$$
$$= 5 + 3{,}2 + 0{,}75 = 9{,}95\ kW,$$

kde: P_L - příkon lisu, při rychlosti P u lisu LEN 63 = 5 kW,
P_{RP} - příkon podávací rovnačky, QPRM 300/4 = 3,2 kW,
P_O - příkon odvíjecího zařízení, QOPJ 250/1400 = 0,75 kW.

- Celkové náklady na energii $\mathbf{N_e}$ [71]:

$$N_e = N_{hod} \cdot P_C \cdot C_{el}, \quad (4.18)$$
$$= 12 \cdot 9{,}95 \cdot 7 = 835{,}8\ K\check{c},$$

kde: C_{el} - cena el. energie; cena bez konkrétních údajů o podnikatelském subjektu je možno stanovit pouze přibližně dle [91; 92] je: C_{el} = 7 Kč/kWh.

- Energetické náklady na jednu součást $\mathbf{N_{es}}$:

$$N_{es} = \frac{N_e}{n_{vs}}, \quad (4.19)$$
$$= \frac{835{,}8}{20\,000} = 0{,}042\ K\check{c}.$$

Cena nástroje $\mathbf{C_{NA}}$ - do ní byly zahrnuty ceny dostupných normalizovaných dílů především z elektronického katalogu firem Meusburger a Ramseier. K ceně součástek je potřeba připočítat cenu za úpravu a výrobu specifických dílů, opracování normalizovaný desek, montážní a seřizovací práce, náklady na dokumentaci a režijní náklady a podobně. Zatímco ceníkové díly lze vyčíslit poměrně přesně, ostatní náklady jsou stanoveny odhadem po konzultaci s pracovníky firem zabývajících se konstrukcí nástrojů:

$$C_{NA} = D_{nor} + U_N, \quad (4.20)$$
$$= 80\,000 + 120\,000 = 200\,000\ K\check{c},$$

kde: C_{NA} - celková cena nástroje [Kč],
D_{nor} - cena normalizovaných dílů, D_{nor} = 80 000 Kč, ceníkové ceny s přídavkem ceny na nutné rozměrové úpravy, u dílů na poptávku uvažována vždy nejvyšší cena podobných dílů [86; 87; 88; 89],
U_N - úpravy dílů a jejich výroba, odhadovaná cena na opracování desek, U_N = 120 000 Kč [89; 90].

Celkové náklady $\mathbf{N_c}$ - jsou určeny jako součet všech složek rozpočtu:

$$N_C = C_{NA} + N_{mr} + N_{mz} + N_m + Z_{vs} + N_e, \quad (4.21)$$
$$= 200\,000 + 18\,010 + 3602 + 73\,460{,}6 + 8629 + 835{,}8 = 304\,537\ K\check{c}.$$

Náklady na jednu součást (jeden výrobek) $\mathbf{N_{Cs}}$:

$$N_{Cs} = \frac{N_C}{n_{vs}}, \quad (4.22)$$
$$= \frac{304\,537}{20\,000} = 15{,}23\ K\check{c}.$$

Cena součásti $\mathbf{C_s}$ - cena jedné součásti je navýšena o koeficient zisku, který je stanoven na 50 % z celkových nákladů na jednu součást [71]:

$$C_s = N_{Cs} \cdot 1{,}5, \quad (4.23)$$
$$= 15{,}23 \cdot 1{,}5 = 22{,}84\ K\check{c}.$$

Celkové tržby $\mathbf{T_C}$ [71]:

$$T_C = N_C \cdot 1{,}5, \quad (4.24)$$
$$T_C = N_C \cdot 1{,}5 = 304\,537 \cdot 1{,}5 = 456\,805{,}5\ K\check{c}.$$

Zisk $\mathbf{Z_i}$ [71]:

$$Z_i = T_C - N_C, \quad (4.25)$$
$$= 456\,805{,}5 - 304\,537 = 152\,268{,}5\ K\check{c}.$$

Bod zvratu (obr. 90) udává počet kusů, od kterého začíná být výroba zisková [71]:

- Variabilní náklady na jednu součást **VN**:

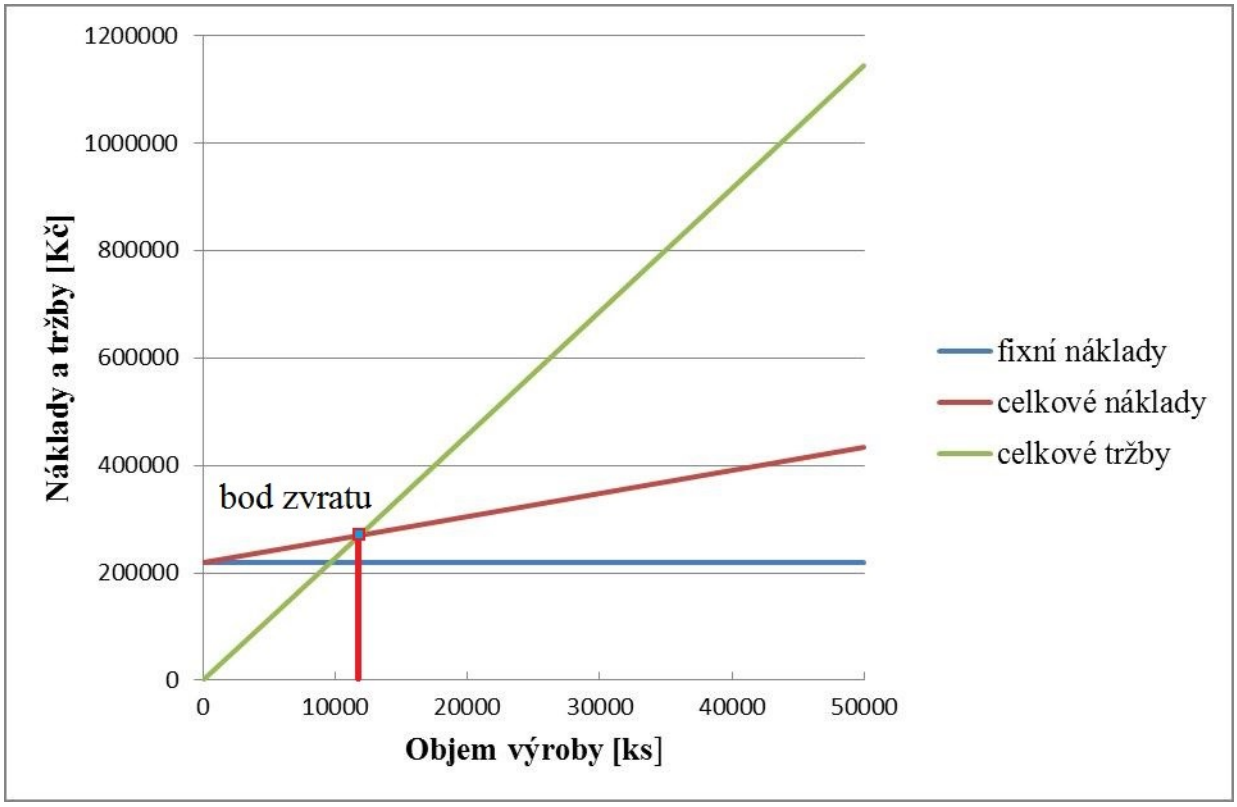
$$VN = N_{ms} + N_{zins} + N_{mzs} + N_{es}, \quad (4.26)$$
$$= 3{,}7 + 0{,}43 + 0{,}18 + 0{,}042 = 4{,}35\ K\check{c}.$$

- Fixní náklady **FN**:

$$FN = C_{NA} + N_{mr}, \quad (4.27)$$
$$= 200\,000 + 18\,110 = 218\,110\ K\check{c}.$$

- Bod zvratu $\mathbf{Q_{BZ}}$:

$$Q_{BZ} = \frac{FN}{C_s - VN}, \quad (4.28)$$
$$= \frac{218\,110}{22{,}84 - 4{,}35} = 11\,796\ ks.$$



Obr. 90 Grafické znázornění bodu zvratu.

Celkové náklady na výrobu série 20 000 ks jsou 304 537 Kč. Zisk je 152 268,5 Kč při koeficientu ziskovosti 50 %. Cena jednoho kusu napínáku je 22,84 Kč. Pro srovnání ceny s výrobky dostupnými na trhu je nutné připočítat ještě přibližně 3 Kč na šroub M6 x 35, matici čtyřhrannou M6 a matici šestihrannou M6. Cena kompletního napínáku by byla 26 Kč.

ZÁVĚR

Práce se zabývá návrhem výroby napínáku řetězu používaných na malých motocyklech Jawa pionýr. Prostorová součást tvaru U je vyrobena z ocelového plechu DC01 o tloušťce 1,5 mm. Obsahuje jednoduché otvory pro průchod napínacího šroubu a čepu rozety, na jednom z ramen je prolis pro fixaci domečku náhonu tachometru. Konečná povrchová úprava je zajištěna galvanickým zinkováním. Uvažováno je s výrobní sérií 20 000 ks.

Po vyhodnocení možných způsobů výroby byla zvolena varianta v postupovém sdruženém nástroji. K vytvoření konečného tvaru součásti je tak potřeba pouze jeden nástroj obsahující kombinaci potřebných technologií. Vstupující výchozí polotovar je v několika krocích postupně tvářen stříháním, ohýbáním a prolisováním bez nutnosti manipulací.

V technologickém zhodnocení byla ověřena vyrobitelnost, stanoven rozvinutý tvar součásti a vytvořeny vhodné varianty rozmístění součásti v nástřihových plánech. V nich byla hodnocena především využitelnost výchozího polotovaru, která při uvažovaném polotovaru pásu plechu ve svitku byla u varianty umístění součásti na výšku 45,5 % a varianty na délku 43,7 %.

Pro obě varianty byl sestaven návrh výrobního postupu a z nich vybrána jako vhodnější možnost s umístěním součástky v pásu plechu na výšku s postupným tvářením ve čtyřech krocích. Pro návrh nástroje byly provedeny technologické a kontrolní výpočty, stanoveny tvářecí síly a určeno místo jejich výsledného působiště. Při konstrukci nástroje bylo nutné vyřešit problém s posunem pásu plechu po vytvoření prolisu v kombinaci se stříháním a ohýbáním. To si vyžádalo složitější nástroj s rozevíratelnou horní i spodní částí s plovoucím vedením a pružinami. V nástroji je kladen důraz na maximální využití normalizovaných dílů. Po stanovení rozměrů nástroje a celkové tvářecí síly včetně síly na stlačení pružin byl vybrán optimální tvářecí stroj – excentrický lis LEN 63.

V ekonomickém zhodnocení byla cena nástroje stanovena na 200 000 Kč. K výrobě série 20 000 ks jsou potřebné celkové výrobní náklady 304 537 Kč. Zisk výrobce při koeficientu ziskovosti 50 % je 152 268,5 Kč a celková tržba 456 805,5 Kč. Cena jednoho kusu plechu napínáku dosahuje 22,4 Kč. Konečná cena včetně napínacího šroubu a dvou matic je 26 Kč. Protože rozpočet není stanoven pro konkrétního výrobce, je konečná cena pouze orientační s nutností přepočtu pro reálnou výrobu konkrétní firmou. Výroba tímto způsobem je vyhodnocena jako rentabilní, ovšem v reálné malosériové výrobě se díky složitému nástroji jeví výhodnější využití jednoduchých samostatných nástrojů.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
2. ČERNOCH, Svatopluk a Ivo BERNARD. *Strojně technická příručka*. Praha: SNTL, 1968. sv. 2. Dostupné také z: https://dnnt.mzk.cz/uuid/uuid:52876030-dce6-11e4-8565-005056827e52
3. Strojírenství. *Management Mania* [online]. Wilmington: ManagementMania.com, c2011-2021, 1.8.2015 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: https://managementmania.com/cs/strojirenstvi
4. Strojní průmysl. *Strojní průmysl* [online]. c2009 [cit. 2021-02-09]. Dostupné z: http://www.strojniprumysl.cz/
5. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
6. Plechová hala 6×10 m – bílá. *Ocelové konstrukce* [online]. Tarnawa: Blach Trans, c2021 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: https://www.ocelovekonstrukce.biz/produkt/plechova-hala-6x10-m-bila/
7. Trapézový profil SAT 40 N střešní. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2021, 14.7.2017 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/stresni-krytiny/16022-novy-katalog-vyrobku-pro-prumyslove-stavby-spolecnosti-satjam
8. L přední blatník [-6/06] (90.24.311) Toyota. *Zboží.cz* [online]. Praha: Seznam.cz, c1996–2021 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: https://www.zbozi.cz/vyrobek/l-predni-blatnik-6-06-90-24-311-toyota/fotogalerie/
9. Výroba z plechů. *Tonava akciová společnost* [online]. Úpice: Tonava, c2021 [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: http://tonava.cz/tonava/index.php/cs/nase-sluzby/vyroba-z-plechu
10. Konektory faston GPH PK 6-F 608-V rozměry 6,3x0,8mm průřez 4-6mm2 (100ks). *E1.cz - Elektroinstalační materiál: K&V Elektro a.s.* [online]. Praha: K&V Elektro [cit. 2021-02-10]. Dostupné z: https://www.e1.cz/produkt/1211208-konektory-faston-gph-pk-6-f -608-v-rozmery-6-3x0-8mm-prurez-4-6mm2-100ks-?t=popis
11. *Návod na obsluhu: JAWA 50 Typ 20, 21, 23, 23A*. 5. Považská Bystrica, 1971.
12. *Motorkáři.cz* [online]. Praha: MOTOportal, c2001-2021 [cit. 2021-01-29]. Dostupné z: https://www.motorkari.cz/
13. HRUBÝ, Vojtěch, Petr JONŠTA a Arnošt SILBERNAGEL. *Navrhování kovových materiálů pro různé výrobky*. Ostrava: Kovosil, 2008. ISBN 978-80-903694-2-9.
14. JANOVEC, Jiří. *Nauka o materiálu: 7. volba materiálu*. Praha, 2012. Dostupné také z: http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/08/7_volba-materialu.pdf
15. ALFUN - Metal Service Center: Katalog CZE. *ALFUN - Metal Service Center* [online]. Bruntál: ALFUN, 2020 [cit. 2021-01-27]. Dostupné z: https://www.alfun.cz/produkty/hlinik/
16. Ocelové plechy válcované za studena | Nypro. *Hutní materiál ... | NYPRO* [online]. Malé Svatoňovice: Nypro, [2020] [cit. 2021-01-27]. Dostupné z: https://nyprohutni.cz/valcovane-za-studena

17. DC01 / 1.0330 - SteelNumber - Chemical composition, equivalent, properties. *European Steel and Alloy Grades / Numbers - free database for search* [online]. Charkov: National Technical University KhPI, c2011- 2021 [cit. 2021-01-27]. Dostupné z: http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=199
18. FÜRBACHER, Ivan. *Nelegovaná jakostní hlubokotažná ocel DC01*. Praha, 2008. Dostupné také z: https://www.techportal.cz/a3b8d
19. *Ferona online* [online]. Praha: Ferona, c2017 [cit. 2022-01-10]. Dostupné z: https://online.ferona.cz/
20. *Rosso steel* [online]. Praha: Rosso steel, 1999 [cit. 2022-01-10]. Dostupné z: https:// www.rosso.cz/cz
21. ČSN EN 10130. *Ploché výrobky z hlubokotažných ocelí válcované za studena k tváření za studena: technické dodací podmínky*. Praha: Český normalizační institut, 2007. Dostupné také z: https://www.agentura-cas.cz/
22. Tepelné dělení materiálu kyslíkem – porovnání s ostatními metodami a praktické aplikace. In: *Technický portál.cz* [online]. Praha: Business Media CZ, 30. květen 2014 [cit. 2018-04-21]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/tepelne-deleni-materialu-kyslikem-porovnani-s-ostatnimi-metodami-a-prakticke-aplikace_25361.html
23. KALOUS, Jan. *Tepelné dělení materiálu v průmyslové výrobě, jakost řezu a její hodnocení podle ČSN EN ISO 9013, vady při řezání podle ČSN EN 12584*. Západočeská univerzita v Plzni Katedra materiálu a strojírenské metalurgie.
24. KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie II část svařování: díl 2: speciální metody tavného svařování tlakové svařování*. Brno, 2006. Dostupné také z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te_technologie_2_specialni_metody_svarovani_kubicek.pdf
25. Výrobní laserové technologie. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2019, **2019**(11) [cit. 2020-11-23]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/vyrobni-laserove-technologie.html
26. Jak nejlépe řezat ocelové plechy. *ESAB Česká Republika* [online]. Vamberk: ESAB, c2021 [cit. 2021-01-21]. Dostupné z: https://www.esab.cz/cz/cz/education/blog/what-is-the-best-way-to-cut-steel-plate.cfm
27. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření*. Brno: Univerzita obrany, 2008. ISBN 978-80-7231-579-6.
28. Ohybadlo: Tvářecí nástroje. In: *Zihos s.r.o. - strojírenská výroba* [online]. Švihov: Zihos [cit. 2021-03-03]. Dostupné z: https://www.zihos.eu/tvareci-nastroje
29. HLUCHÝ, Miroslav a Josef BENEŠ. *Strojírenská technologie: pro SPŠ nestrojnické*. Praha: SNTL, 1981.
30. *Příprava svarových ploch a dělení materiálu*. Plzeň, 2016. Dostupné také z: svarox.cz/wp-content/uploads/Příprava-svarových-ploch-a-dělení-materiálu.pdf
31. Řezání vodním paprskem: 2D & 3D. In: *Awac, spol. s.r.o* [online]. Praha: Awac, c2017 [cit. 2021-03-02]. Dostupné z: https://www.awac.cz/data/files/awac-uvodni1-2-compressor.jpg
32. *CHPS s.r.o. - řezání vodním paprskem, řezání laserem, zpracování kovů* [online]. Chomutov: CHPS [cit. 2020-11-23]. Dostupné z: http://www.chps.cz/

33. O technologii řezání vodním paprskem. *Tvarové řezání vodním paprskem - Alcom Alval s.r.o.* [online]. Praha: Alcom Alval [cit. 2021-01-18]. Dostupné z: https://www.vodnipaprsek.com/o-vodnim-paprsku/

34. FINDA, Luděk, Roman HALTUF a Trumpf Zákaznické a aplikační centrum. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2010, (6), 72 [cit. 2022-04-16]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html

35. URBÁNEK, Pavel. *Stříhání, děrování, vysekávání a tváření plechu na CNC zařízení Traumatic 120*. Uherský Brod, 2010. Dostupné také z: https://docplayer.cz/7538987-Strihani-derovani-vysekavani-a-tvareni-plechu-na-cnc-zarizeni-traumatic-120.html

36. MICHALÍKOVÁ, Katarína a Oldrich MICHALÍK. *Strojníctvo IV: pre 4. ročník SPŠ*. EXPOL PEDAGOGIKA, 2006. ISBN 80-8091-002-2.

37. *Handbuch der Umformtechnik*. 1. Berlin: Springer, 1996, 565 s. ISBN 3-540-61099-5.

38. Carnieva_lvb: washing machine hinge mold design. In: *Universal 1972: world class tooling specialist* [online]. Suzzara: Attrezzeria Universal di Caramaschi Armando Sas [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: https://universal1972.com/en/stampo/cerniera-lavabiancheria/

39. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.

40. SUCHY, Ivana. *Handbook of die design*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2006. McGraw-Hill handbooks. ISBN 00-714-6271-6.

41. HLUCHÝ, Miroslav, Jan KOLOUCH a Rudolf PAŇÁK. *Strojírenská technologie 2: polotovary a jejich technologičnost*. 2., upr. vyd. Praha: Scientia, 2001. ISBN 80-7183-244-8.

42. ČSN 22 6273. *Lisovací nástroje: střižné skříně zesílené provedení*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1970. Dostupné také z: https://www.agentura-cas.cz/

43. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980.

44. BAREŠ, Karel. *Lisování*. 1971. Praha: STNL, 1971.

45. LENFELD, Petr. *Technologie II*. Vyd. 2. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-466-5.

46. PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do tváření II: plošné tváření*. Ostrava, 2001.

47. TATÍČEK, František a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření: Stříhání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2010, 17.5.2010, **2010**(6) [cit. 2021-01-24]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html

48. GAJDOŠ, František. Technologie tváření kovů. In: *Studium-Obor technologie tváření ÚST FSI VUT Brno* [online]. Brno: ÚST FSI VUT Brno, 2002 [cit. 2021-02-21]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/5te_technologie_vyroby_I_tvareni_gajdos.pdf

49. KOS, František, Rudolf KRŇÁK a Miloslav JONÁŠ. *Kvalifikační příručka nástrojáře*. Praha: Práce, 1971. Učební texty Práce.
50. ČSN 22 6015. *Lisovací nástroje. Střihadla a střižné vůle: směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1975.
51. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I: plošné a objemové tváření*. 2. vyd. Brno: Vysoké učení technické, 1992.
52. FOREJT, Milan. *Ročníkový projekt I. -Tváření, svařování: sylabus pro studium bakalářského studijního programu strojírenství*. 2002. Brno, 2002, 89 s. Dostupné také z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/dr2_rocnikovy_projekt_I_2019_forejt.pdf
53. LENFELD, Petr. Katedra tváření kovů a plastů - Skripta: Technologie plošného tváření -ohýbání. *Technologie II* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, 2018 [cit. 2021-03-14]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm
54. TATÍČEK, František a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření: Ohýbání. *MM Průmyslové spektrum: technický měsíčník* [online]. Praha: MM publishing, 2010, **2010** (7, 8), 52 – 53 [cit. 2021-01-24]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-ohybani
55. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.
56. ELFMARK, Jiří a kol. *Tváření kovů: Technický průvodce svazek 62*. 1. Praha: SNTL, 1991. ISBN 80-03-00651-1.
57. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. ISBN 80-214-2881-3.
58. ČADA, Radek. *Technologie I: zákony plastické deformace kovů, dělení materiálu, slévání*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1274-8.
59. TATÍČEK, František, Martin KUBELKA a Tomáš PILVOUSEK. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřižků. *MM průmyslové spektrum: technický měsíčník* [online]. Praha: MM publishing, 2011, 19. 12. 2011, **2011**(12), 1 [cit. 2021-10-17]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku
60. TATÍČEK, František a Roman DVOŘÁK. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání. *MM průmyslové spektrum: technický měsíčník* [online]. Praha: MM publishing, 2012, 11. 04. 2012, **2012**(4), 1 [cit. 2021-10-18]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-pri-ohybani
61. ŽÁK, Ladislav. *Ohýbací nástroje*. Brno, 2008, 45 s.
62. ČSN 22 7340 *Tvářecí nástroje. Ohýbadla. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. Praha: Vydavatelství norem, 1991. Dostupné také z: https://www.agentura-cas.cz/
63. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. Praha: ČVUT, 1993. ISBN 80-01-01003-1.
64. *Polotovary vyráběné tvářením za studena-stříhání*. 1. Ostrava – Vítkovice: Střední průmyslová škola, Ostrava – Vítkovice, 2014. Dostupné také z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/STT4_2-strihani_SPU.pdf

65. BOBČÍK, Ladislav. *Střižné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL, 1983.

66. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání – v příkladech: Stříhání plechu* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2021-01-22]. ISBN 978-80-248-3016-2. Dostupné z: https://projekty.fs.vsb.cz/463/ucebniopory/978-80-248-3016-2.pdf

67. STANĚK, Jiří. *Základy stavby výrobních strojů*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2001. ISBN 80-7082-738-6.

68. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: Část tvářecí stroje* [online]. Brno: FSI VUT v Brně, 2002 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z:http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/hvs _ vyrobni_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf

69. RUDOLF, Bedřich a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: základy výpočtů a konstrukce*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1979.

70. MAŇAS, Stanislav. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje* [online]. Praha: ČVUT v Praze, 2007 [cit. 2021-11-09]. Dostupné z: https://docplayer.cz/9777671-Vyrobni-stroje-a-zarizeni.html

71. PECINOVÁ, Hana Elisabetha. *Výroba držáku televizoru sdruženým nástrojem* [online]. Brno, 2017 [cit. 2022-05-04]. Dostupné z: http://hdl.handle.net/11012/65217. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Eva Peterková.

72. ČSN 22 6307. *Tvářecí nástroje: vodící lišty - všeobecné požadavky na konstrukci*. Praha: Český normalizační institut, 1990. Dostupné také z: https://www.agentura-cas.cz/

73. ČSN EN 10131. *Ploché výrobky bez povlaku a elektrolyticky pokovené zinkem nebo kombinací zinek-nikl z nízkouhlíkové oceli a z ocelí s vyšší mezí kluzu k tváření za studena - Mezní úchylky rozměrů a tolerance tvaru*. Praha: Český normalizační institut, 2006. Dostupné také z: https://www.agentura-cas.cz/

74. REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. *Encyklopedie fyziky* [online]. Praha: Reichl, c2006-2020 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: http://fyzika.jreichl.com/

75. LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd., dot. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-7183-164-6.

76. *Atilastyl* [online]. Brno: Atila Stýl, c2022 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: https://www.atilastyl.cz/

77. *Fevos, s.r.o.* [online]. Rokytnice: Fevos, 2022 [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: https://www.fevos.cz/

78. ČSN ISO 7379 (021113). *Lícované šrouby s vnitřním šestihranem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. Dostupné také z: https://www.agentura-cas.cz/

79. *Toma trading* [online]. Trnava: Toma trading, 2022 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: http://www.tomatrading.sk/index.html

80. *Eltech Slovakia* [online]. Dolné Orešany: Eltech Slovakia, c2019 [cit. 2022-03-17]. Dostupné z: https://www.eltech.sk/

81. *Kovošrot Chlebek: výkup a zpracování kovů* [online]. Oldřichovice: Kovošrot Chlebek, c2022 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: https://www.kovosrot-chlebek.cz/

82. GALVA s. r. o., *zinkování galvanické-napínák* [e-mailová komunikace]. 25. Března 2022 12:17 [cit. 2022-03-25]

83. *Galvanovna, s. r. o., Chotěboř: galvanické a chemické povrchové úpravy* [online]. Chotěboř: Galvanovna [cit. 2022-03-25]. Dostupné z: http://galvanovnasweb.webmium.com/

84. HLAVENKA, Bohumil, Antonín MARTÍNEK a Bohuslav OMASTA. *Technologické projekty: cvičení*. Vyd. 3. rozš. Brno: PC-DIR, 1997. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0928-2.

85. RUMÍŠEK, Pavel. *Technologické projekty a manipulace s materiálem: řešené příklady a učební texty*. Brno, 2002.

86. *Meusburger normálie: formařina, nástrojařina, strojírenství* [online]. Wolfurt: Meusburger Georg, c2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.meusburger.com/

87. *Online shop - Ramseier Normteile Česká republika* [online]. Eugendorf: Ramseier Normteile, 2022 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.ramseier-normteile.at/cz/online-shop

88. *Prumex.cz: prodej technického sortimentu* [online]. Hrušovany nad Jevišovkou: Prumex, c2019 [cit. 2022-03-24]. Dostupné z: https://www.prumex.cz/

89. CHLÁDEK, Jan. *Návrh sdruženého postupového nástroje* [e-mailová komunikace]. 6. dubna 2022 14:55 [cit. 2022-04-06]. NTN Precision s. r. o.

90. MUDŘÍKOVÁ, Hana, Jan OŠKERA. *Přibližná cena postupového sdruženého nástroje* [e-mailová komunikace]. 25. Března 2022 10:49 [cit. 2022-03-25]. Kalina industries s. r. o.

91. ČEZ ESCO, zákaznická linka [telefonická konzultace]. Třebíč, 22. 3. 2022.

92. MND Energie, zákaznická linka [telefonická konzultace]. Třebíč, 22. 3. 2022.

93. *CITACE PRO: generátor citací* [online]. Brno: Citace.com, c2012-2020 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://www.citacepro.com

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A_s	střižná práce	[J]
A_{oU}	ohybová práce	[J]
a_e	delší poloosa nahrazující křivku střižné síly	[N]
$a_{lišt}$	vzdálenost mezi vodícími lištami	[mm]
a_m	minimální velikost okraje otvoru při stříhání	[mm]
a_{otv}	vzdálenost otvoru od místa ohybu	[mm]
b	šířka pásu	[mm]
b_e	kratší poloosa nahrazující křivku střižné síly	[mm]
b_m	minimální velikost okraje čtvercových otvorů při střihání	[mm]
b_{ramene}	délka ramene ohybku	[mm]
C_{el}	cena el. energie	[Kč/kWh]
C_{NA}	celková cena nástroje	[Kč]
C_o	výkupní cena 1kg odpadu	[Kč]
C_s	cena součásti	[Kč]
C_{sv}	cena polotovaru	[Kč/kg]
C_{zin}	cena zinkování	[Kč/kg]
c	koeficient závislý na stupni střihu	[-]
c_m	minimální velikost rovnoměrného okraje otvorů při stříhání	[mm]
c_2	koeficient tažení	[-]
c_o	součinitel technologických podmínek	[-]
D_{nor}	cena normalizovaných dílů	[Kč]
D_s	průměr střižnice	[mm]
D_{sv}	vnější průměr svitku	[mm]
DÚ	dolní úvrať	[mm]
d_{hs}	průměr hlavy střižníku	[mm]
d_s	průměr střižníku	[mm]
d_{sv}	vnitřní průměr svitku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
E_{rs}	efektivní doba ručního pracoviště za směnu	[hod/směna]
E_{ts}	efektivní čas strojního pracoviště	[hod/směna]
e_m	velikost můstku (mezery)	[mm]
es	horní mezní úchylka (šířky pásu)	[mm]
F	síla na beranu tvářecího stroje	[N]
FN	fixní náklady	[Kč]
F_{cn}	celková tvářecí síla činných částí nástroje	[N]
F_{CS}	celková střižná síla	[N]
$F_{i,}$	i-tá tvářecí síla vztažená k ose x	[N]
F'_i	i-tá tvářecí síla vztažená k ose y	[N]
F_j	jmenovitá síla stroje (max. povolené zatížení stroje)	[N]
F_k	kalibrovací síla	[N]
F_o	tvářecí síla	[N]
F_{LP}	celková tvářecí síla prolisu	[N]
F_{oc}	celková síla pro ohyb	[N]
F_{oU}	ohybová síla pro U ohyb	[N]
F_p	síla přidržovače	[N]

Označení	Legenda	Jednotka
F_{prh}	síla pružiny horní	[N]
F_{prs}	síla pružiny spodní	[N]
F_s	střižná síla	[N]
F_{si}	střižná síla i-tého střižníku	[N]
F_{smax}	maximální střižná síla	[N]
F_t	tečná složka síly na klice	[N]
F_{tp}	tažná síla prolisu	[N]
F_u	stírací síla	[N]
F_v	protlačovací síla	[N]
F_z	výslednice tvářecích sil	[N]
f_{ok}	velikost okraje (přepážky odpadu)	[mm]
G	tíha	[N]
g	tíhové zrychlení	[$N.kg^{-1}$]
g_o	šířka odstřihovaného okraje odstřihovačem	[mm]
H	tloušťka střižnice	[mm]
H_{sev}	sevření tvářecího stroje	[mm]
HÚ	horní úvrať	[mm]
h_b	výška polohy beranu lisu	[mm]
h_f	šířka fazetky střižnice	[mm]
h_o	hloubka ohybnice (pracovní zdvih ohýbadla)	[mm]
h_s	hloubka vniknutí střižné hrany	[mm]
$h_{vystupku}$	výška delších výstupků nebo zaoblení z obrysu	[mm]
I	moment setrvačnosti průřezu	[mm^4]
JR	jmenovitý rozměr součásti	[mm]
K	koeficient úhlu odpružení	[-]
K_r	délka kroku	[mm]
k	koeficient závislý na druhu a tloušťce materiálu (střižná práce)	[-]
k_b	koeficient bezpečnosti	[-]
k_{eu}	koeficient stírání	[-]
k_{ev}	koeficient protlačování	[-]
k_n	součinitel určující polohu neutrální plochy	[-]
k_{pr}	tuhost pružiny	[$N.mm^{-1}$]
L	délka křivky střihu	[mm]
L_p	délka pruhu (pásu) plechu	[mm]
L_{rp}	součet přímých částí stěn výtažku	[mm]
L_v	rozměr výstřižku po délce pásu plechu	[mm]
l_c	celková délka polotovaru	[mm]
l_i	délka i-tého rovného úseku	[mm]
l_{ix}	vzdálenost i-té síly od osy y	[mm]
l_{iy}	vzdálenost i-té sily od osy y	[mm]
l_{krit}	kritická délka kontrolovaného střižníku	[mm]
l_m	vzdálenost středů poloměru zaoblení ohybníku a ohybnice	[mm]
l_{ohb}	vzdálenost podpěr (vzdálenost středů zaoblení ohybnice)	[mm]
l_{oi}	délka i-tého ohnutého úseku	[mm]
l_{okr}	délka rovné stěny ohybnice	[mm]
l_r	osová vzdálenost otvorů součástky	[mm]
l_s	délka střižníku	[mm]
M_{ov}	průměrná mzda obsluhy stroje	[Kč/hod]

Označení	Legenda	Jednotka
m	hmotnost	[kg]
m_{odp}	hmotnost odpadu	[kg]
m_{sv}	hmotnost svitku	[kg]
m_{vs}	hmotnost všech kusů ve výrobní sérii	[kg]
N_c	celkové náklady	[Kč]
N_{Cs}	náklady na jednu součást (jeden výrobek)	[Kč]
N_e	celkové náklady na energii	[Kč]
N_{es}	energetické náklady na jednu součást	[Kč]
N_{hod}	počet potřebných hodin výroby	[hod]
N_m	celkové náklady na hutní materiál	[Kč]
N_{mr}	výrobní a správní režie	[Kč]
N_{ms}	materiálové náklady na 1ks výrobku	[Kč]
N_{mz}	přímé mzdové náklady	[Kč]
N_{mzs}	mzdové náklady na jednu součást	[Kč]
N_{odp}	zhodnocení odpadu výkupem	[Kč]
N_{sm}	počet potřebných směn	[směn]
N_{sv}	cena potřebných svitků	[Kč]
N_{zins}	cena povrchové úpravy na jednu součást	[Kg]
n_{hod}	počet vyrobených kusů za hodinu	[ks]
n_k	zvyšující koeficient	[-]
$n_{pásů}$	počet pásů z tabule plechu	[ks]
n_s	počet vyrobených součástí za směnu	[ks]
n_v	počet kusů z jednoho pruhu (pásu) plechu	[ks]
n_{vs}	počet kusu výrobní série	[ks]
n_{vt}	počet výstřižků z jedné tabule plechu	[ks]
n_{vys}	počet výstřižků v neodlehčené části střihadla	[ks]
n_z	počet zdvihů stroje	[1/min]
P	přípustná míra opotřebení	[mm]
P_c	příkon celkový	[kW]
P_L	příkon lisu	[kW]
P_O	příkon odvíjecího zařízení	[kW]
P_{RP}	příkon podávací rovnačky	[kW]
p	měrný tlak pro kalibrování	[MPa]
p_b	přestavitelnost beranu stroje	[mm]
p_s	přestavitelnost stolu stroje	[mm]
Q_{BZ}	bod zvratu	[ks]
R	vnější poloměr ohybu	[mm]
R_1	nutný poloměru ohybu pro vznik ohybu o poloměru R_2	[mm]
R_2	požadovaný poloměr ohybu	[mm]
RAD	rozměr střižníku při děrování	[mm]
RAV	rozměr střižníku při vystřihování	[mm]
R_e	mez kluzu materiálu	[MPa]
RED	rozměr otvoru střižnice při děrování	[mm]
REV	rozměr otvoru střižnice při vystřihování	[mm]
R_m	mez pevnosti materiálu	[MPa]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
R_o	poloměr ohybu	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
r_m	poloměr zaoblení ohybnice	[mm]
r_p	poloměr ohybníku	[mm]
S	střižná plocha	[mm^2]
SZP	sociální a zdravotní pojištění	[-]
S_k	kalibrovaná plocha polotovaru (při ohybu)	[mm^2]
S_p	plocha pásu	[mm^2]
S_r	správní režie	[-]
S_{si}	dosedací plocha hlavy i-tého střižníku	[mm^2]
S_t	plocha tabule plechu	[mm^2]
S_v	plocha hotového výstřižku	[mm^2]
s	tloušťka materiálu	[mm]
s_{min}	minimální tloušťka polotovaru	[mm]
$Š_{pa}$	šířka pásu plechu	[mm]
$Š_{pl}$	šířka tabule plechu	[mm]
$Š_v$	rozměr výstřižku po šířce pásu plechu	[mm]
$Š_{vc}$	celková výška výstřižků	[mm]
š	minimální šířka úzkého výstřižku nebo výstupku z obrysu	[mm]
T	těžiště sil	[mm]
TA	výrobní tolerance střižníku	[mm]
TE	výrobní tolerance střižnice	[mm]
TS	tolerance jmenovitého rozměru	[mm]
T_C	celkové tržby	[Kč]
U_N	úpravy dílů a jejich výroba	[Kč]
VN	variabilní náklady na jednu součást	[Kč]
V_r	výrobní režie	[-]
v	střižná vůle	[mm]
v_l	vůle mezi pásem plechu a vodícími lištami	[mm]
v_o	vůle mezí ohybníkem a ohybnicí	[mm]
X_T	vzdálenost těžiště sil od osy y	[mm]
X_{Tn}	vzdálenost těžiště sil činných částí nástroje od osy y	[mm]
X_{Tp}	vzdálenost těžiště sil pružin od osy y	[mm]
x	součinitel posunu neutrální plochy	[-]
x_e	součinitel nahrazení průběhu střižné síly eliptickou závislostí	[-]
Y_T	vzdálenost těžiště sil od osy x	[mm]
Y_{Ts}	vzdálenost těžiště sil od osy x s výslednicí v ose symetrie	[mm]
Z	zdvih	[mm]
Z_i	zisk	[Kč]
Z_{vs}	cena zinkování celková	[Kč]
z	střižná mezera	[mm]
α	úhel ohybu (sevřený úhel ramen ohnuté části)	[°]
$α_1$	nutný úhel ohybu pro vytvoření ohybu $α_2$	[°]
$α_2$	požadovaný úhel ohybu	[°]
$α_s$	úhel kuželovitého otvoru střižnice	[°]
$α_v$	úhel vyčnívajících částí a zářezů výstřižku	[°]
β	úhel odpružení	[°]
tgβ	tangenta úhlu odpružení	[-]
γ	úhel ohnutého úseku	[°]

Označení	Legenda	Jednotka
Δl_{pr}	velikost stlačení pružiny	[mm]
ε_c	mezní prodloužení	[-]
η_p	stupeň využití materiálu pásu plechu	[%]
η_t	stupeň využití materiálu tabule plechu	[%]
λ	součinitel plnosti diagramu	[-]
ρ	poloměr neutrální plochy	[mm]
ρ_o	hustota oceli	[kg.mm^{-6}]
σ_{dov}	dovolené napětí na dosedací ploše střižníku	[MPa]
σ_{si}	normálové napětí i-tého střižníku	[MPa]
τ_s	střižný odpor	[MPa]
φ	úhel zkosení čela střižníku	[°]
φ_L	úhel natočení klikového mechanismu	[°]

Zkratky

Označení	Legenda
NP	neutrální plocha

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Doporučené hodnoty koeficientu **c**

Příloha 2 Tabulka pro určení velikosti střižné vůle

Příloha 3 Nomogram a tabulka k určení velikosti střižné vůle

Příloha 4 Tabulka pro určení koeficientu **k**

Příloha 5 Grafy pro stanovení přepážek odpadu

Příloha 6 Momenty setrvačnosti vybraných průřezů

Příloha 7 Určení tvaru zvětšujícího se nebo zmenšujícího se pro vystřihování a děrování

Příloha 8 Vzorce pro výpočet základních rozměrů střižnice při vystřihování

Příloha 9 Vzorce pro výpočet základních rozměrů střižníku a střižnice při děrování

Příloha 10 Tabulka, nomogram a grafy pro určení odpružení

Příloha 11 Tabulka velikosti součinitele $\mathbf{k_n}$ a tabulka zaoblení a hloubky ohybnice

Příloha 12 Tabulka měrného tlaku pro kalibrování při ohybu **p**

Příloha 13 Tabulky dosažitelných přesností stříhání

Příloha 14 Tabulky dosažitelných přesností stříhání a tolerančních stupňů

Příloha 15 Tabulky pro určení výrobních tolerancí ohýbaných součástí

Příloha 16 Porovnání dosažitelných přesností použitých technologií s předepsanou třídou přesnosti netolerovaných rozměrů

Příloha 17 Varianty nástřihového plánu

Příloha 18 Tabulka vlastností oceli DC01

Příloha 19 Nástrojové pružiny ISO 10243 - B20 - 051

Příloha 20 Nástrojové pružiny ISO 10243 - 1218658

Seznam výkresů

Napínák řetězu; 2022-DP-184327-0

Sdružený nástroj; 2022-DP-184327-1

Spodní část nástroje; 2022-DP-184327-1D

Kusovník spodní části nástroje; 2022-DP-184327-1DK

Horní část nástroje; 2022-DP-184327-1H

Kusovník horní části nástroje; 2022-DP-184327-1HK

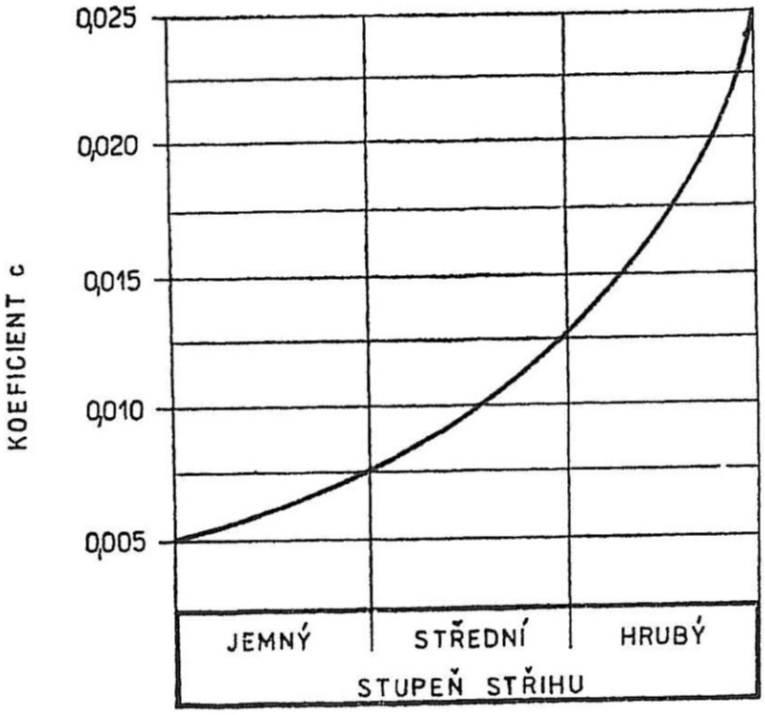
Střižnice; 2022-DP-184327-2

Ohybnice; 2022-DP-184327-3

Tvarový střižník; 2022-DP-184327-4

Příloha 1
Doporučené hodnoty koeficientu c [50]

Tab. 8. Doporučené hodnoty koeficientu *c*

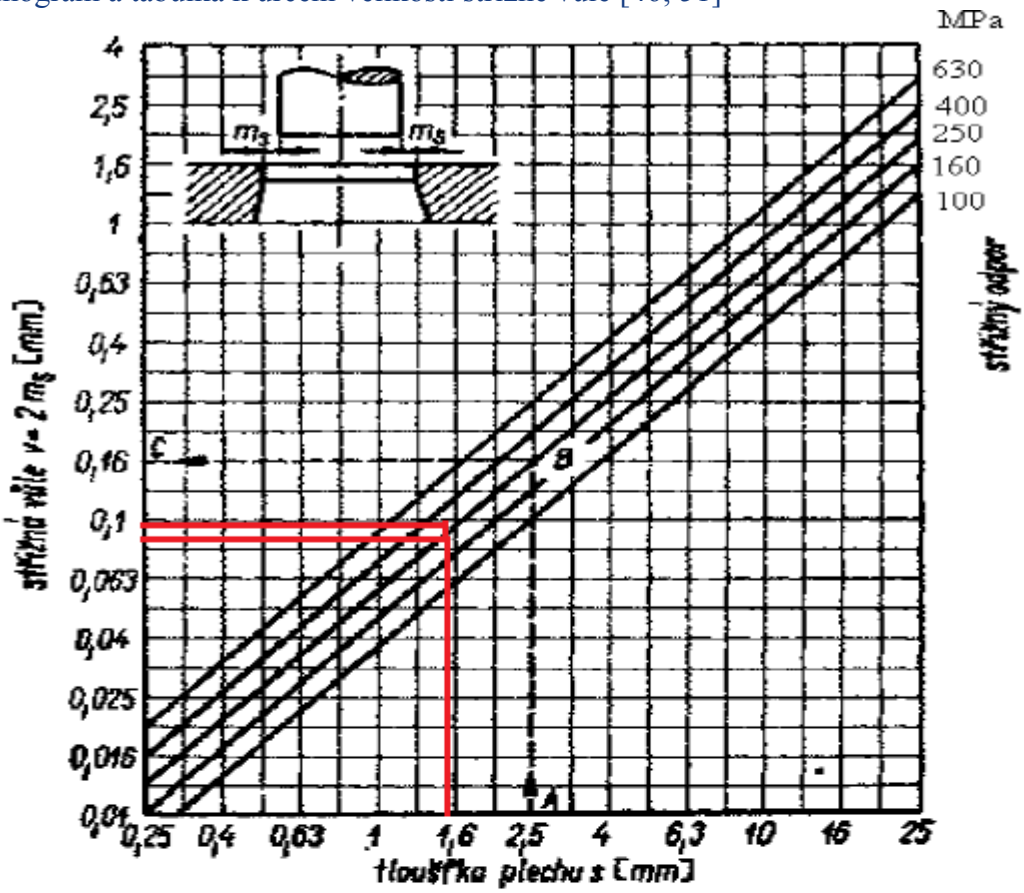


Příloha 2
Tabulka pro určení velikosti střižné vůle [43]

Tab. 12. Velikost střižné vůle pro kovové materiály

Tloušťka materiálu s (mm)	Mez pevnosti σ_{Pt}						Tvrdost 45 až 50 HRC	
	do 400 MPa		400 až 600 MPa		nad 600 MPa			
	z (%)	z (mm)	z (%)	z(mm)	z (%)	z (mm)	z (%)	z (mm)
0,1	3 až 5	0,003—0,005	5 až 7	0,005—0,007	7 až 9	0,007—0,009	10 až 12	0,010—0,012
0,2		0,006—0,010		0,010—0,014		0,014—0,018		0,020—0,024
0,3		0,009—0,015		0,015—0,021		0,021—0,027		0,030—0,036
0,4		0,012—0,020		0,020—0,028		0,028—0,036		0,040—0,048
0,5		0,015—0,025		0,025—0,035		0,035—0,045		0,050—0,060
0,6	4 až 6	0,024—0,036	6 až 8	0,036—0,048	8 až 10	0,048—0,060	11 až 13	0,066—0,078
0,8		0,032—0,048		0,048—0,064		0,064—0,080		0,088—0,104
1,0		0,040—0,060		0,060—0,080		0,080—0,10		0,110—0,130
1,2		0,048—0,072		0,072—0,096		0,096—0,12		0,132—0,156
1,5		0,060—0,090		0,090—0,12		0,12 —0,15		0,165—0,195
1,8	5 až 7	0,090—0,126	7 až 9	0,126—0,162	9 až 11	0,162—0,198	12 až 14	0,216—0,252
2,0		0,1 —0,140		0,140—0,180		0,180—0,220		0,240—0,280
2,5		0,125—0,175		0,175—0,225		0,225—0,275		0,300—0,350
3,0		0,150—0,210		0,210—0,270		0,270—0,330		0,360—0,420
3,5	7 až 10	0,245—0,350	9 až 12	0,315—0,420	11 až 14	0,385—0,490	14 až 16	0,490—0,560
4,0		0,280—0,40		0,360—0,480		0,440—0,560		0,560—0,640
4,5		0,315—0,45		0,405—0,540		0,495—0,630		0,630—0,720
5,0		0,35 —0,50		0,450—0,600		0,550—0,700		0,700—0,800
6,0	10 až 13	0,60 —0,78	12 až 15	0,72 —0,90	14 až 17	0,84 —1,02	17 až 20	1,02 —1,20
7,0		0,70 —0,91		0,84 —1,05		0,98 —1,19		1,19 —1,40
8,0		0,80 —1,04		0,96 —1,20		1,12 —1,36		1,36 —1,60
9,0		0,90 —1,17		1,08 —1,35		1,26 —1,53		1,53 —1,80
10,0		1,0 —1,30		1,20 —1,50		1,40 —1,70		1,70 —2,0
11,0	13 až 16	1,43 —1,76	15 až 18	1,65 —1,98	17 až 20	1,87 —2,20	20 až 23	2,20 —2,53
12,0		1,56 —1,92		1,80 —2,16		2,04 —2,40		2,40 —2,76
13,0		1,69 —2,08		1,95 —2,34		2,21 —2,60		2,60 —2,99
14,0		1,82 —2,24		2,10 —2,52		2,38 —2,80		2,80 —3,22
15,0		1,95 —2,40		2,25 —2,70		2,55 —3,00		3,00 —3,45
16,0		2,08 —2,56		2,40 —2,88		2,72 —3,20		3,20 —3,68

Příloha 3
Nomogram a tabulka k určení velikosti střižné vůle [46; 51]



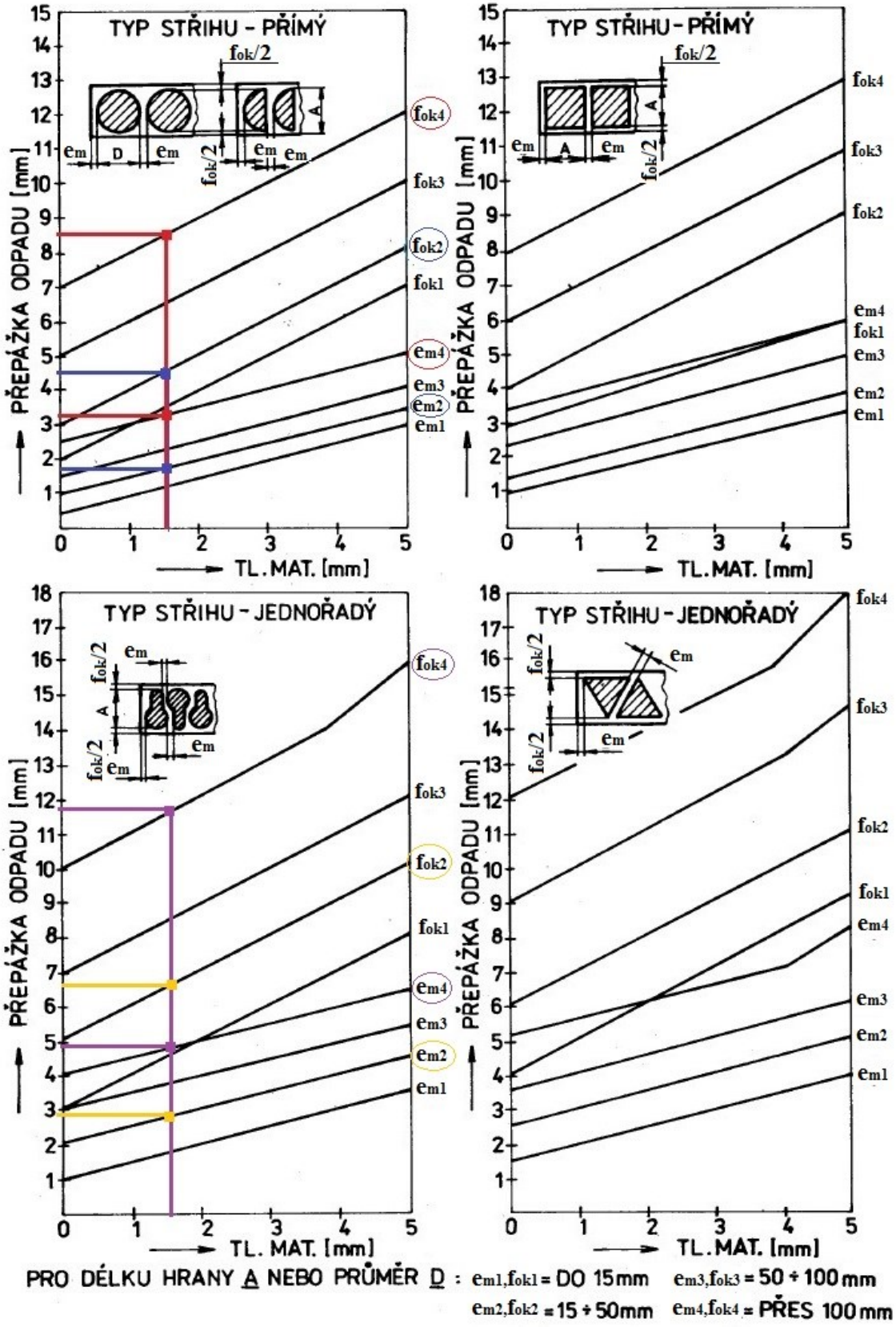
Tab. 5 Velikost střižné vůle

Druh materiálu	Střižná vůle [% t]	
	do 2,5 mm	2,5 až 6 mm
Ocel měkká	3 - 5	7 - 8
Ocel středně tvrdá	6	6 - 8
Ocel tvrdá	7 - 9	7 - 10
Hliník	4 - 7	5 - 9
Dural	7 - 8	7 - 10
Měď měkká	4 - 5	5 - 6
Měď polotvrdá a tvrdá	6 - 7	6 - 7
Mosaz měkká	4 - 5	4 - 6
Mosaz polotvrdá a tvrdá	5 - 6	5 - 7
Papír, lepenka	2 - 3	3
Fíbr, textil	2 - 4	-

Příloha 4
Tabulka pro určení koeficientu **k** [44; 50]

Materiál	Tloušťka materiálu *s* [mm]			
	do 1	1–2	2–4	nad 4
Ocel měkká τ_s = 250–350 N. mm^{-2}	0,70–0,65	0,65–0,60	0,60–0,50	0,45–0,35
Ocel středně tvrdá τ_s = 350–500 N. mm^{-2}	0,60–0,55	0,55–0,50	0,50–0,42	0,40–0,30
Ocel tvrdá τ_s = 500–700 N. mm^{-2}	0,45–0,42	0,42–0,38	0,38–0,33	0,30–0,20

Příloha 5
Grafy pro stanovení přepážek odpadu [52]

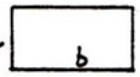


Příloha 6
Momenty setrvačnosti vybraných průřezů [55]

pro plný kruhový průřez $I = \frac{\pi . d^4}{64} = 0{,}05\ d^4$

pro dutý kruhový průřez $I = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4) = 0{,}05(D^4 - d^4)$

pro čtvercový průřez o straně a $I = \frac{a^4}{12}$

pro obdélníkový průřez 

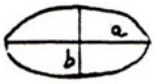
$I = \frac{b \cdot a^3}{12}$

pro trojúhelníkovitý průřez

$I = \frac{a \cdot h^3}{36}$

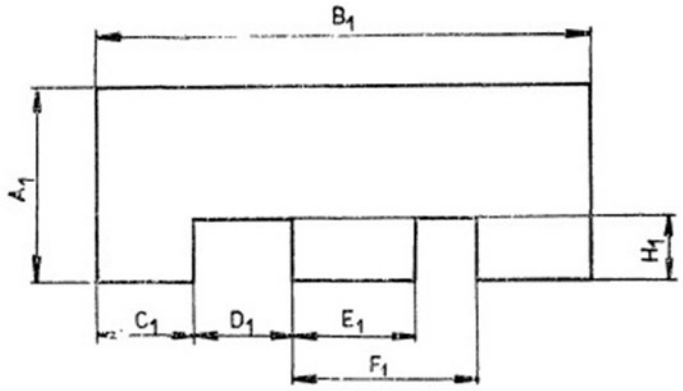
pro šestihranný průřez o straně a $I = 0{,}5413\ a^4$

pro osmihran o straně a $I = 1{,}865\ a^4$

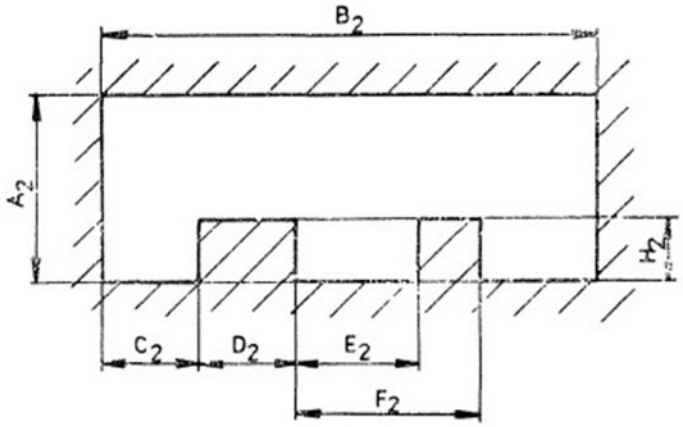
pro eliptický průřez 

$I = \frac{\pi . a . b^3}{64}$

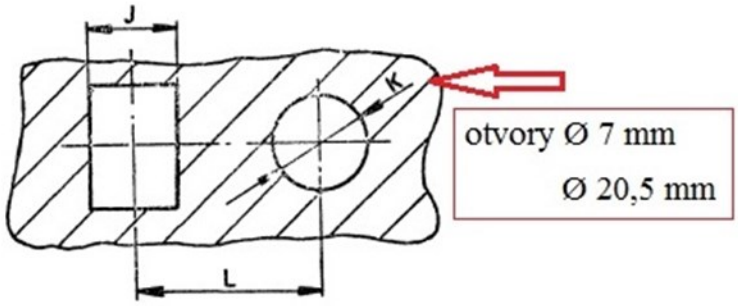
Příloha 7
Určení tvaru zvětšujícího se nebo zmenšujícího se pro vystřihování a děrování [50]



Obr. 3. Výstřižek



Obr. 4. Otvor v součásti



Obr. 5. Otvory v součásti

Tab. 6

Změna rozměru součástek vlivem opotřebení pracovních částí nástrojů		
Rozměry se zvětšují	Rozměry se zmenšují	Rozměry se nemění
A_1, B_1, C_1, E_1 D_2	D_1 A_2, B_2, C_2, E_2 J, K	F_1, H_1 F_2, H_2 L

Příloha 8

Vzorce pro výpočet základních rozměrů střižnice při vystřihování [50]

Opotřebení rozměry:	Orientace odchylek TS	Technologicky základní část			
		Střižnice	*)	Střižník	**)
Zvětšuje (např.: A_1, B_1, C_1, E_1 obr. 3)	+	$REV = (JR) + TE$	$RAV = (REV - V + TA) - TA$	$RAV = (JR - V + TA) - TA$	$REV = (RAV + V - TE) + TE$
	−	$REV = (JR - P) + TE$		$RAV = (JR - P - V + TA) - TA$	
	±	$REV = (JR - \frac{P}{2}) + TE$		$RAV = (JR - \frac{P}{2} - V + TA) - TA$	
Zmenšuje (např.: D_1 obr. 3)	+	$REV = (JR + P) - TE$	$RAV = (REV + V - TA) + TA$	$RAV = (JR + P + V) + TA$	$REV = (RAV - V + TE) - TE$
	−	$REV = (JR) - TE$		$RAV = (JR + V) + TA$	
	±	$REV = (JR + \frac{P}{2}) - TE$		$RAV = (JR + \frac{P}{2} + V) + TA$	
Nemění (např.: F_1, H_1 obr. 3)	+	$REV = (JR + \frac{P}{2}) \pm TE$	$RAV = (REV) \pm TA$	$RAV = (JR + \frac{P}{2}) \pm TA$	$REV = (RAV) \pm TE$
	−	$REV = (JR - \frac{P}{2}) \pm TE$		$RAV = (JR - \frac{P}{2}) \pm TA$	
	±	$REV = (JR) \pm TE$		$RAV = (JR) \pm TA$	

*) Odvozené vzorce pro střižník

**) Odvozené vzorce pro střižnici

Tlustě zarámované vzorce se používají častěji

Vysvětlivky:

REV — rozměr střižnice při vystřihování

RAV — rozměr střižníku při vystřihování

JR — jmenovitý rozměr součásti

V — střižná vůle (tab. 9 až 13 uvedené v příloze této normy)

TS — tolerance jmenovitého rozměru

P — přípustná míra opotřebení

TE — výrobní tolerance střižnice

TA — výrobní tolerance střižníku (tab. 8 uvedená v příloze této normy)

Příloha 9

Vzorce pro výpočet základních rozměrů střižníku a střižnice při děrování [50]

Opotřebení rozměry:	Orientace odchylek TS	Technologicky základní část: Střižník	*)	Střižnice	**)
Zvětšuje (např.: D_2 obr. 4)	+	$RAD = (JR) + TA$	$RED = (RAD - V + TE) - TE$	$RED = (JR - V + TE) - TE$	$RAD = (RED + V - TA) + TA$
	−	$RAD = (JR - P) + TA$		$RED = (JR - P - V + TE) - TE$	
	±	$RAD = (JR - \frac{P}{2}) + TA$		$RED = (JR - \frac{P}{2} - V + TE) - TE$	
Zmenšuje (např.: A_2, B_2, C_2, E_2, J, K obr. 4 a 5)	+	$RAD = (JR + P) - TA$	$RED = (RAD + V - TE) + TE$	$RED = (JR + P + V) + TE$	$RAD = (RED - V + TA) - TA$
	−	$RAD = (JR) - TA$		$RED = (JR + V) + TE$	
	±	$RAD = (JR + \frac{P}{2}) - TA$		$RED = (JR + \frac{P}{2} + V) + TE$	
Nemění (např.: F_2 H_2L obr. 4 a 5)	+	$RAD = (JR + \frac{P}{2}) \pm TA$	$RED = (RAD) \pm TE$	$RED = (JR + \frac{P}{2}) \pm TE$	$RAD = (RED) \pm TA$
	−	$RAD = (JR - \frac{P}{2}) \pm TA$		$RED = (JR - \frac{P}{2}) \pm TE$	
	±	$RAD = (JR) \pm TA$		$RED = (JR) \pm TE$	

*) Odvozené vzorce pro střižnici

**) Odvozené vzorce pro střižník

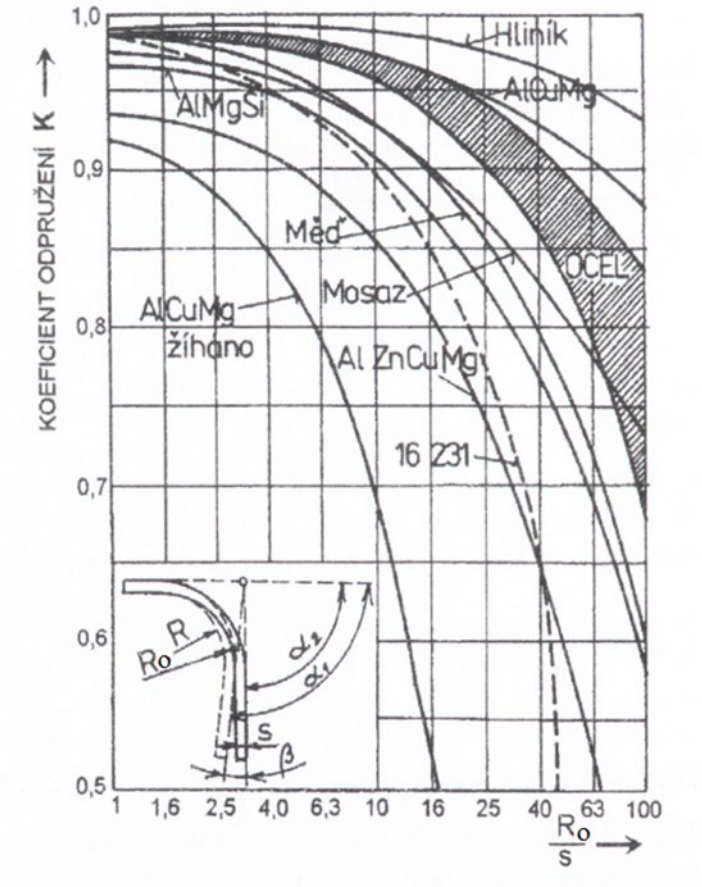
Tlustě zarámované vzorce se používají nejčastěji

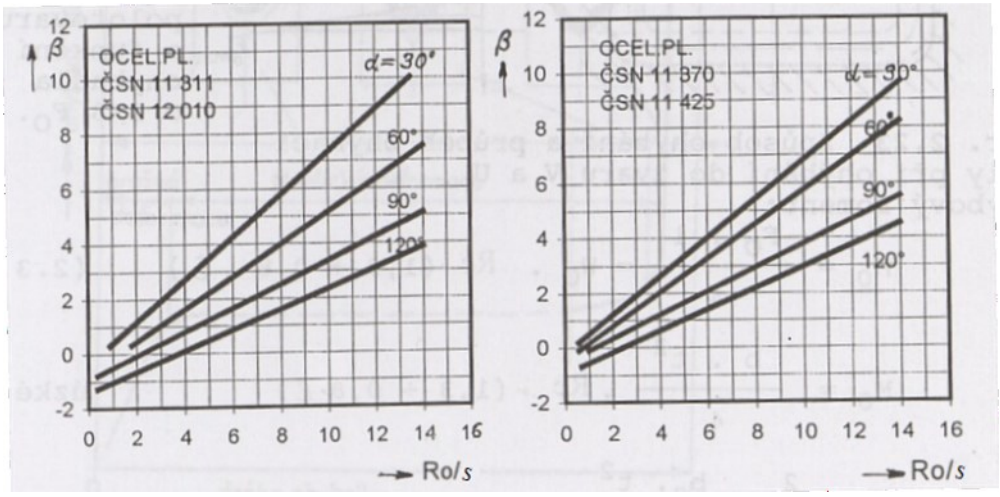
Vysvětlivky:

RED — rozměr střižnice při děrování
RAD — rozměr střižníku při děrování
JR — jmenovitý rozměr součásti
V — střižná vůle (tab. 9 až 13 uvedené v příloze této normy)
TS — tolerance jmenovitého rozměru
P — přípustná míra opotřebení
TE — výrobní tolerance střižnice
TA — výrobní tolerance střižníku (tab. 8 uvedená v příloze této normy)

Příloha 10
Tabulka, nomogram a grafy pro určení odpružení [1; 5; 53]

Materiál	R_o/s	
	0,8 až 2	>2
Ocel σ_{Pt} 320 MPa	1°	3°
Ocel σ_{Pt} 320 až 400 MPa	3°	5°
Ocel σ_{Pt} 400 MPa	5°	7°
Mosaz měkká	1°	3°
Mosaz tvrdá	3°	5°
Hliník	1°	3°





Příloha 11
Tabulka velikosti součinitele $\mathbf{k_n}$ a tabulka zaoblení a hloubky ohybnice [55]

Tabulka pro určení velikosti koeficientu $\mathbf{k_n}$ [55].

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

Tabulka pro určení zaoblení ohybnice r_m a hloubky ohybnice l_{okr} [55].

délka ramene	Tloušťka materiálu S											
	do 0,5			0,5 až 2			2 až 4			4 až 7		
b_{ramene}	l_{okr}	r_m	c	l_{okr}	r_m	c	l_{okr}	r_m	c	l_{okr}	r_m	c
10	6	3	0,1	10	3	0,1	10	4	0,08	-	-	-
20	8	3	0,1	12	4	0,1	15	5	0,08	20	8	0,06
35	12	4	0,15	15	5	0,1	20	6	0,08	25	8	0,06
50	15	5	0,2	20	6	0,15	25	8	0,1	30	10	0,08
75	20	6	0,2	25	8	0,15	30	10	0,1	35	12	0,1
100	-	-	-	30	10	0,15	35	12	0,1	40	15	0,1
150	-	-	-	35	12	0,2	40	15	0,15	50	20	0,1
200	-	-	-	45	15	0,2	55	20	0,15	65	25	0,15

Příloha 12

Tabulka měrného tlaku pro kalibrování při ohybu ***p*** [51]

Materiál	Tloušťka s (mm)	
	do 3	3 - 10
Hliník	30 - 40	50 - 60
Mosaz	60 - 80	80 - 100
Ocel 12 010 12 022	80 - 100	100 - 120
Ocel 12 040	100 - 120	120 - 150

Příloha 13
Tabulky dosažitelných přesností stříhání [50]

Tabulka dosažitelné přesnosti délky výstřižku a tvarových otvorů – rozměry v mm [50].

Tloušťka plechu		Délka výstřižku							
		do 50		50 až 120		120 až 260		260 až 500	
0,2	0,5	0,10	0,03	0,15	0,05	0,20	0,08	0,30	0,10
0,5	1	0,15	0,04	0,20	0,06	0,30	0,10	0,40	0,15
1	2	0,20	0,06	0,30	0,10	0,40	0,12	0,50	0,15
2	3	0,30	0,10	0,40	0,12	0,50	0,15	0,60	0,20
3	4	0,40	0,20	0,50	0,25	0,60	0,30	0,80	0,35
4	6	0,50	0,30	0,60	0,40	0,80	0,50	1,00	0,70
6	10	0,70	0,50	0,80	0,50	1,00	0,70	1,20	0,80
od	do	od	do	od	do	od	do	od	do
		Tolerance rozměrů							

Hodnoty tolerancí jsou doporučené

obdelníkový otvor 13 x 5 mm
délka výstřižku

Tabulka dosažitelné přesnosti děrovaných kruhových otvorů – rozměry v mm [50].

Tloušťka děrovaného plechu		Průměr otvoru					
		do 10		10 až 50		50 až 100	
0,2	1	0,06	0,02	0,08	0,04	0,10	0,08
1	4	0,08	0,03	0,10	0,06	0,12	0,10
4	10	0,10	0,06	0,12	0,10	0,15	0,14
od	do	od	do	od	do	od	do
		Tolerance průměrů					

Hodnoty tolerancí jsou doporučené

otvor Ø 7 mm
otvor Ø 20,5 mm

Příloha 14

Tabulky dosažitelných přesností stříhání a tolerančních stupňů [50; 57]

Tabulka dosažitelné přesnosti roztečí děrovaných otvorů – rozměry v mm [50].

Tloušťka děrovaného plechu		Vzdálenost mezi otvory					
		do 50		50 až 150		150 až 300	
—	1	0,10	0,03	0,15	0,05	0,20	0,
1	2	0,12	0,04	0,20	0,06	0,30	0,10
2	4	0,15	0,06	0,25	0,08	0,35	0,12
4	6	0,20	0,08	0,30	0,10	0,40	0,15
od	do	od	do	od	od	do	do
		Tolerance roztečí ±					
Hodnoty tolerancí jsou doporučené							

rozteč otvorů Ø 20,5 mm
rozteč otvoru Ø 20,5 mm a ▭ 13 x 5 mm

Tabulka číselných hodnot vybraných tolerančních stupňů upravených pro tváření [57].

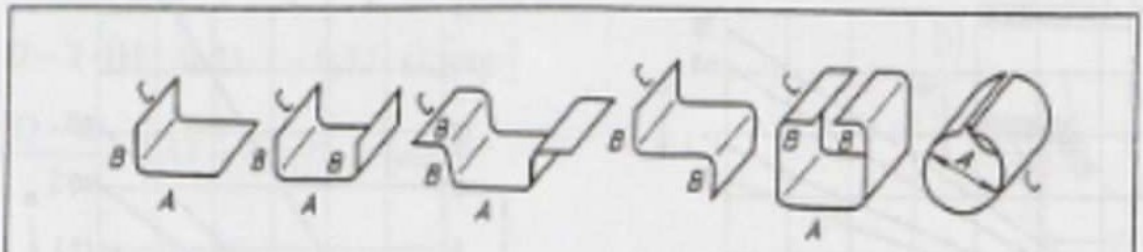
Rozsah jmenovitých rozměrů [mm]		Toleranční stupně									
		IT5	IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11	IT12	IT13	IT14
od	do	Tolerance [μm]									
1	3	5	7	9	14	25	40	60	90	140	250
3	6	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300
6	10	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360
10	18	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430
18	30	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520
30	50	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620
50	80	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740
80	120	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870
120	180	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000
180	250	20	29	46	72	115	185	290	450	720	1150

vedené střižné nástroje | Nevedené střižné nástroje

Příloha 15
Tabulky pro určení výrobních tolerancí ohýbaných součástí [57]

Výrobní tolerance délky ramen ohýbaných součástí

Rozměry v tabulce jsou v mm.



C	s	A			B		
		<50	50 až 100	100 až 150	<50	50 až 100	100 až 150
100	<1	0,3	0,4	0,5	0,5	0,8	1,0
	1 až 3	0,5	0,6	0,8	0,8	1,0	1,5
	3 až 6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,5	1,5
100 až 200	<1	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5
	1 až 3	0,5	0,6	0,8	1,0	1,5	1,5
	3 až 6	0,6	0,8	1,0	1,0	1,5	2,0
200 až 400	<1	0,5	0,6	0,8	0,8	1,0	1,5
	1 až 3	0,6	0,8	1,0	1,0	1,5	1,5
	3 až 6	0,8	1,0	1,2	1,0	1,5	2,0
400 až 800	<1	0,6	0,8	1,0	1,0	1,5	1,5
	1 až 3	0,8	1,0	1,2	1,0	1,5	2,0
	3 až 6	1,0	1,2	1,5	1,5	2,0	2,5

Tolerance úhlů ohybů součásti

Druh materiálu a jeho pevnost v tahu R_m	Poměr R_o/s		
	< 1	1 až 2	2 až 4
měkká ocel, mosaz R_m = 300 MPa	±15'	±30'	±1°
středně tvrdá ocel R_m = 400 MPa	±30'	±15'	±3°
mosaz polotvrdá R_m = 3500 MPa tvrdá ocel R_m = 600 MPa	–	±3°	±5°

Příloha 16
Porovnání dosažitelných přesností použitých technologií s předepsanou třídou přesnosti netolerovaných rozměrů

Pro výrobu součásti jsou uvažovány netolerované rozměry o třídě přesnosti dle ČSN ISO 2768 – mK. V následujících krocích jsou posouzeny důležité rozměry s dosažitelnou přesností stříháním z tabulek normy ČSN 22 6015. Tabulky jsou v přílohách 13 a 14. Současně jsou ověřeny rozměry pro dosahované přesnosti střižných nástrojů bez vedení IT12 až IT14.

- Celková délka ústřižku – z tabulky normy ČSN 22 6015 v příloze 13 dosažitelná přesnost $0{,}4$ *až* $0{,}12\ mm$ vyhovuje pro třídu přesnosti *m* $(\pm 0{,}5\ mm)$. Třída přesnosti *m* vyhovuje i pro IT14 $(tolerance\ 1\ mm)$.
- Otvor obdélník prolisu 13 x 5 mm – ze stejné tabulky viz výše, pro oba rozměry maximální dosažitelná přesnost $0{,}2$ *až* $0{,}06\ mm$ což pro *m* vyhovuje $(\pm 0{,}1\ mm)$ Pokud by ale přesnost dosahovala nejhorší možnosti IT14 $(tolerance\ 0{,}3\ mm)$, třída přesnosti *m* by již nevyhovovala.
- Přesnost otvoru Ø 7 mm – z tabulky normy ČSN 22 6015 v příloze 13 dosažitelná přesnost $0{,}08$ *až* $0{,}03\ mm$ vyhovuje třídě *m* $(\pm 0{,}2\ mm)$, vyhovuje i pro IT14 $(tolerance\ 0{,}36\ mm)$.
- Přesnost otvoru Ø 20,5 mm – z tabulky normy ČSN 22 6015 v příloze 13 dosažitelná přesnost $0{,}1$ *až* $0{,}06\ mm$ vyhovuje pro třídu přesnosti *m* $(\pm 0{,}2\ mm)$, ovšem pokud by bylo dosaženo přesnosti výroby pouze IT14 $(tolerance\ 0{,}52\ mm)$, třída *m* již nevyhovuje.
- Dosažitelná přesnost rozteče otvorů Ø 20,5 mm – z tabulky normy ČSN 22 6015 v příloze 14 dosažitelná přesnost $\pm 0{,}2$ *až* $\pm\ 0{,}06\ mm$ vyhovuje pro třídu přesnosti *m* $(\pm 0{,}5\ mm)$, vyhovuje i pro IT14 $(tolerance\ 1\ mm)$.
- Dosažitelná přesnost rozteče otvoru Ø 20,5 mm a obdélníkového otvoru prolisu – z tabulky normy ČSN 22 6015 v příloze 14 dosažitelná přesnost $0{,}12$ *až* $0{,}04\ mm$ vyhovuje pro třídu přesnosti *m* $(\pm 0{,}2\ mm)$, ale při IT14 $(tolerance\ 0{,}52\ mm)$. třída *m* již nevyhovuje.

U některých rozměrů by dosahovaná přesnost stříhání bez vodících stojánků IT14 již nevyhověla pro netolerované rozměry v třídě přesnosti *m*, lze ovšem využít nástroje vedeného s dosahovanou přesností IT9 až IT11.

V dalším kroku jsou posouzeny hodnoty výrobních tolerancí pro ohýbání (tabulky v příloze 15). Z těchto tabulek je pro danou tloušťku plechu a šířku ohybku určena hodnota výrobní tolerance rozměru mezi rameny na 0,5 mm, pro délku ramen 1 mm, pro úhel ohybu až $\pm 30´$. Větší přesnost ohybku není požadována. Z geometrických toleranci je uvažována pouze přiměřená souosost velkých otvorů k provlečení čepu rozety.

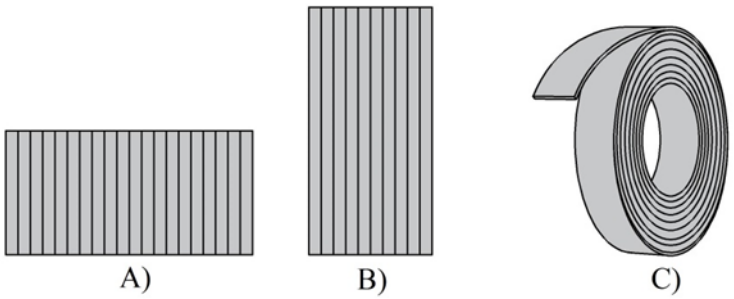
Varianty nástřihového plánu

- Varianta č. 1 – umístění výstřižku v jedné řadě „na výšku“
- Varianta č. 2 – umístění výstřižku v jedné řadě „na délku“
- Varianta č. 3 – umístění výstřižku v jedné řadě „šikmé“ sklon 45°
- Varianta č. 4 – umístění výstřižků ve dvou řadách „na výšku“
- Varianta č. 5 – umístění výstřižků ve dvou řadách „na délku“

V kombinaci s těmito variantami lze zvolit různý formát polotovaru. Pro kontrolní výpočty byl zvolen nejčastější formát tabule plechu v rozměru 2000 x 1000 mm ve variantách rozstříhání na pruhy 1000 mm a 2000 mm. Další možností je dlouhý pás potřebné šířky odvíjený ze svitku. Navinuté délky mohou být různé, stupeň využití se proto počítá na 1m délky. Stupeň využití tak bude stejný jakou pásu z tabule plechu 1000 a skutečná výhoda dlouhého pásu se projeví až po výpočtu využití skutečné konečné délky pásu ve svitku.

Varianty polotovaru také viz obr. 91. Pro pásy z tabule plechu slouží níže uvedené vzorce.

- A) Pásy délky 1000 mm
- B) Pásy délky 2000 mm
- C) Pás ze svitku o délce 10 m



Obr. 91 Varianty polotovaru.

- Počet pásů z tabule plechu $\mathbf{n_{pásů}}$:

$$n_{pásů} = \frac{Š_{pl}}{Š_{pa}}, \tag{17a}$$

kde: $Š_{pl}$ - šířka tabule plechu [mm].

- Počet výstřižků z tabule plechu $\mathbf{n_{vt}}$:

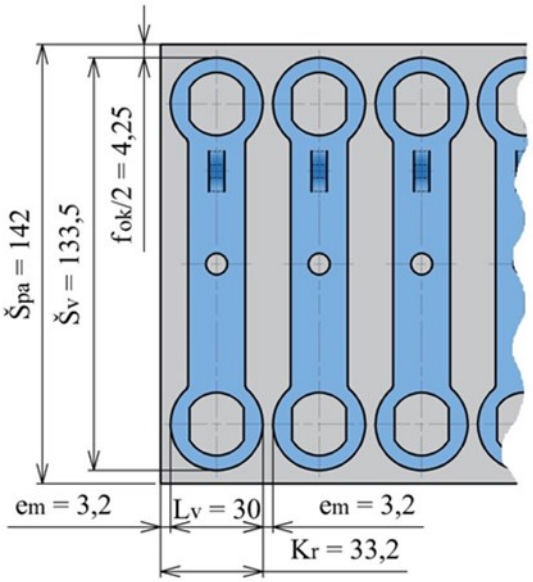
$$n_{vt} = n_v \cdot n_{pásů}. \tag{17b}$$

- Stupeň využití tabule plechu $\boldsymbol{\eta_t}$:

$$\eta_t = \frac{n_v \cdot S_v \cdot n_{pásů}}{S_t} \cdot 100, \tag{17c}$$

kde: S_t - plocha tabule plechu [mm^2].

Varianta nástřihového plánu č. 1



Obr. 92 Nástřihový plán – Varianta č. 1.

Ve variantě č. 1 je umístění výstřižku v jedné řadě „na výšku“ (obr. 92) tzn. podélná osa výstřižku příčně k podélné ose pásu. Varianta výhodná kratším krokem, pro ohýbání jsou uvolněny obě ramena při současném stálém spojení neohýbané střední části s polotovarem. Nevýhodou může být větší šířka pásu a širší přepážky odpadu. Pro určení přepážek z nomogramu v příloze 5 je rozhodující:

$$s = 1{,}5\ mm,$$
$$\check{S}_v = 133{,}5\ mm.$$

Z nomogramů použitý tvar kruhový typ přímý, pro vstupní hodnoty platí lineární křivky $\mathbf{e_{m4}}$, $\mathbf{f_{ok4}}$. Odečtené hodnoty (označeny červenou barvou) jsou:

$$e_m = 3{,}2\ mm,$$
$$f_{ok} = 8{,}5\ mm \rightarrow f_{ok}/2 = 4{,}25\ mm.$$

Při znalosti velikosti přepážek (můstků) a přepážek bočního odpadu je možné dle (2.14) vypočítat délku kroku, kde šířka výstřižku $\mathbf{L_v}$ je daná kruhovým průměrem 30 mm a šířku pásu dle (2.15).

Délka kroku $\mathbf{K_r}$ dle (2.14):

$$K_r = L_v + e_m = 30 + 3{,}2 = 33{,}2\ mm.$$

Šířka pásu $\mathbf{\check{S}_{pa}}$ (bez odstřihovače $g_o = 0$) dle (2.15):

$$\check{S}_{pa} = \check{S}_v + f_{ok} + g_o = 133{,}5 + 8{,}5 = 142\ mm.$$

- A) Polotovar pásy (pruhy) 1000 mm stříhané z tabule 2000 x 1000 mm
  Počet výstřižků $\mathbf{n_v}$ z jednoho pásu dle (2.16) pro délku pásu 1000 mm:

  $$n_v = \frac{L_p}{K_r} = \frac{1000}{33{,}2} = 30{,}12 = 30\ ks\ .$$

  Plocha výstřižku $\mathbf{S_v}$ vypočtena programem AutoCAD:

  $$S_v = 2155{,}72\ mm^2.$$

  Stupeň využití pásu $\boldsymbol{\eta_p}$ dle (2.17):

  $$\eta_p = \frac{n_v \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{30 \cdot 2155{,}72}{142 \cdot 1000} \cdot 100 = 45{,}54\ \%.$$

  Počet pásů z tabule plechu $\mathbf{n_{pásů}}$ dle (17a):

  $$n_{pásů} = \frac{Š_{pl}}{Š_{pa}} = \frac{2000}{142} = 14{,}1 = 14\ ks.$$

  Počet výstřižků z tabule $\mathbf{n_{vt}}$ dle (17b):

  $$n_{vt} = n_v \cdot n_{pásů} = 30 \cdot 14 = 420\ ks.$$

  Stupeň využití materiálu tabule plechu $\boldsymbol{\eta_t}$ dle (17c):

  $$\eta_t = \frac{n_v \cdot S_v \cdot n_{pásů}}{S_t} \cdot 100 = \frac{30 \cdot 2155{,}72 \cdot 14}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = 45{,}27\ \%.$$

- B) polotovar pásy (pruhy) 2000 mm stříhané z tabule 2000 x 1000 mm

  Počet výstřižků $\mathbf{n_v}$ z jednoho pásu dle (2.16):

  $$n_v = \frac{L_p}{K_r} = \frac{2000}{33{,}2} = 60{,}24 = 60\ ks.$$

  Stupeň využití pásu $\boldsymbol{\eta_p}$ dle (2.17):

  $$\eta_p = \frac{n_v \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{60 \cdot 2155{,}72}{142 \cdot 2000} \cdot 100 = 45{,}54\ \%.$$

  Počet pásů z tabule plechu $\mathbf{n_{pásů}}$ dle (17a):

  $$n_{pásů} = \frac{Š_{pl}}{Š_{pa}} = \frac{1000}{142} = 7{,}04 = 7\ ks.$$

  Počet výstřižků z tabule $\mathbf{n_{vt}}$ dle (17b):

  $$n_{vt} = n_v \cdot n_{pásů} = 60 \cdot 7 = 420\ ks.$$

  Stupeň využití materiálu tabule plechu $\boldsymbol{\eta_t}$ dle (17c):

  $$\eta_t = \frac{n_v \cdot S_v \cdot n_{pásů}}{S_t} \cdot 100 = \frac{60 \cdot 2155{,}72 \cdot 7}{2000 \cdot 1000} \cdot 100 = 45{,}27\ \%.$$

- C) polotovar ve formě svitku na 1 m délky

  Počet výstřižků z pásu $\mathbf{n_v}$ dle (2.16):

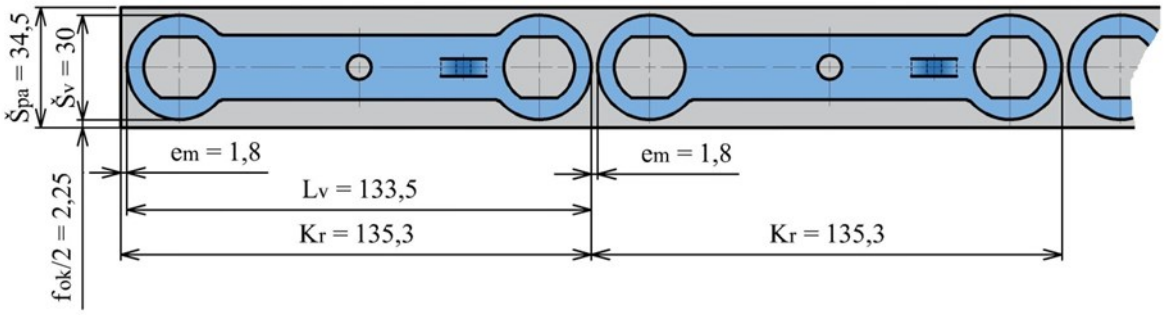
  $$n_v = \frac{L_p}{K_r} = \frac{1000}{33{,}2} = 30{,}12 = 30\ ks.$$

  Stupeň využití pásu $\boldsymbol{\eta_p}$ dle (2.17):

  $$\eta_p = \frac{n_v \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 = \frac{30 \cdot 2155{,}72}{142 \cdot 1000} \cdot 100 = 45{,}54\ \%.$$

Varianta nástřihového plánu č. 2

Varianta č. 2 – umístění výstřižků v jedné řadě „na délku“ (obr. 93), tzn. podélné osy výstřižku a pásu se shodují.



Obr. 93 Nástřihový plán – Varianta č. 2.

Tato varianta je výhodná pro malou šířku pásu, což je výhodné pro manipulaci a šířku nástroje. Také šířky odpadu jsou menší. Nevýhodou je dlouhý krok s dlouhým posunem

materiálu, také spojení výstřižku s polotovarem je nutné před ohybem odstřihnout. Pro určení šířky přepážek (můstků) a přepážky odpadu z nomogramu v příloze 5 je rozhodující:

$s = 1{,}5\ mm,$
$\check{S}_v = 30\ mm.$

Z nomogramů použitý tvar kruhový typ přímý, lineární křivky $\mathbf{e_{m2}}$, $\mathbf{f_{ok2}}$, odečtené hodnoty (označeny modrou barvou) jsou:

$e_m = 1{,}8\ mm,$
$f_{ok} = 4{,}5\ mm \ \rightarrow f_{ok}/2 = 2{,}25\ mm.$

Délka kroku $\mathbf{K_r}$ dle (2.14):

$$K_r = L_v + e_m = 133{,}5 + 1{,}8 = 135{,}3\ mm,$$

kde: L_v = 133,5 mm, daná délkou výstřižku.

Šířka pásu $\check{\mathbf{S}}_{\mathbf{pa}}$ (bez odstřihovače $g_o = 0$) dle (2.15):

$$\check{S}_{pa} = \check{S}_v + f_{ok} + g_o = 30 + 4{,}5 = 34{,}5\ mm.$$

Výpočty této a dalších variant probíhá obdobně jako u varianty č. 1, proto budou výsledky shrnuty do tabulky tab. 9.

Tab. 9 Tabulka hodnot varianty č. 2.

Veličina/ varianta	č. 2A)	č. 2B)	č. 2C)
Počet výstřižků z pásu n_v [ks]	7	14	7
Stupeň využití pásu η_p [%]	43,74	43,74	43,74
Počet pásů z tabule $n_{pásů}$ [ks]	57	28	
Počet výstřižků z tabule n_{vt} [ks]	399	392	
Stupeň využití materiálu tabule plechu η_t [%]	43,01	42,25	

Varianta nástřihového plánu č. 3

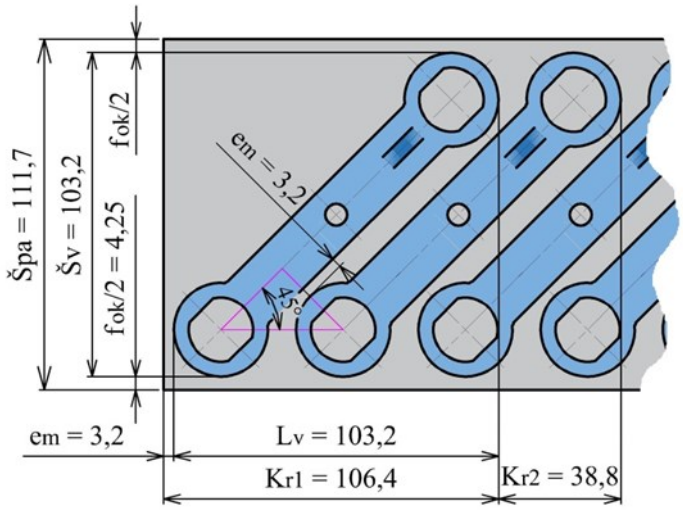
Varianta č. 3 – umístění výstřižků v jedné řadě „šikmé“ (obr. 94), tzn. podélná osa výstřižku odkloněna od podélné osy pásu o 45°. Výhodou této varianty je menší odpad mezi výstřižky, protože výstřižky spolu nesousedí kruhovým rozšířením konců ramen, ale tvary do sebe částečně zapadají. To není ovšem výhodné pro proces ohýbání. Složitější řešení nástrojů, vyjímání ohybku, nebo spojení výstřižku s polotovarem. Šířka plechu se pohybuje mezi dvěma předchozími variantami. Vypočítané hodnoty obsahuje tabulka tab. 10.

Pro určení šířky přepážek (můstků) a přepážky odpadu z nomogramu v příloze 5 je rozhodující:

$s = 1{,}5\ mm,$
$Š_v = 103{,}2\ mm.$

Z nomogramů použitý tvar půlkruhový (shodný s kruhovým) typ přímý, lineární křivky $\mathbf{e_{m4}}$, $\mathbf{f_{ok4}}$, odečtené hodnoty (v nomogramu označeny červeně) jsou:

$e_m = 3{,}2\ mm,$
$f_{ok} = 8{,}5\ mm \rightarrow f_{ok}/2 = 4{,}25\ mm.$



Obr. 94 Nástřihový plán – Varianta č. 3.

Délka prvního kroku $\mathbf{K_{r1}}$ dle (2.14):

$$K_{r1} = L_v + e_m = 103{,}2 + 3{,}2 = 106{,}4\ mm,$$

kde: $L_v = 103{,}2\ mm$, daná skloněním délky výstřižku pod úhlem 45°

Délka dalších kroků $\mathbf{K_{r2}}$:

$K_{r2} = 38{,}8\ mm$ (vypočteno trigonometrií při zachování velikosti přepážky $\mathbf{e_m}$)

Šířka pásu $\mathbf{Š_{pa}}$ (bez odstřihovače $g_o = 0$) dle (2.15):

$$Š_{pa} = Š_v + f_{ok} + g_o = 103{,}2 + 8{,}5 = 111{,}7\ mm.$$

Tab. 10 Tabulka hodnot varianty č. 3.

Veličina/ varianta	č. 3A)	č. 3B)	č. 3C)
Počet výstřižků z pásu n_v [ks]	23	49	23
Stupeň využití pásu η_p [%]	44,39	47,28	44,39
Počet pásů z tabule $n_{pásů}$ [ks]	17	8	
Počet výstřižků z tabule n_{vt} [ks]	391	392	
Stupeň využití materiálu tabule plechu η_t [%]	42,14	42,25	

U varianty délky polotovaru 1 m nebyla dostatečná přepážka pro stříhání posledního kusu, počet výstřižku tak bylo nutné snížit o 1 ks, tím se zhoršilo i využití polotovaru.

Varianta nástřihového plánu č. 4

Varianta č. 4 – umístění výstřižků dvouřadé „na výšku“ (obr. 95), tzn. každý druhý výstřižek tvořící druhou řadu je odsazen proti řadě první. Odsazení je pouze tak velké, aby byly dodrženy velikosti přepážek. Při tvorbě nástřihového plánu pomocí trigonometrie se vychází z rozteče dvou sousedících kruhových zakončení ramen a nutné přepážky mezi nimi. První krok zasunutí do nástroje $\mathbf{K_{r1}}$ je delší, další kroky $\mathbf{K_{r2}}$ již částečně zapadají do předchozího tvaru. Teoreticky by využití materiálu mělo být vyšší, ovšem za cenu složitějšího a dražšího nástroje s dvojnásobným počtem činných nástrojů. Zvýší se produktivita výroby, ale také požadavky na výkon stroje a na jeho rozměry. Šířka plechu je velká, v jednom kroku jsou současně vystřiženy dva výstřižky. Hodnoty výpočtů jsou v tabulce tab. 11.

Pro určení šířky přepážek (můstků) a přepážky odpadu z nomogramu v příloze 5 je rozhodující:

$$s = 1{,}5\ mm,$$
$$Š_{v1} = 133{,}5\ mm$$

Z nomogramů použitý tvar kruhový typ jednořadý, lineární křivky $\mathbf{e_{m4}}$, $\mathbf{f_{ok4}}$, odečtené hodnoty (označeny fialovou) jsou:

$$e_m = 5\ mm,$$
$$f_{ok} = 11{,}8\ mm \ \rightarrow f_{ok}/2 = 5{,}9\ mm.$$

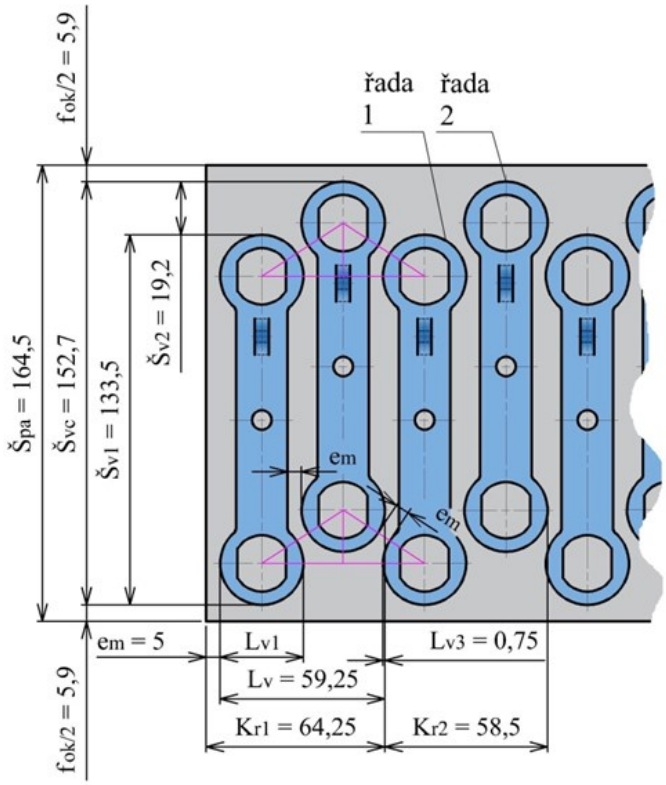
Délka prvního kroku $\mathbf{K_{r1}}$ dle (2.14):

$$K_{r1} = L_v + e_m = 59{,}25 + 5 = 64{,}25\ mm,$$

kde: $L_v = L_{v1} + \frac{L_{v1}}{2} + \frac{L_{v2}}{2} + e_m = 30 + 15 + 9{,}25 + 5 = 59{,}25\ mm,$

$L_{v1} = 30\ mm$, šířka výstřižku v kruhovém zakončení ramen,

$L_{v2} = 18{,}5\ mm$, šířka v rovné střední části výstřižku.



Obr. 95 Nástřihový plán – Varianta č. 4.

Délka dalších kroků $\mathbf{K_{r2}}$:

$$K_{r2} = L_v - L_{v3} = 59{,}25 - 0{,}75 = 58{,}5\ mm,$$

kde: $L_{v3} = 0{,}75\ mm$, délka zasunutí tvaru kroku 2 do kroku 1.

Šířka pásu $\mathbf{Š_{pa}}$ (bez odstřihovače go = 0) dle (2.15):

$$Š_{pa} = Š_{vc} + f_{ok} + g_o = 152{,}7 + 11{,}8 = 164{,}5\ mm,$$

kde: $Š_{vc}$ - celková výška výstřižků [mm],

$$Š_{vc} = Š_{v1} + Š_{v2} = 133{,}5 + 19{,}2 = 152{,}7\ mm,$$

kde: $Š_{v2} = 19{,}2\ mm$; dáno odsazení druhé řady nad řadu první.

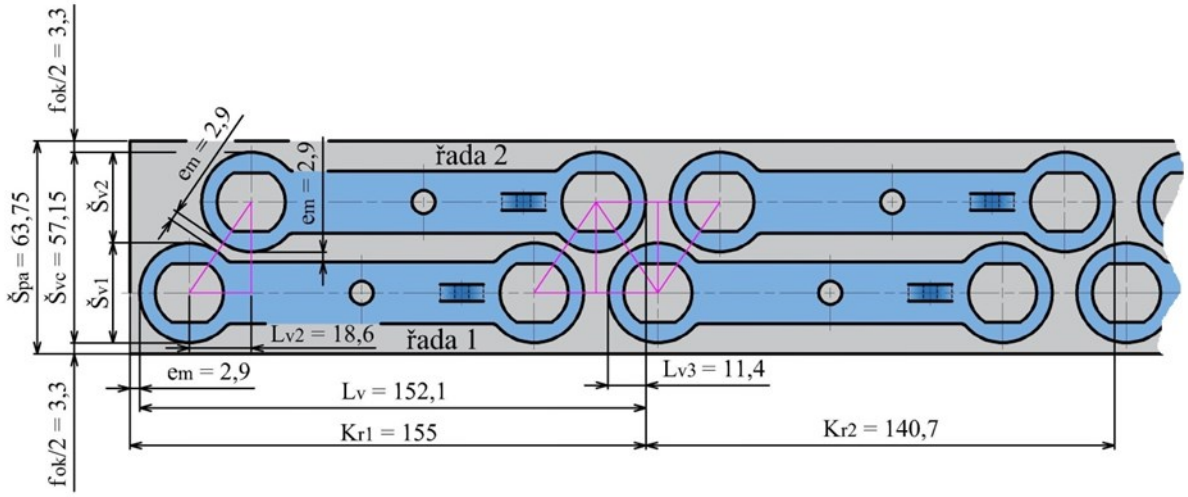
Tab. 11 Tabulka hodnot varianty č. 4.

Veličina/ varianta	č. 4A)	č. 4B)	č. 4C)
Počet výstřižků z pásu n_v [ks]	32	68	32
Stupeň využití pásu η_p [%]	41,93	44,56	41,93
Počet pásů z tabule $n_{pásů}$ [ks]	12	6	
Počet výstřižků z tabule n_{vt} [ks]	384	408	
Stupeň využití materiálu tabule plechu η_t [%]	41,39	43,98	

Složitější výpočty jsou u počtu kusů, kdy je nutné počítat vždy s dvojicí výstřižků a rozdílnou délkou prvního kroku.

Varianta nástřihového plánu č. 5

Varianta č. 5 – umístění výstřižků dvouřadé „na délku“ (obr. 96) tzn. výstřižek v druhé řadě je odsazen vůči řadě první pouze o hodnotu, která zajišťuje dostatečné přepážky mezi výstřižky. Nástřihový plán je konstruován podobně jako v předchozí variantě. Výhody a nevýhody shodné také srovnatelné s variantou 4. Šířka plechu je menší, zato delší krok.



Obr. 96 Nástřihový plán – Varianta č. 5.

Pro určení šířky přepážek (můstků) a přepážky odpadu z nomogramu v příloze 5 je rozhodující:

$s = 1{,}5\ mm,$
$\check{S}_{v1} = 30\ mm.$

Z nomogramů použitý tvar kruhový typ jednořadý, lineární křivky $\mathbf{e_{m2}}$, $\mathbf{f_{ok2}}$, odečtené hodnoty (označeny v nomogramu žlutou) jsou:

$e_m = 2{,}9\ mm,$
$f_{ok} = 6{,}6\ mm \ \rightarrow f_{ok}/2 = 3{,}3\ mm.$

Délka prvního kroku $\mathbf{K_{r1}}$ dle (2.14):

$K_{r1} = L_v + e_m = 152{,}1 + 2{,}9 = 155\ mm,$
kde: $L_v = L_{v1} + L_{v2} = 133{,}5 + 18{,}6 = 152{,}1\ mm,$
$L_{v1} = 133{,}5\ mm,$ délka výstřižku,
$L_{v2} = 18{,}6\ mm,$ délkové odsazení druhé řady.

Délka dalších kroků $\mathbf{K_{r2}}$:

$K_{r2} = L_v - L_{v3} = 152{,}1 - 11{,}4 = 140{,}7\ mm,$
kde: $L_{v3} = 11{,}4\ mm,$ délka zasunutí tvaru kroku 2 do kroku 1.

Šířka pásu $\mathbf{Š_{pa}}$ (bez odstřihovače $g_o = 0$) dle (2.15):

$$Š_{pa} = Š_{vc} + f_{ok} + g_o = 57{,}15 + 6{,}6 = 63{,}75\ mm,$$

kde: $Š_{vc} = Š_{v1} + Š_{v2} = 30 + 27{,}15 = 57{,}15\ mm$,

kde: $Š_{v2} = 27{,}15\ mm$; dáno přesahem druhé řady nad řadou první.

Tab. 12 Tabulka hodnot varianty č. 5.

Veličina/ varianta	č. 5A)	č. 5B)	č. 5C)
Počet výstřižků z pásu n_v [ks]	12	28	12
Stupeň využití pásu η_p [%]	40,58	43,34	40,58
Počet pásů z tabule $n_{pásů}$ [ks]	31	15	
Počet výstřižků z tabule n_{vt} [ks]	372	420	
Stupeň využití materiálu tabule plechu η_t [%]	40,10	45,27	

Také u této varianty s délkou polotovaru 1000 mm bylo nutné odečíst poslední dvojici kusů pro nedostatečný můstek na konci plechu. To se odrazilo i ve stupni využití polotovaru (tab. 12).

Celkový přehled stupně využití výchozího polotovaru u všech variant obsahuje následující tabulka 13:

Tab. 13 Přehled využití polotovaru všech variant.

Varianta	1A)	1B)	2A)	2B)	3A)	3B)	4A)	4B)	5A)	5B)
η_t [%]	45,27	45,27	43,01	42,25	42,14	42,25	41,39	43,98	40,10	45,27
Varianta	1C)	2C)	3C)	4C)	5C)					
η_p [%]	45,54	43,74	44,39	41,93	40,58					

Kontrolou bylo ověřeno, že i při jiných než uvažovaných variantách (1C, 2C) není dosaženo výrazně lepšího využití výchozího polotovaru.

Tabulka – Vlastnosti výrobků povrchově válcovaných za studena

Značka oceli	Číselné označení oceli	Rozdělení podle EN 10020	Jakost povrchu	Nepřítomnost deformačních čar	R_e [a]	R_m	A_{80} [b]	r_{90} [c) d)]	n_{90} [c)]	Chemické složení pro rozbor tavby				
					MPa	MPa	min. %	min.	min.	C max. %	P max. %	S max. %	Mn max. %	Ti max. %
DC01 [e)]	1.0330	Nelegovaná ocel [f)]	A	–	–/280 [g) i)]	270/410	28	–	–	0,12	0,045	0,045	0,60	–
			B	3 měsíce										
DC03	1.0347	Nelegovaná ocel [f)]	A	6 měsíců	–/240 [g)]	270/370	34	1,3	–	0,10	0,035	0,035	0,45	–
			B	6 měsíců										
DC04	1.0338	Nelegovaná ocel [f)]	A	6 měsíců	–/210 [g)]	270/350	38	1,6	0,180	0,08	0,030	0,030	0,40	–
			B	6 měsíců										
DC05	1.0312	Nelegovaná ocel [f)]	A	6 měsíců	–/180 [g)]	270/330	40	1,9	0,200	0,06	0,025	0,025	0,35	–
			B	6 měsíců										
DC06	1.0873	Legovaná ocel	A	Bez omezení	–/170 [h)]	270/330	41	2,1	0,220	0,02	0,020	0,020	0,25	0,3 [j)]
			B	Bez omezení										
DC07	1.0898	Legovaná ocel	A	Bez omezení	–/150 [h)]	250/310	44	2,5	0,230	0,01	0,020	0,020	0,20	0,2 [j)]
			B	Bez omezení										

POZNÁMKA 1 MPa = 1 N/mm^2.

a) Pro výrobky, u kterých se nevyskytuje výrazná mez kluzu, se stanoví mez prodloužení 0,2 % a pro ostatní se určí spodní mez kluzu R_{eL}. Pro tloušťku menší nebo rovnou 0,7 mm a větší než 0,5 mm se hodnota meze kluzu zvyšuje o 20 MPa. Pro tloušťky menší nebo rovny 0,5 mm se hodnota meze kluzu zvyšuje o 40 MPa.

b) Pro tloušťku menší nebo rovnou 0,7 mm a větší než 0,5 mm se minimální hodnota tažnosti snižuje o 2 jednotky. Pro tloušťku menší nebo rovnou 0,5 mm se minimální hodnota tažnosti snižuje o 4 jednotky.

c) Hodnoty r_{90} a n_{90} platí pouze pro výrobky s tloušťkou větší nebo rovnou 0,5 mm.

d) Pro tloušťku větší než 2 mm se hodnota r_{90} snižuje o 0,2.

e) Výrobky z oceli DC01 je doporučeno zpracovat do 6 týdnů od expedice.

f) Oceli DC01, DC03, DC04 a DC05 mohou být dodány jako legované oceli (např. bórem nebo titanem), pokud nebylo při objednávání dohodnuto jinak.

g) U ocelí DC01, DC03, DC04 a DC05 pro konstrukční účely je možno počítat s dolní mezí R_e = 140 MPa.

h) Pro konstrukční účely je možno počítat u oceli DC06 s dolní mezí R_e =120 MPa a 100 MPa pro ocel DC07.

i) U oceli DC01 platí horní meze R_e = 280 MPa pouze po dobu 8 dnů od expedice výrobku.

j) Titan může být nahrazen niobem. Uhlík a dusík musí být úplně vázány.

Příloha 19
Nástrojové pružiny ISO 10243 - B20 – 051 [77]

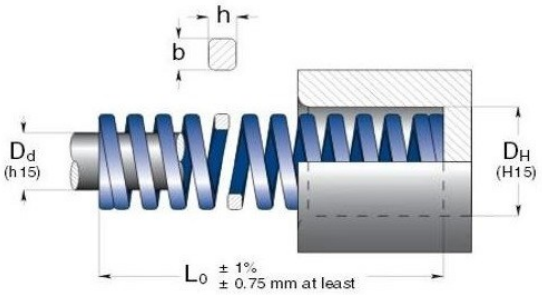
FEVOS 763 21 SLAVIČÍN, s.r.o.

NÁSTROJOVÉ PRUŽINY ISO 10243

B série

(pružiny pro střední zatížení - modrá)

Nástrojové pružiny dle ISO 10243 jsou vyráběny z drátů obdélníkového průřezu. Pružiny mají pravé vinutí, vzdálenost mezi jednotlivými závity je konstantní, koncové závity jsou přihnuté a broušené.
Jsou vyráběny výhradně z vysokojakostní chrom-vanadiové oceli dle DIN 17 221. Nástrojové pružiny poskytují maximální výkon v minimálním prostoru. Jejich vysoká kvalita je zajištěna tepelným zpracováním v nejmodernějších zařízeních, kuličkováním, které zlepšuje kvalitu povrchu a výrazně takzvyšuje odolnost pružiny proti únavě, a také pravidelnou kontrolou vstupního materiálu.



Příklad objednávky: **Katalogové číslo, množství kusů**

D_H	D_d	L_0	Kat.číslo	Poměr	Stlačení 25%		Stlačení 30%		Stlačení 37,5%		D approx.	
b x h					Opakování 3.000.000		Opakování 1.500.000		Max. stlač.			
mm	mm	mm		N/mm	mm	N	mm	N	mm	N	mm	N
		25	B 10 - 025	16	6,3	101	7,5	120	9,4	150	10,2	163
		32	B 10 - 032	13	8	104	9,6	125	12	156	14,2	185
		38	B 10 - 038	11,9	9,5	113	11,4	136	14,3	170	16,8	200
10	5	44	B 10 - 044	10,3	11	113	13,2	136	16,5	170	19,4	200
		51	B 10 - 051	8,9	12,8	114	15,3	136	19,1	170	23,4	208
		64	B 10 - 064	7,5	16	120	19,2	144	24	180	28,2	212
		76	B 10 - 076	5,3	19	101	22,8	121	28,5	151	34,2	181
1,9 x 1,3		305	B 10 - 305	1,6	76,3	122	91,5	146	114,4	183	133,8	214
		25	B 13 - 025	30	6,3	189	7,5	225	9,4	282	11,9	357
		32	B 13 - 032	24,8	8	198	9,6	238	12	298	16,2	402
		38	B 13 - 038	21,4	9,5	203	11,4	244	14,3	306	18,7	400
		44	B 13 - 044	18,5	11	204	13,2	244	16,5	305	21,3	394
12,5	6,3	51	B 13 - 051	15,5	12,8	198	15,3	237	19,1	296	25,6	397
		64	B 13 - 064	12,1	16	194	19,2	232	24	290	32,4	392
		76	B 13 - 076	10,2	19	194	22,8	233	28,5	291	39	398
		89	B 13 - 089	8,4	22,3	187	26,7	224	33,4	281	45,9	386
		102	B 13 - 102	6,3	25,5	161	30,6	193	38,3	241	52,3	329
2,5 x 1,5		305	B 13 - 305	2,1	76,3	160	91,5	192	114,4	240	152,5	320
		25	B 16 - 025	49,4	6,3	311	7,5	371	9,4	464	10,5	519
		32	B 16 - 032	37,1	8	297	9,6	356	12	445	13,2	490
		38	B 16 - 038	33,9	9,5	322	11,4	386	14,3	485	17,2	583
		44	B 16 - 044	30	11	330	13,2	396	16,5	495	19,4	582
16	8	51	B 16 - 051	26,4	12,8	338	15,3	404	19,1	504	24,2	639
		64	B 16 - 064	20,5	16	328	19,2	394	24	492	29,2	599
		76	B 16 - 076	17,8	19	338	22,8	406	28,5	507	36,3	646
		89	B 16 - 089	15,2	22,3	339	26,7	406	33,4	508	41,7	634
		102	B 16 - 102	13,5	25,5	344	30,6	413	38,3	517	48,9	660
		115	B 16 - 115	11,8	28,8	340	34,5	407	43,1	509	53,1	627
3,2 x 2,0		305	B 16 - 305	4,8	76,3	366	91,5	439	114,4	549	141,6	680
		25	B 20 - 025	98	6,3	617	7,5	735	9,4	921	10,5	1029
		32	B 20 - 032	72,6	8	581	9,6	697	12	871	13,9	1009
		38	B 20 - 038	56	9,5	532	11,4	638	14,3	801	16,6	930
		44	B 20 - 044	47,5	11	523	13,2	627	16,5	784	18,8	893
		51	B 20 - 051	41,7	12,8	534	15,3	638	19,1	796	23,1	963
		64	B 20 - 064	32,3	16	517	19,2	620	24	775	27,5	888
20	10	76	B 20 - 076	25,1	19	477	22,8	572	28,5	715	33,8	848
		89	B 20 - 089	22	22,3	491	26,7	587	33,4	735	39,7	873
		102	B 20 - 102	19,8	25,5	505	30,6	606	38,3	758	47,3	937
		115	B 20 - 115	18,1	28,8	521	34,5	624	43,1	780	52,5	950
		127	B 20 - 127	16,6	31,8	528	38,1	632	47,6	790	56,9	945
		139	B 20 - 139	15,1	35	529	42	634	52,5	793	62,1	938
		152	B 20 - 152	13,2	38	500	45,6	600	57	750	67,6	889
4,1 x 2,4		305	B 20 - 305	6,1	76,3	465	91,5	558	114,4	698	143,4	875

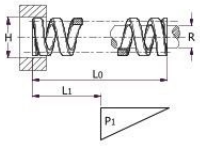
FEVOS, s. r. o., Rokytnice 201, 763 21 Slavičín Tel/fax: 577 341 417 www.fevos.cz obchod@fevos.cz

Příloha 20
Nástrojové pružiny ISO 10243 - 1218658 [76]

Nástrojové pružiny ISO 10243 – velmi vysoké zatížení

Novinka

- Nástrojové pružiny dle specifikace ISO 10243, drát s profilem D, barevné kódování dle tuhosti pružiny
- Všechny nástrojové pružiny jsou vyrobeny z chromových ocelí s vysokou pevností v tahu
- Zvládají velká zatížení díky vysoké tuhosti. Skvělé mechanické vlastnosti i při vysokém namáhání a teplotní odolnost až do 230 °C
- Tepelnými úpravami materiálu je dosaženo požadovaných mechanických vlastností. Široká škála využití
- Profil drátu pro optimální tuhost a odolnost proti poškození i při dlouhodobém vysokém namáhání
- Poslední závit je zabroušen tak, aby vytvořil maximální dosedací plochu
- Dodáváno v různých velikostech balení – viz tabulka



H = min. průměr otvoru pro hladký chod pružiny
R = průměr čepu (mm)
Lo = délka volné pružiny (orientačně)
k = tuhost pružiny (N/mm)
L1 = stlačení při síle P1 (optimální pracovní rozsah)
L2 = stlačení při síle P2 (střední pracovní rozsah)
L3 = stlačení při síle P3 (max. pracovní rozsah)
L4 = max. stlačení při síle P4 (mimo pracovní rozsah)
P = síla (N)
L = stlačení (mm)

Obj. číslo	H (mm)	R (mm)	Lo (mm)	k (N/mm)	P1 (N)	L1 (mm)	P2 (N)	L2 (mm)	P3 (N)	L3 (mm)	P4 (N)	L4 (mm)	Množ. v bal.
1218651	25	12.5	152	63.5	1640	25.8	1929	30.4	2411	38	3395	53.5	10
1218652	25	12.5	178	54.5	1650	30.3	1942	35.6	2427	44.5	3485	63.9	10
1218653	25	12.5	203	47.7	1644	34.5	1935	40.6	2418	50.8	3345	70.2	10
1218654	25	12.5	305	31.5	1634	51.9	1922	61	2403	76.3	3466	110	10
1218655	32	16	38	478.3	3090	6.5	3635	7.6	4544	9.5	5453	11.4	10
1218656	32	16	44	420	3142	7.5	3696	8.8	4620	11	5754	13.7	10
1218657	32	16	51	351.4	3047	8.7	3584	10.2	4481	12.8	5482	15.6	10
1218658	32	16	64	273.3	2974	10.9	3499	12.8	4373	16	5467	20	10
1218659	32	16	76	226.6	2927	12.9	3444	15.2	4305	19	5529	24.4	10
1218660	32	16	89	193.5	2927	15.1	3444	17.8	4305	22.3	5746	29.7	10
1218661	32	16	102	162.5	2817	17.3	3314	20.4	4142	25.5	5702	35.1	10
1218662	32	16	115	144.7	2829	19.6	3328	23	4160	28.8	5643	39	10
1218663	32	16	127	132.5	2860	21.6	3364	25.4	4206	31.8	5669	42.8	10
1218664	32	16	139	118.8	2806	23.6	3302	27.8	4127	34.8	5772	48.6	10
1218665	32	16	152	109	2816	25.8	3313	30.4	4142	38	5711	52.4	10
1218666	32	16	178	91.8	2779	30.3	3270	35.6	4087	44.5	5593	60.9	10
1218667	32	16	203	80.5	2777	34.5	3267	40.6	4084	50.8	5569	69.2	10
1218668	32	16	254	64.3	2774	43.2	3264	50.8	4080	63.5	5660	88.1	10
1218669	32	16	305	53.4	2768	51.9	3257	61	4071	76.3	5553	104	8
1218670	40	20	51	588.7	5104	8.7	6004	10.2	7505	12.8	8830	15	10
1218671	40	20	64	452.8	4927	10.9	5796	12.8	7245	16	8830	19.5	10
1218672	40	20	76	373.8	4829	12.9	5681	15.2	7101	19	8708	23.3	10
1218673	40	20	89	314	4750	15.1	5588	17.8	6985	22.3	8382	26.7	10
1218674	40	20	102	273.8	4748	17.3	5585	20.4	6982	25.5	9254	33.8	10
1218675	40	20	115	242.8	4746	19.6	5583	23	6979	28.8	8788	36.2	10
1218676	40	20	127	218	4707	21.6	5538	25.4	6922	31.8	8873	40.7	10
1218677	40	20	139	196.2	4637	23.6	5455	27.8	6819	34.8	8732	44.5	10
1218678	40	20	152	179.7	4644	25.8	5464	30.4	6830	38	8915	49.6	10
1218679	40	20	178	151.9	4597	30.3	5408	35.6	6760	44.5	9099	59.9	10
1218680	40	20	203	132.7	4578	34.5	5386	40.6	6732	50.8	8901	67.1	10
1218681	40	20	254	105.6	4559	43.2	5364	50.8	6705	63.5	9112	86.3	6
1218682	40	20	305	87.9	4556	51.9	5359	61	6699	76.3	9137	104	6
1218683	50	25	64	671.4	7305	10.9	8594	12.8	10742	16	14435	21.5	10
1218684	50	25	76	537.1	6940	12.9	8164	15.2	10205	19	13428	25	10
1218685	50	25	89	451.2	6826	15.1	8031	17.8	10039	22.3	13445	29.8	10
1218686	50	25	102	389	6744	17.3	7935	20.4	9918	25.5	13497	34.7	10
1218687	50	25	115	341.8	6682	19.6	7861	23	9827	28.8	13535	39.6	10
1218688	50	25	127	304.9	6582	21.6	7743	25.4	9679	31.8	13230	43.4	8
1218689	50	25	139	275.1	6501	23.6	7648	27.8	9560	34.8	13013	47.3	8
1218690	50	25	152	250.7	6477	25.8	7620	30.4	9525	38	13059	52.1	8
1218691	50	25	178	208.9	6321	30.3	7436	35.6	9295	44.5	12763	61.1	6
1218692	50	25	203	184.9	6381	34.5	7507	40.6	9384	50.8	13055	70.6	4
1218693	50	25	254	146.5	6325	43.2	7442	50.8	9302	63.5	13038	89	2
1218694	50	25	305	120	6221	51.9	7319	61	9149	76.3	12647	105.4	10
1218695	63	38	76	952	12300	12.9	14470	15.2	14470	15.2	16374	17.2	10
1218696	63	38	89	819	12391	15.1	14578	17.8	14578	17.8	17265	21.1	10
1218697	63	38	102	700	12138	17.3	14280	20.4	17850	25.5	21490	30.7	8
1218698	63	38	114	620	12016	19.4	14136	22.8	17860	28.8	21638	34.9	8
1218699	63	38	127	565	12198	21.6	14351	25.4	17967	31.8	21470	38	6
1218700	63	38	152	458	11835	25.8	13923	30.4	17404	38	21618	47.2	6
1218701	63	38	178	384	11620	30.3	13670	35.6	17088	44.5	21427	55.8	4
1218702	63	38	203	337	11630	34.5	13682	40.6	17120	50.8	21838	64.8	4
1218703	63	38	254	263	11356	43.2	13360	50.8	16701	63.5	22802	86.7	2
1218704	63	38	305	218	11303	51.9	13298	61	16633	76.3	23108	106	2

+420 601 581 817 , obchod@atilastyl.cz, www.atilastyl.cz