



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA KOVOVÉHO ZÁLISKU

MANUFACTURING OF PRESSED METAL PART

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Petr Rubáš

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Petr Rubáš**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Kamil Podaný, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

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

Výroba kovového zálisku

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh technologie výroby zaobleného tělesa z ocelového plechu S 315 MC, která je součástí tlumicího segmentu silentbloku pro nápravy nákladních automobilů. Součástka je prostorového tvaru a bude vyráběna technologií ohýbání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární studie.

Cíle bakalářské práce:

- zhodnotit technologičnost kovového zálisku,
- provést rozbor možných technologií výroby se zhodnocením jejich vhodnosti a nevhodnosti,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- zpracovat návrh výroby doložený nezbytnými technologickými a kontrolními výpočty,
- navrhnout a popsat tvářecí nástroj včetně základní výkresové dokumentace,
- provést technicko-ekonomické hodnocení.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.

HOSFORD, William F. a Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s.

HELLWIG, Waldemar a Erwin SEMLINGER. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

RUBÁŠ Petr: Výroba kovového zálisku.

Práce je zaměřena na návrh technologie výroby kovového zálisku, který je součástí tlumícího segmentu silentbloku u náprav nákladních automobilů. Zálisek je vyroben z plechu tloušťky 2 mm, jehož profil má tvar písmene 'U' se zahnutými kraji na obou koncích. Na základě požadavků výroby a velikosti výrobní série 160 000 kusů za rok byla jako nejvhodnější technologie vybrána ohýbání v konvenčním nástroji. Požadovaného tvaru zálisku je dosaženo pomocí dvou operací, kdy v prvním kroku dojde k předehtnutí obou krajů plechu a v druhém kroku k ohybu středu do tvaru 'U'. Jako materiál zálisku byla zvolena mikrolegovaná konstrukční ocel S 315 MC, jejíž mechanické vlastnosti odpovídají požadavkům hotového výrobku. Součástka bude vyráběna na výstředníkovém lisu LEXN 100 C a její výrobní cena činí 4,60 Kč.

Klíčová slova: ocel S315 MC, ohýbání, ohýbadlo, silentblok, výstředníkový lis LEXN 100 C

ABSTRACT

RUBÁŠ Petr: Manufacture of metallic insert.

The thesis focuses on the design of the technology of manufacture of metallic insert that is included to the shock absorbing element of truck axle silentblock. The insert is made of 'U' profile metallic sheets with bent edges at both ends, thickness 2 mm. What was chosen as the most fitting technology based on manufacturing requirements and production series size of 160 000 units per year is conventional tool bending. The required form of the insert is achieved by two operations: in the first step, both metallic sheet edges are preliminary bent and in the second step the central part is bent to the 'U' form. The material chosen for the manufacture of the insert is micro-alloyed structural steel S 315 MC the mechanical properties of which match requirements of the finished product. The part will be manufactured on eccentric press LEXN 100 C and its production cost is CZK 4.60.

Keywords: steel S315 MC, bending, bending press, silentblock, eccentric press LEXN 100 C

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RUBÁŠ, Petr. *Výroba kovového zálisku*. Brno, 2017. 42s, 22 výkresů, 4 přílohy, CD. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V dne 27.5.2017

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamil Podaný, Ph.D za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za plnou podporu a pomoc a také firmě Kornet s.r.o. za poskytnutí materiálů a spolupráci.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Str.

ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČÁSTI.....	10
1.1 Variantní řešení výroby.....	11
2 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ.....	14
2.1 Rozvinutá délka polotovaru	16
2.2 Odpružení a poloměr ohybu	17
2.3 Síla a práce	19
2.4 Nástroje.....	20
2.4.1 Ohybníky	21
2.4.2 Ohybnice	21
2.5 Stroje	22
2.6 Technologičnost.....	24
3 NÁVRH VÝROBY	25
3.1 Rozvinutá délka polotovaru	25
3.2 Volba polotovaru.....	26
3.3 Ohybový plán	30
3.4 Odpružení a poloměr ohybu	31
3.5 Síla a práce	32
3.6 Volba stroje	33
3.7 Konstrukce nástroje	34
3.7.1 Návrh funkčních částí.....	35
4 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	40
5 ZÁVĚRY	42

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD [8], [12], [15], [21], [24], [28]

Strojírenství je technický obor, založený na principech fyziky a vědě o materiálech. Zabývá se návrhem strojů a jejich součástí, dále jejich výrobou a následnou údržbou. Strojírenství lze rozdělit do několika odvětví. Jedná se o těžké strojírenství, zahrnující například hutní a slévárenskou činnost, dále střední strojírenství, kam patří výroba strojů a zařízení pro obrábění a tváření kovů a nakonec lehké a přesné strojírenství. Samotná moderní výroba stojí na principech vynaložení minimálních finančních nákladů, s využitím dostupné moderní techniky a vedoucí k dosažení požadované kvality. Z pohledu zpracovávání materiálu lze rozdělit výrobu na slévárenství, tváření, svařování a obrábění.

Tváření je jedním z odvětví strojírenské výroby, při kterém dochází ke změně tvaru zpracovávaného materiálu bez jeho porušení (s výjimkou stříhání). Jedná o nedestruktivní technologický proces výroby, který je členěn do dvou základních skupin a to na tváření objemové a plošné. Podle vstupní teploty zpracovávaného materiálu lze uvedenou technologii také rozdělit na tváření za studena, za tepla, nebo tváření za poloohřevu.

U objemového tváření dochází k podstatné změně průřezu materiálu, neboli k jeho objemovému přeskupení. Patří sem například kování, pěchování, či protlačování. Druhou skupinu tvoří plošné tváření, u kterého je požadovaný tvar výrobku dosažen bez podstatné změny průřezu, nebo tloušťky výchozího materiálu. V tomto případě se jedná o stříhání, ohýbání, tvarování, či rovnání.

Příklady vyráběných součástí pomocí tváření jsou znázorněny na obrázku 1.

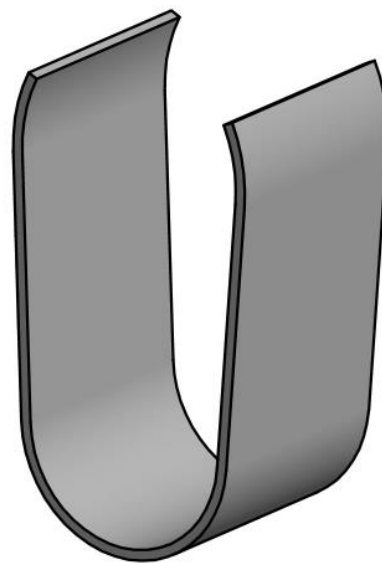


Obr. 1 Příklady tvářených součástek [12], [21], [24]

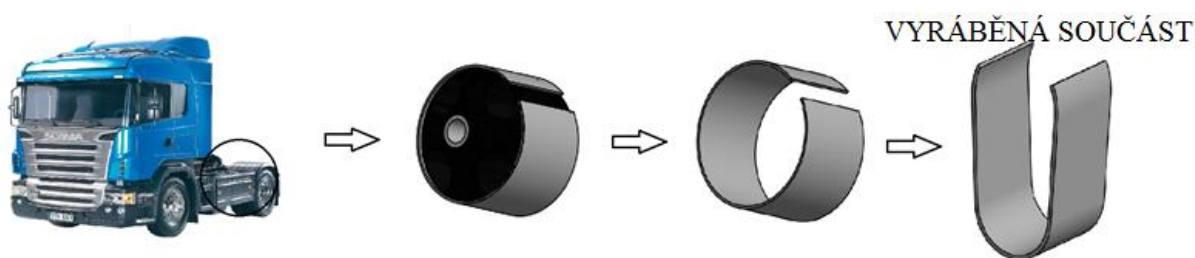
1 ROZBOR SOUČÁSTI [1], [2], [4], [7], [12], [30]

Vyráběná součást je kovový zálisek (obr. 2), který je jedním z dílů tlumícího segmentu silentbloku u náprav nákladních automobilů. Jeho funkce spočívá v tlumení hluku, pohlcování vibrací a snižování chvění. Jsou využívány nejen u automobilů, ale také například k pružnému uložení částí podvozku, motoru do karosérie u osobních aut nebo zemědělských strojů. Jedná o díly pracující v obtížných podmínkách bez jakékoliv možnosti údržby, je tedy nutné, aby všechny součásti silentbloku byly vyrobeny z kvalitních materiálů, které budou mít vysokou odolnost při mechanickém namáhání, především namáhání tlakem a odolnost vůči povětrnostním vlivům.

Další zpracování kovového zálisku, až po konečné využití, je schématicky znázorněno v obrázku 3. Zhotovený zálisek je následně zakroužen do kruhovitěho tvaru s mezerou mezi jejími konci, vyplněn gumovou směsí a s dalšími částmi vložen do nápravy. Součástka se bude vyrábět v sérii 160 000 kusů za rok. Vyráběný profil má tvar písmene 'U' se zahnutými kraji na obou stranách do vnitřní části profilu.



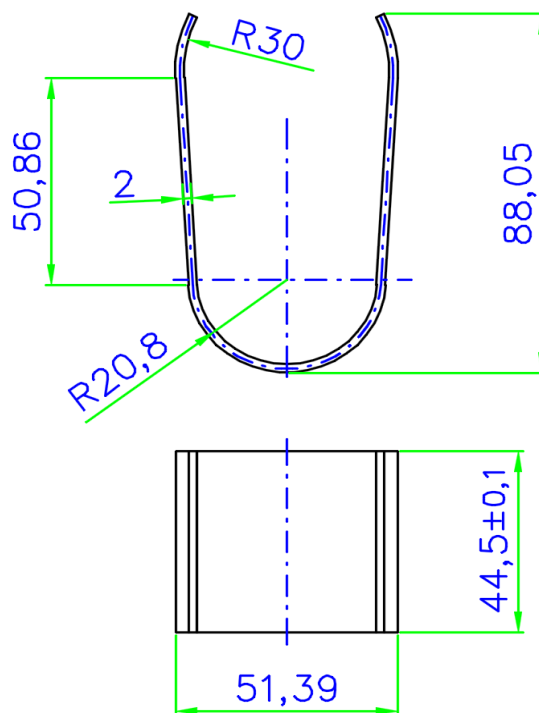
Obr. 2 Kovový zálisek



Obr. 3 Schéma využití kovového zálisku [4]

Zálisek musí mít po celé délce stejnou tloušťku a nesmí dojít k poškození povrchu při zadaném způsobu výroby.

Součást je vyrobena z plechu tloušťky 2 mm o konečných rozměrech šířky 44,5 mm, délky 51,39 mm a výšky 88,05 mm. Vzdálenost mezi krajním a středním ohybem má velikost 50,86 mm. Krajní poloměry o velikosti poloměru ohybu 30 mm a prostřední ohyb poloměru 22,8 mm jsou zvoleny s ohledem na další zpracování součástí. Rozměry jsou zobrazeny na obrázku 4. Nepředepsané mezní úchytky všech délkových rozměrů mají rozsah dle normy ČSN ISO 2768 s třídou přesností 'm'. Střední třída přesností je pro danou součástku vyhovující, jelikož se nejedná o konečný tvar. Dle této normy a třídy přesnosti se mezní úchytky v rozměrech od 30 do 120 mm pohybují v rozsahu $\pm 0,3$ mm.



Obr. 4 Zálisek s rozměry

Při volbě vhodného materiálu musí být zohledněno využití dané součásti a požadavky zákazníka. Vzhledem k umístění součásti je kladen velký důraz na odolnost vůči korozi, jelikož bude výrobek často přicházet do kontaktu s vodou, dále odolnost vůči vibracím, vysokému tlaku a ostatním povětrnostním vlivům. Z hlediska výroby je také nezbytné, aby byl materiál vyhovující zvolenému způsobu výroby. Nejvhodnější variantou jsou mikrolegované konstrukční oceli s jemnou strukturou. Tyto plechy jsou vyráběny procesem válcováním za tepla. Mez kluzu se u těchto ocelí pohybuje v rozmezí od 315 do 700 MPa a mez pevnosti od 390 do 950 MPa. Pro využití dané součásti postačí, aby se mez kluzu pohybovala kolem 300 až 330 MPa a mez pevnosti kolem 450 MPa. Vzhledem k výše uvedeným požadavkům byla zvolena konstrukční ocel S315 MC. Plechy z této oceli jsou dobře tvářitelné a vhodné pro konstrukční účely a výrobu ohýbaných profilů. Plech může být dodáván jako svitek, nebo tabule plechu. Mechanické vlastnosti a chemické složení popisuje tabulka 1.

Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení oceli S315 MC [1], [30]

Materiál	Ocel S315 MC (ČSN EN 10149-2)							
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti Rm [MPa]			Tažnost A [%]		Mez kluzu Re [MPa]		
	390 - 510			≥ 20		315		
Chemické složení [%]	Uhlík C	Síra S	Fosfor P	Mangan Mn	Křemík Si	Vanad V	Titan Ti	Niob Nb
	0,12	0,01	0,025	1,3	0,5	0,2	0,15	0,09

Kovový zálisek se bude vyrábět ve firmě KORNET s.r.o., sídlící ve městě Kraslice, které se nachází v Karlovarském kraji. Materiál je do firmy dopravován nákladními vozidly a je uložen do skladu hutního materiálu. Tento sklad je začátkem výrobního procesu. V části skladu se provádí u některého materiálu jeho dělení a dále je rozvážen na pracoviště obrobny, lisovny nebo svařovny, podle typu následného zpracování. Výrobky z jednotlivých dílen jsou potom převezeny k případnému dalšímu zpracování nebo jsou, u finálních produktů, dopraveny přímo na expedici.

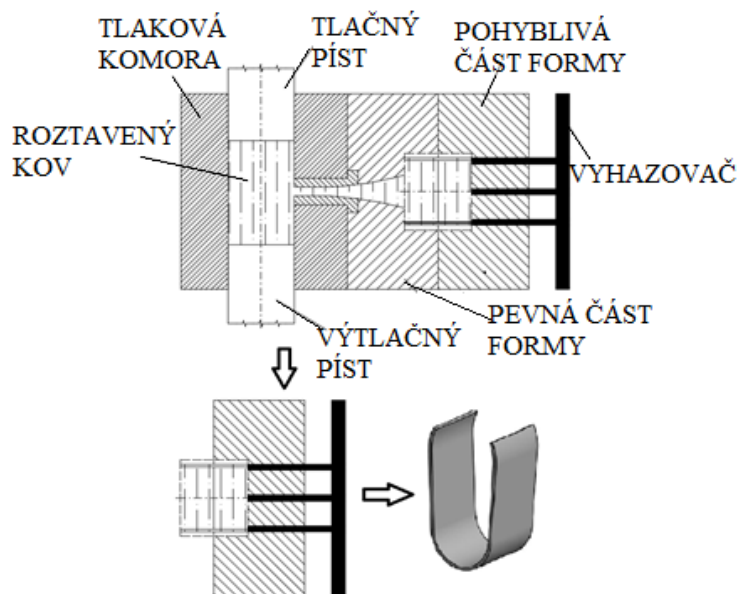
Firma disponuje množstvím obráběcích i tvářecích strojů, jako jsou například obráběcí centrum MCV 1000 SPRINT s paletizací nebo lisy LE 160 F a LEXN 100 C. Jsou zde také kombinovaná měřicí pracoviště pro měření drsnosti, vlnitosti aj. Vyrábí se zde přesné díly obráběním na CNC a konvenčních strojích, dále tvářením na servo, výstředníkových a CNC strojích.

1.1 Variantní řešení výroby [3], [8], [11], [15], [18], [19], [25], [32]

Součástku je možné zhotovit několika možnými způsoby výroby. Vhodně zvolená technologie musí splňovat určitá kritéria. Mezi ty nejdůležitější patří především ekonomičnost a hospodárnost výroby, splnění konstrukčních požadavků, dodržení rozměrů (dostatečné poloměry ohybu) a vyrobení součásti bez ztenčení stěny. Dále je nutné přihlédnout k velikosti dané série a časové náročnosti postupu výroby.

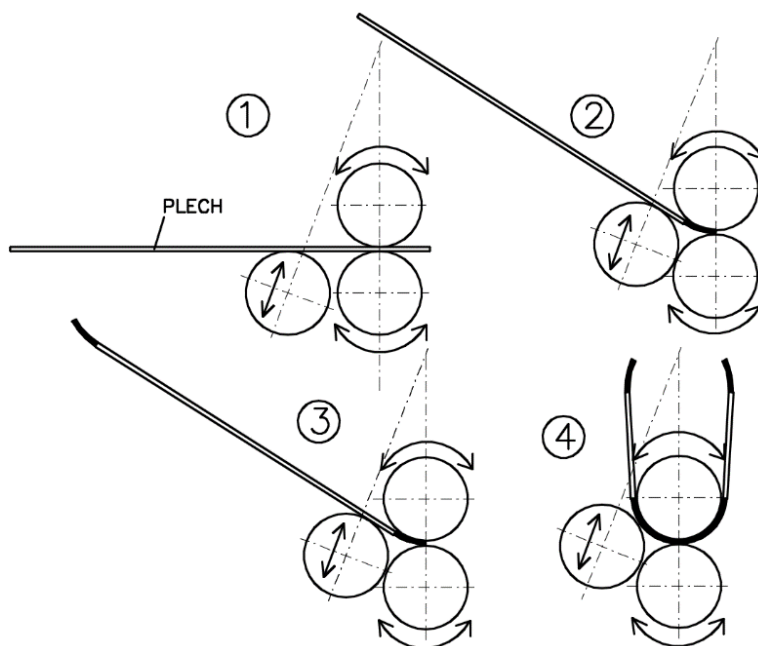
Mezi uvažované technologie lze zařadit:

- Odlévání – je proces, při kterém je pevný materiál převáděn do tekutého stavu a následně vléván do formy potřebného tvaru. Jako nejvhodnější způsob plnění forem je v tomto případě lití po tlakem se studenou tlakovou komorou. Princip odlévání pro kovový zálisek lze vidět na obrázku 5. Hlavní výhody této technologie jsou vysoká pevnost odlitků, vhodnost pro tenkostěnné tvarově složité odlitky a výsledné hladké plochy. Odlitek je však křehký, málo houževnatý a tudíž pro vyráběnou součást, a její požadované vlastnosti, je absolutně nepoužitelný.



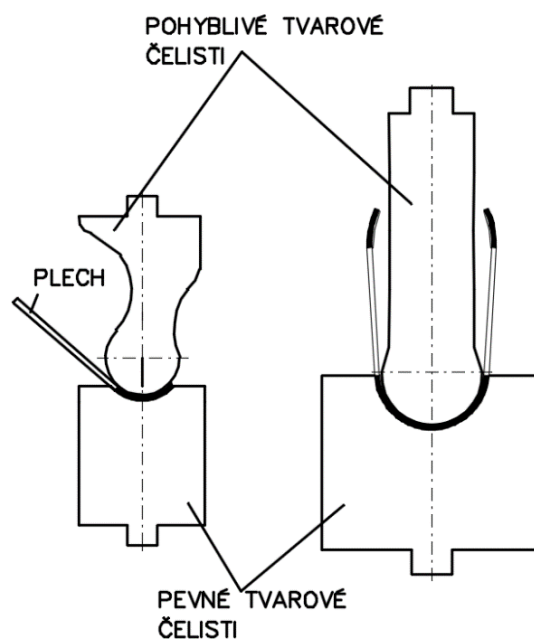
Obr. 5 Tlakové lití se studenou tlakovou komorou [32]

- Zakružování – materiál je touto technologií plynule a postupně ohýbán mezi válci. Lze dosáhnout trvalé změny tvaru bez podstatné změny průřezu. Výsledkem této metody jsou válcové či kuželové výrobky. Obrázek 6 znázorňuje princip asymetrického tříválcového zakružování pro výrobu kovového zálisu. Plech je vložen mezi dva poháněné horizontální válce. Přitlačením levého válce je ohnut nejprve jeden kraj, po otočení plechu druhý a následně střed součásti. V případě zvolení tohoto postupu výroby by docházelo k vysokým výrobním časům a při různých odchylkách v pevnosti ohýbaného materiálu by neodpovídaly výsledné rozměry výrobku zadáním požadavků výroby.



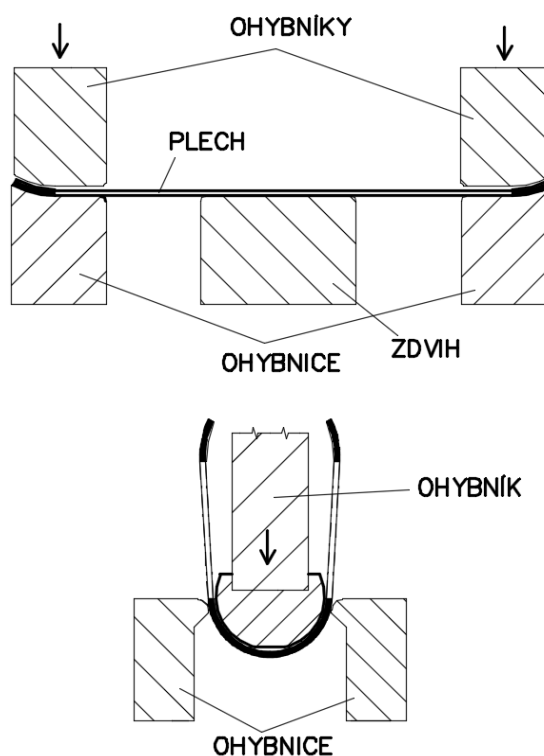
Obr. 6 Princip asymetrického zakružování [15]

- Ohraňování – spočívá v ostrém ohýbání plechu pod různými úhly. Operace probíhají na ohraňovacích lisech. Technologie umožňuje měnit tvar plechu bez podstatné změny průřezu. Tvarové čelisti, pro vytvoření požadovaného tvaru, jsou upnuty na stůl a beran lisu. Schéma technologie ohraňování je znázorněno na obrázku 7. Plech je vložen mezi čelisti lisu a každým zdvihem je proveden jeden ohyb polotovaru. Podle potřeby dochází mezi jednotlivými operacemi k vyměňování nástrojů v lisu. Tato technologie se uplatňuje především při tváření dlouhých pásů plechu do tvaru profilu. Většina tvarů tvoří kombinaci 'U' a 'V' profilů. Dosažení požadovaného tvaru součásti by při této technologii výroby vedlo k vysokým výrobním časům, což je výsledně neekonomické.



Obr. 7 Schéma technologie ohraňování [27]

- Ohýbání – je technologie, u které dochází k trvalé deformaci materiálu. Ohýbání lze rozdělit podle tvaru a druhu ohybu. V případě kovového zálisku se jedná o ohýbání do tvaru 'U'. Schéma způsobu výroby je znázorněno na obrázku 8. Materiál je vložen do nástroje, kde spodní část tvoří ohybnice a vrchní ohybník. Plech je postupným stlačováním ohybníku do ohybnice ohýbán pod požadovaným úhlem. K trvalé změně tvaru u materiálu dochází, když je překročena jeho mez kluzu a nastává plastická deformace. Tuto technologii lze použít pro kusovou i sériovou výrobu. Mezi hlavní výhody patří vysoká produktivita, krátké výrobní časy a možnost využití sdružených nástrojů. Vzhledem k těmto faktům je technologie ohýbání nejvhodnější možná varianta. Pomocí ohýbání v nástroji je možné součást vyrobít podstatně rychleji, než u předchozích variant a firma je vybavena potřebnými tvářecími lisu.

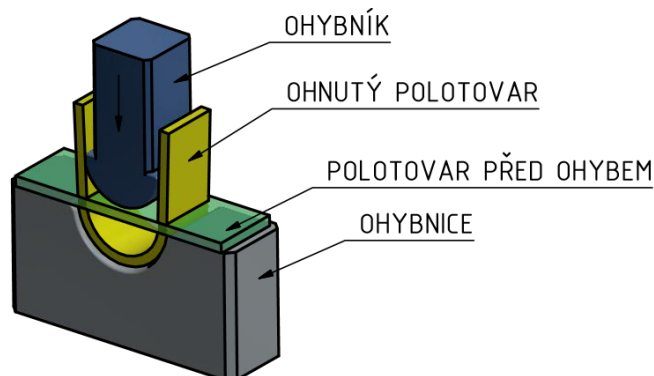


Obr. 8 Schéma technologie ohýbání [18]

Vzhledem k výše uvedeným faktům byla zvolena technologie ohýbání v konvenčním nástroji, která splňuje veškeré požadavky na výrobu součásti a následující teorie se bude zaměřena na tento způsob výroby.

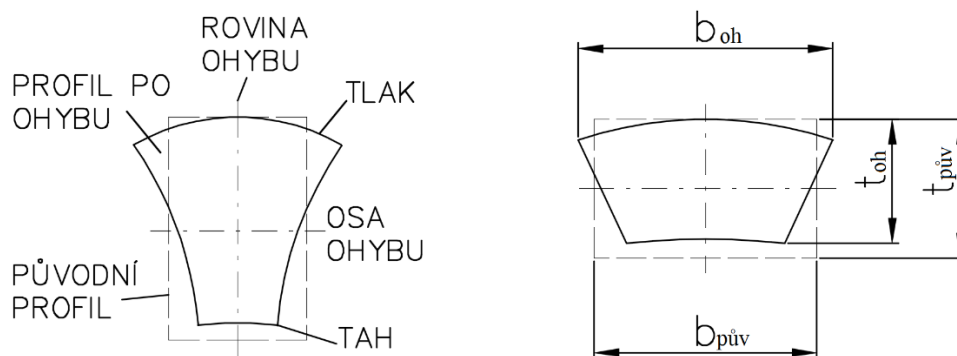
2 TECHNOLOGIE OHÝBÁNÍ [3], [8], [11], [15], [18], [19], [27], [31]

Ohýbání se řadí mezi technologie plošného tváření, při kterém je materiál trvale tvarován. Jednoduchý princip ohybu, včetně základních částí nástroje, lze vidět na obrázku 9. Spodní pevná část je tvořena ohybnicí a vrchní pohyblivá část ohybníkem. Ten postupným stlačováním tvaruje vložený plech pod různými úhly s větším nebo menším zaoblením hran. Ve tvářeném plechu dochází ke vzniku pružných a plastických deformací, které jsou vyvolány působením momentů vnějších sil. V případě pružné deformace se materiál vrátí do původního tvaru, ale dojde-li k překročení meze kluzu, mění se tato deformace na plastickou, u které k vrácení do původního tvaru nedochází.

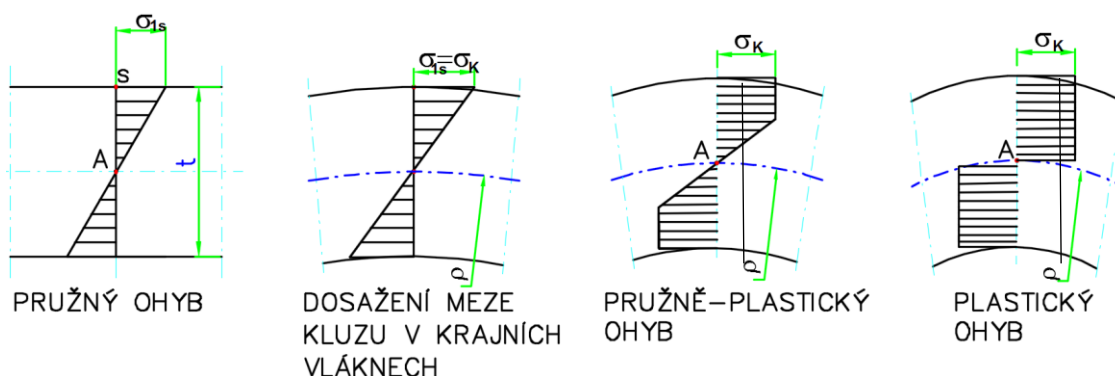


Obr. 9 Princip ohybu tvaru U [27], [3]

Charakteristickým rysem pro ohyb je intenzivní přetvoření a změna velikosti napětí. Toto přetvoření zasahuje poměrně malý objem součásti a s větší výškou průřezu roste. Obrázek 10 popisuje deformaci průřezu po ohybu. Je zde patrné, že ohyb je na vnitřní straně stlačován, a na vnější straně roztahován.



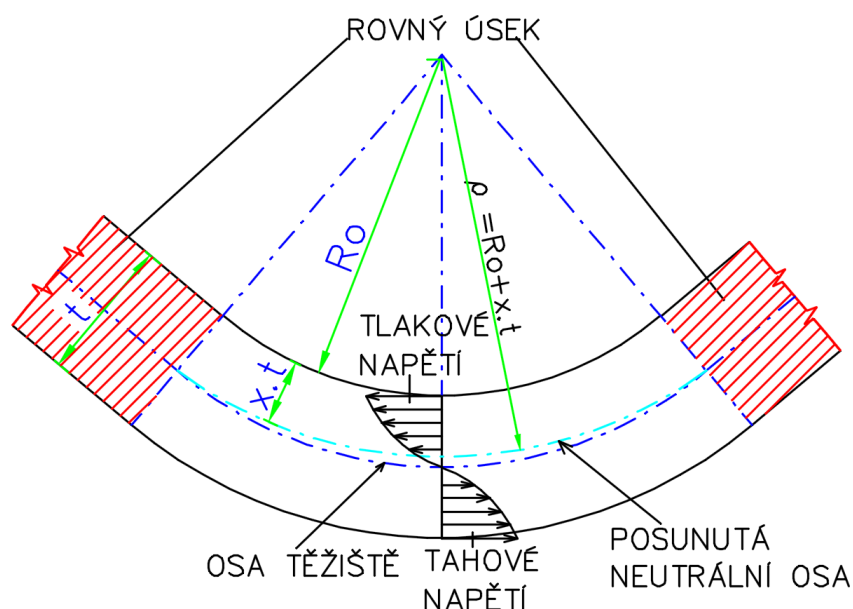
Obr. 10 Deformace průřezu po ohybu [27]



Obr. 11 Průběh napětí v jednotlivých fázích ohybu [15]

Ke změně velikosti napětí dochází především v krajních vláknech materiálu. Z obrázku 11, který popisuje velikost napětí v jednotlivých fázích ohybu, je patrné, že s rostoucím ohybem roste velikost napětí v krajních vláknech. Na vnější straně ohybu působí tahové a na vnitřní tlakové napětí. Kolem střední části průřezu je jeho velikost malá a dosahuje hodnot nižších, než je mez kluzu materiálu.

Ve střední části průřezu polotovaru se nachází neutrální osa, která tvoří přechod mezi vnější a vnitřní částí průřezu a nedochází u ní k deformaci a napětí. Při ohybu se neprodlužuje a ani nezkracuje, pouze se posouvá k vnitřní straně ohybu. U velkých poloměrů ($R_o \geq 12 \cdot t$) je předpoklad, že se neutrální osa bude nacházet uprostřed tloušťky materiálu. Její poloha je důležitá především pro stanovení rozměrů výchozího polotovaru. Obrázek 12 znázorňuje rozložení tahového a tlakového napětí a posun neutrální osy.



R_o = poloměr ohybu,
 t = tloušťka materiálu,
 ρ = poloměr neutrální osy,
 x = velikost posunutí neutrální osy.

Obr. 12 Napětí a posun neutrální osy při ohybu [8]

Výpočet poloměru neutrální osy se lze určit podle různých kritérií (velikost ohybu, šířka plechu). V případě kovového zálisku se jedná o ohýbání s velkým poloměrem zaoblení a širokých pásů plechu. Vztahy pro výpočet jsou:

a) ohýbání s velkým poloměrem zaoblení $R_o \geq 12 \cdot t$:

$$\rho = R_o + \frac{t}{2} \quad [\text{mm}], \quad (2.1)$$

kde: ρ = poloměr neutrální osy [mm],

R_o = poloměr ohybu [mm],

t = tloušťka plechu [mm].

b) ohýbání širokých pásů plechu, kde $b > 3 \cdot t$ (určuje se pomocí součinitele x):

$$\rho = R_o + x \cdot t \quad [\text{mm}], \quad (2.2)$$

kde: x = součinitel posunutí neutrální osy [-].

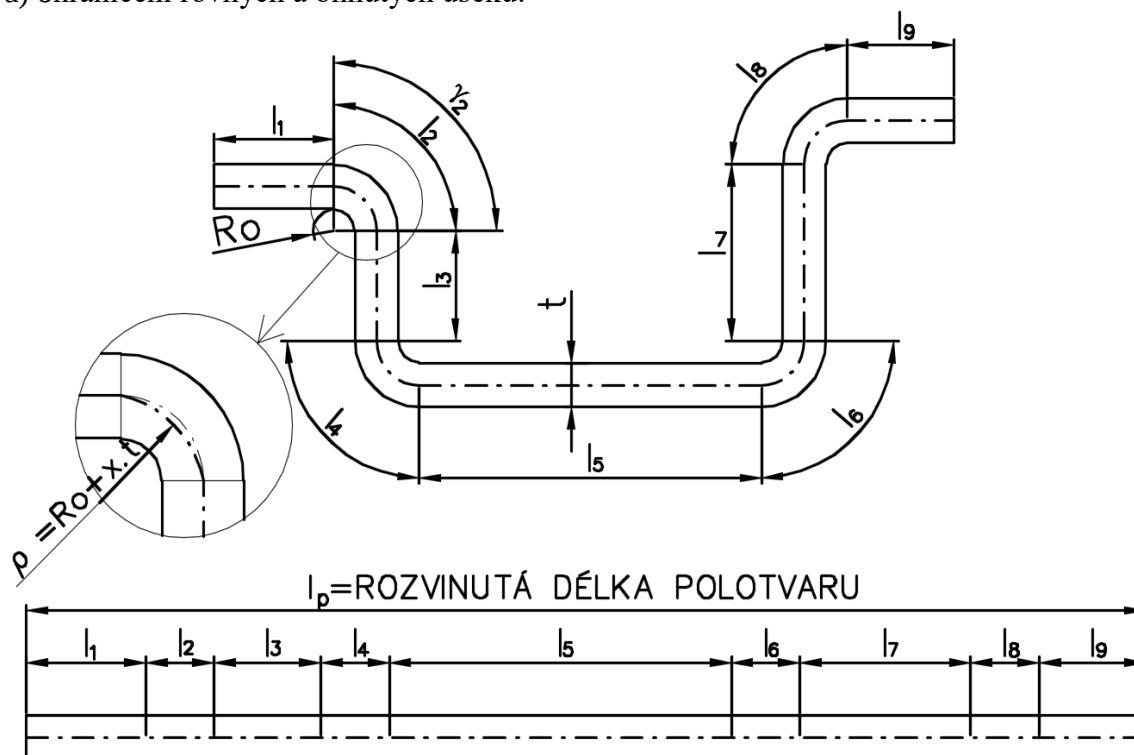
Tab. 2 Hodnoty součinitele x [27]

$\frac{R_o}{t}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,5	2	3	4	nad 5
x	0,35	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,50

2.1 Rozvinutá délka polotovaru [8], [18], [27]

Mezi základní technologické parametry patří stanovení délky výchozího polotovaru. Pro výpočet tohoto rozměru se vychází z délky neutrální vrstvy, která se při ohýbání materiálu nemění. Hotový výlisek je nutné rozdělit na rovné úseky a úseky ohýbané, které se musejí vypočítat. Princip rozdělení polotovaru je zobrazeno na obrázku 13. Při výpočtu délky polotovaru je nutné nejprve určit poloměr neutrální vrstvy dle vztahu (2.1), nebo (2.2). Postup určení délky polotovaru je následující:

a) ohraničení rovných a ohnutých úseků:



Obr. 13 Rozvinutá délka polotovaru

b) výpočet délky neutrální osy v uhnutém úseku l_n :

$$l_n = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \gamma \cdot (R_o + x \cdot t) \quad [\text{mm}], \quad (2.3)$$

kde: γ = úhel ohnutého úseku ($\gamma = 180 - \alpha$) $[\circ]$,

R_o = poloměr ohybu [mm],

x = součinitel posunutí neutrální osy [-].

c) součet jednotlivých délek polotovaru l_p :

$$l_p = \sum_{i=1}^n l_n + \sum_{j=1}^g l_j \quad [\text{mm}], \quad (2.4)$$

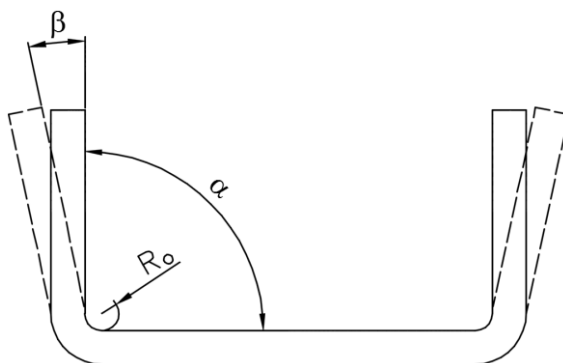
kde: l_j = velikost délky j-tého rovného úseku [mm],

g = počet rovných úseků,

n = počet ohnutých úseků.

2.2 Odpružení a poloměr ohybu [3], [8], [15], [19], [27], [26]

Odpružení je proces, který nastává u materiálu po ukončení působících vnějších sil na deformované těleso. Materiál má snahu se vrátit do původního tvaru a to o úhel odpružení β (obr. 14). Odpružení vzniká vlivem pružné deformace kolem neutrální osy. Velikost zpětného odpružení roste s délkou ohýbaného ramene. Je závislé především na druhu a mechanických vlastnostech materiálu (jeho tvárnost), tloušťce polotovaru, poloměru a velikosti úhlu ohybu a způsobu ohýbání. Velký vliv na odpružení má především zbytkové pnutí v součásti. Nastává po skončení ohýbání, kde narůstá opačné napětí, než které vzniká během operace. Vrstvy materiálu, které jsou již trvale deformovány, brání vrstvám pružně deformovaným, aby se vrátili zpět na původní délku. Jednotlivé způsoby, jak lze stanovit velikost odpružení:



Obr. 14 Odpružení při ohýbání [27]

a) určení velikosti odpružení pomocí výpočtu:

$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \rightarrow \beta \quad [^\circ], \quad (2.5)$$

kde: β = úhel odpružení $[^\circ]$,

l_m = rameno ohybu [mm],

$l_m = r_m + r_p + 1,2 \cdot t$ (obr. 15),

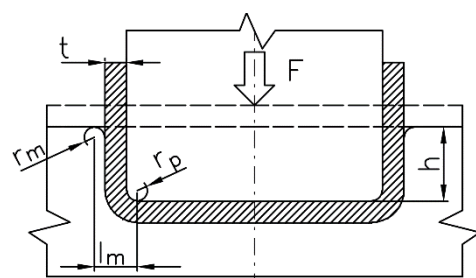
E = modul pružnosti v tahu [MPa],

R_e = mez kluzu [MPa],

r_m = poloměr ohybnice [mm],

r_p = poloměr ohybníku [mm],

k = součinitel ohybu [-].



Obr. 15 Schéma ohybu tvaru U pro výpočet odpružení [8]

Tab. 3 Hodnoty součinitele k [19]

$\frac{R_o}{t}$	0,1	0,25	0,35	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20
k	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

b) stanovení odpružení pomocí diagramu (příloha 1) a výpočtu součinitele k ze vztahu:

$$k = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{r_1 + 0,5 \cdot t}{r_2 + 0,5 \cdot t} \quad [-], \quad (2.6)$$

kde: r_1, α_1 = poloměr a úhel ohýbacího nástroje,

r_2, α_2 = konečný poloměr a úhel na výlisku.

c) velikost úhlu odpružení je možné stanovit z tabulky v příloze 2, kde jsou pro vybrané materiály předem definované velikosti úhlu odpružení.

Snížení nebo úplnou eliminaci odpružení lze dosáhnout tím, že:

- materiál se ohne více o hodnotu odpružení β (určí se pomocí vzorců, nebo z tabulek)
- použije se prolisů na výlisku = odpružení se odstraní úplně (např.: zaoblení dolní strany pohyblivé čelisti a přidržovače, podbroušení pohyblivé čelisti o úhel β , zpevnění materiálu v rozích rázem, vytlisování vyztužovacího žebra v místě ohybu, postupné ohýbání s odlehčením pevné čelisti o tloušťku materiálu a zpevnění materiálu deformačním poloměrem v pevných čelistech)
- použití kalibrace $\rightarrow$ zvětšení lisovací síly na konci lisovacího cyklu

Odpružení s kalibrací je závislé nejen na mechanických vlastnostech materiálu, ale také na velikosti tlaku, který vzniká na konci stlačení plechu, na toleranci ohýbaného materiálu, na vůli mezi funkčními částmi ohýbadla, na seřízení lisu apod.

Dalším kritériem je určení poloměru ohybu, který je nutný při výrobě dodržet. Lze ho rozdělit na minimální a maximální poloměr ohybu.

- a) Minimální poloměr ohybu je hodnota, při níž ještě nedojde k porušení vnějšího krajního vlákna u ohýbaného materiálu. Tahové napětí nepřekročí mez pevnosti. Jestliže dojde k překročení meze pevnosti, nastane porušení na vnější tahové straně ohybu a vznikne trhlinka. Příklad porušení při ohybu je znázorněn na obrázku 16. Hodnota poloměru je limitována tvárností (tažností) materiálu a je závislá na směru ohybu vůči směru vláken v polotovaru, kdy je vhodnější provádět ohyb napříč směru vláken v polotovaru, dále na druhu a tloušťce materiálu, způsobu ohýbání a kvalitě povrchu. Jestliže je ohýbaný materiál málo plastický, dochází u něj k častějšímu vzniku trhlin díky intenzivnímu deformačnímu zpevnění, proto je výhodnější tento druh materiálu vhodně tepelně zpracovat. Výpočet minimálního poloměru ohybu:

$$R_{\min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_0} - 1 \right) = c \cdot t \quad [\text{mm}], \quad (2.7)$$

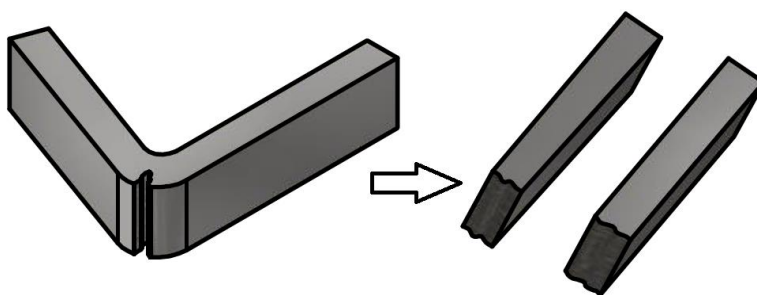
kde: c = koeficient, pro měkkou ocel = $0,5 \div 0,6$ [-],

ε_0 = mezní prodloužení krajního vlákna [mm],

$$\varepsilon_0 = \frac{t}{2 \cdot R_{\min} + t} \quad [\text{mm}]. \quad (2.8)$$

Tab. 4 Příklady minimálních hodnot poloměrů [26]

Materiál	žíhaný		zpevněný	
	Poloha os ohybu ke směru vláken			
	napříč	podél	napříč	podél
Hliník	0	0,2·t	0,3·t	0,8·t
Měď			1,0·t	2,0·t
Mosaz			0,4·t	0,8·t
Ocel	0÷0,7·t	0,2÷1,3·t	0,2÷1,3·t	0,5÷2,0·t



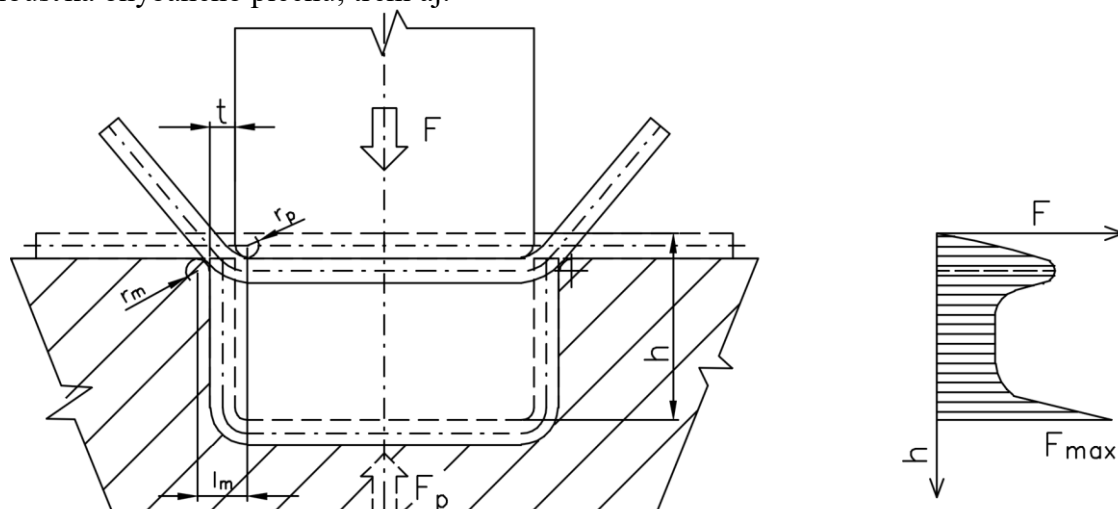
Obr. 16 Příklad nedodržení minimálního poloměru ohybu

- b) U maximálního poloměru ohybu je materiál ohnut jen pružně. Poloměr je dán nutnou existencí trvalé deformace, která vzniká v ohýbaném průřezu. U velkých poloměrů ohybu už nezáleží na směru vláken. V případě výskytu pouze elastické deformace se polotovár vrátí do původního tvaru. Výpočet maximálního poloměru je dán vztahem:

$$R_{\max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad [\text{mm}] \quad (2.9)$$

2.3 Síla a práce [3], [15], [17], [19], [27]

Pro volbu vhodného tvářecího stroje a správnou konstrukci nástroje je nutné spočítat velikost potřebné síly a práce a to pro ohyb tvaru 'U', který probíhá současně ve dvou průřezích. Faktory ovlivňující velikost těchto dvou veličin jsou například mez kluzu materiálu ' R_e ', šířka a tloušťka ohýbaného plechu, tření aj.



Obr. 17 Ohýbání a ohybová síla do tvaru U [27]

Výpočet velikosti ohybové síly:

$$F_o = (1 + 7 \cdot \mu) \cdot \frac{b_p \cdot t^2 \cdot R_e}{r_p + t} \quad [\text{N}], \quad (2.10)$$

kde: μ = součinitel tření, pro ocel = 0,15 [-] dle [17],
 b_p = šířka polotovaru [mm].

Při ohýbání s kalibrací je nutné k ohybové síle přičíst sílu kalibrační ' F_K ', které má velikost přibližně $F_K = (2,0 \div 2,5) \cdot F_o$, výsledná ohybová síla bude rovna:

$$F_{co} = F_o + F_K \quad [\text{N}] \quad (2.11)$$

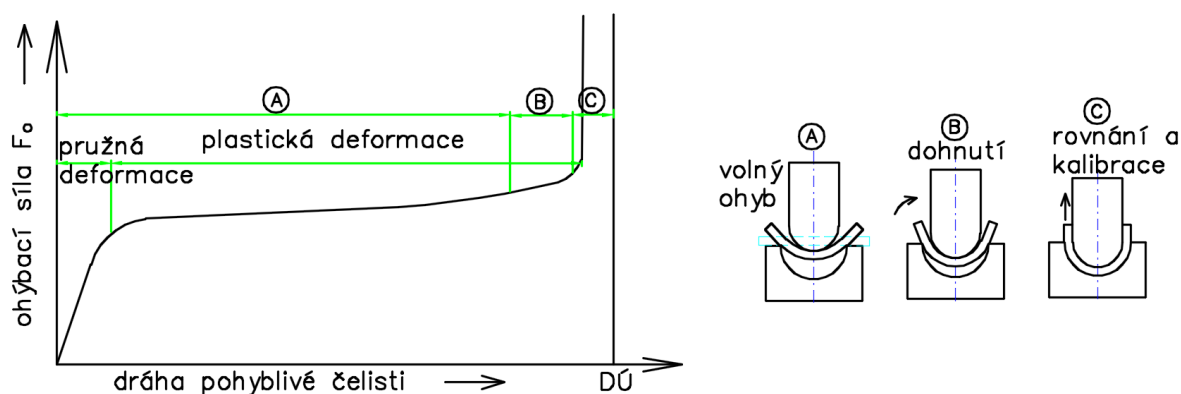
Při výpočtu ohybové práce je nutné zohlednit, zda je použit přidržovač. Vztah pro výpočet ohybové síly bez přidržovače má tvar:

$$A_o = F_o \cdot h \cdot \psi \quad [\text{J}], \quad (2.12)$$

kde: h = výška zdvihu ohybníku [mm],
 ψ = součinitel zaplnění pracovního diagramu (0,5 ÷ 0,65) [-].

U výpočtu práce s kalibrací se k ohybové síle přičítá síla kalibrační, výsledný vztah je roven:

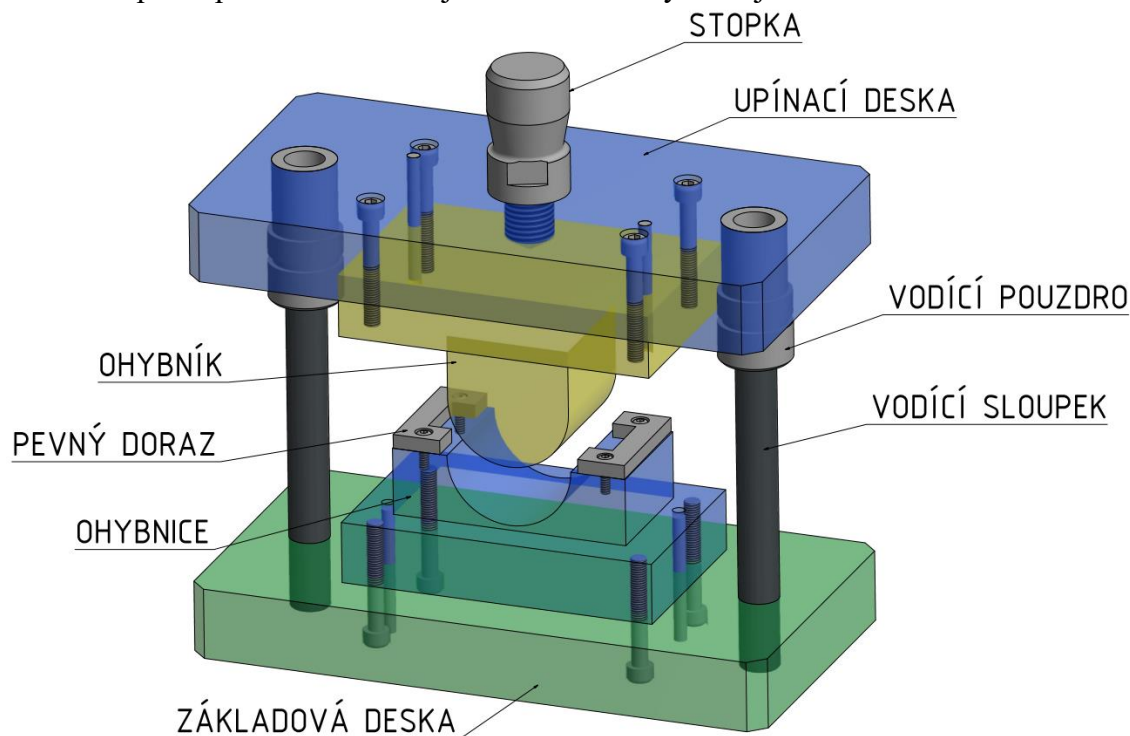
$$A_{co} = (F_o + F_K) \cdot h \cdot \psi \quad [\text{J}] \quad (2.13)$$



Obr. 18 Ohybová síla s kalibrací [22], [27]

2.4 Nástroje [13], [18], [19], [27]

Nástroj pro ohýbání je nazýván ohýbadlo a jeho jednotlivé části jsou konstruovány podle složitosti ohýbané součástky, co se týče rozměrové přesnosti, náročnosti jednotlivých ohybů, dodržení jakosti povrchu vylisku aj. Také je důležitá velikost série vyráběné součástky. Pro malé výrobní série a jednoduché ohyby postačí univerzální nebo jednoduše konstruovaná ohýbadla. Ale jedná-li se o velkosériovou výrobu složitých tvarů, je zapotřebí vytvořit speciálně sestavené nástroje, nebo použít postupový nástroj. Pro zvýšení přesnosti ohybu se využívá vodících sloupků a pouzder. Schéma jednoduchého ohýbadla je znázorněno na obrázku 19.



Obr. 19 Schéma jednoduchého ohýbadla [18], [19]

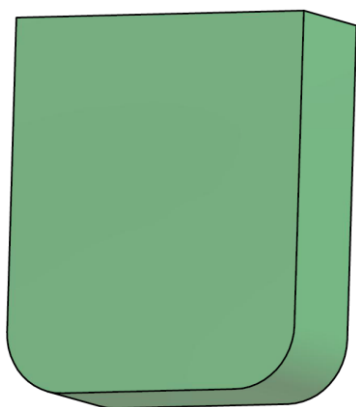
Spodní část ohýbadla je tvořena základovou deskou, která slouží k uchycení nástroje ke stolu tvářecího stroje. K desce jsou připevněny vodící sloupky, které slouží k přesnému sjíždění horní části nástroje do spodní. Dále je k desce upevněna ohybnice a to pomocí kolíků a šroubů s válcovou hlavou, které je možné zapustit. Pro přesné zakládání polotovaru do nástroje se používají dorazy, které mohou být s tvarovou příložkou, kolíkové, nebo zafrézované do pevné čelisti. Většinou jsou voleny z pevnějšího materiálu, který bývá tepelně upravován, aby nedocházelo k jejich častému opotřebení.

Horní část ohýbadla je složena z upínací desky, ve které je připevněna stopka sloužící k upevnění horní části nástroje k beranu tvářecího stroje. Spodní část obsahuje vodící sloupky, ve vrchní jsou umístěny vodící pouzdra, do kterých budou sloupky zajíždět. Hlavní pohyblivou čelist zde tvoří ohybník, který je připevněn k upínací desce také pomocí šroubů a kolíků.

Mezi další součásti nástroje lze zařadit například pružinové vyhazovače, stírače nebo opěrné desky, jejichž funkce spočívá v prodloužení životnosti hlavních funkčních dílů nástroj. Proto je zapotřebí, aby opěrné desky byly vyrobeny z kvalitních materiálů s vysokou mezí pevnosti.

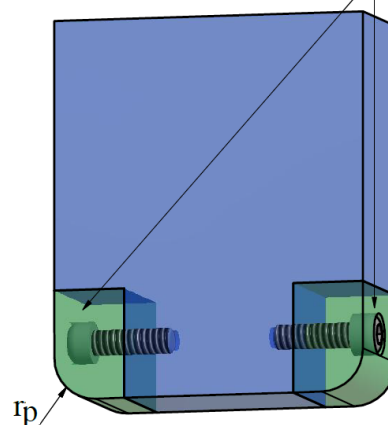
2.4.1 Ohybníky [13], [18], [19]

Ohybníky tvoří hlavní část pohyblivé ohýbací čelisti nástroje, mohou být dvojího druhu a to celistvé (obr. 20), nebo vložkované (obr. 21). Jejich šířka musí být minimálně taková, jako je šířka ohýbaného polotovaru. Hrany čelistí jsou kaleny a leštěny, aby nedošlo namáháním k jejich deformacím. Poloměr zaoblení r_p bývá stejný, jako poloměr ohybu na ohýbané součásti. Jelikož jsou ty části nástroje nejvíce namáhány a častá výměna by byla finančně náročná, používají se kalené vložky nebo vložky ze slinutých karbidů. Materiál funkčních částí tvoří legované nástrojové oceli pro práci za studena, což je například ocel 19 436 nebo 19 312. Tyto oceli jsou kalené a popuštěné (přibližně na HRC 58÷61) a je nutné, aby byli více houževnaté. Drsnost povrchu činných ploch je v rozmezí $R_a = 0,4 \div 0,8 \mu\text{m}$.



Obr. 20 Celistvý ohybník

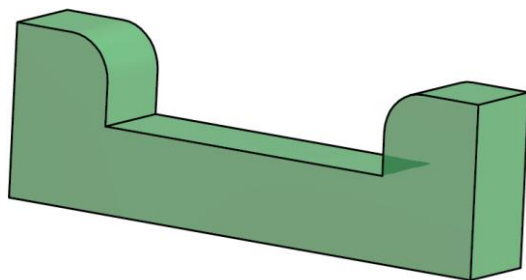
FUNKČNÍ ČÁSTI OHYBNÍKU (VLOŽKY)



Obr. 21 Funkční části ohybníku

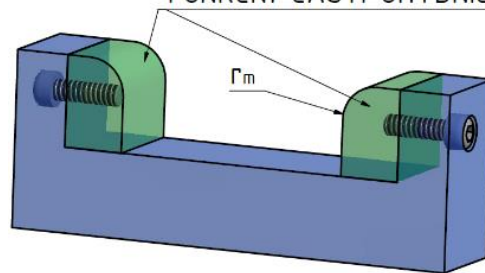
2.4.2 Ohybnice [13], [18], [19]

Ohybnice je pevná ohýbací čelist. Může být celistvá (obr. 22), nebo vložkovaná (obr. 23). V případě vložkovaných ohybnic je objímka z levnější konstrukční oceli a činné vložky z nástrojové oceli. Tyto různé materiálu se užívají, jelikož není potřeba, aby méně namáhané části čelisti byly vyrobeny z pevnější a dražší oceli. Poloměr zaoblení r_m je ovlivněn velikostí ohýbací síly a jakostí ohybu. Jeho hodnota se pohybuje v rozmezí $(2 \div 6) \cdot t$. Velikost zaoblení a hloubka pevné čelisti jsou voleny podle tloušťky materiálu a délky ohýbaného ramena součásti. Materiály u těchto ohýbacích čelistí jsou stejné, jako materiály u ohybníků. Je vhodné, aby pevná čelist měla větší pevnost, než pohyblivá, jelikož výroba nového ohybníku je snazší, než výroba nové ohybnice. Funkční plochy bývají ve stejném rozsahu, jako u pohyblivých ohýbacích čelistí nástroje a to $R_a = 0,4 \div 0,8 \mu\text{m}$.



Obr. 22 Celistvá ohybnice

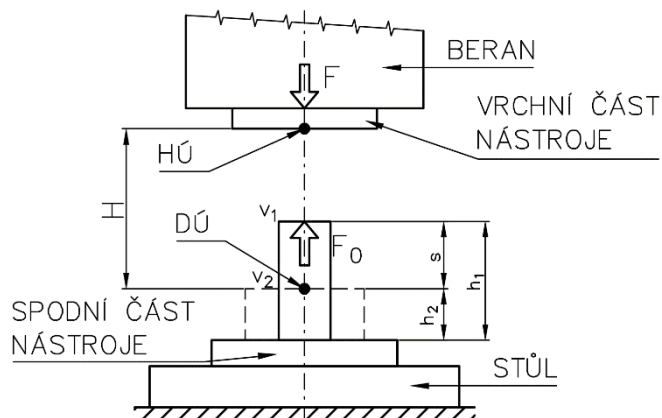
FUNKČNÍ ČÁSTI OHYBNICE (VLOŽKY)



Obr. 23 Funkční části ohybnice

2.5 Stroje [5], [16], [20], [22]

Tvářecí stroje lze rozdělit podle druhu pohybu nástroje, který je uchycen mezi beran a stůl. Tímto způsobem jsou děleny na stroje s přímočarým pohybem nástroje a stroje s rotačním nebo obecným pohybem nástroje. Nejběžnější jsou stroje s přímočarým pohybem a jejich základní uspořádání lze vidět na obrázku 23. Princip činnosti spočívá v přímočarém vratném pohybu beranu mezi horní (HÚ) a dolní úvratí (DÚ). Tvářený materiál je vložen mezi jednotlivé díly nástroje, kde vrchní část je upevněna k beranu a spodní část ke stolu. V počáteční poloze má beran nulovou rychlost. V okamžik dotyku s tvářeným materiálem určitou rychlostí v_n , překonává síla 'F' na beranu sílu 'F₀' a způsobuje plastickou deformaci tělesa. Pohyb beranu končí s nulovou rychlostí v dolní úvratí nástroje.



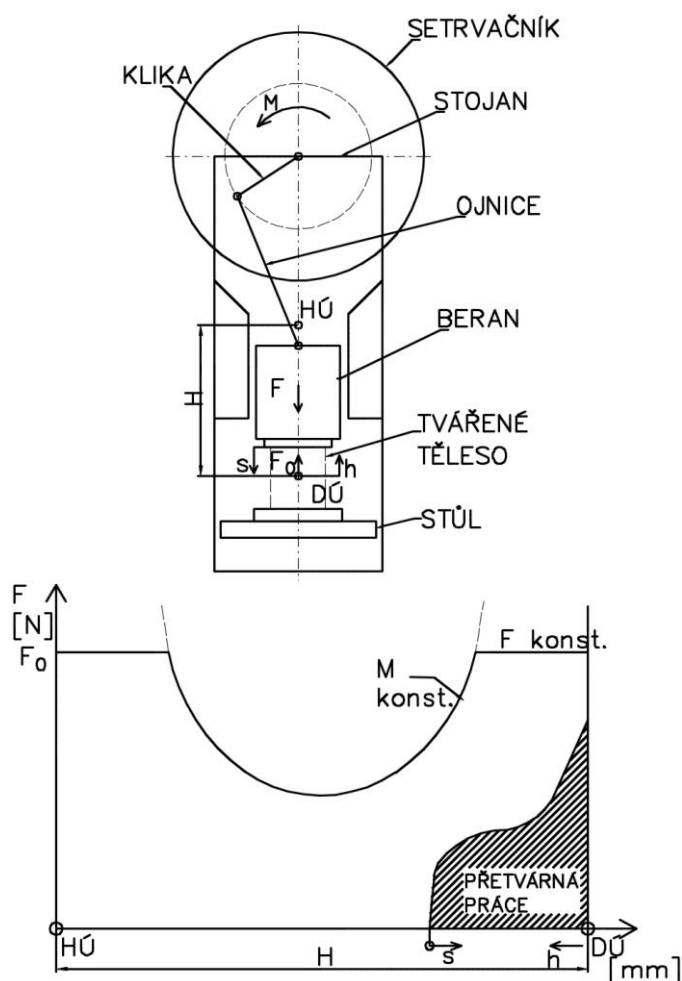
Obr. 24 Uspořádání tvářecího stroje [22]

Dále je možné tvářecí stroje rozdělit podle formy využití energie.

Existují tři skupiny a to tvářecí stroje silové, energetické a zdvihové. U silových se využívá převážně potenciální energie a hlavní představitel tvoří hydraulický lis, u kterého je síla 'F' konstantní a je nezávislá na dráze beranu 'h'. Energetické stroje využívají druhý typ energie a to energii kinetickou (energie volného pádu). Poslední typ jsou zdvihové stroje, které využívají oba druhy energie (kinetickou a potenciální). Hlavní představitel této skupiny tvoří klikový lis, u kterého je rychlost a síla na beranu funkcí dráhy.

Mechanismy, které tyto energie přenášejí, dělí stroje do určitých skupin a to na mechanické, hydraulické, pneumatické, parní a kombinované.

- Mechanické lisy jsou nejpočastěji stroje pro tvářecí operace. Nejčastější typy jsou klikové, výstředníkové, kolenové, kloubové. Mezi výhody těchto strojů patří jejich poměrná jednoduchost a vysoká výrobnost. Nevýhodami z technologického hlediska jsou například, že maximální sílu je možné odebrat až těsně před dolní úvratí, dále obtížné tvářením velkou silou po delší dráze, hrozí nebezpečí přetížení stroje a nevýhodné průběhy rychlosti. Celkový průběh síly musí být vždy pod křivkou dle obrázku 25. Aby nedocházelo k porušení strojů při přetížení, využívají se různé pojistky. Pro zpracování plechů jsou nejvhodnější výstředníkové lisy, lze je však používat i pro protlačování,

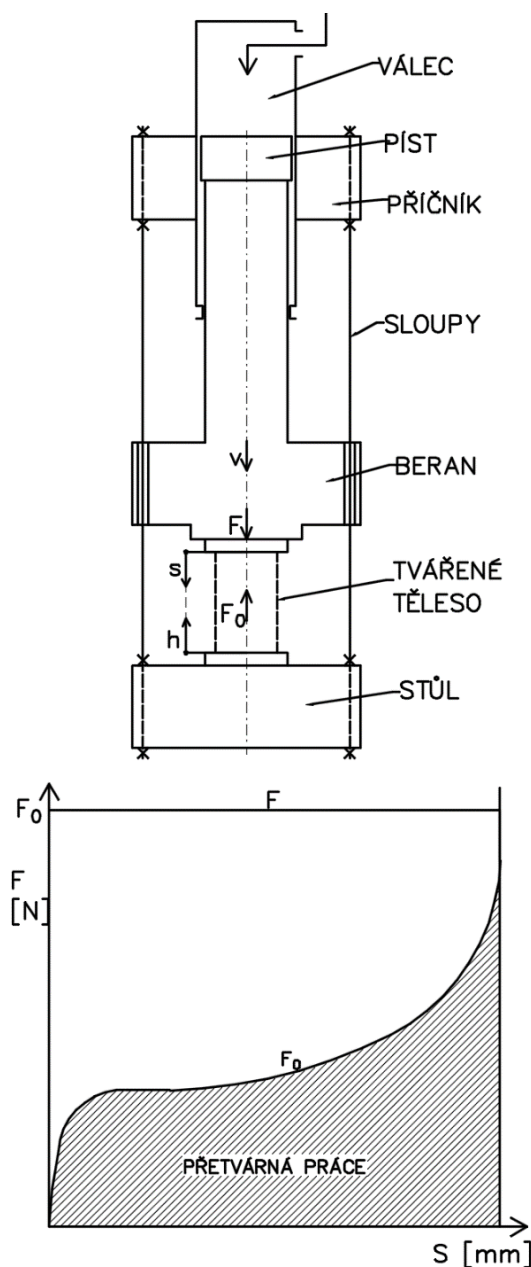


Obr. 25 Schéma výstředníkového lisu [16]

ostřihování výkovků, nebo ražení. Lis má otevřený stojan, pohon je prostřednictvím elektromotoru, který roztáčí setrvačnik, v němž se akumuluje energie. Výhodou výstředníkových mechanismů je, že umožňují změnit velikost zdvihu beranu. Schéma výstředníkového lisu včetně přetvárné práce lze vidět na obrázku 25.

- Hydraulické lisy pracují na základě rovnoměrného šíření tlaku všemi směry. Schéma takového lisu je zobrazeno na obrázku 26. V porovnání s mechanickými lisy mají hydraulické lisy možnost plynule regulovat rychlost, odebrat maximální sílu v libovolném zdvihu, docílit konstantního tlaku a konstantní rychlosti beranu. Další výhodou stroje je mechanizace a automatizace pracovního cyklu a pomocných operací, a také libovolné nastavování velikost pracovního zdvihu z celkového zdvihu beranu. Lis nelze přetížit, tudíž nepotřebuje žádné pojistky. Velkou výhodou je i jednoduchost obsluhy těchto strojů a regulovaná rychlost beranu v rozmezí $0 \div 0,25$ m/s. Mezi nevýhody těchto lisů, oproti mechanickým lisům, patří větší složitost konstrukce pohonu, nižší výkon spojený s menší produktivitou, pomalejší chod beranu, složitější údržba a tudíž i horší zjišťování poruch. Jsou vhodné pro hluboké tažení a lisování kovových prášků. Podle uložení hydromotoru lze tyto stroje rozdělit na svislé, vodorovné a kombinované stroje. Konstrukce lisů bývá například stojanová, rámová, sloupová a skříňová. Mechanizmy lisů jsou s přímým, nepřímým a kombinovaným pohonem.

U volby vhodného tvářecího stroje je nutné zohlednit tvářecí sílu potřebnou pro vyhotovení dané součásti, počet vyráběných kusů, ekonomické hledisko a rozměry součástky.

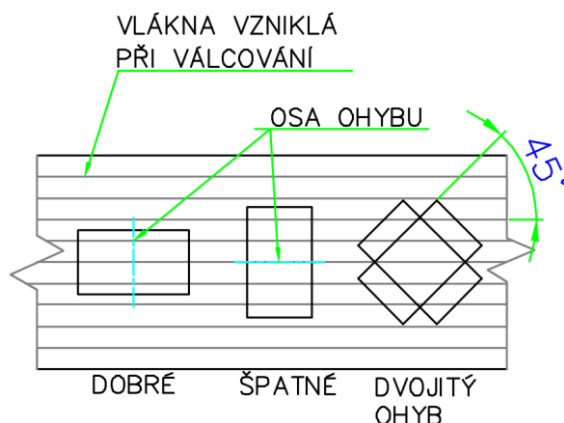


Obr. 26 Schéma hydraulického lisu [16]

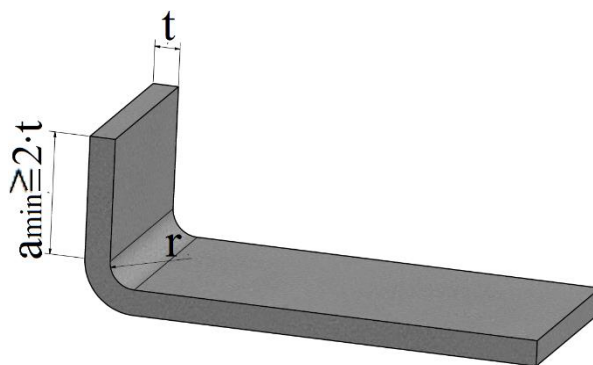
2.6 Technologičnost [8], [15], [26]

Při návrhu nástroje na ohýbání je nutné dodržovat zásady technologičnosti výroby. Tyto zásady jsou závislé především na tvárnosti materiálu. Dále je důležité respektovat nedokonalosti tvářecího procesu. Nedokonalostmi je myšleno například nepřesnost úhlu ohybu, zpevnění materiálu, deformace průřezu v místě ohybu aj. Mezi obecné zásady pro dodržení kvality výrobku patří:

- Poloměr ohybu volit malý, pokud je to možné, aby se zmenšilo odpružení (při respektování minimálního poloměru ohybu), ale také volit velký poloměr, aby nedošlo ke vzniku trhlin nebo ztenčení materiálu,
- směr osy ohybu by měl být kolmo na směr vláken vzniklých při válcování (obr. 27),
- upřednostnit ohýbání s kalibrací oproti volnému ohybu
- vhodná úprava funkčních částí ohýbadla, aby nedocházelo k posunutí místa ohybu při ohýbání součásti,
- vzdálenost místa ohybu od kraje materiálu by měla být tím větší, čím tvrdší je materiál,
- toleranci výlisku pod hranici nezmenšovat, pokud je možné ji dosáhnout běžným způsobem,
- kolmost okrajů polotvaru v oblasti ohybu k čáře ohybu, aby nedocházelo ke změně poloměru ohybu,
- pro eliminaci natržení okraje a nepravidelnosti ohybu uvolnit místo ohybu od neohýbaných částí materiálu,
- fixovat materiál, aby nevznikalo riziko posunu materiálu při ohybu (u krátkých nebo nestejně dlouhých částí),
- neumísťovat ohyb na okraj součásti, rameno ohybu musí být dostatečně dlouhé, tudíž nejmenší délka ramene (obr. 28) má velikost $a_{\min} \geq 2 \cdot t$. Jestliže by byl požadavek na menší vzdálenost ramene, muselo by se rameno nejdříve ohnout a poté přebytečný materiál odštípnout,
- při použití velkých poloměrů ohybu jsou výlisky málo tuhé a je vhodnější vyztužení pomocí žeber,
- doporučená velikost ztenčení materiálu, ke kterému vždy dochází v oblasti ohybu je 20 %,
- není vhodné uzavírat součást vícenásobnými ohyby, aby na ohybnici nedocházelo k problémům s vyjímáním a zakládáním součásti,
- netolerované rozměry nechat všude, kde to neovlivní funkčnost součásti.



Obr. 27 Umístění osy ohybu [26]

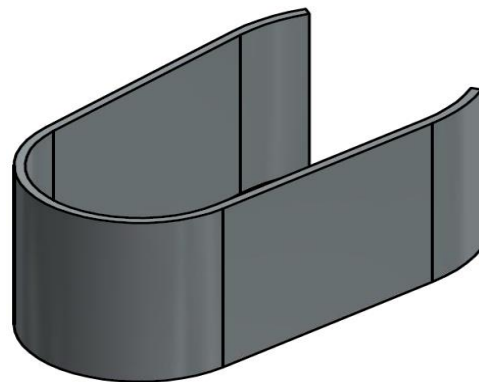


Obr. 28 Nejmenší délka ramene [26]

3 NÁVRH VÝROBY

Vyráběnou součástkou je kovový zálisek o tloušťce 2 mm. Pro výrobu byla jako nejvhodnější technologie zvoleno ohýbání do tvaru 'U'. Roční série činí 160 000 kusů za rok. Materiálem je konstrukční ocel s jemnou strukturou S 315 MC. Výchozím polotovarem bude tabule plechu, nebo svitek. 3D model vyráběné součásti lze vidět na obrázku 29.

Při posouzení technologičnosti ohýbání je nutné dodržet minimální délku ohýbaného ramene, kde $a_{\min} \geq 2 \cdot t$. Uvedené podmínce při tloušťce materiálu 2 mm vyhovují všechny ohyby součásti. Po uvážení zbylých technologických požadavků zálisek splňuje veškerá kritéria výroby.



Obr. 29 3D model zálisku

3.1 Rozvinutá délka polotovaru

Při určení rozvinuté délky polotovaru se vychází z délky neutrální osy, která se při ohýbání nemění, pouze může dojít k jejímu posunu v místě ohybu.

Výpočet poloměru neutrální osy dle vztahu (2.2):

- o pro poloměr ohybu 30 mm

$$\rho_1 = R_{01} + x \cdot t = 30 + 0,5 \cdot 2,$$

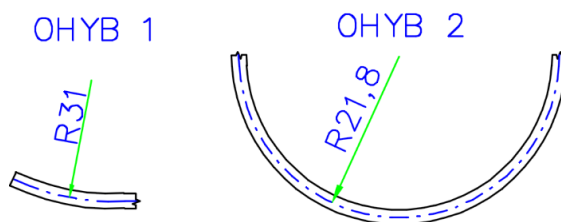
kde: $x = 0,5$ (dle tab. 2).

$$\rho_1 = 31 \text{ mm}$$

- o pro poloměr ohybu 20,8 mm

$$\rho_2 = R_{02} + x \cdot t = 20,8 + 0,5 \cdot 2$$

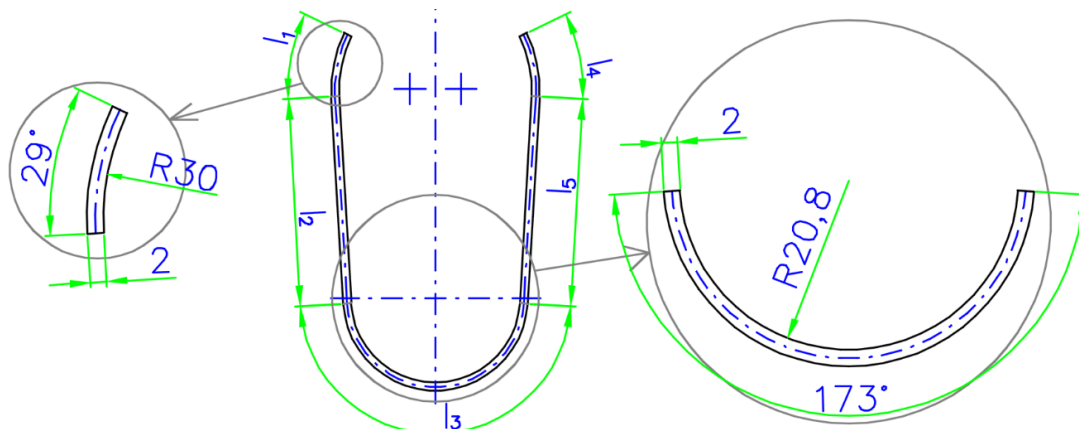
$$\rho_2 = 21,8 \text{ mm}$$



Obr. 30 Poloha neutrální osy

Obě vypočtené hodnoty ukazují, že při ohýbání nedochází k posunu neutrální osy v místech ohybu, jak lze vidět na obrázku 30. Poloha neutrální osy je po celé délce ve středu průřezu součásti.

Při stanovení rozvinuté délky polotovaru je potřeba rozdělit součást na rovné a ohnuté úseky dle obrázku 31.



Obr. 31 Rozdělení součástky na úseky

- o rovné úseky: l_2, l_5
- o ohnuté úseky: l_1, l_3, l_4

- Délky rovných úseků:

$$l_2 = l_5 = 51 \text{ mm}$$

- Výpočet délek ohnutých úseků dle vztahu (2.3):

$$l_1 = l_4 = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \gamma_1 \cdot (R_{o1} + x \cdot t) = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot 29^\circ \cdot (30 + 0,5 \cdot 2) = 15,69 \text{ mm},$$

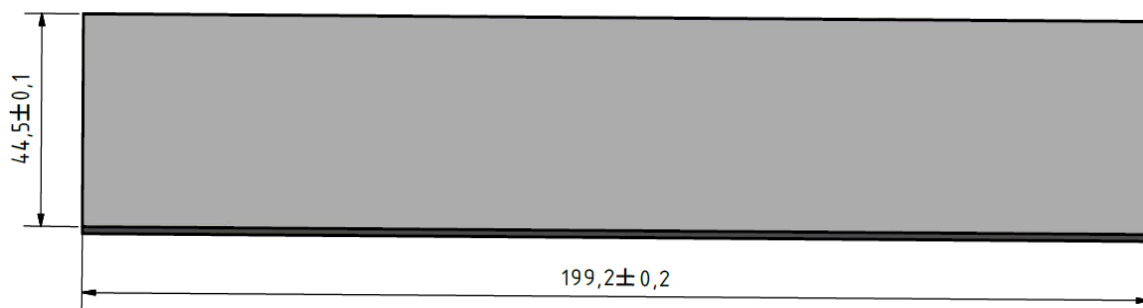
zaokrouhleno na hodnotu 15,7 mm.

$$l_3 = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \gamma_3 \cdot (R_{o3} + x \cdot t) = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot 173^\circ \cdot (20,8 + 0,5 \cdot 2) = 65,82 \text{ mm},$$

zaokrouhleno na hodnotu 65,8 mm.

- Součet délek polotovaru dle vztahu (2.4):

$$l_p = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 + l_5 = 15,7 + 51 + 65,8 + 15,7 + 51 = 199,2 \text{ mm}$$



Obr. 32 Rozvinutá délka polotovaru

Rozměry rozvinutého polotovaru:

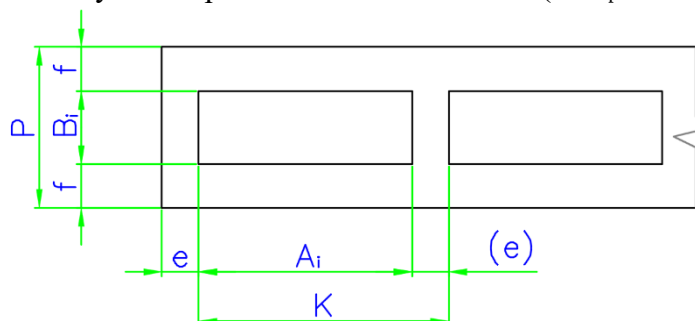
$l_p = 199,2 \pm 0,2 \text{ mm}$ (tolerance $\pm 0,2$ byla zvolena s ohledem na zaokrouhlování při výpočtech)

3.2 Volba polotovaru [1], [34]

Polotovaru potřebný na výrobu kovového zálisku lze získat dvěma způsoby a to buď z tabule plechu, která se následně rozstříhá na potřebné rozměry rozvinuté délky součásti, nebo z navinutého plechu do tvaru svitku. Při použití druhé varianty je navíc nutné plech před operacemi narovnat pomocí vhodných zařízení (odvíjecí, rovnací a podávací).

- Nástřihový plán:

rozměry tabule plechu 2x1000x2000 mm ($t \times b_{\text{plech}} \times l_{\text{plech}}$)



podélné vložení polotovaru dle obrázku 33

e, f zvoleno dle přílohy 4

e = 2,5 mm

f = 3,1 mm

K = krok [mm]

B_i = délka strany výstřižku kolmá na směr zavádění pásu [mm]

P = šířka pásu [mm]

Obr. 33 Rozměry tabule plechu

A_i = délka strany výstřižku rovnoběžná se směrem zavádění pásu [mm]

b_p = šířka polotovaru [mm]

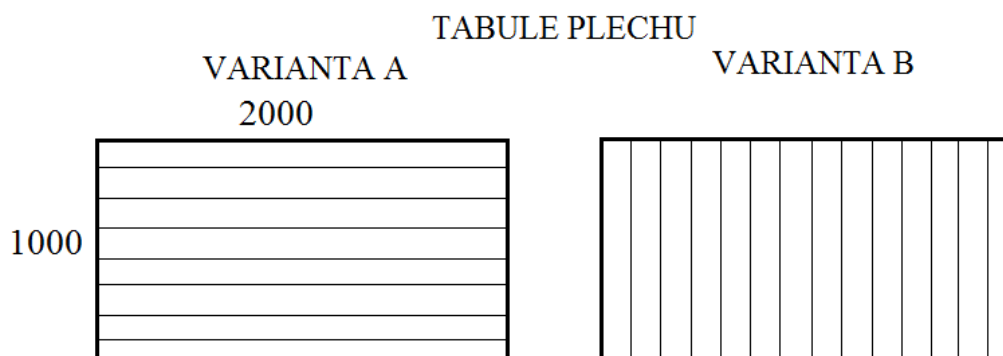
$B_i = b_p = 44,5 \pm 0,1 \text{ mm}$

$A_i = l_p = 199,2 \pm 0,2 \text{ mm}$

$$P = B_i + 2 \cdot f = 44,5 + 2 \cdot 3,1 = 50,7 \text{ mm}$$

$$K = A_i + e = 199,2 + 2,5 = 201,7 \text{ mm}$$

- Tabule plechu pro variantu stříhání A (obr. 34):



Obr. 34 Způsob stříhání tabule plechu

- Výpočet plochy výstřížku:

$$S_{\text{výstř}} = b_p \cdot l_p = 44,5 \cdot 199,2 = 8\,864,4 \text{ mm}^2 \quad (3.1)$$

- Výpočet plochy tabule plechu:

$$S_{\text{plech}} = b_{\text{plech}} \cdot l_{\text{plech}} = 1\,000 \cdot 2\,000 = 2 \cdot 10^6 \text{ mm}^2 \quad (3.2)$$

- Počet nastříhaných pásů z tabule plechu:

$$P_p = \frac{b_{\text{plech}}}{P} = \frac{1\,000}{50,7} = 19,724 \text{ pásů plechu,} \quad (3.3)$$

zaokrouhleno na 19 pásů plechu, jelikož lze vyhotovit pouze celý pás plechu z jedné tabule.

- Počet výstřížků na jeden pás plechu:

$$P_{vp} = \frac{l_{\text{plech}}}{K} = \frac{2\,000}{201,7} = 9,916 \text{ výstřížků,} \quad (3.4)$$

zaokrouhleno na 9 výstřížků, protože je možné vystříhnout pouze celý výstřížek.

- Počet výstřížků z celé tabule plechu:

$$P_{vplech} = P_{vp} \cdot P_p = 9 \cdot 19 = 171 \text{ výstřížků z celé tabule plechu} \quad (3.5)$$

- Počet tabulí plechu pro výrobu 160 000 kusů:

$$P_{ps} = \frac{160\,000}{P_{vplech}} = \frac{160\,000}{171} = 935,673 \text{ tabulí plechu,} \quad (3.6)$$

výsledek je zaokrouhlen na 936 tabulí plechu, jelikož je možné odebírat pouze celé tabule plechu.

- Plocha výstřížků z tabule plechu:

$$S_{vplech} = P_{vplech} \cdot S_{\text{výstř}} = 171 \cdot 8\,864,4 = 1\,515\,812,4 \text{ mm}^2 \quad (3.7)$$

- Procento využití tabule plechu:

$$V_{\text{plech}} = \frac{S_{vplech}}{S_{\text{plech}}} \cdot 100 = \frac{1\,515\,812,4}{2 \cdot 10^6} \cdot 100 = 75,79 \% \quad (3.8)$$

Pro další počítání jednotlivých využití tabulí plechu, podle velikosti tabule plechu a podle směru stříhání pásů plechu, je níže vytvořena tabulka:

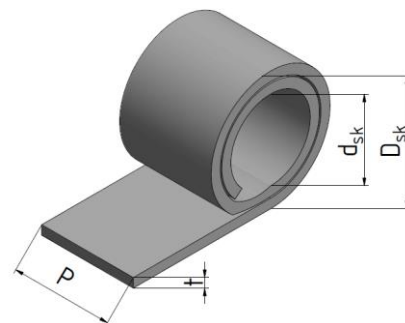
Tab. 5 Využití tabulí plechu podle rozměrů a směru stříhání pásů plechu

Směr stříhání	Tabule plechu stříhaná podélně (varianta A)			Tabule plechu stříhaná příčně (varianta B)		
Rozměr tabule [m]	1x2	1,25x2,5	1,5x3	1x2	1,25x2,5	1,5x3
Šířka pásu [mm]	50,7	50,7	50,7	50,7	50,7	50,7
Velikost kroku [mm]	201,7	201,7	201,7	201,7	201,7	201,7
Počet pásů z tabule plechu	19	24	29	39	49	59
Počet výstřižků z pásu	9	12	14	4	6	7
Počet výstřižků z celé tabule	171	288	406	156	294	413
Počet tabulí na sérii	936	556	395	1026	545	388
Plocha výstřižků z tabule plechu [m ²]	1,516	2,553	3,599	1,383	2,606	3,661
Plocha tabule [m ²]	2	3,125	4,5	2	3,125	4,5
Procento využití tabule [%]	75,8	81,7	79,98	69,15	83,39	81,36

Dle vytvořené tabulky 5 byla vypočtena procenta využití jednotlivých tabulí plechu. Zde vyplývá, že největšího využití 83,39 % bylo dosaženo u tabule o rozměrech 1250x2500 mm. Nastříhané na pruhy v příčném směru.

- Svitku plechu:

Rozměry svitku dodávané z hutě dle obr. 35, kde vnější průměr svitku $D_{sk} = 1\,000\text{ mm}$, vnitřní průměr svitku $d_{sk} = 508\text{ mm}$, šířka $P = 50,7\text{ mm}$ a $t = 2\text{ mm}$.



Obr. 35 Svitek plechu

- Hmotnost svitku:

$$m_{sk} = \frac{D_{sk}^2 - d_{sk}^2}{4} \cdot \pi \cdot P \cdot \rho_o = \frac{1\,000^2 - 508^2}{4} \cdot \pi \cdot 50,7 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} \quad (3.9)$$

$$m_{sk} = 232\text{ kg}$$

kde: ρ_o = hustota oceli = $7\,850\text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

- Délka rozvinutého svitku:

$$l_{sk} = \frac{m_{sk}}{\rho \cdot t \cdot P} = \frac{232}{7,85 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 50,7} = 291\,461\text{ mm} \quad (3.10)$$

- Počet výstřižků ze svitku:

$$P_{vsk} = \frac{l_{sk}}{K} = \frac{291\,461}{201,7} = 1\,445,022\text{ výstřižků}, \quad (3.11)$$

zaokrouhleno na 1 445 výstřižků, jelikož je možné vystříhnout pouze celý výstřižek.

- Počet svitků plechu pro výrobu 160 000 kusů:

$$P_{sks} = \frac{160\,000}{P_{vsk}} = \frac{160\,000}{1\,445} = 110,727\text{ svitků}, \quad (3.12)$$

výsledek zaokrouhlen na 111 svitků, z důvodu dodávání pouze celých svitků.

- Plocha výstřížků ze svitku plechu:

$$S_{vsk} = P_{vsk} \cdot S_{výstř} = 1\,445 \cdot 8\,864,4 = 12\,809\,058 \text{ mm}^2 \quad (3.13)$$

$$S_{vsk} = 12,809 \text{ m}^2$$

- Plocha svitku plechu:

$$S_{sk} = P \cdot l_{sk} = 50,7 \cdot 291\,461 = 14\,777\,073 \text{ mm}^2 \quad (3.14)$$

$$S_{sk} = 14,777 \text{ m}^2$$

- Procento využití svitku plechu:

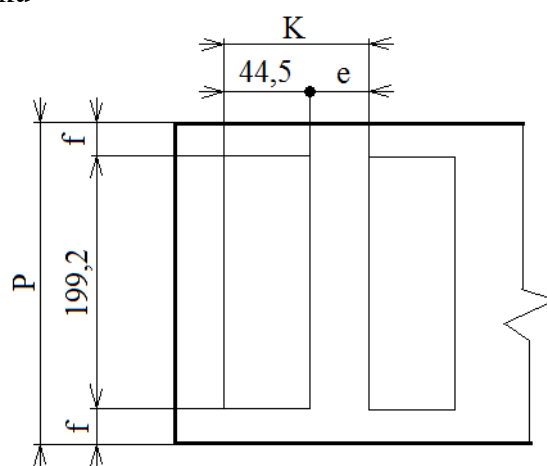
$$V_{sk} = \frac{S_{vsk}}{S_{sk}} \cdot 100 = \frac{12,809}{14,777} \cdot 100 = 86,68 \% \quad (3.15)$$

U plechového svitku byla vypočtena hodnota celkového využití 86,68 %. Tato hodnota byla vypočtena pro stříhání výstřížku podélně. Pro variantu příčného stříhání byla vyhotovena tabulka 6.

Při stříhání výstřížku příčně musely být změněny rozměry e , f dle tabulky v příloze 4, kde $e = 4$; $f = 5$. Šířka pásu P má po úpravě velikost $199,2 + 10 = 209,2 \text{ mm}$ a krok $K = 44,5 + 4 = 48,5 \text{ mm}$ (dle obr. 36).

Tab. 6 Využití svitku pro příčné stříhání výstřížků

Hmotnost svitku [kg]	957
Rozvinutá délka svitku [mm]	291 374
Počet výstřížků ze svitku	6 007
Počet svitků na výrobu	27
Plocha výstřížků ze svitku [m ²]	53,248
Plocha svitku [m ²]	60,955
Využití svitku [%]	87,36

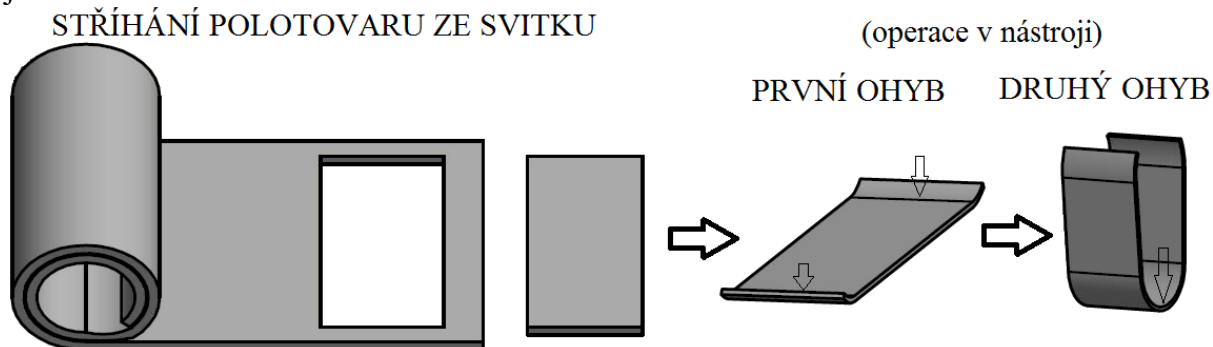


Obr. 36 Nástrihový plán příčného stříhání

Na základě porovnání využití tabule plechu a plechového svitku a z důvodu komplikované manipulace s jednotlivými tabulemi plechu byl zvolen jako nejvhodnější polotovár plechový svitek, ze kterého bude výstřížek vystříhován příčně. Využití svitku vyšlo 87,36 %. U této varianty je potřeba rovnací zařízení, kterým firma disponuje.

3.3 Ohybový plán

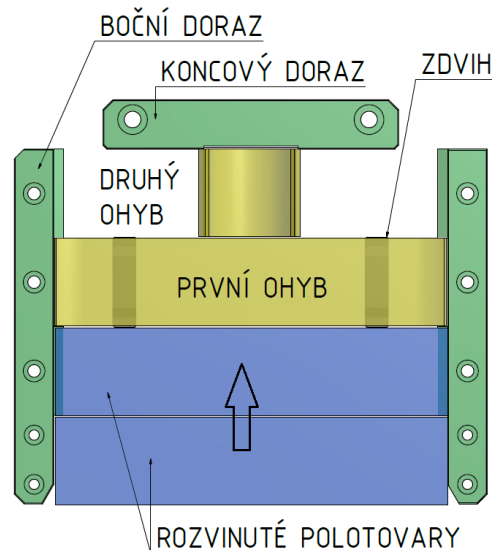
U volby vhodného ohybového plánu je důležité zohlednit tvar ohýbané součásti a způsob provedení jednotlivých ohybů. Po nastříhání rozvinutého polotovaru z plechového svitku (neprobíhá v nástroji), bude požadovaného tvaru docíleno ve dvou krocích. V první operaci dojde k ohybu obou konců plechu a v druhé k ohybu středu do tvaru U. Po ukončení druhé operace bude hotový výrobek propadat stolem lisu do předem připravené bedny. Schéma ohybového plánu od počátečního vystřížení polotovaru, až po konečný tvar kovového zálisku je zobrazen na obrázku 37.



Obr. 37 Ohybový plán

Vkládání polotovaru do nástroje bude prováděno ručně, přičemž jednotlivé plechy se budou navzájem posouvat v nástroji podél své kratší strany. Jelikož je délka rozvinutého polotovaru 199,2 mm, je potřeba, aby vyhotovený nástroj měl dostatečně velký vkladací prostor. Z tohoto důvodu je předek nástroje situován tak, aby výrobní dělník, který umisťuje polotovar, stál čelně k přední části tvářecího stroje.

Při vzájemném posouvání plechu v ohýbadle je nutné zbránit, aby jeden plech při ohýbání nepřekážel tomu druhému. To je vyřešeno správně zkonstruovanými dorazy, které zaručí, že polotovar posunutý k první operaci se díky nim zastaví a po ohybu dostane takový tvar, který mu umožňuje pokračovat dál k druhé operaci. U druhého ohybu je umístěn koncový doraz, který zabraňuje dalšímu posunu plechu. Hlavním problémem v ohybovém plánu byl přechod mezi jednotlivými operacemi. Aby bylo docíleno přesných tvarů součástí, je zapotřebí, aby při prvním ohybu pohyblivá čelist sjela do polotovaru, který poklesne o určitou výšku a tím se vytvoří požadovaný ohyb. Poté je potřeba vrátit ohnutou součást do původní pozice, aby byly plechy ve stejné rovině a mohlo docházet k jejich vzájemnému posunu. Tento problém je vyřešen zdvihy, které pomocí pružin navrátí polotovar do původní polohy. Princip posunu polotovaru v nástroji je zobrazen na obrázku 38.

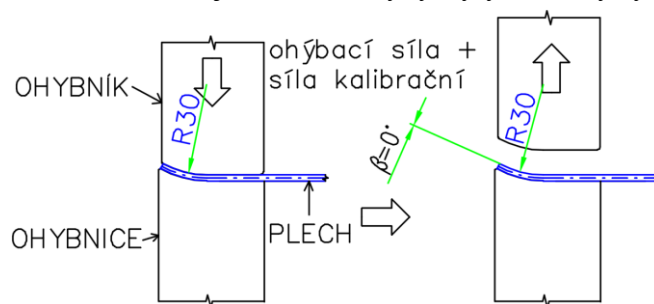


Obr. 38 Posun polotovaru v nástroji (pohled shora)

3.4 Odpružení a poloměr ohybu

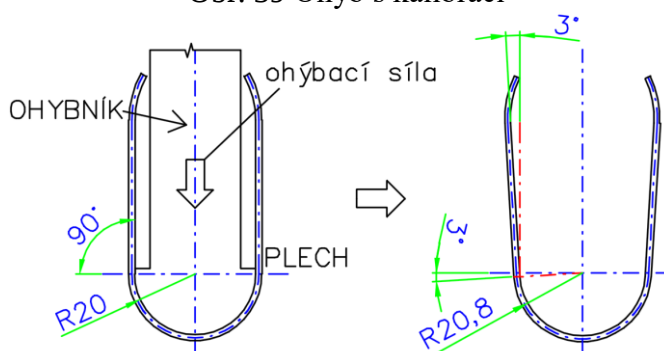
Kovový zálisek obsahuje tři ohyby, u kterých po ukončení ohybu může nastat odpružení, kdy má materiál snahu vrátit se do původního tvaru. Pro jednotlivé ohyby byly zvoleny tyto způsoby výpočtu velikosti odpružení:

- Pro poloměr ohybu 30 mm – bylo zvoleno ohýbání s kalibrací, kde dochází ke zvětšení lisovací síly na konci lisovacího cyklu. V tomto případě dochází k úplné eliminaci odpružení a úhel β má nulovou hodnotu, jak lze vidět na obrázku 39.



Obr. 39 Ohyb s kalibrací

- Pro poloměr ohybu 20,8 mm – byl vybrán způsob stanovení velikosti odpružení pomocí tabulky uvedené v příloze 2. Pro zvolený materiál je velikost úhlu odpružení $\beta = 3^\circ$ (obr. 40). Součást bude ohýbána a to o úhel odpružení β . Po úpravě vztahu (2.6) lze stanovit potřebný poloměr ohybníku:



Obr. 40 způsob druhého ohybu součásti

$$r_1 = r_p = k \cdot (r_2 + 0,5 \cdot t) - 0,5 \cdot t = 0,97 \cdot (20,8 + 0,5 \cdot 2) - 0,5 \cdot 2 = 20,146 \text{ mm},$$

kde byl součinitel 'k' zvolen z normy ČSN 22 7340 dle [6], kde pro oceli vhodné k tváření je velikost $k = 0,97$.

Výsledek zaokrouhlen na $r_p = 20 \text{ mm}$.

Pro stanovení minimálního a maximálního poloměru ohybu jsou zapotřebí následující výpočty:

- Minimální poloměr ohybu – výpočet je proveden dle vztahu (2.7).

$$R_{\min} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_0} - 1 \right) = c \cdot t = 0,6 \cdot 2 = 1,2 \text{ mm},$$

kde velikost koeficientu 'c' byla zvolena 0,6.

- Maximální poloměr ohybu – k zjištění této hodnoty je použit výpočetní vztah (2.9).

$$R_{\max} = \frac{t}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{2}{2} \cdot \left(\frac{2,1 \cdot 10^5}{315} - 1 \right) = 665,7 \text{ mm}$$

Vypočtené hodnoty poloměrů ukazují, že žádný z ohybů součásti (R30 a R20,8) nepřekračuje dané minimum nebo maximum.

3.5 Síla a práce

Ohybovou sílu a práci je potřeba vypočítat pro každý ohyb zvlášť, přičemž výsledná velikost síly a práce je rovna součtu jednotlivých vypočtených hodnot. Postup výpočtů jednotlivých hodnot je následující:

- Pro poloměr 30 mm:

- Velikost ohybové síly ze vztahu (2.10):

$$F_{o1} = (1 + 7 \cdot \mu) \cdot \frac{b_p \cdot t^2 \cdot R_e}{r_{p1} + t}$$

$$F_{o1} = (1 + 7 \cdot 0,15) \cdot \frac{44,5 \cdot 2^2 \cdot 315}{30 + 2}$$

$$F_{o1} = 3\,591,984 \text{ N,}$$

zaokrouhleno na 3 592 N.

- Výpočet celkové ohybové síly dle vztahu (2.11), kde kalibrační síla $F_K = (2,0 \div 2,5) \cdot F_o$:

$$F_{co1} = F_{o1} + F_K = F_o + 2,5 \cdot F_o$$

$$F_{co1} = 3\,592 + 2,5 \cdot 3\,592 = 12\,572 \text{ N,}$$

kde z rozmezí $(2,0 \div 2,5)$ byla zvolena velikost 2,5.

- Velikost ohybové práce dle (2.13):

$$A_{o1} = (F_o + F_K) \cdot h_1 \cdot \psi$$

$$A_{o1} = 12\,572 \cdot 5 \cdot 0,65 = 40\,859 \text{ J}$$

- Pro poloměr ohybu 20,8 mm:

- Velikost ohybové síly ($r_p = 20 \text{ mm}$) dle vztahu (2.10):

$$F_{o2} = (1 + 7 \cdot \mu) \cdot \frac{b_p \cdot t^2 \cdot R_e}{r_{p2} + t} = F_{o2}$$

$$F_{o2} = (1 + 7 \cdot 0,15) \cdot \frac{44,5 \cdot 2^2 \cdot 315}{20 + 2}$$

$$F_{o2} = 5\,225 \text{ N}$$

- Ohybová práce dle (2.12):

$$A_{o2} = F_{o2} \cdot h_2 \cdot \psi$$

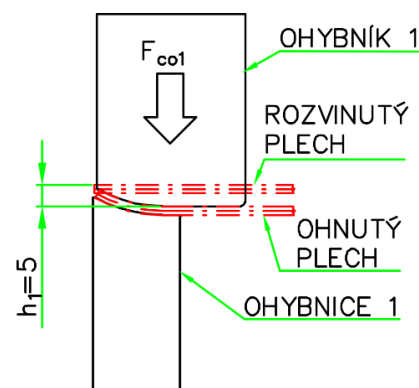
$$A_{o2} = 5\,225 \cdot 99 \cdot 0,65 = 336\,229 \text{ J}$$

- Celková ohybová síla pro všechny ohyby:

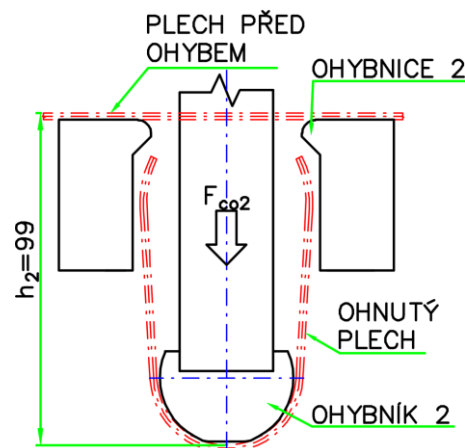
$$F_{co} = 2 \cdot F_{co1} + F_{o2} = 2 \cdot 12\,572 + 5\,225 = 30\,369 \text{ N}$$

- Celková ohybová práce ve všech ohybech:

$$A_{co} = 2 \cdot A_{o1} + A_{o2} = 2 \cdot 40\,859 + 336\,229 = 417\,947 \text{ J}$$



Obr. 41 Schéma prvního ohybu



Obr. 42 Schéma druhého ohybu

3.6 Volba stroje [29], [31], [33]

Nejdůležitějším parametrem pro volbu vhodného tvářecího stroje je celková tvářecí síla $F_{co} = 30\,369\text{ N}$ potřebná pro výrobu kovového zálisku. Vybraný stroj musí mít jmenovitou sílu větší, než je velikost ohybové síly a především musí být ve vlastnictví firmy, ve které bude součástka vyráběna. Stroj musí mít také dostatečně velký otvor ve stole a potřebný zdvih beranu. Na základě těchto požadavků byl zvolen, jako nejvhodnější tvářecí stroj, výstředníkový lis LEXN 100 C (obr. 43).

Zvolený lis je poháněn přepínatelným dvojotáčkovým elektromotorem. Pomocí klínových řemenů se přenáší krouticí moment na hlavní setrvačnick. Mezi jeho hlavní přednosti patří:

- Možnost přestavitelnosti beranu,
- pneumatické vyvažování beranu,
- nastavování velikosti zdvihu beranu,
- tichý chod,
- valivé uložení výstředníkového hřídele ojnice,
- možnost užití mechanizačního a automatizačního příslušenství, aj.



Obr. 43 Lis LEXN 100 C [33]

Tab. 7 Technické parametry výstředníkového lisu LEXN 100C [29], [32]

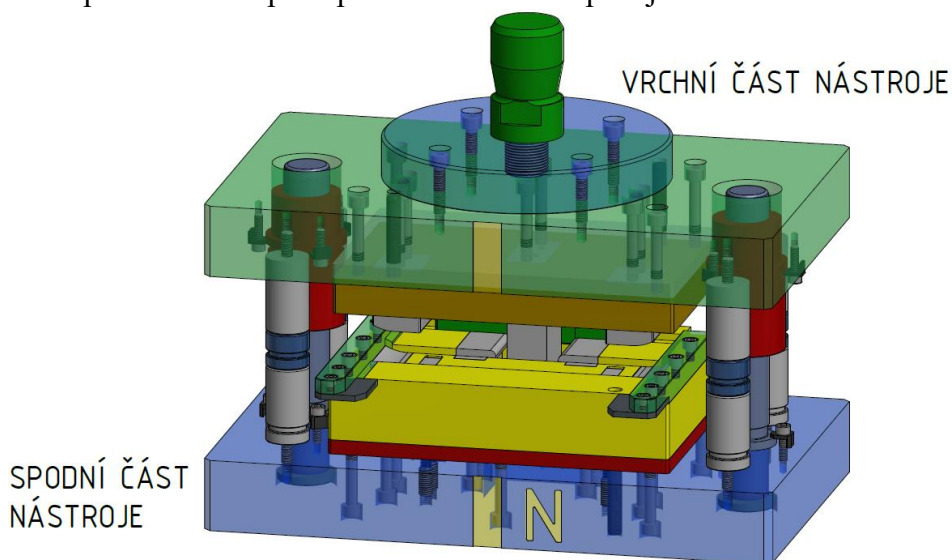
PRACOVNÍ ROZSAH		BERAN	
Jmenovitá tvářecí síla [kN]	1 000	Upínací plocha [mm]	560x360
Sevření (bez stolní desky) [mm]	380	Přestavitelnost [mm]	90
Vyložení [mm]	355	Stavitelný zdvih v rozmezí [mm]	10-125
Průchod [mm]	380	Max. tloušťka plechu [mm]	7
STŮL LISU		Počet zdvihů při trvalém chodu [min^{-1}]	75-150
		Spotřeba vzduchu/zdvih [m^3]	0,02
Upínací plocha [mm]	1 000x655	Pracovní tlak [MPa]	0,5
Tloušťka stolní desky [mm]	80	Výkon hlavního motoru [kW]	6,0/10,0

Zbýlé rozměry stroje, včetně rozměrů otvoru ve stole lisu a velikosti zdvihu beranu, jsou uvedeny v příloze 3.

3.7 Konstrukce nástroje [13], [15], [18], [19]

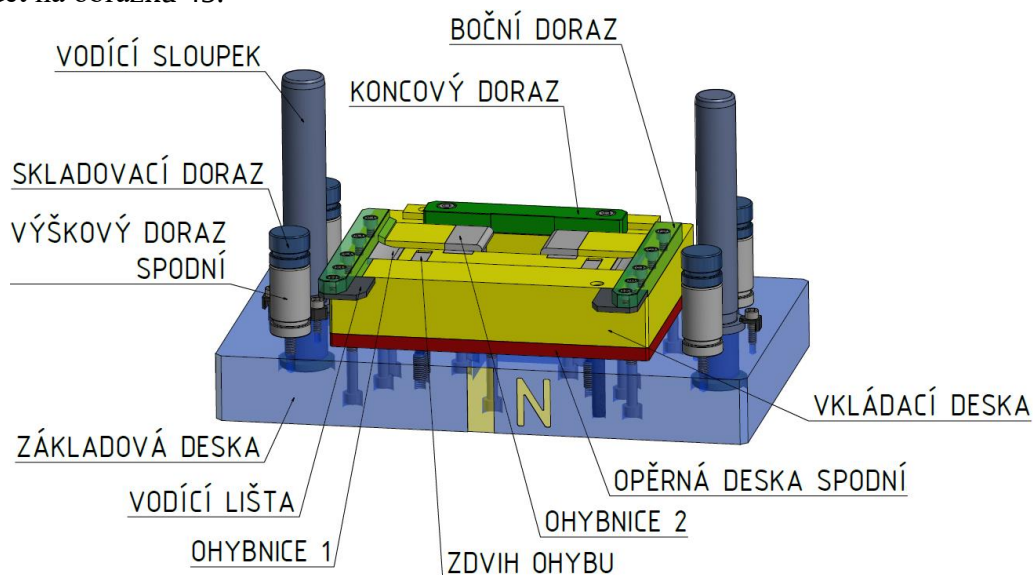
Při návrhu ohýbacího nástroje je nutné postupovat dle požadavků výroby kovového zálisku. Funkční části ohýbadla (ohybnyky a ohybnice) musí mít tvar potřebný na vyhotovení jednotlivých ohybů součástí. Zbylé části nástroje jsou navrženy dle tvaru zálisku a dle zvoleného ohybového plánu. Schéma složeného ohýbadla lze vidět na obrázku 44, kde lze vidět, že nástroj je možné rozdělit na vrchní a spodní část.

Rozvinutý polotvar je do nástroje z přední části vkládán ručně. Jednotlivé plechy se navzájem posouvají, až dorazí k první operaci, kde vrchní část nástroje sjede do spodní, polotvar poklesne o určitou výšku a vytvoří se požadovaný ohyb. Po ukončení operace vršek ohýbadla vyjede nahoru a zdvih ohybu navrátí polotovar do původní pozice. Dále je předehnutý plech posunut k druhé operaci a na jeho pozici se dostává další. Při následujícím sjetí vrchní části nástroje je v druhé operaci plech ohnut do tvaru 'U' a zároveň dochází v první operaci k ohybu dalšího plechu. Tento postup se dále neustále opakuje.



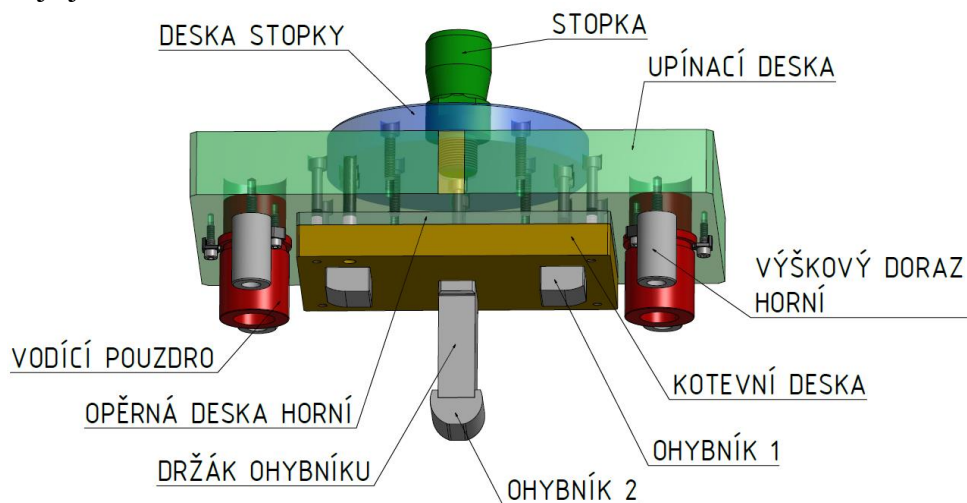
Obr. 44 Schéma složeného ohýbadla

Spodní část nástroje je složena ze základové desky, ke které jsou upevněny vodící pouzdra a výškové dorazy, do nichž se při uskládňování vkládají skladovací dorazy pro snížení opotřebení dosedacích ploch výškových dorazů. Mezi nejdůležitější díly patří funkční části ohýbadla, což jsou první a druhé ohybnice. Další součásti dolní části ohýbadla jsou opěrná a vkládací deska, boční a koncový doraz, vodící lišty a zdvihy ohybu. Popis spodní části nástroje lze vidět na obrázku 45.



Obr. 45 Spodní část nástroje

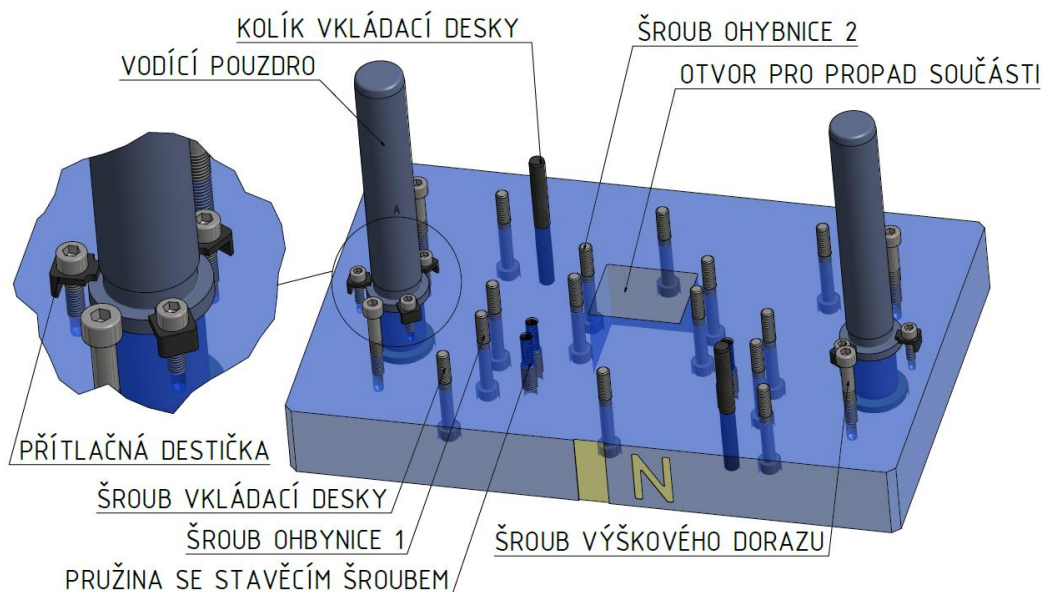
Vrchní část nástroje, se skládá z upínací desky, do které jsou vloženy vodící pouzdra. K této desce jsou přišroubovány výškové dorazy, kotevní deska, ohybníky, držák ohybníku a deska stopky, ve které je přidělena stopka, sloužící k uchycení horní části nástroje k beranu lisu. Popis vršku nástroje je zobrazen na obrázku 46.



Obr. 46 Vrchní část nástroje

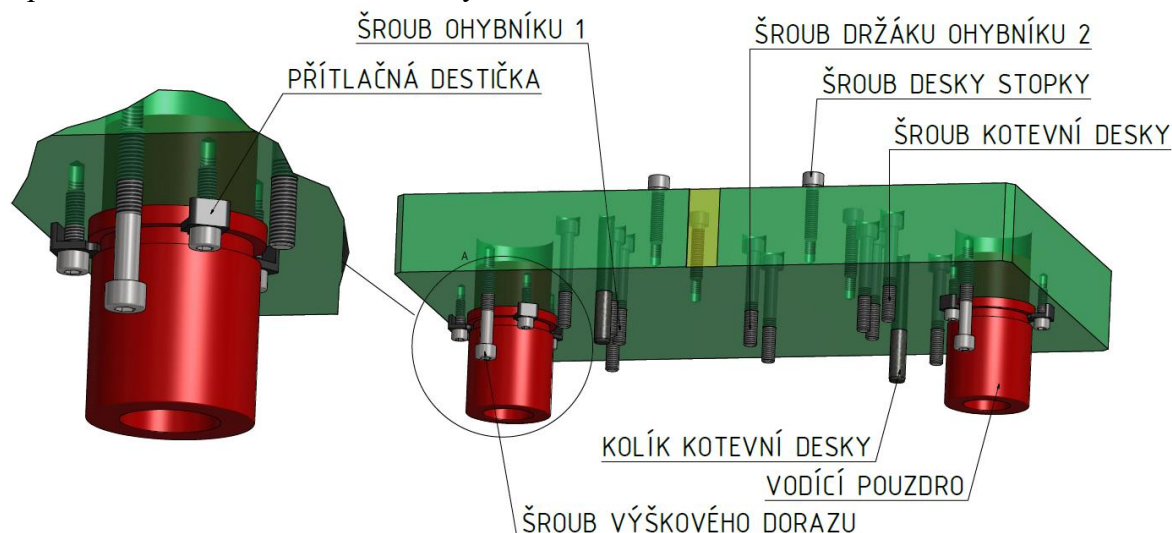
3.7.1 Návrh funkčních částí [9], [10], [13], [18], [19], [23]

- Základová deska – není vyráběnou součástí nástroje, ale pouze upravovanou, proto je vybrána z katalogu firmy Fibro (včetně sloupků, držáků vedení a podložky se šroubem). Velikost desky o rozměrech 50x250x40 mm byla zvolena na základě rozměrů rozvinutého polotovaru s přídavkem na dorazy a prostor pro vedení. V základové desce jsou upevněny vodící sloupky, které slouží k přesnému vedení vrchní části nástroje do spodní při ohýbaná. Z obrázku 47 lze vidět způsob upnutí vodících sloupků k základové desce. Každý sloupek je připevněn pomocí držáku vedení, který se skládá ze tří ohnutých přitlačných destiček a tří šroubů velikosti M6x20. Pro sloupek je v základové desce předvrtaná díra, do které se sloupek vloží a ze spodu se přišroubuje pomocí šroubu M8x20 s podložkou. Zbylé šrouby v základové desce jsou zvoleny válcované s vnitřním šestihranem, které je možné zapustit a slouží k upevnění výškových dorazů (M8x50), vkladací desky a ohybnic (M8x60). K přitlačení pružiny ke zdvihu ohybu je zde přišroubován stavěcí šroub M10x20. Dva kolíky (Ø10x100) v desce slouží k přesnému upevnění vkladací desky. V základové desce je pomocí drátového řezání vytvořen otvor, kterým bude při druhém ohybu součást propadat dolu.



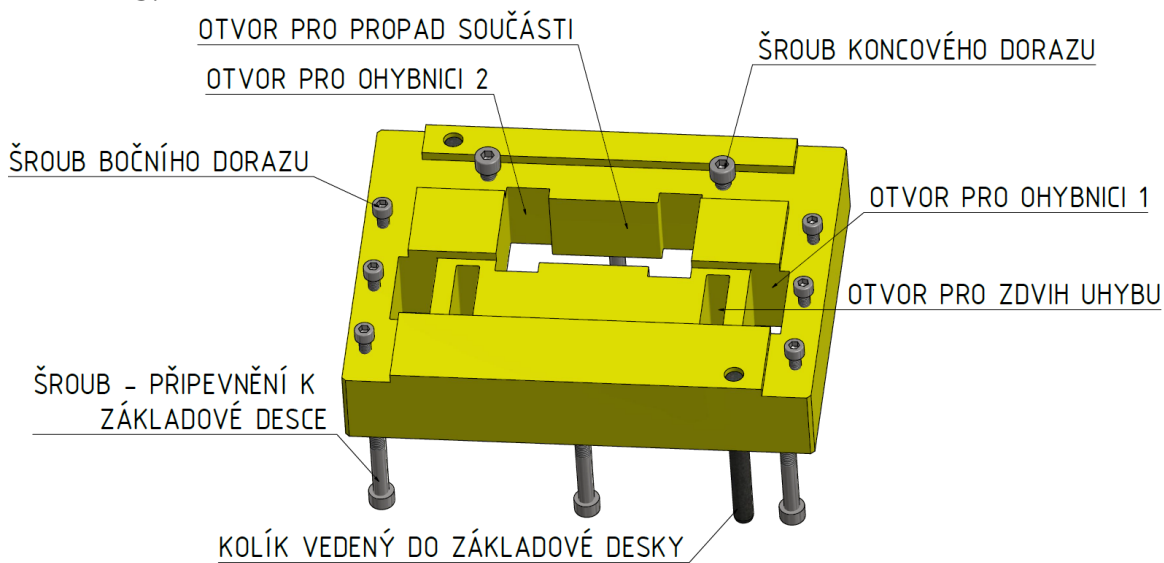
Obr. 47 Základová deska

- Upínací deska – je také vybrána z katalogu firmy Fibro (včetně pouzder a držáku vedení) se stejnými rozměry jako deska základová. V desce jsou vytvořeny dva otvory pro vložení vodících sloupků, které jsou také připevněny pomocí držáků vedení. Výškové dorazy jsou přišroubovány šrouby M8x50, kotevní deska šrouby M8x60 a je přesně upevněna pomocí dvou kolíků Ø10x80. Zbylé šrouby velikosti M8x60 uchycují ohybnice a držák ohybníku. Upínací desku, včetně všech zvolených šroubů, lze vidět na obrázku 48.



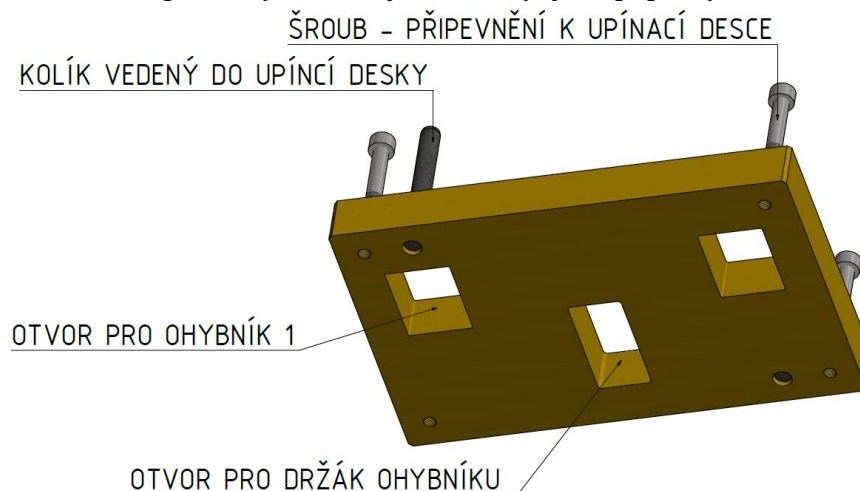
Obr. 48 Upínací deska

- Vkládací deska – je první vyráběnou součástí nástroje a patří mezi nejsložitější díly. Jako materiál byla zvolena konstrukční ocel třídy 11 523, která svými vlastnostmi vyhovuje pro funkci daného dílu. Deska obsahuje několik vyfrézovaných ploch a elektroerozivním obráběním vytvořené otvory (řezání drátem), které musí být tolerované a mít upravený povrch, aby do nich bylo možné ustavit ohybnice a zdvihy ohybu. Na boční obrobene plochy jsou přišroubovány boční dorazy, každý třemi šrouby velikosti M6x16. Na vyfrézovanou plochu mezi otvory pro zdvih ohybu dosedá součástka při prvním ohybu. Dva šrouby v zadní části vkládací desky spojují desku s koncovým dorazem. Popis součásti je zobrazen na obrázku 49.



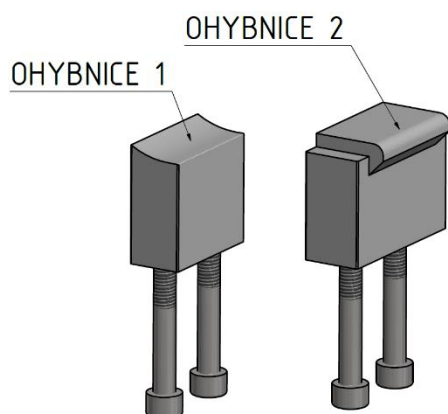
Obr. 49 Vkládací deska

- Kotevní deska – je vyrobena z oceli 11 523 a přišroubována k upínací desce. Otvory v součásti mají funkci ustavení prvních ohybníků a držáku ohybníku 2, tudíž musejí být tolerované s úpravou vnitřních stěn na drsnost povrchu $R_a = 0,8 \mu\text{m}$. Jednotlivé otvory, včetně šroubů a kolíků, potřebných k uchycení desky, jsou popsány na obrázku 50.

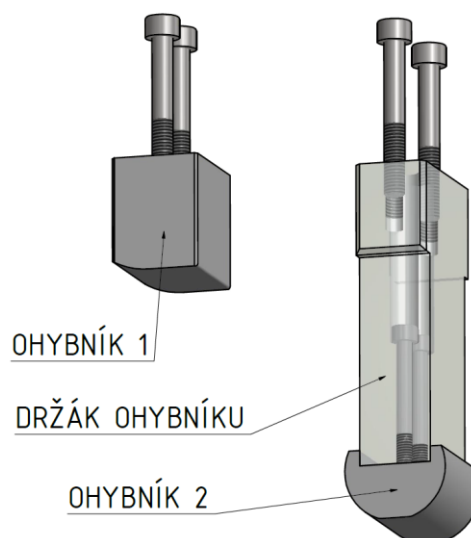


Obr. 50 Kotevní deska

- Ohybnice a ohybníky – tvoří hlavní ohýbací čelisti nástroje. Jako materiál je zvolena ocel 1.2379 (19 573). Jedná se vysoce legovanou chrom-molybden-vanadovou ocel, která je velmi odolná proti opotřebení. Díky této vlastnosti se ideálně hodí pro ohybníky a ohybnice, jelikož tyto součásti patří k nejzatěžovanějším dílům nástroje. Pevné ohýbací čelisti (obr. 51) jsou připevněny k základové desce pouze pomocí šroubů, protože k zajištění přesné polohy slouží otvory ve vkládací desce, kam jsou při sestavování nástroje vloženy. U pohyblivých čelistí (obr. 52) je otvorů v upínací desce vložen první ohybníky a držák druhého ohybníku a oba díly jsou přišroubovány pomocí zápusťných šroubů. Pro zvýšení tvrdosti těchto čelistí jsou díly kaleny a popouštěny na 58 až 62 HRC. Držák druhého ohybníku je zde zvolen, protože je zbytečné, aby byl ohybník celistvý, jestliže jeho funkční část se nachází pouze v dolní oblasti čelisti a vybraný materiál a tepelné zpracování není pro horní část potřeba. Materiál držáku je ocel 11 523.



Obr. 51 Ohybnice



Obr. 52 Ohybníky

- Kontrola ohybníku na otláčení:

Výpočet bude proveden pro ohybník 1, jelikož zde působí větší ohybová síla a tlačí větší přitlačnou plochou.

$$\sigma_{tl} = \frac{F_{co1}}{S_{o1}} = \frac{12\,572}{34 \cdot 44} = 8,4 \leq \sigma_{dov}; 8,4 \leq 1\,600 \quad (3.16)$$

kde σ_{tl} = namáhání v tlaku [MPa],

F_{co1} = celková ohybová síla pro první ohybník [N],

S_{o1} = namáhaná plocha prvního ohybníku [mm²],

σ_{dov} = dovolené napětí, pro ocel 19 573 v rozmezí 1 600 ÷ 2 000 MPa, zvoleno 1 600 MPa.

Z výpočtu bylo zjištěno, že ohybník 1 vyhovuje.

- Kontrola držáku ohybníku na vzpěr:

$$l_{krit} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{F_{o2} \cdot n}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{28 \cdot 45^3}{12}}{5\,225 \cdot 2}} = 12\,987,9 \text{ mm}, \quad (3.17)$$

kde l_{krit} = kritická délka držáku ohybníku [mm],

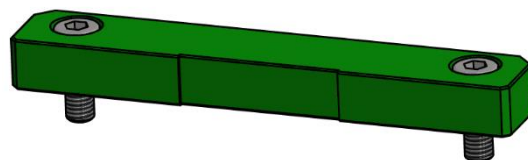
E = modul pružnosti v tahu [MPa],

I = kvadratický moment [mm⁴],

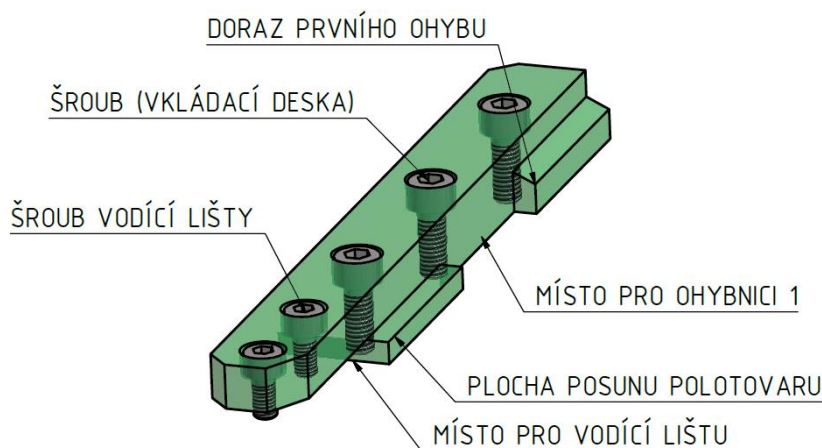
n_k = koeficient bezpečnosti v rozmezí 1,5 ÷ 2 [-], zvoleno 2.

Při kontrole držáku ohybníku na vzpěr bylo vypočteno, že kritická délka pro vzpěr je 12 987,9 mm, navržený držák o délce 116 mm vyhovuje a je dostatečně stabilní.

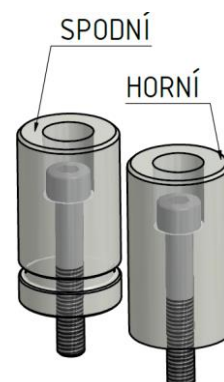
- Dorazy – jsou v nástroji trojího druhu a to koncový (obr. 53), boční (obr. 54) a výškový (obr. 55). U prvních dvou druhů byl zvolen stejný materiál a tím je ocel 1.2842 (19 312), jelikož boční dorazy plní funkci správného vedení polotovaru v nástroji a před prvním ohybem se o něj rozvinutá součást zarazí. U dorazu koncového dochází k doražení plechu po prvním ohybu. Z těchto důvodů je zvolený materiál, který je odolný vůči opotřebení, po výrobě kalen a popouštěn na tvrdost 58 až 60 HRC. Zvolené tepelné zpracování vytvoří dobrou kombinaci vysoké povrchové tvrdosti a houževnatosti. Materiál pro výškový doraz byla zvolena ocel 11 523, jelikož tento doraz slouží pouze k tomu, aby si dělník, který bude danou součást vyrábět, nastavil potřebné sevření a zdvih stroje. V tomto případě není nutné materiál tepelně zpracovávat.



Obr. 53 Koncový doraz

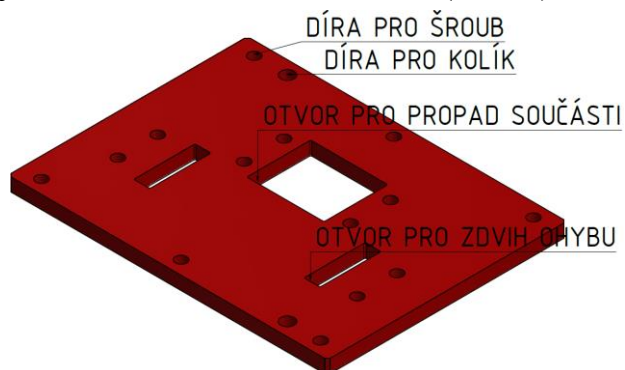


Obr. 54 Boční doraz

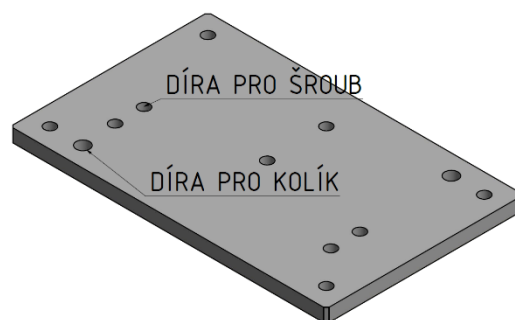


Obr. 55 Výškové dorazy

- Opěrné desky (obr. 56 a 57) – slouží k tomu, aby při chodu stroje nedocházelo k opotřebování hlavních dílů nástroje. Spodní deska se nachází mezi základovou a vkládací deskou a jsou na ní položeny oboje ohybnice. Při chodu tedy zabráňuje poškozování horní plochy základové desky a spodních ploch u vkládací desky a ohybnic. Horní opěrná deska je vložena mezi upínací a kotevní desku a snižuje opotřebení dosedacích ploch u upínací desky, kotevní a u držáku ohybníku a první ohybnice. Z důvodu častého namáhání ploch je jako materiál zvolena ocel 1.2842 (19 312), která je kalena a popouštěna na 58 až 60 HRC.

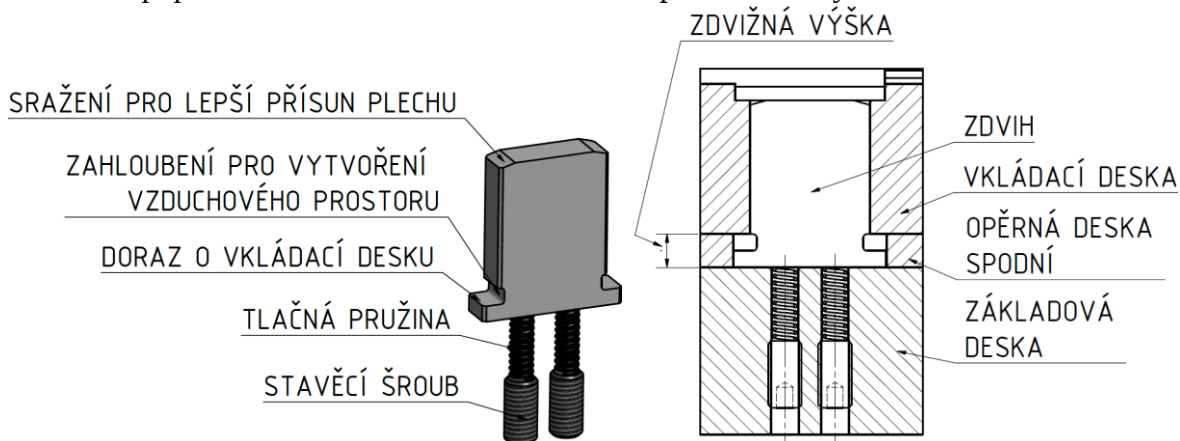


Obr. 56 Opěrná deska spodní



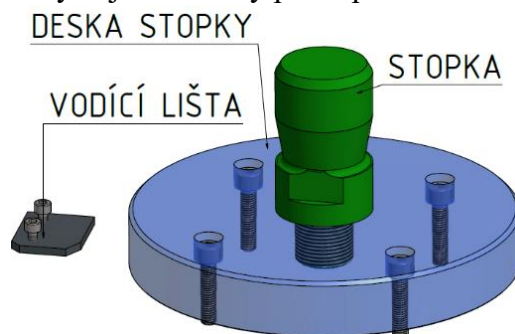
Obr. 57 Opěrná deska horní

- Zdvih ohybu – je použit u prvního ohybu součásti, kdy je rozvinutý polotovár posunut po zdviženém zdvihu k první ohybnici. Při ohybu plech klesne zároveň se zdvihem a po ukončení ohýbání se zdvih společně s ohnutým polotovárem vrátí do původní výšky. Tento pohyb je uskutečněn pomocí dvou pružin zdvihu. Pružiny jsou přitlačeny ke zdvihu díky stavěcím šroubům, které jsou uchyceny základové desce. Při stlačení pružin dosedá zdvih na základovou desku a při částečném uvolnění tlačných pružin se zdvih zarazí o vkládací desku. Jako nejvhodnější materiál byla zvolena ocel 1.2842. Součást před užíváním projde kalením a popuštěním na tvrdost 58 až 60 HRC. Popis zdvihu ohybu na obr. 58.



Obr. 58 Zdvih ohybu

- Deska stopky a vodící lišta – jsou oba vyrobeny z oceli 11 523. Vodící lišty přišroubované k bočním ohybům slouží jako dosedací plochy, po kterých je rozvinutý plech posouván dál do nástroje. Lišta je přichycena k dorazu pomocí dvou šroubů M5x10. Deska stopky je přidělena k vrchní upínací desce pomocí čtyř šroubů M8x35. Využití desky spočívá ve vytvoření prostoru mezi beranem lisu a upínací deskou, aby se do tohoto prostoru dostávaly vodící sloupky při sevření nástroje. K desce je přišroubovaná stopka, které uchycuje celý vršek nástroje s beranem stroje. Obě součásti jsou na obrázku 59.



Obr. 59 Deska stopky a vodící lišta

4 TECHNICKO - EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Technicko-ekonomické zhodnocení je zaměřeno na určení ceny výroby kovového zálisku pomocí zvoleného způsobu výroby. Při výpočtech není uvažováno stříhání svitků plechu na požadované polotovary (cena nástroje, zaměstnanci a energii), ale pouze technologie ohýbání a náklady s ní spojené. U výpočtů nejsou brány v potaz správní a výrobní režie, mezi které jsou zahrnuty náklady na vytápění, úklid, údržbu prostorů a strojů, osvětlení, nebo také náklady na řízení a správu podniku.

- Náklady na materiál:

Potřebný počet svitků $P_{sks} = 27$ svitků,

cena 1 kg materiálu je dle firmy ALFUN a.s. $C_{1kgm} = 19$ Kč,

hmotnost svitku $m_{sk} = 957$ kg,

cena 1 kg ocel. odpadu je dle firmy ARCIMPEX s.r.o. $C_{1odp} = 3,80$ Kč.

- Hmotnost potřebného počtu svitků:

$$m_{csk} = P_{sks} \cdot m_{sk} = 27 \cdot 957 = 25\,839 \text{ kg} \quad (4.1)$$

- Celková cena všech svitků:

$$C_{csk} = C_{1kgm} \cdot m_{csk} = 19 \cdot 25\,839 = 490\,941 \text{ Kč} \quad (4.2)$$

- Hmotnost jednoho výstřížku:

$$m_{výstř} = S_{výstř} \cdot t \cdot \rho = 8\,864,4 \cdot 2 \cdot 7,85 \cdot 10^{-6} = 0,139 \text{ kg} \quad (4.3)$$

- Celková hmotnost všech výstřížků (160 000 výstřížků):

$$m_{cvýstř} = m_{výstř} \cdot 160\,000 = 0,139 \cdot 160\,000 = 22\,240 \text{ kg} \quad (4.4)$$

- Hmotnost odpadu po vystřížení všech výstřížků ze svitků:

$$m_{codp} = m_{csk} - m_{cvýstř} = 25\,839 - 22\,240 = 3\,599 \text{ kg} \quad (4.5)$$

- Cena celého odpadu:

$$C_{codp} = m_{codp} \cdot C_{1odp} = 3\,599 \cdot 3,8 = 13\,676,2 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

zaokrouhleno na 13 676 Kč.

- Celkové náklady za materiál:

$$N_{cm} = C_{csk} - C_{codp} = 490\,941 - 13\,676 = 477\,265 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

- Náklady na pořízení nástroje:

Cena nástroje byla odhadnuta na základě cen podobných nástrojů ve firmě a činí $C_n = 220\,000$ Kč.

- Náklady na zaměstnance (mzdy):

Délka pracovní doby $t_{pd} = 8,5$ hodin, kde 0,5 hod. je pauza na oběd a 0,5 hod. je čas na přípravu a kontrolu výrobků a na manipulaci s materiálem. Čistý výrobní čas je tudíž $t_{výr} = 7,5$ hodin.

- Počet součástí vyrobených za hodinu:

Délka výroby jedné součásti byla zvolena na $t_{v1s} = 3$ sekundy.

$$P_{vsh} = \frac{3\,600}{t_{v1s}} = \frac{3\,600}{3} = 1\,200 \text{ součástí za hodinu} \quad (4.8)$$

- Počet součástí vyrobených za jednu směnu:

$$P_{vss} = P_{vsh} \cdot t_{výr} = 1\,200 \cdot 7,5 = 9\,000 \text{ kusů součástí} \quad (4.9)$$

- Potřebný počet směn potřebných na výrobu 160 000 kusů součástí:

$$P_{sm} = \frac{160\,000}{P_{vss}} = \frac{160\,000}{9\,000} = 17,78 \text{ směn}, \quad (4.10)$$

zaokrouhleno na 18 směn.

- Celkový počet hodin potřebných na výrobu:

$$P_{vh} = (t_{pd} - 0,5) \cdot P_{sm} = (8,5 - 0,5) \cdot 18 = 144 \text{ hodin} \quad (4.11)$$

- Náklady na mzdy zaměstnanců:

Hodinová mzda byla stanovena včetně odvodů zaměstnavatele na hodnotu $M_{zh} = 175 \text{ Kč/hod}$ (včetně sociálního a zdravotního pojištění).

$$N_{mz} = P_{vh} \cdot M_{zh} = 144 \cdot 175 = 25\,200 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

- Náklady na energii:

Příkon stroje $P_{stroj} = 13,7 \text{ kW}$, cena energie $C_{kWh} = 3,7 \text{ Kč/kWh}$.

$$N_E = P_{stroj} \cdot C_{kWh} \cdot P_{vh} = 13,7 \cdot 3,7 \cdot 144 = 7\,299,36 \text{ Kč}, \quad (4.13)$$

zaokrouhleno na 7 299 Kč.

- Celkové náklady na výrobu:

$$N_{cv} = N_{cm} + C_n + N_{mz} + N_E = 477\,265 + 220\,000 + 25\,200 + 7\,299 \quad (4.14)$$

$$N_{cv} = 729\,764 \text{ Kč}$$

- Náklady na vyrobení jedné součásti:

$$N_{v1s} = \frac{N_{cv}}{160\,000} = \frac{729\,764}{160\,000} = 4,56 \text{ Kč}, \quad (4.15)$$

zaokrouhleno na 4,6 Kč.

Celkové náklady na výrobu 160 000 kusů kovového zálisku činí 729 764 Kč, tudíž náklady vyrobení jedné součásti jsou přibližně 4,6 Kč. Výsledné vypočtené ceny jsou pouze orientační, jelikož byla uvažována pouze technologie ohýbání včetně nákladů s ní spojené. Pro vypočtení konkrétních cen a nákladů by bylo zapotřebí zohlednit správní a výrobní režii, proces stříhání rozvinutého polotovaru z plechového svitku, zisk firmy aj. Konkrétní ceny a režie v tomto případě nejsou známy, proto není možné přesně stanovit cenu výroby jednoho kovového zálisku.

5 ZÁVĚRY

V bakalářské práci byl vytvořen návrh výroby kovového zálisku, který společně s dalšími díly slouží jako tlumicí segment silentbloku u náprav nákladních automobilů. Z několika možných způsobů výroby byla vybrána jako nejvhodnější metoda výroby ohýbání v nástroji. Tento způsob výroby byl zvolen na základě splnění požadovaných kritérií, které jsou především ekonomičnost a hospodárnost výroby a konstrukční požadavky vyráběné součásti. Také bylo potřeba přihlédnout k velikosti výrobní série, která činí 160 000 kusů za rok. Při volbě materiálu bylo zohledněno využití součásti, kde byl kladen velký důraz na odolnost vůči korozi, vibraci, vysokému tlaku a ostatním povětrnostním podmínkám. Z těchto důvodů byla vybrána mikrolegovaná konstrukční ocel S315 MC.

V návrhu výroby byly provedeny výpočty pro ohýbání (posun neutrální osy, rozvinutá délka polotovaru, odpružení, dodržení poloměrů ohybu, výpočet síly a práce) a také se uvažovalo o volbě vhodného polotovaru, ze kterého bude rozvinutá součást vystřihována. Z možných variant byl zvolen ekonomicky nejvýhodnější polotovar plechový svitek s využitím 87,36 %, z něhož budou příčně stříhány rozvinuté délky plechu. Následně byl vytvořen ohybový plán na základě tvaru ohýbané součásti a technologickým požadavkům výroby. Požadovaného profilu bude docíleno ve dvou krocích, kdy nejprve dojde k ohybu obou krajů součásti a následně jejího středu do tvaru písmene U.

Jako nejvhodnější tvářecí stroj byl zvolen výstředníkový lis LEXN 100 C od firmy TOMA INDUSTRIES s.r.o. Tento stroj byl zvolen na základě velikosti tvářecí síly, ohybového plánu, a zda je vlastnictví dané firmy. Jeho jmenovitá tvářecí síla má velikost 1 000 kN a vzhledem k vypočtené potřebné ohýbové síle 30,369 kN, je stroj vyhovující pro daný způsob výroby. Dle zvoleného výstředníkového lisu, technologickým výpočtům pro ohýbání, velikosti výrobní série a ohybovému plánu byl následně zkonstruován postupový ohybový nástroj se dvěma operacemi. Výkresové dokumentace složeného nástroje a jednotlivých dílů jsou uvedeny v přílohách.

V technicko-ekonomickém zhodnocení byly provedeny výpočty, ze kterých je lze zjistit celkové náklady na materiál, které činí 477 265 Kč. Dále odhadovanou cenu nástroje ve výši 220 000 Kč, náklady na mzdy zaměstnanců 25 200 Kč a náklady na energii 7 299 Kč. Po sečtení těchto hodnot vyšly celkové náklady na výrobu 729 764 Kč. Po uvažování roční série (160 000 ks) a při zanedbání ostatních nákladů, je výrobní cena jedné součásti 4,6 Kč. Vzhledem k tomu, že lze přepokládat s dlouhodobou výrobou, je zvolená technologie výroby vyhovující.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ALFUN a.s. *Ocelové plechy a pásy válcované za tepla: Mikrolegované jakosti konstrukčních ocelí* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/produkty/ocel/plechy-a-pasy-valcovane-za-tepla>
2. AutoPROFITEAM. *Podvozkové centrum APM Bilstein - 5. díl: Silentbloky* [online]. 2010 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.autoprofiteam.cz/article.php?artid=550>
3. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológia tvárnenia*. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
4. Conrad s.r.o.: RC modely aut. In: *RC Trucky & kamiony & tahače: Tahač Tamiya Truck Scania R470, 1:14, stavebnice* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: http://www.conrad.cz/tahac-tamiya-truck-scania-r470-1-14-stavebnice-3000563_18.k233652?icc=category-carousel-2level&icn=toprate-rc-trucky-kamiony-tahace
5. ČECHURA, Milan, Jan HLAVÁČ a Jiří STANĚK. *Konstrukce tvářecích strojů* [online]. Plzeň: Fakulta strojní ZČU v Plzni, 2015 [cit. 2017-03-24]. ISBN 978-80-261-0513-8. Dostupné z: <http://www.zcu.cz/export/sites/zcu/pracoviste/vyd/online/Konstrukce-tvarecich-stroju.pdf>
6. ČSN 22 7340 (227340). *Tvářecí nástroje. Ohýbadla. Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. 1. Praha: Vydavatelství norem, 1991, 16 s.
7. ČSN ISO 2768-1. *Všeobecné tolerance. Nepředepsané mezní úchytky délkových a úhlových rozměrů*. Praha: Český normalizační institut, 1992.
8. 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, 169 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-214-3425-7.
9. FIBRO GmbH. *Normálie Katalog* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: http://www.fibro.de/fileadmin/data/FIBRO/Blaetterkataloge/NormalienGesamtkatalog_Czech/files07022017/assets/basic-html/page-1.html#
10. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli (odborná kniha)*. Brno: Dům techniky, 1994, 230 s.
11. HOSFORD, William F. a Robert M. CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy*. 3rd ed. New York, NY: Cambridge University Press, 2007. ISBN 978-0-521-88121-0.
12. Kornet s.r.o. *Strojírenská firma* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <https://www.kornetsro.eu/cz/domu/>

13. KUBÍČEK, Miroslav. *Tváření: Konstrukce ohýbacích nástrojů* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: http://domes.spssbrno.cz/web/DUMy/STT,%20KOM/VY_32_INOVACE_20-14.pdf
14. LEXN 100C: *DIVIZE NÁŘADÍ ZETOR*. Brno, 1992.
15. LIDMILA, Zdeněk a Emil SVOBODA. *Strojírenská technologie*. Brno: Univerzita obrany, 2007. ISBN 978-80-7231-220-7.
16. MAŇAS, Stanislav. *VÝROBNÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ: Část: TVÁŘECÍ STROJE* [online]. Praha, 2007 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/1999676-Vyrobni-stroje-a-zarizeni.html>
17. MIKULČÁK, Jiří. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. 3. vyd. Praha: Prometheus, 1995. Pomocné knihy pro žáky (Prometheus). ISBN 80-858-4984-4.
18. MORAVEC, Ján. *Ohýbanie a ohýbacie nástroje*. V Žiline: EDIS, 2003. ISBN 80-807-0040-0.
19. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
20. NOVOTNÝ, Karel. *VÝROBNÍ STROJE A ZAŘÍZENÍ: TVÁŘECÍ STROJE* [online]. 2002 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/vyrobni_stroje_a_zarizeni_novotny.pdf
21. Ohraňování plechu. In: *Výrobky z plechu* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.ohranovaniplechu.cz/>
22. POKORNÝ, Přemysl. *Výrobní stroje II: tvářecí stroje*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001. ISBN 80-708-3482-X.
23. PRECIZ s.r.o.: Nástrojová ocel pro práci za studena. *Vlastnosti a použití oceli 1.2379* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.preciz.cz/sluzby-hlavni/material-normal/1.2379>
24. PROMAT CZ spol. s r.o.: CNC výroba. In: *Ohýbání trubek a jeklů* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.promatcz.cz/cz/cnc-vyroba/ohybani-trubek-jeklu/index.html>
25. Silesia-Tech s.r.o. *Odlitky: Tlakové lití* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.silesia-tech.cz/tlakove-liti>
26. TATÍČEK, František, Martin OUŠKA a Lukáš TURZA. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce při ohýbání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. ČVUT v Praze, 2012, 2012(4) [cit. 2017-03-24]. ISSN 120426. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologichnost-konstrukce-pri-ohybani.html>
27. Technologie II. *Technologie plošného tváření – ohýbání* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm

28. Technologie II. *Technologie tváření kovů* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
29. TOMA INDUSTRIES s.r.o. *VÝSTŘEDNÍKOVÝ LIS: LEXN 100C*. Trnava, 2006, 52 s. Dostupné také z: <http://www.toma.sk>
30. Total materia. *Chemické složení ocel S 315MC* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://search.totalmateria.com/MaterialDetails/MaterialDetail?vkKey=1391784&keyNum=132&type=3&hs=0>
31. Tvářecí stroje. *Katalog strojů* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/vyuka/katalog/kat/slexn100c_1.html
32. Učíme v prostoru: Lití pod tlakem. In: *Stroje se studenou tlakovou komorou* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: http://uyp3d.cz/drtic/?page_id=2621
33. VÝSTŘEDNÍKOVÉ LISY. In: *LEXN 100 C* [online]. [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://www.apj.cz/toma/default.htm>
34. ZBROJOVKA BRNO. *LISOVACÍ NÁSROJE: Konstrukční směrnice, rozměrové tabulky dílů. ČÁST I*. Brno, 1981.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažnost	[%]
A_{co}	celková ohybová práce s kalibrační	[J]
A_i	délka strany výstřižku rovnoběžná se stranou zavádění pásu	[mm]
A_o	ohybová práce	[J]
a_{min}	minimální délka ramene	[mm]
B_i	délka strany výstřižku kolmá na směr zavádění pásu	[mm]
b_{oh}	šířka průřezu po ohybu	[mm]
b_p	šířka polotovaru	[mm]
b_{plech}	šířka tabule plechu	[mm]
$b_{pův}$	původní šířka průřezu	[mm]
C_{codp}	celková cena odpadu	[kč]
C_{csk}	celková cena všech svitků	[kč]
C_{kWh}	cena energie	[kč/kWh]
C_n	cena nástroje	[kč]
C_{1kgm}	cena jednoho kg materiálu	[kč]
C_{1odp}	cena jednoho kg odpadu	[kč]
c	koeficient	[-]
D_{sk}	vnější průměr svitku	[mm]
d_{sk}	vnitřní průměr svitku	[mm]
E	modul pružnosti v tahu	[MPa]
e	vzdálenost mezi polotovary při stříhání	[mm]
F	síla stroje	[N]
F_{co}	celková ohybová síla s kalibrační	[N]
F_K	kalibrační síla	[N]
F_o	ohybová síla	[N]
f	vzdálenost polotovaru od okraje pásu plechu při stříhání	[mm]
g	počet rovných úseků	[-]
H	zdvih stroje	[mm]
h	výška zdvihu ohybníku	[mm]
I	kvadratický moment	[mm ⁴]
K	krok	[mm]
k	součinitel ohybu	[-]
l_{krit}	kritická délka držáku ohybníku	[mm]
l_j	délka j-tého rovného úseku	[mm]
l_m	rameno ohybu	[mm]
l_n	délka neutrální osy v ohnutém úseku	[mm]
l_p	rozvinutá délka polotovaru	[mm]
l_{plech}	délka tabule plechu	[mm]
l_{sk}	délka rozvinutého svitku	[mm]
M_{zh}	hodinová mzda	[kč]
M	moment stroje	[MPa]
m_{csk}	hmotnost potřebného počtu svitků	[kg]
m_{sk}	hmotnost svitku	[kg]
m_{codp}	celková hmotnost odpadu	[kg]
$m_{cvýstř}$	celková hmotnost všech výstřižků	[kg]

Označení	Legenda	Jednotka
$m_{\text{výstř}}$	hmotnost jednoho výstřížku	[kg]
N_{cm}	celkové náklady na materiál	[kč]
N_{cv}	celkové náklady na výrobu	[kč]
N_{E}	celkové náklady na energii	[kč]
N_{mz}	celkové náklady na mzdy zaměstnanců	[kč]
N_{v1s}	náklady na výrobu jedné součásti	[kč]
n	počet ohnutých úseků	[-]
n_k	koeficient bezpečnosti	[-]
P	šířka pásu lechu	[mm]
P_p	počet nastříhaných pásů z tabule plechu	[-]
P_{ps}	počet tabulí plechu na celou sérii	[-]
P_{sks}	počet svitků na celou sérii	[-]
P_{sm}	Potřebný počet směn	[-]
P_{stroj}	Příkon stroje	[kW]
P_{vh}	celkový počet hodin potřebných na výrobu	[hod]
P_{vp}	počet výstřížků na jeden pás plechu	[-]
P_{vplech}	počet výstřížků z celé tabule plechu	[-]
P_{vsh}	počet součástí vyrobených za hodinu	[-]
P_{vsk}	počet výstřížků ze svitku plechu	[-]
P_{vss}	počet součástí vyrobených za směnu	[-]
R_a	drsnot povrchu	[μm]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
R_{max}	maximální poloměr ohybu	[mm]
R_{min}	minimální poloměr ohybu	[mm]
R_o	poloměr ohybu	[mm]
r_m	poloměr ohybnice	[mm]
r_p	poloměr ohybníku	[mm]
S_{o1}	namáhaná plocha prvního ohybníku	[mm^2]
S_{plech}	plocha plechu	[mm^2]
S_{sk}	plocha svitku plechu	[mm^2]
S_{vplech}	plocha výstřížků z tabule plechu	[mm^2]
S_{vsk}	plocha výstřížků ze svitku plechu	[mm^2]
$S_{\text{výstř}}$	plocha výstřížku	[mm^2]
s	tvářecí dráha stroje	[mm]
t	tloušťka materiálu	[mm]
t_{oh}	tloušťka průřezu po ohybu	[mm]
t_{pd}	délka pracovní doby	[hod]
$t_{\text{pův}}$	původní tloušťka průřezu	[mm]
t_{v1s}	čas výroby jedné součásti	[s]
$t_{\text{výr}}$	čistý výrobní čas	[hod]
V_{plech}	procentuální využití tabule plechu	[%]
V_{sk}	procentuální využití svitku plechu	[%]
v_n	rychlost beranu	[m/s]
x	velikost posunutí neutrální osy od původní osy průřezu	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
α	úhel ohybu	[°]
β	úhel odpružení	[°]
γ	úhel ohnutého úseku	[°]
ε_o	mezní prodloužení	[mm]
ρ	poloměr neutrální osy	[mm]
σ_{dov}	dovolené napětí	[MPa]
σ_K	extrapolovaná mez kluzu	[MPa]
ρ_o	hustota oceli	[kg · m ⁻³]
σ_{tl}	namáhání v tlaku	[MPa]
σ_{1s}	mez kluzu menší než σ_K	[MPa]
μ	součinitel tření	[-]
ψ	součinitel zaplnění pracovního diagramu	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady tvářených součástí [12], [21], [24]	9
Obr. 2 Kovový zálisek	10
Obr. 3 Schéma využití kovového zálisku [4].....	10
Obr. 4 Zálisek s rozměry.....	10
Obr. 5 Tlakové lití se studenou tlakovou komorou [32].....	12
Obr. 6 Princip asymetrického zakružování [15]	12
Obr. 7 Schéma technologie ohraňování [27]	13
Obr. 8 Schéma technologie ohýbání [18]	13
Obr. 9 Princip ohybu tvaru U [27], [3]	14
Obr. 10 Deformace průřezu po ohybu [27].....	14
Obr. 11 Průběh napětí v jednotlivých fázích ohybu [15].....	14
Obr. 12 Napětí a posun neutrální osy při ohybu [8]	15
Obr. 13 Rozvinutá délka polotovaru.....	16
Obr. 14 Odpružení při ohýbání [27]	17
Obr. 15 Schéma ohybu tvaru U pro výpočet odpružení [8].....	17
Obr. 16 Příklad nedodržení minimálního poloměru ohybu	18
Obr. 17 Ohýbání a ohybová síla do tvaru U [27].....	19
Obr. 18 Ohybová síla s kalibrací [22], [27]	19
Obr. 19 Schéma jednoduchého ohýbadla [18], [19]	20
Obr. 20 Celistvý ohybník.....	21
Obr. 21 Funkční části ohybníku.....	21
Obr. 22 Celistvá ohybnice	21
Obr. 23 Funkční části ohybnice	21
Obr. 24 Uspořádání tvářecího stroje [22]	22
Obr. 25 Schéma výstředníkového lisu [16]	22
Obr. 26 Schéma hydraulického lisu [16]	23
Obr. 27 Umístění osy ohybu [26]	24
Obr. 28 Nejmenší délka ramene [26].....	24
Obr. 29 3D model zálisku	25
Obr. 30 Poloha neutrální osy	25
Obr. 31 Rozdělení součástky na úseky	25
Obr. 32 Rozvinutá délka polotovaru.....	26
Obr. 33 Rozměry tabule plechu	26
Obr. 34 Způsob stříhání tabule plechu.....	27
Obr. 35 Svitek plechu	28
Obr. 36 Nástřihový plán příčného stříhání.....	29
Obr. 37 Ohybový plán	30
Obr. 38 Posun polotovaru v nástroji (pohled shora).....	30

Obr. 39 Ohyb s kalibrací.....	31
Obr. 40 způsob druhého ohybu součásti.....	31
Obr. 41 Schéma prvního ohybu	32
Obr. 42 Schéma druhého ohybu	32
Obr. 43 Lis LEXN 100 C [33]	33
Obr. 44 Schéma složeného ohýbadla	34
Obr. 45 Spodní část nástroje	34
Obr. 46 Vrchní část nástroje	35
Obr. 47 Základová deska	35
Obr. 48 Upínací deska	36
Obr. 49 Vkládací deska.....	36
Obr. 50 Kotevní deska	37
Obr. 51 Ohybnice.....	37
Obr. 52 Ohybníky	37
Obr. 53 Koncový doraz.....	38
Obr. 54 Boční doraz.....	38
Obr. 55 Výškové dorazy	38
Obr. 56 Opěrná deska spodní.....	39
Obr. 57 Opěrná deska horní.....	39
Obr. 58 Zdvih ohybu.....	39
Obr. 59 Deska stopky a vodící lišta	39

SEZNAM TABULEK

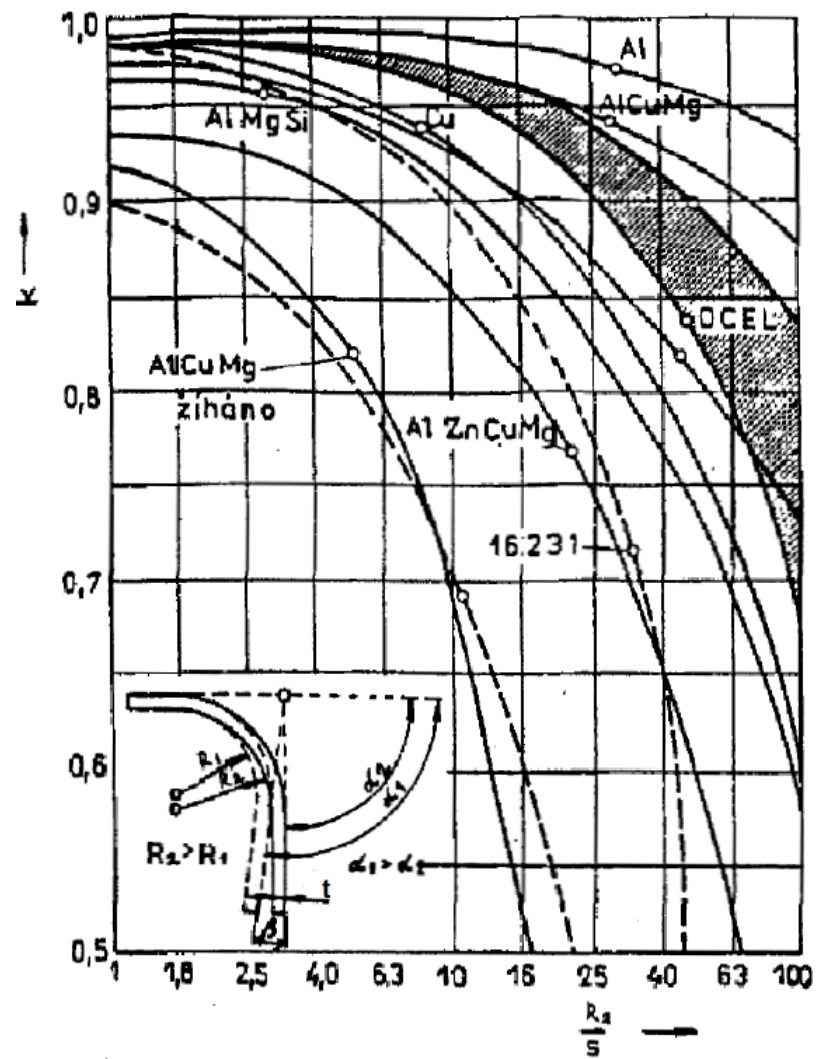
Tab. 1 Základní mechanické vlastnosti a chemické složení oceli S315 MC [1], [30].....	11
Tab. 2 Hodnoty součinitele x [27]	15
Tab. 3 Hodnoty součinitele k [19]	17
Tab. 4 Příklady minimálních hodnot poloměrů [26]	18
Tab. 5 Využití tabulí plechu podle rozměrů a směru stříhání pásů plechu.....	28
Tab. 6 Využití svitku pro příčné stříhání výstřižků	29
Tab. 7 Technické parametry výstředníkového lisu LEXN 100C [29], [32]	33

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Diagram k určení koeficient k [8]
Příloha 2	Tabulka hodnot úhlů odpružení u vybraných materiálů [27]
Příloha 3	Rozměry lisu LEXN 100C [14] 1/2 Přestavitelnost zdvihu lisu LEXN 100C [14] 2/2
Příloha 4	Směrnice pro stanovení šířky odpadu [34]

SEZNAM VÝKRESŮ

KOVOVÝ ZÁLISEK	BP_172069/KZ
SLOŽENÝ NÁSTROJ	BP_172069/1
VKLÁDACÍ DESKA	BP_172069/01
KOTEVNÍ DESKA	BP_172069/02
OPĚRNÁ DESKA SPODNÍ	BP_172069/03
OPĚRNÁ DESKA HORNÍ	BP_172069/04
OHYBNICE 1	BP_172069/05
OHYBNICE 2	BP_172069/06
OHYBNÍK 1	BP_172069/07
OHYBNÍK 2	BP_172069/08
DRŽÁK OHYBNÍKU	BP_172069/09
ZDVIH OHYBU	BP_172069/10
BOČNÍ DORAZ LEVÝ	BP_172069/11
BOČNÍ DORAZ PRAVÝ	BP_172069/12
KONCOVÝ DORAZ	BP_172069/13
VODÍCÍ LIŠTA	BP_172069/14
DESKA STOPKY	BP_172069/15
VÝŠKOVÝ DORAZ SPODNÍ	BP_172069/16
VÝŠKOVÝ DORAZ HORNÍ	BP_172069/17
SKLADOVACÍ DORAZ	BP_172069/18
ZÁKLADOVÁ DESKA	BP_172069/20
UPÍNACÍ DESKA	BP_172069/21



Materiál		$\frac{R_o}{t}$	
		0,8 ÷ 2	> 2
	= 320 MPa	1°	3°
Ocel σ_{pt}	= 320 ÷ 400 MPa	3°	5°
	= 400 MPa	5°	7°
Mosaz měkká		1°	3°
Mosaz tvrdá		3°	5°
Hliník		1°	3°

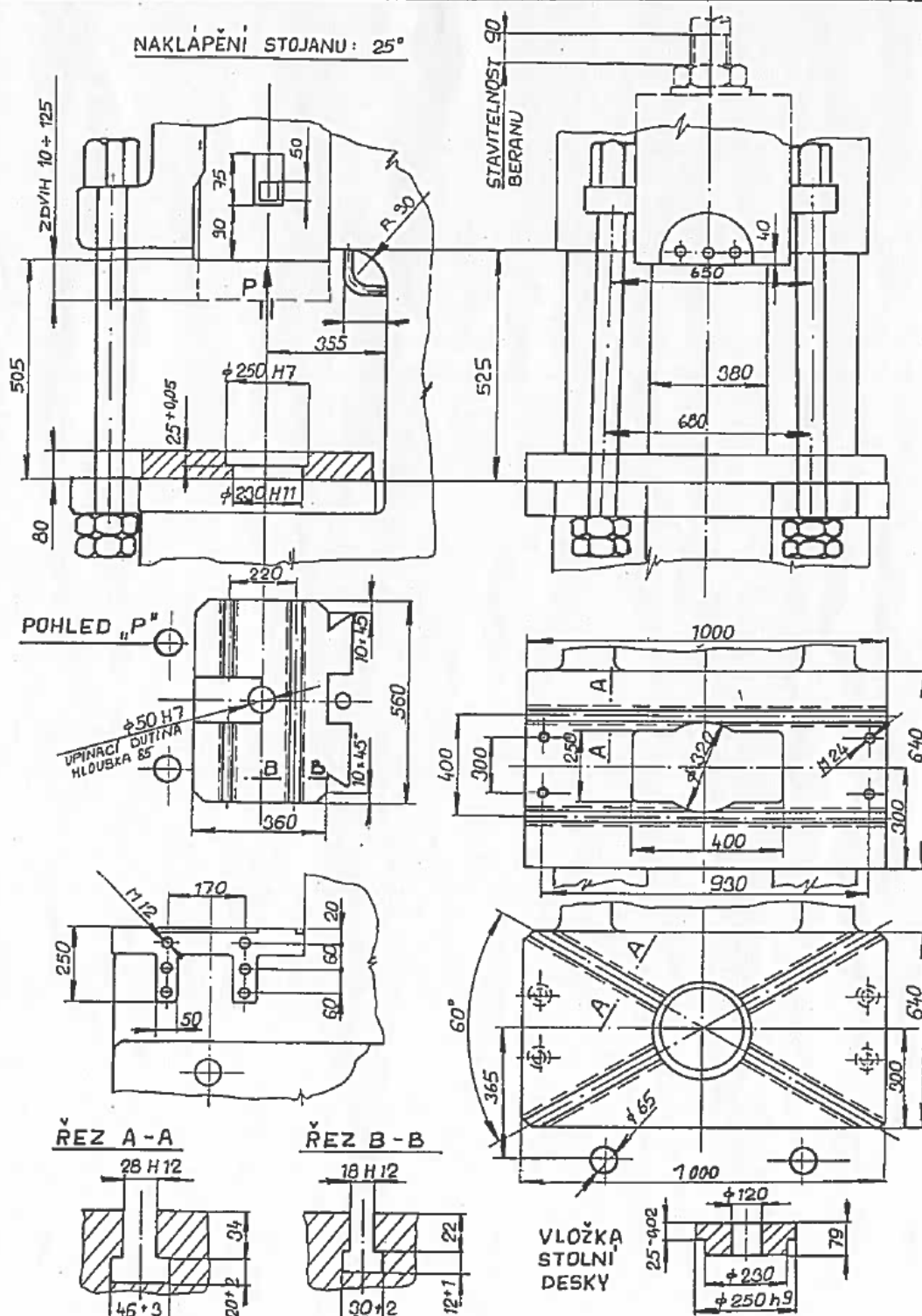


LEXN 100 C

LIST: 1

LISTŮ: 2

NAKLÁPĚNÍ STOJANU: 25°



DIVIZE NÁŘADÍ ZETOR

DATUM :
24. 12. 1992

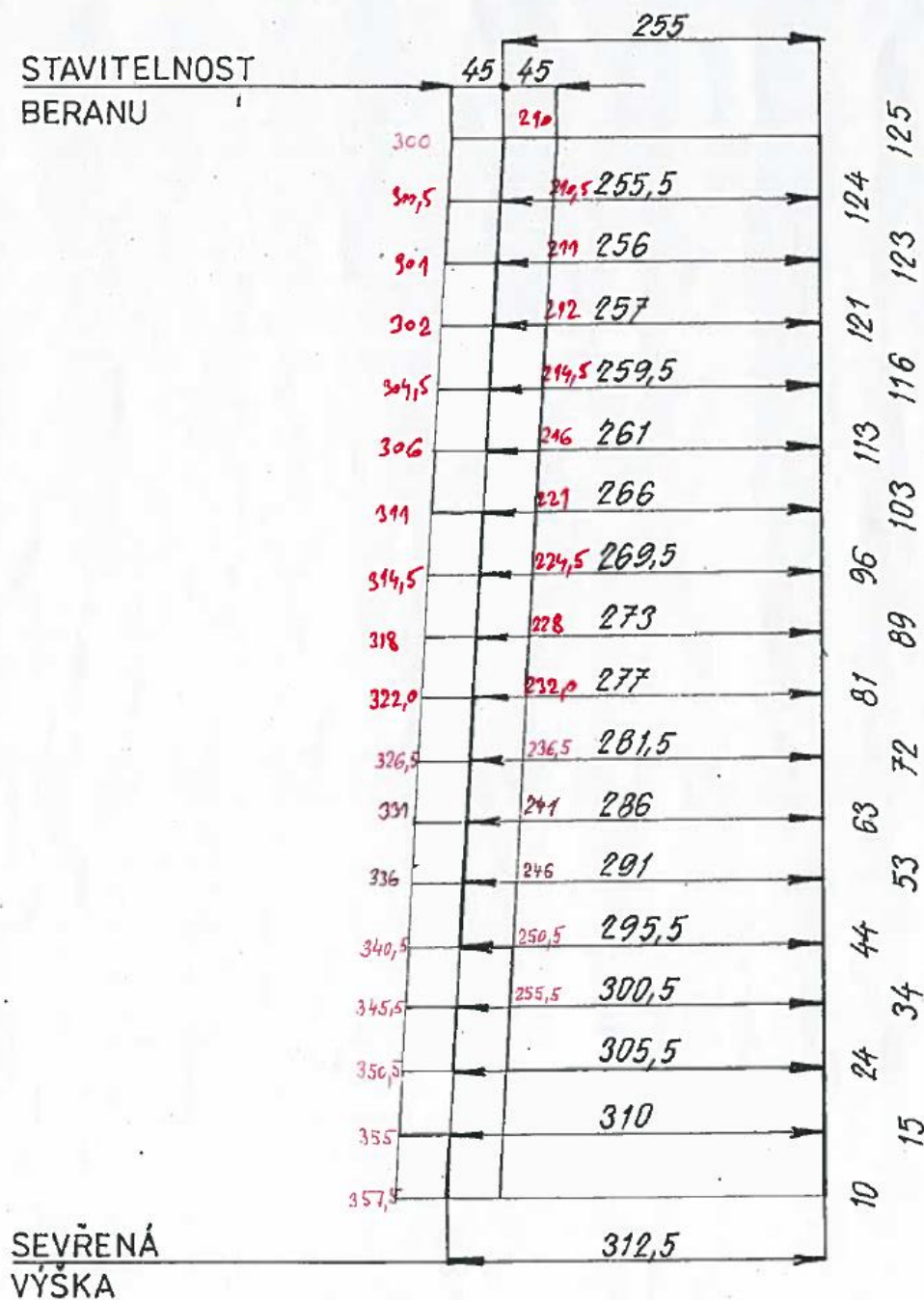
PODPIS _____



LEXN 100 C

LIST: 2

LISTŮ: 2

STAVITELNOST
BERANUSEVŘENÁ
VÝŠKA

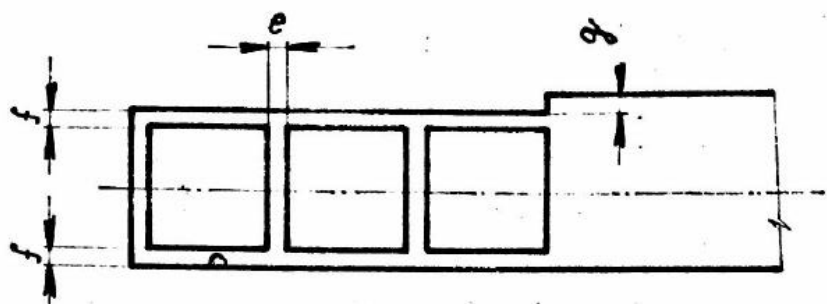
ZDVIH

DIVIZE NÁŘADÍ ZETOR

DATUM:
24. 12. 1992

PODPIS:

415 - 06 - 205	SMĚRNICE PRO STANOVENÍ ŠÍŘKY ODPADU	 NÁŘ KON-KL
----------------	--	--



Tl. mat.	Šířka pásu											
	do 15		15÷50		50÷100		100÷200		200÷300		300÷400	
	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f	e	f
0,1÷0,9	1,2	1,5	1,5	1,8	1,8	2,2	2,5	3,1				
1	1,3	1,6	1,6	2	2	2,5	3	3,7	4	4,8	4,8	6
1,3	1,4	1,7	2	2,5	2,5	3,1	3,5	4,3	4,2	5,2	5,3	6,5
1,5	1,5	1,8	2,2	2,7	2,5	3,1	3,5	4,3	4,5	5,4	5,6	6,8
1,8	1,8	2,2	2,2	2,8	2,5	3,1	3,5	4,3	4,7	5,6	5,8	7
2	2	2,5	2,5	3,1	3	3,7	4	5	5	6	6	7
2,2	2,2	2,7	2,6	3,2	3,2	4	4,2	5,2	5,2	6,2	6,2	7,2
2,5	2,5	3,1	2,8	3,5	3,2	4	4,2	5,2	5,3	6,3	6,3	7,2
2,8	2,8	3,5	3	3,7	3,2	4	4,2	5,2	5,4	6,3	6,5	7,3
3	3	3,7	3,2	4	3,5	4,3	4,5	5,5	5,5	6,5	6,6	7,5
3,5			3,5	4,3	4	5	5	6	6	7	7	8,5
4			3,8	4,5	4,5	5,5	5,5	6,5	6,7	8	8	9,3
4,5			4	4,8	4,5	5,7	5,5	6,8	7	8,3	8,3	9,8
5			4,5	5	5	6	6	7	7,3	8,5	8,7	10

Tloušťka mat.	do 1	1,1÷1,3	1,4÷1,5	1,6÷1,8	1,9÷2
g	1,5	1,8	2	2,2	2,5

Rozměry uvedené v tabulkách platí pro kovy.
Pro hmoty měkké (chrom. kůže, textil, azbest) použít dvojnásobné hodnoty e; f. Rozměr g zvětšit 1,5 krát.

Kreslil <i>Aměk</i>	Přezkoušel <i>Ing. Bartoš</i>	Schválil <i>Štohl</i>		Platí od 1.4.1981
------------------------	----------------------------------	--------------------------	--	----------------------