



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

## NÁVRH SEGMENTOVÉ OHÝBAČKY NA PLECH

DESIGN OF SEGMENT SHEET BENDER

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dmitrij Romanov

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pavlík, Ph.D.

BRNO 2021



# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	<b>Dmitrij Romanov</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	<b>Ing. Jan Pavlík, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2020/21

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

## Návrh segmentové ohýbačky na plech

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte a konstrukčně zpracujte řešení ruční segmentové ohýbačky na plech. Maximální kapacita zařízení: 1550 x 2 mm. Max. úhel ohybu 135 °.

### Cíle bakalářské práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.

Návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.

Návrh variant řešení a zdůvodnění výběru konkrétního řešení.

Konstrukční návrh zvolené varianty – 3D model.

Výpočtová zpráva.

Výkresová dokumentace vybraných uzlů.

Závěr a doporučení pro praxi.

### Seznam doporučené literatury:

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS, VLK, Miloš, ed. Konstruování strojních součástí. Přeložil Martin HARTL. V Brně: VUTIUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

ČADA, Radek. Technologie tváření, slévání a svařování: plastická deformace kovů, tažení plechu, ohýbání, objemové tváření zastudena. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2016. ISBN 978-80-248-3981-3.

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

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

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

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce se zabývá konstrukčním návrhem ruční segmentové ohýbačky na plech. Součástí práce je teoretický rozbor současného stavu vědy a techniky v oblasti ohýbání materiálu. Konstrukční řešení segmentové ohýbačky se odvíjí od obdobných strojů současně dostupných na trhu, které jsou v této práci rozebrány. Dále jsou navrženy možnosti realizace konstrukce důležitých částí ohýbačky, které se následně vyhodnotí pro výběr vhodné varianty. Ohýbačka je navržena pro ohýbání nízkouhlíkových ocelových plechů vhodných ke tváření za studena o rozměrech do 1550 x 2 mm. Práce obsahuje výpočty ovládacích částí stroje, které vychází z voleného materiálu pro ohýbání. Dále je vypracován 3D model ohýbačky a výkresová dokumentace sestavy a jejích vybraných uzlů.

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis deals with the design of a manual segment sheet metal bending machine. Part of the work is a theoretical analysis of the current state of science and technology in the field of material bending. The design solution of the segment bending machine is based on similar machines currently available on the market, which are analysed in this work. Then the possibilities of the construction of important parts of the bending machine are proposed, which are then evaluated for the selection of a suitable variant. The bending machine is designed for bending low-carbon steel sheets suitable for cold forming with dimensions up to 1550 x 2 mm.. The work contains calculations of the control parts of the machine, which are based on the selected material for bending. Afterwards a 3D model of the bending machine and drawing documentation of the assembly and its selected nodes are developed.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

ohýbání, ohýbání plechu, návrh ohýbačky na plech, segmentová ohýbačka

## **KEYWORDS**

bending, sheet metal bending, design of sheet metal bending machine, segment bending machine



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ROMANOV, D. *Jméno bakalářské práce*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2021, 55 s., Vedoucí bakalářské práce Ing. Jan Pavlík, Ph.D.



## **ČESTNÉ PROHLÁŠ ENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jana Pavlíka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 21. 5. 2021

.....

Romanov Dmitrij



# OBSAH

<b>1 ÚVOD</b> .....	<b>13</b>
<b>2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ</b> .....	<b>15</b>
2.1 Princip ohýbání [1][2][3] .....	15
2.1.1 Výpočet poloměru neutrální plochy [1][2] .....	16
2.1.2 Minimální a maximální poloměr ohybu [2][4] .....	17
2.1.3 Ohýbání do tvaru V a U [1][3] .....	17
2.1.4 Odpružení materiálu [1] [4] .....	18
2.1.5 Porušení materiálu při ohýbání [1] .....	19
2.2 Vybrané ohýbací nástroje a stroje .....	19
2.2.1 Jednoduché ohybadlo [1] .....	19
2.2.2 Mechanický lis [1] .....	20
2.2.3 Ohýbačka [1][3] .....	20
2.2.4 Segmentová ohýbačka [6] .....	21
2.2.5 Ohraňovací lis [1][3] .....	21
2.2.6 Profilové válce pro plynulé ohýbání [1] .....	22
2.3 Segmentové ohýbačky současně dostupné na trhu .....	22
2.3.1 Mobilní segmentová ohýbačka DRÁCO K1-AGN-3 [7] .....	22
2.3.2 Ruční segmentová ohýbačka Schechtl UK [7] .....	23
2.3.3 Ruční ohýbačka plechu HSBM 2020-20 SB [8] .....	23
<b>3 NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ A VARIANTY KONSTRUKČNÍCH UZLŮ</b> .....	<b>25</b>
3.1 Varianty upínacího mechanismu .....	25
3.1.1 Varianta A1 .....	25
3.1.2 Varianta A2 .....	26
3.2 Varianty napojení segmentů na lištu ohýbačky. ....	26
3.2.1 Varianta B1 .....	26
3.2.2 Varianta B2 .....	27
3.3 Vyhodnocení a výběr variant .....	27
<b>4 VÝPOČTY A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ OHÝBAČKY</b> .....	<b>29</b>
4.1 Výpočet ovládací síly .....	29
4.2 Dimenzování výklopné desky .....	30
4.3 Výpočet a výběr plynové vzpěry .....	32
4.4 Upínání materiálu .....	34
4.4.1 Výpočet upínací síly .....	34
4.4.2 Mechanismus upínání .....	35
4.4.3 Kinematika klikového mechanismu .....	36
4.4.4 Rozklad sil klikového mechanismu .....	38
4.5 Nosný pevný rám .....	41
4.6 Příslušenství .....	42
<b>5 ZÁVĚR</b> .....	<b>45</b>
<b>6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</b> .....	<b>47</b>
<b>7 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ A OBRÁZKŮ</b> .....	<b>49</b>
7.1 Seznam zkratk a symbolů .....	49
7.2 Seznam obrázků .....	52

<b>8</b>	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>55</b>
----------	---------------------------	-----------

# 1 ÚVOD

Ohýbání je technologická operace spadající do oblasti plošného tváření za studena. V současné době je ohýbání velmi rozšířenou operací a ohýbané díly lze nalézt v mnoha montážních celcích vyskytujících se v různých průmyslových odvětvích. Ohýbají se součásti různých materiálů a tvarů, například trubky, ploché ocelové plechy, uzavřené a otevřené profily. Pro jednotlivé součásti se aplikují odlišné stroje, které jsou specializované pro deformování do konkrétních tvarů.

Ohýbací stroje mohou být ovládány ručně, mechanicky, hydraulicky nebo plně automaticky. Výběr vhodné ohýbačky závisí na požadavku produktivity a hospodárnosti výroby. U velkosériové výroby jsou vhodné automatizovaná zařízení pro kratší výrobní časy. Pro klempířské práce v menších dílnách vystačí ručně ovládaná ohýbačka. Ruční ohýbačky mohou být mobilní, které jsou potom vhodné na zpracování plechu v prostorech stavby, například výroba střešního opláštění. Ohýbání širokých pásů ocelového plechu se provádí na robustních a rozměrných strojích. Pro úpravu menších plechu do krabicových forem se používají lehčí ohýbačky se speciálními přemístitelnými segmenty, které umožňují ohýbání dílu do více směrů.

Cílem práce je realizovat návrh konstrukce ručně ovládané segmentové ohýbačky na plech, která umožňuje ohýbat jak malé plechové díly, tak i delší plechové pásy do různých tvarů a následně vypracovat 3D model navrženého stroje a výkresovou dokumentaci jeho vybraných částí.



## 2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

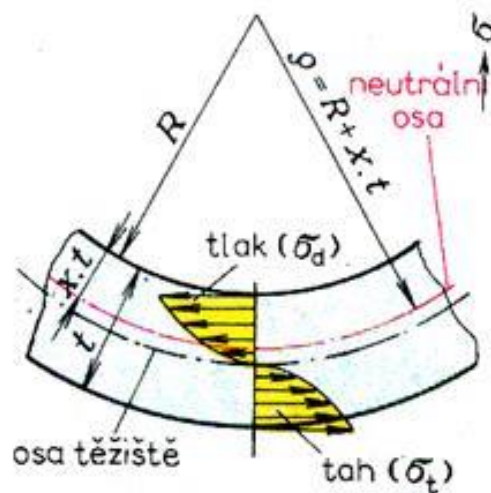
### 2.1 Princip ohýbání [1][2][3]

Ohýbání je technologická operace, při které dochází k trvalé deformaci materiálu vzniklým napětím vlivem působení ohybového momentu od ohybové síly. Deformace způsobena ohýbáním je pružně-plastická a její velikost je ovlivněna kvalitou materiálu, jeho tloušťkou v místě ohybu, poloměrem ohybu a velikostí působících ohybových momentů. Ve výrobě je ohýbání velmi využívaná technologická operace, pomocí které je možné upravovat několika ohyby součástí z plechů, drátů a tyčí do požadovaného tvaru. Tato operace se většinou provádí za studena použitím nástrojů a strojů k ohýbání. Materiály s velkým průřezem a vyšší pevnosti se ohýbají za tepla.

Charakteristickou vlastností ohýbání je změna tvaru plochy ohýbaného dílce tzv. neutrální plochy (Obr. 1). V místě této neutrální plochy se při ohýbání skokově mění velikost napětí a jeho znaménko (+, -). Změna a průběh tahového a tlakového napětí při ohýbání vede i ke vzniku deformaci v příčném průřezu.

U ohýbání plošných materiálů rozlišujeme mezi ohýbáním úzkých polotovarů ( $b < 3 \cdot s$ ) a širokých polotovarů ( $b > 3 \cdot s$ ), kde  $b$  je šířka a  $s$  tloušťka polotovaru v mm. Úzké polotovary se při ohýbání deformují v příčném průřezu více než široké. Při ohýbání širokých a tenkých plechů a pásů se tloušťka v místě ohybu zeslabuje, avšak v příčném průřezu nedochází téměř k žádné deformaci. Kruhové tyče o průměru  $d$  s poloměrem ohybu  $R_0 \geq 1,5 \cdot d$  se při ohybu totéž v příčném průřezu skoro nedeformují. V ostatních případech nabývá příčný průřez oválného nebo vejčitého tvaru.

Z obrázku (Obr. 1) je patrné, že v místě, kde se mění tahové napětí na tlakové, není žádné napětí ani deformace. Znalost poloměru  $\rho$  této neutrální plochy je nutná pro stanovení délky výchozího polotovaru ohýbané součástí.



Obr. 1) Průběh a velikost napětí materiálu při ohybu [3]

### 2.1.1 Výpočet poloměru neutrální plochy [1][2]

Ohýbání materiálů s velkými poloměry ohybu, kde  $R_0/s \geq 12$  (1). V takovém případě se předpokládá, že neutrální plocha je uprostřed tloušťky  $s$ . Potom lze její polohu určit:

$$\rho = R_0 + \frac{s}{2} \quad [mm] \quad (1)$$

Ohýbání materiálů s malými poloměry ohybu, kde  $R_0/s \leq 6$  (2). U těchto materiálů se vlivem působení napětí a deformaci průřezu posune neutrální plocha ke stlačeným vláknům, proto se pro určení poloměru přihlíží na deformaci průřezu.

$$\rho = \left( R_0 + \frac{s}{2} \right) \cdot z_z \cdot z_r \quad [mm] \quad (2)$$

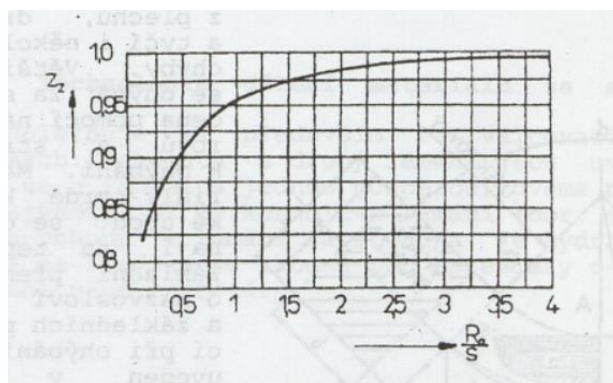
kde:  $z_z = s_1/s$  – součinitel ztenčení

$z_r = b_1/b$  – součinitel rozšíření původního průřezu

$b, s$  – šířka a tloušťka výchozího materiálu

$b_1, s_1$  – šířka a tloušťka materiálu po ohnutí

Součinitel ztenčení ( $z_z$ ) při ohybu je ovlivněn tvárností deformovaného materiálu, velikosti deformace, úhlu ohybu a třením mezi nástrojem a materiálem. Hodnotu součinitele pro tlusté průřezy měkké oceli při ohýbání o  $90^\circ$  lze vyčíst z diagramu zobrazeného na (Obr.2) ze [2].



Obr. 2) Součinitel ztenčení ( $z_z$ ) měkké oceli při ohýbání o úhel  $90^\circ$  [2]

Ohýbání širokých pásů plechu  $b > 3 \cdot s$  (3). Zde se pro určení neutrální plochy uplatňuje součinitel  $x$ , který vyjadřuje velikost jejího posunutí od původní osy průřezu.

$$\rho = R_0 + x \cdot s \quad [mm] \quad (3)$$

V následující tabulce z (Obr.3) je uvedena závislost součinitelů  $x$  a  $z_z$  na poměrném rádiusu ohybu  $R_0/s$  pro měkkou ocel s úhlem ohybu  $90^\circ$ .

$R_0/s$	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00	10,00	15,00	20,00
$x$	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486	0,492	0,498
$z_z$	0,82	0,87	0,92	0,96	0,985	0,992	0,995	0,996	0,996	0,997	0,998	0,999	1,00

Obr. 3) závislost součinitelů  $x$  a  $z_z$  na poměrném rádiusu ohybu  $R_0/s$  [2]

Když je známý poloměr neutrální plochy, lze vyjádřit délku ohnuté části  $l_n$  v této ploše. Vyjádří se ze vztahu: (4)

$$l_n = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot (R_o + x \cdot s) \quad [mm] \quad (4)$$

Kde:  $\alpha$  – úhel ohybu

$\gamma = 180^\circ - \alpha$  [°] – úhel ohnutého úseku

Celková délka polotovaru pro ohýbanou součást se zjistí součtem přímých úseků a úseků ohnutých neboli jejich délek neutrálních ploch.

### 2.1.2 Minimální a maximální poloměr ohybu [2][4]

Při ohýbání se materiál trvalé deformuje, což vyžaduje překonat mez kluzu  $R_e$  daného materiálu, ale nesmí se překročit jeho mez pevnosti  $R_m$ , jinak se poruší soudržnost materiálu.

Minimální poloměr ohybu  $R_{min}$  (5) udává nejmenší možný poloměr ohybu na tahové straně, aby se materiál neporušil v místě jeho krajních vláken.  $R_{min}$  závisí především na plastičnosti materiálu, jeho jakosti, metodě ohýbání, šířce a tloušťce materiálu a kvalitě povrchu.

$$R_{min} = \frac{s \cdot (1 - \varepsilon)}{2 \cdot \varepsilon} \text{ resp. } \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon} - 1 \right) \quad [mm] \quad (5)$$

Kde:  $\varepsilon$  – mezní poměrné přetvoření krajních tahových vláken. V případě jeho překročení dojde k porušení materiálu.

V praxi se  $R_{min}$  uplatňuje jen v nutných případech. Obvyklé se pro  $R_{min}$  volí hodnoty o 20 % větší.

Maximální poloměr ohybu  $R_{max}$  je poloměr, který určuje poloměr ohybu na tahové straně materiálu, který je nutné překonat, aby došlo v jeho krajních vláknech k trvalé deformaci, jinak se materiál vrátí do původního tvaru. Je dán rovnicí (6).

$$R_{min} = \frac{s}{2} \cdot \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right) \approx \frac{s \cdot E}{2 \cdot R_e} \quad [mm] \quad (6)$$

Kde:  $E$  – modul pružnosti v tahu [MPa]

### 2.1.3 Ohýbání do tvaru V a U [1][3]

V praxi se lze setkat se dvěma základními metodami ohýbání, a to ohýbání do tvaru V a do tvaru U (Obr 4.). Určení ohýbací síly  $F_o$ , když se vezmou v potaz všechny faktory ovlivňující ohybový proces, je velmi komplikované, z toho důvodu se pro běžnou praxi aplikuje postup podle ČSN 22 7340, kde jsou uvedeny směrnice pro výpočet a konstrukci ohýbadel.

V této práci se realizuje ohýbačka plechu, kde se uplatňuje metoda ohýbání do tvaru V. Pro stanovení ohýbací síly  $F_o$  se využije následujícího vztahu:

Výpočet ohýbací síly  $F_o$  v ohýbadle pro ohýbání do tvaru V (7). Zde se uvažuje ohýbaný polotovar za nosník, který leží na dvou podporách ve vzdálenosti  $l$ , kde síla  $F_o$  působí uprostřed nosníku. V důsledku tření polotovaru o funkční části ohýbadla se síla  $F_o$  zvětší až o jednu třetinu její velikosti.

$$F_o = \frac{2 \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) \cdot b \cdot s^2 \cdot R_e}{3 \cdot l} \quad [N] \quad (7)$$

Ohybový moment bude  $M_o$ : (8)

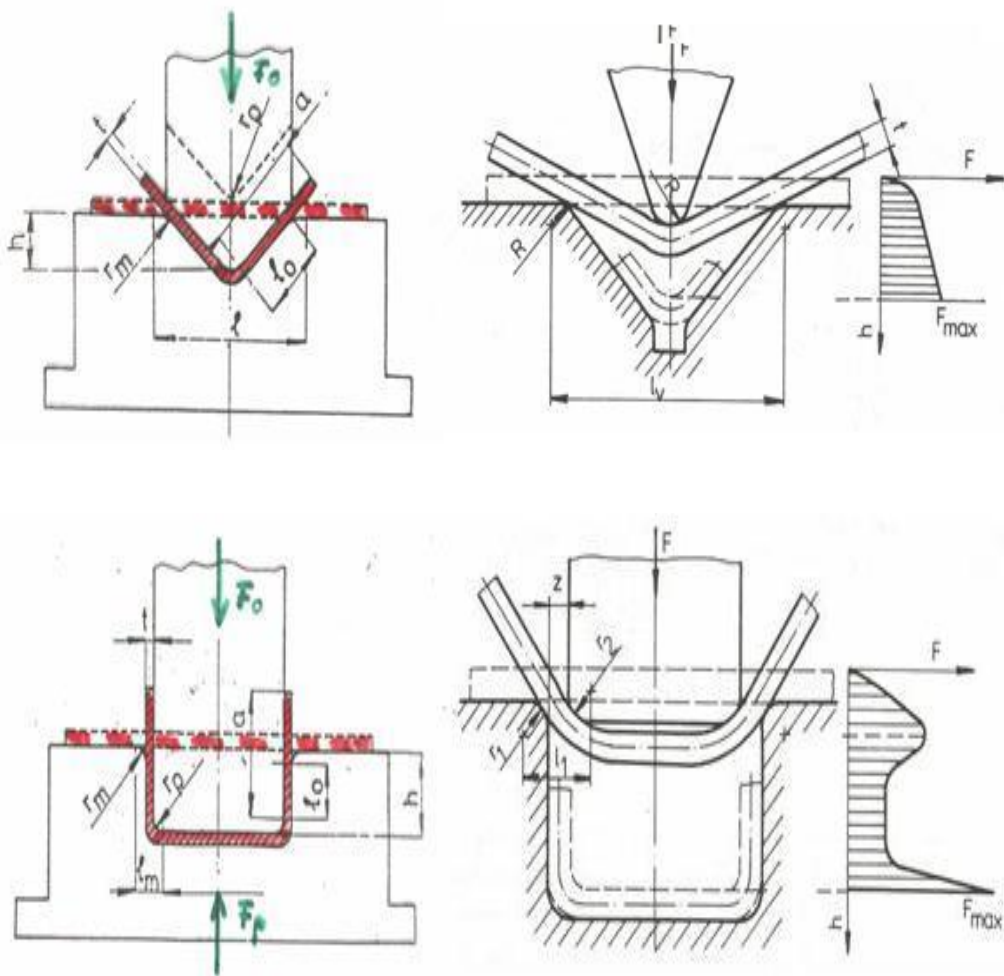
$$M_o = \frac{F_o \cdot l}{4} = W_o \cdot Re \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) \quad (8)$$

Kde  $W_o$  je modul odporu průřezu v ohybu.

Pro ohýbání úzkých tyčí (9) a širokých plechu (10) je ohybový moment:

$$M_o = \frac{b \cdot s^2}{4} \cdot Re \cdot (1,3 + 0,8 \cdot \varepsilon) \quad (9)$$

$$M_o = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b \cdot s^2}{4} \cdot Re \quad (10)$$



Obr. 4) Ohýbání do tvaru V a U [3]

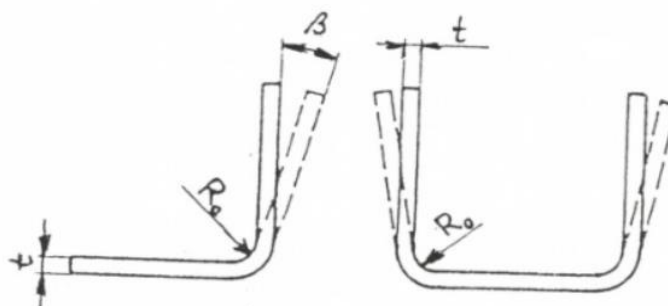
#### 2.1.4 Odpružení materiálu [1] [4]

Ohyb je pružně tvárná deformace, která vzniká působením deformační síly. Jakmile přestane na materiál působit tato síla, má materiál tendenci vrátit se do původního tvaru, a to o úhel

odpružení  $\beta$  (Obr. 5). Pro dosažení přesného úhlu ohybu se v praxi musí s tímto jevem počítat. Velikost odpružení závisí na mechanických vlastnostech materiálu a jeho rozměrech. Velikost odpružení lze přibližně určit pomocí výpočtů nebo diagramů, které byly sestaveny podle praktických zkoušek materiálů.

### 2.1.5 Porušení materiálu při ohýbání [1]

Je mnoho faktorů, které ovlivňují ohýbací proces součástky a může dojít k některým technologickým problémům např. praskání materiálu. Při zpevňování materiálu a dosažení určité kritické hodnoty  $R_0/s$  se materiál začne porušovat a vytvoří se trhlinky. Žíhaný materiál snese menší poloměr ohybu bez porušení soudržnosti než materiál o stejné tloušťce deformovaný za studena

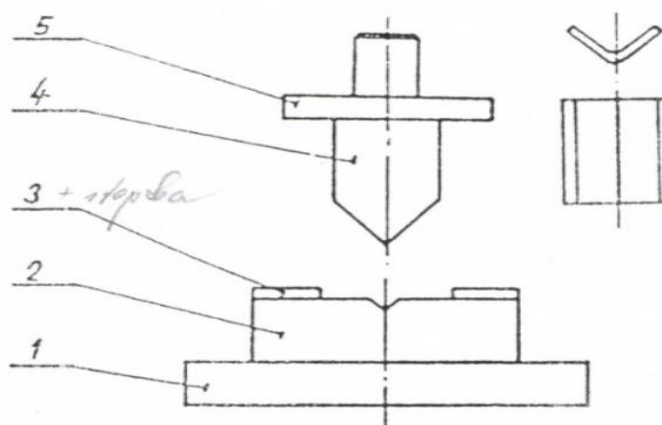


Obr. 5) Odpružení materiálu při ohýbání [1]

## 2.2 Vybrané ohýbací nástroje a stroje

### 2.2.1 Jednoduché ohybadlo [1]

Tento ohýbací nástroj (Obr. 6) je složen z těchto částí: základová deska – 1, ohybnice – 2, zakládací doraz – 3, pohyblivá ohýbací čelist tzv. ohybník – 4 a destičky – 5 pro zvětšení dosedací plochy. Ohýbací čelist je vybavena stopkou a bývá zajištěna proti otáčení. Šířka této čelisti nesmí být menší než šířka ohýbané součásti. Poloměr zaoblení ohybníku odpovídá poloměru ohybu součástí.



Obr. 6) Jednoduché ohybadlo [1]

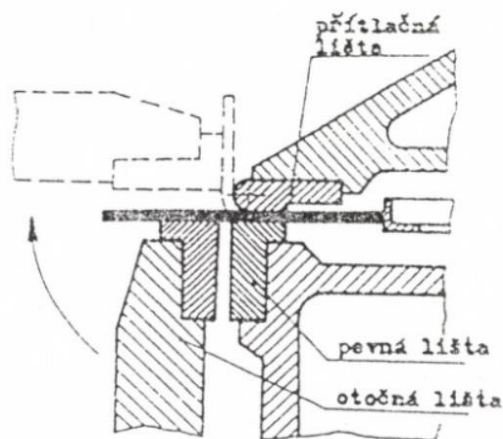
Stroje pro ohýbání se rozlišují podle metody ohýbacího procesu a rovněž podle velikosti a množství materiálu se kterým se na zařízení pracuje. Mezi ně spadají:

### 2.2.2 Mechanický lis [1]

Vhodný pro ohýbání menších materiálů. Jako ohýbací nástroj lisu se používá právě předtím uvedené ohýbadlo. U těchto strojů je důležité dbát na správné nastavení dolní úvratě pohyblivého beranu lisu. I malá chyba dokáže způsobit velké přetížení a poškodit nástroj i samotný lis.

### 2.2.3 Ohýbačka [1][3]

Tyto stroje umožňují ohýbání dlouhých součástí (plechové pásy), některé např. i do délky 4 m. Mohou být ovládané ručně nebo poháněné mechanicky, hydraulicky nebo řízené programově. Princip funkce je znázorněn na (Obr. 7). Ohýbaná součást se položí na pevnou lištu spodního nepohyblivého stolu. Přítlačnou lištou horní pohyblivé části stroje se materiál sevře v místě ohybové hrany a vyklopením otočné desky s ohýbací lištou se materiál ohne v celé jeho délce o libovolný úhel. Na obrázku (Obr. 8) čerpaného ze zdroje [5] je zobrazena ruční litinová ohýbačka plechu. Jejich masivní konstrukce umožňuje manuálně ohýbat ocelové plechy o tloušťce do 3 mm.



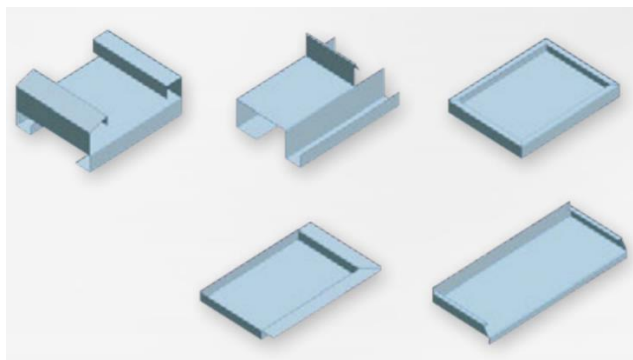
Obr. 7) Princip funkce ohýbačky [1]



Obr. 8) Ruční litinová ohýbačka [5]

## 2.2.4 Segmentová ohýbačka [6]

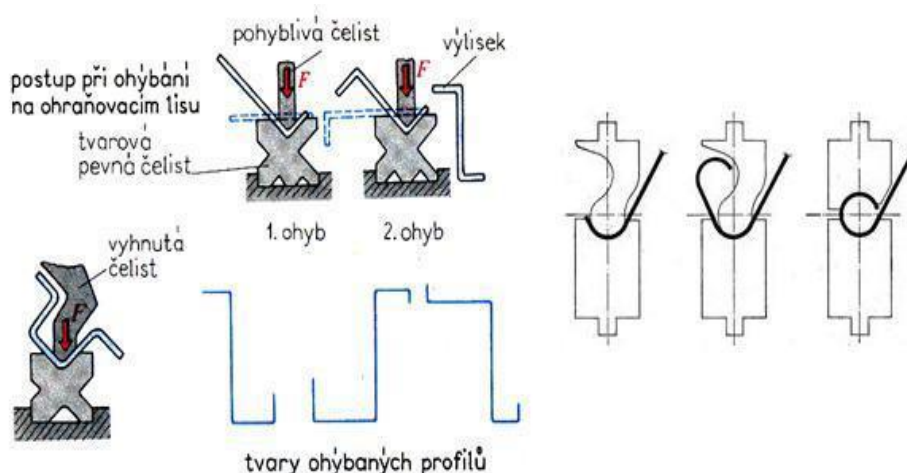
Předchozí uvedené ohýbačky mají veškeré lišty celistvé a plechový díl lze ohýbat jen do jedné strany. Pro výrobu složitějších forem se používají segmentové ohýbačky, s kterými je možné ohýbat díl do více stran. Segmentové ohýbačky jsou totiž místo jednotné lišty vybaveny jednotlivými segmenty, které je možné na stroji libovolně rozmístit, např. v speciálních čelistech a lištách. Tyto ohýbačky mohou mít segmenty v horní přítlačné části, na ohýbací desce a také na nosném pevném rámu. Různé kombinace rozmístění těchto segmentů umožňuje ohýbat plechový díl do různých tvarů. Lze toho využít pro snadnou a účinnou tvorbu komplikovaných dílů. Rozmístěním několika segmentů vedle sebe je možné i provádět více po sobě následujících operací na jednom stroji bez nutnosti přestavby. Variabilita tvarů, do kterých touto metodou můžeme ohýbat plechové díly je vysoká (Obr. 9) [6]. Mohou se tvarovat např. do plechových krabic, speciálních forem a okenních parapetů. Opět na rozdíl od konvenčních litinových ohýbaček zde zpravidla nelze ručně ohýbat plechy tlustší jak 2 mm. Zadaním této práce je právě navrhnout segmentovou ohýbačku. Segmentové ohýbačky jsou zobrazené v kap. 2.3.



Obr. 9) Formy plechu vyrobené na segmentové ohýbačce [6]

## 2.2.5 Ohraňovací lis [1][3]

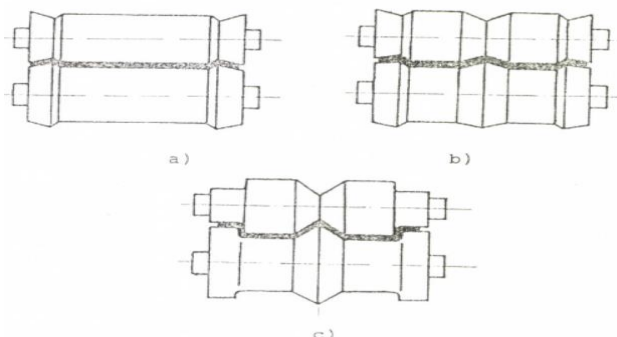
Princip funkce ohraňovacího lisu je totožný funkci nástroje v mechanickém lise, s tím rozdílem, že se může použít pro ohýbání velmi rozměrných dílů např. do délky 8 m. Je možné ohýbat součást do různých profilů, kde se pro různé operace střídají nástroje pro jednotlivé profily. (Obr. 10)



Obr. 10) Příklady technologie ohraňování [3]

### 2.2.6 Profilové válce pro plynulé ohýbání [1]

Zde se ohýbají svítkové plechy do různých profilů libovolných délek. Ohýbání probíhá kontinuálně mezi několika dvojicemi válců. Válce jsou tvarované podle požadovaného výstupního profilu plechu. (Obr.11) Počet operací závisí na komplikovanosti profilu plechu a jeho mechanických vlastnosti.



Obr. 11) Schéma profilových válců pro ohýbání [1]

### 2.3 Segmentové ohýbačky současně dostupné na trhu

Cílem práce je navržení ruční segmentové ohýbačky. Pro zvolení způsobu konstrukčního řešení zadání byly pro inspiraci vybrané a popsány některé takové ohýbačky současně dostupné na trhu.

#### 2.3.1 Mobilní segmentová ohýbačka DRÄCO K1-AGN-3 [7]

Přenosná ohýbačka bez spodního nosného rámu, kterou je možné upevnit pomocí šroubů na pracovní stůl. (Obr.12) Tato mobilní ohýbačka je užitečná pro střešní a fasádní práce, např. úprava plechu pro střešní opláštění, nebo výroba okapu a lze ji umístit přímo na střechní stavby. Je malých rozměrů s malou hmotností 57 kg, a tím pádem je snadno přenosná. Stroj umožňuje ohýbání plechu do všech směrů. Materiál se upíná pomocí excentru použitím ruční páky. Ohýbací lišta se také ovládá ruční pákou. Stroj obsahuje plynové vzpěry, které udržují přítlačnou lištu při nadzvednutí nahore. Horní lišta se zvedá do výšky 60 mm. Celá ohýbačka je z nerezavějícího materiálu a všechny součásti jsou vyměnitelné. Pracovní kapacita zařízení tvoří 1120 mm a umožňuje ohýbat nerezovou ocel do tloušťky 0,5 mm a jiné materiály jako hliník, měď, zinek do 0,8 mm. Ohýbačka je opatřena segmenty pro horní a ohýbací lištu. Do segmentů se imbusovým klíčem připojují šrouby s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem, pomocí kterých se udržují na lištách ohýbačky.



Obr. 12) Mobilní segmentová ohýbačka DRÄCO K1-AGN-3 [7]

### 2.3.2 Ruční segmentová ohýbačka Schechtl UK [7]

Ohýbačka Schechtl UK je vybavena segmenty usazených v čelistech horní, dolní a ohýbací části stroje (Obr.13). Je vhodná pro úpravu plechu do různých forem, např. krabic. Tato ohýbačka umožňuje vytvářet z materiálu i speciální formy, které není možné na jiných ohýbačkách vyrobit. Další vymoženosti tohoto modelu je patentovaný systém rychlého upínání horních segmentů bez potřeby náradí, to znamená že segmenty lze ručně libovolně rozmisťovat a vyndávat v rámci vodící lišty ohýbačky. Stejně platí i pro ostatní spodní a ohýbací segmenty. Materiál se upíná horním přítlačným rámem pomocí excentru, kterou lze ovládat buď ruční pákou na excentru nebo nožním pedálem, kterým je pro větší komfort ohýbačka vybavena také. Horní rám jde zvednout o 96 mm a také má nastavitelný přítlak. Ohýbací deska se ovládá ručně uchopením madla a otočením desky. Deska je délkově nastavitelná. Na nosný rám jsou připojena kola a ohýbačka se tak může snadno po dílně transportovat. Model UK 100 má pracovní délku 1000 mm a je schopen ohnout ocelový plech tlustý 1.5 mm. Hmotnost je 260 kg. Model UK 150 má o 250 mm větší pracovní délkou. S větší možnou pracovní kapacitou ale klesá maximální tloušťka, kterou může ohýbaný ocelový plech mít. A také přibývá na hmotnosti stroje. Na druhou stranu model stejné firmy UKV [7] s pracovní délkou 1000 mm a hmotnosti 400 kg dokáže ohnout ocelový plech i o tloušťce 2 mm. Takže stroje s mohutnější konstrukci naopak umožní ohýbat silnější součásti.



Obr. 13) Ruční segmentová ohýbačka Schechtl UK [7]

### 2.3.3 Ruční ohýbačka plechu HSBM 2020-20 SB [8]

Ohýbačka s velmi masivní konstrukcí o hmotnosti přesahující 1000 kg a pracovní šířkou dosahující 2000 mm. Celá šířka ohýbačky dělá 2800 mm. (Obr.14) Vzhledem k její velké hmotnosti je tato ohýbačka vhodná zejména pro ohýbání širokých a do 2 mm tlustých ocelových plechů. Segmenty je vybavena pouze horní lišta, která je pro bezpečné upínání předepnutá a zvedá se do výšky až 120 mm. Maximální úhel ohybu je zde 135°. Upínání materiálu se provádí ruční pákou umístěnou na jednom konci stroje a je připojena na protáhlou tyč, která propojuje obě strany upínacího mechanismu. Samotný mechanismus upínání je schovaný v prostorném nosném rámu ohýbačky. S ohýbací deskou se manipuluje pomocí rukojeti.

Ohýbačky zpravidla obsahují úhloměr s nastavitelným úhlovým dorazem, který umožňuje snadně ohýbat součást do požadovaného úhlu. Mezi další dostupná příslušenství usnadňující práci patří doraz pro délku plechu na zadní straně ohýbačky a speciální kotoučové nůžky pro ořezávání plechu. Vyměnitelné segmenty ohýbaček mohou být různých rozměru pro větší pestrost tvaru, do kterých lze součást formovat.



Obr. 14) Ruční ohýbačka plechu HSBM 2020-20 SB [8]

## 3 NÁVRH KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ A VARIANTY KONSTRUKČNÍCH UZLŮ.

Navrhuje se segmentová ohýbačka s pracovní šířkou 1550 mm, která umožňuje ohýbat plechový díl do tloušťky 2 mm. Po prozkoumání současného stavu trhu pro inspiraci byla zvolená celková koncepce ohýbačky. Ohýbačka bude hmotnější konstrukce se silným nosným rámem pro zpracování náročnějších plechů. Zároveň bude ohýbačka vybavena přítlačnými, ohýbacími a spodními nepohyblivými segmenty, které lze libovolně rozmísťovat podle potřeby, a tím pádem umožní stroj ohýbat součást do všech směru a bude vhodný i pro výrobu různých libovolně složitých forem. Ohýbací desku bude možné ručně vyklopit pomocí madla.

Jednotlivé části ohýbačky lze konstrukčně provést více možnými způsoby. Dále budou uvedeny některé z nich pro významné konstrukční uzly ohýbačky.

### 3.1 Varianty upínacího mechanismu

#### 3.1.1 Varianta A1

Jednou z možností upínání materiálu přítlačnou lištou je pomocí excentru, který může být v jeho středu uložen na čepu. Pohyb horní lišty zde funguje na principu klikového mechanismu, kde ona koná posuvný přímočarý pohyb mezi dolní úvrati DÚ a horní úvrati HÚ řízený ojnici, která na jejím druhém konci rotuje pomocí otočné kliky. Ojnice tedy koná obecný rovinný pohyb [9]. Klikka může být například čep na kotouči, který je umístěny mimo jeho osu, a proto se označuje jako excentr (Obr. 15). Na excentr bývá napojena páka pro ruční manipulaci, nebo delší rameno mechanismu pro ovládání nožním pedálem, pokud je jím ohýbačka vybavena [10].



Obr. 15) Excentr ohýbačky [10]

### 3.1.2 Varianta A2

Další možností upínání je pomocí pohybových šroubů, kde horní rám je spojen s maticemi, které se při otáčení šroubů buď spouští nebo zvedají spolu s rámem. Svislý pohybový šroub je otáčen pomocí kuželového soukolí s přímými zuby. (Obr. 16) Pod ohýbacím stolem je po celé délce zařízení protáhlá hřídel, na které je ovládací kuželové ozubené kolo, které přenáší kroutící moment na šroub. Hřídel je ovládán využitím ruční otočné kliky [11].



Obr. 16) Kuželové soukolí a pohybový šroub ohýbačky [11]

## 3.2 Varianty napojení segmentů na lištu ohýbačky.

### 3.2.1 Varianta B1

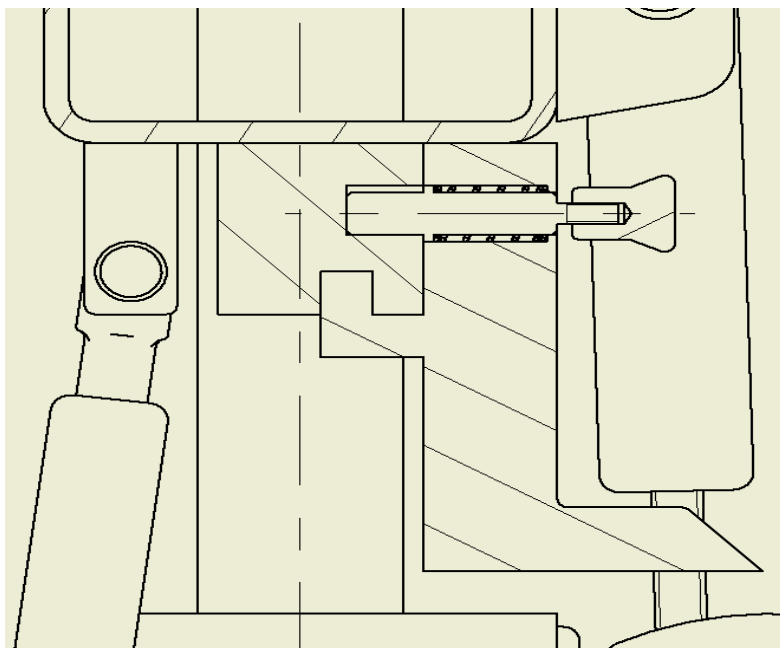
První variantou je upevnění segmentů k liště pomocí šroubů s válcovou hlavou s vnitřním šestihranem, které zapadnou do válcového zahloubení segmentů se závitů. Tento způsob uložení je vhodný pro ploché segmenty horní lišty, kde hlava šroubu nebude vyčnívat ze segmentů ven a lze tak tvořit delší ramena ohýbaných součástí i při úhlu ohybu většího jak  $90^\circ$  (Obr. 17). Šroubové upevnění a povolování se provádí využitím imbusového klíče. Tohoto upevnění lze využít i pro spodní ohýbací lištu.



Obr. 17) Upínání segmentů pomocí šroubů [12]

### 3.2.2 Varianta B2

Pro navržení této varianty byla snaha vymyslet systém uložení segmentů bez použití náradí. Došlo se k následujícímu řešení. Varianta je rozpracovaná pro horní segmenty, které je možné lineárně přesouvat na vodící liště. Segmenty budou mít otvor o dvou průměrech. Do většího otvoru se přiloží tlačná pružina na dosedací plochu uvnitř otvoru. Následně se ze stejné strany díry provede malý čep s osazením, kterým je možné zatlačit na pružinu. Jeden konec čepu bude průchozí přes menší otvor díry a na jeho konci bude závit na který se přišroubuje hříbový knoflík s vnitřním závitem, Druhý konec čepu bude vložen do otvoru vodící lišty a držet tak segment na ní. Když se zatáhne za knoflík, přitlačí čep jeho osazením pružinu uvnitř segmentu a druhý konec čepu se pohne ven z vodícího otvoru lišty pro přesunutí segmentů, Když se knoflík pustí, napjatá pružina vrátí čep do původní polohy a druhý konec opět bude připojen k liště. Aby se při zatažení knoflíku nevyndal ven z lišty rovnou celý segment, budou segmenty a lišta speciálně tvarovaný pro axiální zajištění. Princip je znázorněn na (Obr. 18). Tento systém nevyžaduje pro přesun segmentů žádného náradí a usnadňuje tak práci na stroji. Oproti předchozí variantě zde forma segmentů neumožňuje pro velký úhel ohybu, tvořit dlouhá ohýbaná ramena součásti.



Obr. 18) Upínání segmentů – varianta B2

### 3.3 Vyhodnocení a výběr variant

V současné době mají běžné segmentové ohýbačky excentrické upínání, které popisuje varianta A1, a bude tak uplatněna i pro projektovanou ohýbačku. Na excentru bude Varianta A2 se naopak využívá u těžkých litinových ohýbaček, které pracují s náročnými plechy, vzhledem k tomu, že ozubené soukolí umožňuje i ručně vytvořit velkou upínací sílu.

Pro uložení horních segmentů jsou obě uvedené varianty vyhovující, nicméně nakonec byla vybraná varianta B2. Segmentová ohýbačka se především využívá pro ohýbání snadně tvarovatelného plechu do různých forem a pozicování segmentů bez nutnosti náradí zvýší uživatelský komfort.

Ohýbací segmenty budou umístěné v otvoru ohýbací čelisti stroje. Stejným způsobem se uloží dolní segmenty do lišty pevného spodního rámu. Tyto segmenty lze také skládat bez nářadí a není nutné je zajišťovat, neboť budou v čelistech stabilně usazeny.

## 4 VÝPOČTY A KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ OHÝBAČKY

Výchozí parametry: Maximální kapacita zařízení: 1550 x 2 mm. Max. úhel ohybu: 135°.

### 4.1 Výpočet ovládací síly

Pro konstrukční provedení zadání je nutné prvně zjistit maximální ohybový moment  $M_o$ , který musí být možno vyvinout ohýbací deskou stroje pro správné ohýbání plechů. Na základě toho se dále určí rozměr ramena madla desky tak, aby obsluha dokázala tento ohybový moment vyvinout. Pro výpočet se použije vztah pro ohýbání plechu do tvaru V (10), který je uveden v kap.2.1.3. Vychází se z maximální kapacity zařízení, tj. 1550 mm šířky ohýbaného plechu  $b$  a jeho tloušťky  $t$  o velikosti 2 mm. Protože se při ohýbání musí dosáhnout v místě ohybu materiálu napětí, po kterém dojde k jeho plastické deformaci, je taktéž potřebné znát mez kluzu  $Re$  ohýbaného materiálu, která je ovlivněna jakostí materiálu. Pro výpočty se jako ohýbaný materiál bude uvažovat ocelový plech válcovaný za studena vhodný ke tváření za studena (ohýbání). Je voleno DC01 s  $Re$  235 MPa [13]. Do vzorce jsou dosazeny hodnoty v základních jednotkách.

$$M_o = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{b \cdot s^2}{4} \cdot Re = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1,550 \cdot 0,002^2}{4} \cdot 235 \cdot 10^6 = 420,6 \text{ Nm}$$

Z výpočtu vyplývá, že pro ohnutí vybraného ocelového plechu o šířce 1550 mm a tloušťky 2 mm je nutné vyvodit ohybový moment o velikosti 420,6 Nm. Jedná se o velký ohybový moment. Následně se z vypočteného požadovaného momentu odvodí rozměr ramena madla  $l_{ram}$  z obecného vztahu pro výpočet momentu síly (12). Rovněž je brán ohled na komfort a bezpečnost obsluhy, to znamená, že cílem je konstruovat stroj v souladu s BOZP (Bezpečnost a ochrana zdraví při práci). Při manipulaci s ohýbací deskou zařízení se pomocí uchopení madla provádí tažný pohyb čelisti z dolní úvrati vzhůru, když se plechový díl ohýbá do větších úhlů, např. víc jak 100° vystřídá ho v určité výšce tlačný pohyb vzhůru. V portálu pro BOZP [14] je uvedeno, že přípustné hmotnostní limity pro manipulaci s břemenem je u mužů při občasném zvedání a přenášení 50 kg a při časté manipulaci 30 kg. Zařízení bude realizováno pro pravidelné užívání, takže se počítá s hmotností  $m_{obs}$  30 kg a tomu odpovídající maximální přípustná ovládací síla  $F_{max}$  se odvodí podle vzorce pro tíhovou sílu břemene (11), kde  $g$  je tíhové zrychlení.

$$F_{max} = m_{obs} \cdot g = 30 \cdot 9,81 = 294,3 \text{ N} \quad (11)$$

$$l_{ram} = \frac{M_o}{F_{max}} = \frac{420,6}{294,3} = 1,429 \text{ m} \quad (12)$$

Jelikož je vyžadován dost značný ohybový moment od navrženého stroje, bylo očekáváno, že z výpočtu vyloučí i velký rozměr pro rameno madla. Z hlediska konstrukce a obsluhy stroje je ale délka pro výklopnou část stroje, která vyšla delší jak 1 metr nevyhovující. Může případně i překročit výšku spodního rámu na kterém bude tato ohýbací čelist držet. Volí se tedy kratší a přijatelnější délka, ale pro dosažení stejného ohybového momentu bude obsluha nucena vynaložit větší sílu.

Za novou délku  $l_{ram}$  je zvoleno 500 mm. Ta se dosadí do již uvedeného vzorce (12) pro výpočet momentu síly, ze kterého se nalezne nová ovládací síla  $F_{ovl}$  pro vyklopení desky a rovnou i tomu příslušná hmotnost  $m_o$  (11).

$$F_{ovl} = \frac{M_o}{l_{ram}} = \frac{420,6}{0,5} = 841,2 \text{ N}$$

$$m_o = \frac{F_{ovl}}{g} = \frac{841,2}{9,81} = 85,75 \text{ kg} \cong 86 \text{ kg}$$

Z výpočtu vyplývá, že síla  $F_o$  je skoro až 3 krát větší, než původně určena síla  $F_{max}$  a lze říci, že obsluha potřebuje vynaložit sílu odpovídající zvedání 86 kg těžkého břemene, aby ohnula plechový pás o rozměrech 2 x 1550. Vyvinout takovou sílu je pro běžného člověka příliš obtížné a je to v rozporu s předem domluvenou podmínkou pro bezpečné ovládání stroje, která stanovuje hmotnostní limit na 30 kg. Jelikož se jedná o sílu pro ohýbání ocelového plechu o maximálních dovolených rozměrech, tak je pro bezpečné manuální ohýbání nutná pomoc další osoby. Informativně se zjistí dovolený odpor plechu pro bezpečnou častou manipulaci jedné osoby (12).

$$M_o = l_{ram} \cdot F_{max} = 0,5 \cdot 294,3 = 147,15 \text{ MPa}$$

## 4.2 Dimenzování výklopné desky

Při návrhu ručně ovládané desky je důležité brát ohled na její hmotnost a tíhové zatížení. Ohýbací desky ohýbaček mohou dosahovat hmotnosti kolem 100 kg. Za takových okolností je z hlediska ručního ovládání žádoucí přidat do konstrukce prvky ulehčující její manipulaci, jako například pružiny nebo plynové vzpěry, které zabrání přetížení personálu. Následně se zvolí rozměry desky a určí její hmotnost.

Podle maximální zadané kapacity stroje musí šířka ohýbací desky tvořit aspoň 1550 mm, ve skutečnosti bude ale šířka větší, aby se mohla na jejich koncích uchytit ke spodnímu nosnému rámu. Šířka  $b_o$  bude předběžně navržena 1800 mm. Tloušťka desky  $t_o$  se volí s ohledem na tloušťku spodních segmentů  $t_s$ , které budou do jejího otvoru zapadat. Segmenty budou tlusté 30 mm. Tloušťka  $t_o$  je zvolena 40 mm. Když se rameno bude uvažovat jako obdélníková deska s konstantní hmotností o délce 500 mm podle stanovené délky ramena madla  $l_{ram}$ , tak z výrobního a ovládacího hlediska je použití tak dlouhé a široké desky do konstrukce nevýhodné. Proto bude otočná čelist rozdělena na úchopovou část (madlo) a deskovou část, kde bude soustředěna převážná většina hmotnosti. Taktéž platí, že čím blíže bude působíště tíhové síly k bodu úchyty ramena, tím méně se navýší ovládací síla. Jelikož se projektuje segmentová ohýbačka, tak část ramene tvoří i segmenty, které budou umístěné v otvoru čelisti. Pro zjednodušení výpočtu celkové hmotnosti se hmotnost madla zanedbá a bude se počítat pouze s tíhou deskové části, kde je právě soustředěna skoro veškerá hmotnost. Do této části patří i hmotnost segmentů, která se pak dopočítá zvlášť. Části se rozdělí na poloviny o rozměrech 250 mm. Samotná deska bez segmentů je o něco menší. Segmenty z ní budou vyčnívat o 70 mm. Délka desky  $l_o$  je tedy 180 mm. Nyní když jsou daný hlavní rozměry, může se vyjádřit přibližná hmotnost  $m_o$  (13) výklopné desky z jejího objemu a hustoty. Je ale samozřejmé, že deska nemůže být dokonalý obdélník, neboť obsahuje úchyt s otvorem pro segmenty, který tvoří v plném rozsahu o něco méně, než je její celková šířka. Potom se také může její finální tvar lehce lišit od původního návrhu. Přesto, aby se výpočet příliš nekomplikoval, bude se deska považovat jako dokonalé ploché těleso obdélníkového tvaru. Výsledná hmotnost by se i tak

neměla příliš odlišovat od skutečné a bude pro další výpočty vyhovující. Jako materiál pro desku byla vybrána konstrukční ocel jakosti S235JR. Hustota oceli  $\rho_o$  činí  $7850 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ .

$$m_o = l_o \cdot b_o \cdot t_o \cdot \rho_o = 0,18 \cdot 1,8 \cdot 0,04 \cdot 7850 = 101,74 \text{ kg} \cong 102 \text{ kg} \quad (13)$$

Pro volené rozměry činí hmotnost ohybové čelisti stroje 102 kg. Dále se vyjádří hmotnost segmentů  $m_s$  rozmístěných v plném rozsahu čelisti. Ohýbací segmenty budou z nástrojové oceli a jejich výška  $h_s$  bude 100 mm (14)

$$m_s = b \cdot t_s \cdot h_s \cdot \rho_o = 1,55 \cdot 0,02 \cdot 0,1 \cdot 7850 = 36,5 \text{ kg} \cong 37 \text{ kg} \quad (14)$$

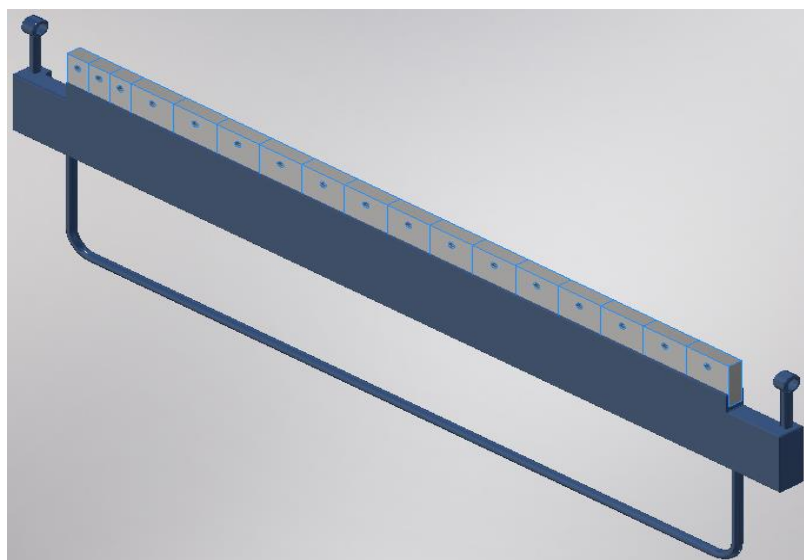
Nyní se sečtou obě hmotnosti dohromady a vyjde celková hmotnost ohýbací části stroje  $m_{oc}$  (15) a z toho se zjistí celkové tíhové zatížení  $F_{oz}$ , které bude působit na obsluhu při ohýbání (16).

$$m_{oc} = m_o + m_s = 102 + 37 = 139 \text{ kg} \quad (15)$$

$$F_{oz} = m_{oc} \cdot g = 139 \cdot 9,81 = 1363.59 \text{ N} \cong 1364 \text{ N} \quad (16)$$

Z výpočtů lze vyčíst, že pro vyklopení desky je nutné vyvinout sílu přesahující 1300 N neboli kolem 130 kg, což je pro jednotlivce nepřijatelné. Z toho důvodu se do zařízení doplní podporující součásti, které ulehčí práci. Jako takové součásti byly vybrány plynové vzpěry.

Navržený tvar desky zaplněnou segmenty je zobrazen na (Obr. 19). Jedná se o svařený celek s navařenou čelistí pro segmenty a navařenými válci s úchytným okem, které budou uloženy na čepch. Mezi oko a čep se vloží samomazné kluzné ložisko z bronzu pro delší životnost pohyblivých částí. Segmenty vložené do otvoru desky a obecně i ostatní segmenty mohou být různé široké pro ještě více možných kombinací ukládání segmentů. Vypracovaný model převážně obsahuje segmenty šířky 100 mm. Model a výkresy byly vypracovány v programu Autodesk Inventor Professional 2019.



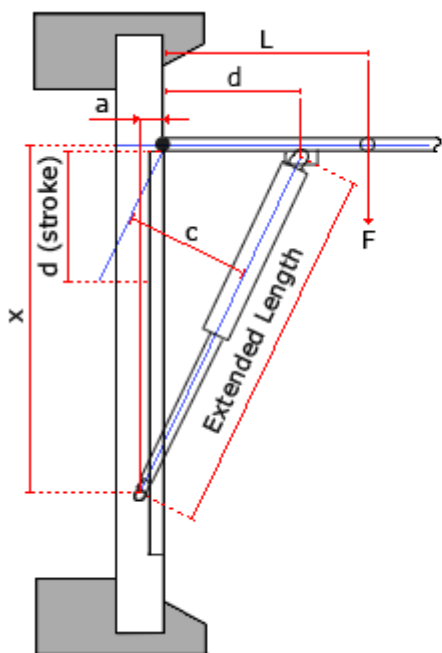
Obr. 19) Navržená ohýbací deska

### 4.3 Výpočet a výběr plynové vzpěry

Další úlohou je zvolit vhodné plynové vzpěry dostupné na trhu. Pro vybrání vhodné vzpěry je nutné zjistit požadovanou sílu, kterou vzpěra musí být schopná vytvořit. Vztah pro tuto sílu je převzatý ze zdroje [15], který bere v potaz směr působení síly vzpěry pro danou aplikaci, působení ramena výklopné čelisti na vzpěru a tíhu od její váhy (Obr. 20).

Tento vztah se odvíjí od momentové rovnováhy, kde  $F_1$  je požadovaná síla vzpěry, která působí proti momentu síly od zatížení  $F_{oz}$ , která má největší účinek při vodorovné poloze desky.  $L$  je vzdálenost těžiště, kde výsledné zatížení  $F_{oz}$  působí od počátku ramene desky.  $L$  se bude odhadovat 150 mm. Do vztahu pro sílu vzpěry se ještě zahrnuje vzdálenost  $C$ , což je vzdálenost mezi osou plně vytažené vzpěry a rovnoběžné přímkou procházející bodem úchyty desky, tak jak je ukázáno na (Obr. 20) ze [15]. Aby se mohla vyjádřit, zjistí se nejprve ostatní rozměry.

$L_{vzp}$  je délka celé součásti, když je natažená.  $D$  je vzdálenost mezi bodem úchyty desky a horním montážním bodem válce vzpěry, který je na čelisti umístěn. Podle doporučení ze [15] se montážní bod umísťuje zhruba ve vzdálenosti 20 % od počátku celkové délky ramene. Počítá se pouze s deskovou částí ramene o 250 mm, kde tíhová síla působí. tím pádem by se dle doporučení horní konec vzpěry uložil 50 mm od počátku úchyty, což nelze, protože by se napojoval na segmenty. Nakonec se válec uloží 125 mm od úchyty ramena, což je hodnota  $D$ . Hodnota  $X$  vyjadřuje vzdálenost mezi úchytem desky a dolním montážním bodem pístnice vzpěry, který je na nohou nosného rámu. Místo uložení ramene bude navržené minimálně 1000 mm od země. Spodek vzpěry bude namontován k noze 380 mm od země, pak  $X$  bude 620 mm.  $A$  je vodorovná vzdálenost mezi počátkem ramene a spodním montážním bodem pístnice.  $A$  se bude předpokládat 50 mm.



$$\sqrt{(a+d)^2 + x^2} = \text{Extended length}$$

$$F_1 \text{ ( N or Newton )} = \frac{F \text{ ( N )} \times L \text{ ( mm )}}{C \text{ ( mm )}} \times 1.06$$

Example:

$$F = 380 \text{ N ( Mass = 38kg )}$$

$$L = 500 \text{ mm}$$

$$c = 200 \text{ mm}$$

$$F_1 = \frac{380 \text{ N} \times 500 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \times 1.06$$

$$F_1 = 950 \times 1.06 = 1007 \text{ N}$$

$$F_1 = \text{approx } 1000 \text{ N}$$

Divide by n gas struts:

$$1000 / 2 \text{ for 2 gas struts} = 500 \text{ N}$$

Obr. 20) Vztah pro výpočet síly plynové vzpěry [15]

$$L_{vzp}^2 = (A + D)^2 + X^2 \rightarrow L_{vzp} = \sqrt{(A + D)^2 + X^2} =$$

$$= \sqrt{(50 + 125)^2 + 620^2} = 644,22 \text{ mm} \quad (17)$$

Dále se určí vzdálenost C a dopočítá síla pro vzpěru. Pro její výpočet ale pořád chybí pár údajů. C se dá brát jako výška trojúhelníku, který ovšem nezahrnuje vzdálenost A. Použitím goniometrické funkce se zjistí úhel  $\alpha_{vzp}$  mezi D a  $L_{vzp}$  (18) a potom se podle stejného úhlu dvou trojúhelníků vyjádří C (19).

$$\cos \alpha_{vzp} = \frac{D}{L_{vzp}} \rightarrow \alpha_{vzp} = \cos^{-1} \left( \frac{D}{L_{vzp}} \right) = \cos^{-1} \left( \frac{125}{644,22} \right) = 78,81^\circ \quad (18)$$

$$\sin \alpha_{vzp} = \frac{C}{D} \rightarrow C = \sin \alpha \cdot D = \sin 78,81^\circ \cdot 125 = 122,62 \text{ mm} \quad (19)$$

Nyní jsou známe veškeré hodnoty pro vyjádření potřebné síly vzpěry  $F_1$  (20) podle. Na konci se ještě pro větší bezpečnost vynásobí vztah koeficientem 1,06. Výsledná síla se podělí počtem vzpěr n, které budou připojené na ohýbací desku. Síla se na nich rovnoměrně rozloží. Síla působící na jednu vzpěru bude  $F_{vzp}$  (21). Na oba konce desky se připojí jedna, takže  $n = 2$ .

$$F_1 = \frac{F_{oz} \cdot L}{C} \cdot 1,06 = \frac{1364 \cdot 150}{122,62} \cdot 1,06 = 1768,68 \text{ N} \quad (20)$$

$$F_{vzp} = \frac{F_1}{n} = \frac{1768,68}{2} = 884,34 \text{ N} \cong 885 \text{ N} \quad (21)$$

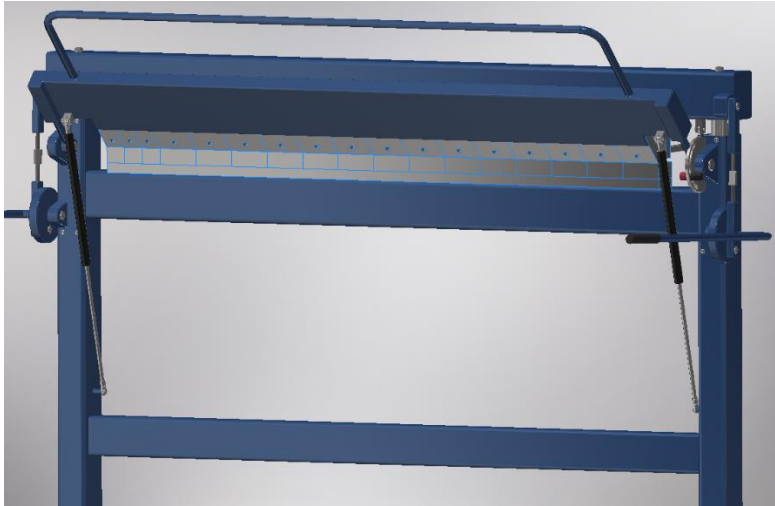
Plynové vzpěry budou vybrány z českého internetového obchodu, který je nabízí [16]. Při volbě vzpěry jsou rozhodující kritéria její celková délka, zdvih neboli vzdálenost, o kterou se vzpěra během vysouvání prodlouží a síla, kterou dokáže vyvinout. Velikost síly  $F_{vzp}$  rozhoduje o výběru vhodného průměru válce a tyče vzpěry. Potřebný zdvih lze pro úhel  $90^\circ$  považovat za rozměr D. Ve skutečnosti ale bude možné desku vyklápat podle maximálního úhlu ohybu až do úhlu  $135^\circ$ . Zdvih a celková délka v tom případě bude o něco větší. Dále se proto vyjádří nová délka  $L_{vzp}$  pro trojúhelník s úhlem  $\gamma_{vzp}$   $135^\circ$ . Nelze již použít Pythagorovu větu pro pravý úhel, a proto se aplikuje kosinová věta (22). Původní rozměry pro trojúhelník A a X platí jen pro úhel  $90^\circ$ , jejich změna pro jiný úhel ale není výrazná a mohou se dosadit do vzorce.

$$L_{vzp} = \sqrt{(A + D)^2 + X^2 - 2 \cdot (A + D) \cdot X \cdot \cos \gamma} =$$

$$= \sqrt{(50 + 125)^2 + 620^2 - 2 \cdot (50 + 125) \cdot 620 \cdot \cos 135^\circ} =$$

$$= 753,97 \text{ mm} \cong 754 \text{ mm} \quad (22)$$

Z předchozích výpočtu vyplývá, že pro zvolené parametry se hledá vzpěra schopná se prodloužit do délky 754 mm a vyvinout sílu 885. Vzpěra splňující tyto požadavky se volí z [16] a má rozměry 10-23-350. To znamená, že má průměr tyče 14 mm, průměr válce 28 mm a zdvih 350 mm. Výklopná deska včetně připojených plynových vzpěr na stroji je znázorněna na (Obr. 21).



Obr. 21) Výklopná deska se vzpěrami

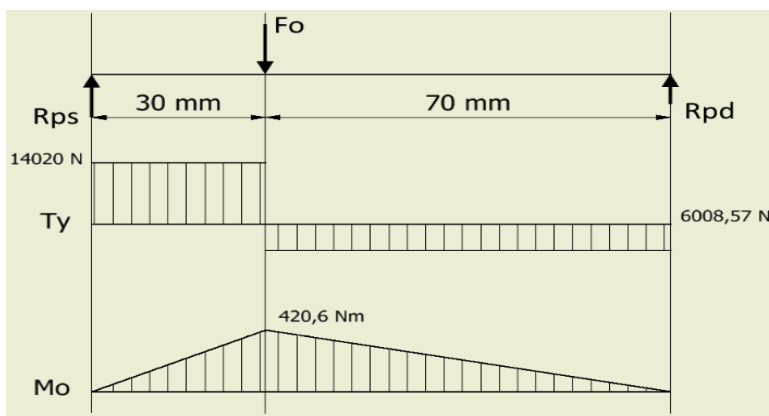
## 4.4 Upínání materiálu

### 4.4.1 Výpočet upínací síly

Upínací síla  $F_u$  určuje velikost síly, kterou musí působit horní segmenty na plech během jeho ohýbání. Nadále se počítá s plechem 1500 x 2 mm. Upínací síla se může přirovnat k ohýbací síle  $F_o$ , která se odvodí ze vztahu pro V ohyb ohýbadlem z kap. 2.1.3, kdy se horní segmenty budou uvažovat jako ohýbadlo které působí na nosník o dvou podporách (plech) v jeho místě ohybu. Jenomže zde síla  $F_o$  působící v místě ohybu není uprostřed nosníku a vzdálenost mezi podporami  $l_p$  je závislá na dolních segmentech, kde se jako místo působení reakčních sil podpor bude považovat jejich krajní hrana. Tloušťka ohýbacích segmentů  $t_s$  je 20 mm. Tloušťka segmentů na dolní liště nosného rámu se volí  $t_d$  60 mm. Tím pádem vzdálenost  $l$  mezi krajními hranami segmentů je 80 mm. Síla podpory  $R_{ps}$  bude síla, kterou působí ohýbací segmenty na plech. Lze ji vyjádřit z momentu síly  $M_o$  nutnou pro přetvoření plechu (12), kde se nyní jako rameno bere pouze tloušťka segmentů.

$$F_{ps} = \frac{M_o}{t_s} = \frac{420,6}{0,03} = 14020 \text{ N}$$

Dále se vypočítá síla  $R_{pd}$ , kterou působí spodní segmenty na druhé straně plechu (12) a potom je možné stanovit ohýbací sílu  $F_o$  podle rovnice statické rovnováhy pro posouvající síly  $F_y$  (23). Průběh působení jednotlivých sil je znázorněno na (Obr.22).



Obr. 22) Působení sil na plech při ohýbání (úhel ohybu 0°)

$$F_{pd} = \frac{M_o}{t_d} = \frac{420,6}{0,07} = 6008,57 \text{ N}$$

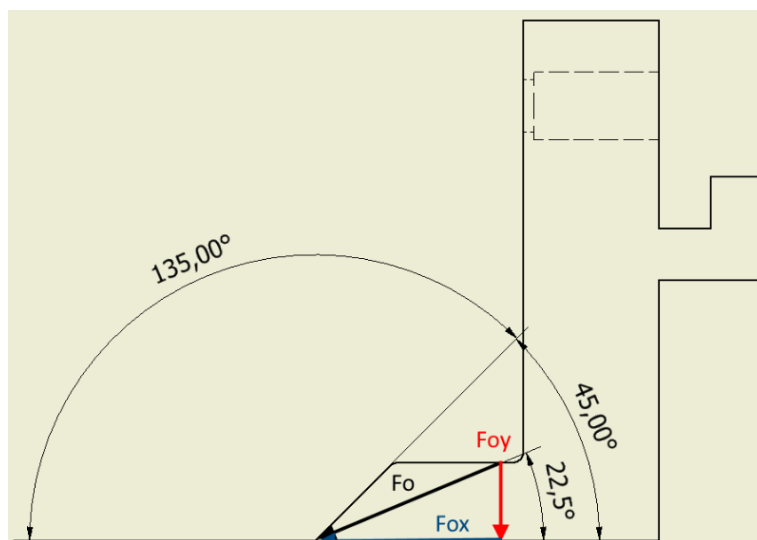
$$\begin{aligned} \sum F_y = 0 : R_{ps} + R_{pd} - F_o = 0 \rightarrow F_o = R_{ps} + R_{pd} = \\ = 14020 + 6008,57 = 20028,57 \text{ N} \end{aligned} \quad (23)$$

Nalezená ohýbací síla, tím pádem i upínací síla platí pouze pro nulový úhel ohybu, kdy působí svislé na plech. Zpravidla působí ohýbací síla kolmo na směr vláken materiálu v místě ohybu, takže se při ohýbání mění její směr působení a bude vždy v polovině úhlu ohybu. V tomto případě lze sílu rozložit na dvě složky, vodorovnou sílu  $F_{ox}$  a svislou sílu  $F_{oy}$ , kterou lze považovat za sílu upínací. Svislá upínací síla je největší v momentě začátku ohýbání při  $0^\circ$ , kdy se rovná ohýbací síle. Při maximálním úhlu ohybu  $135^\circ$  působí ohýbací síla v polovině úhlu horních přitlačných segmentů (Obr. 23), které dělají  $45^\circ$ . Jejich polovina je tedy  $22,5^\circ$ . Zde zase bude mít největší účinek složka ohýbací síly  $F_{ox}$ , která působí na plech ve vodorovném směru (24).

$$\cos(22,5^\circ) = \frac{F_{ox}}{F_o} \rightarrow F_{ox} = \cos(22,5^\circ) \cdot F_o \quad (24)$$

$$F_{ox} = \cos(22,5^\circ) \cdot 20028,57 = 18503,99 \text{ N}$$

V teoretickém rozboru ohýbání do tvaru V v ohýbadle je uvedeno, že ve skutečnosti se ohýbací síla zvětší až o  $1/3 F_o$  vlivem tření součásti o části ohýbadla [1]. Vzhledem k účinku tření bude pro větší bezpečnost požadovaná upínací síla  $F_u$  upravena na 23000 N.

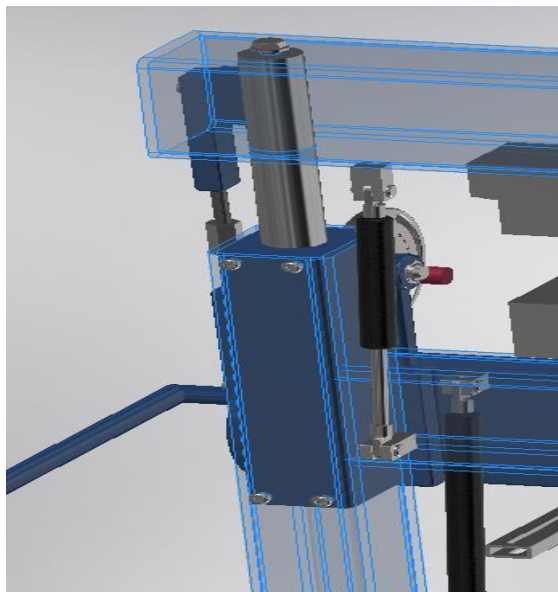


Obr. 23) Rozložení ohýbací síly (úhel ohybu  $135^\circ$ )

#### 4.4.2 Mechanismus upínání

Upínání plechu bude provedeno podle varianty A1 přitlačení horními segmenty pomocí excentru, kde pohyb horního rámu je realizován na principu klikového mechanismu. Přitlačné segmenty budou uchyceny v liště horního rámu podle varianty B2. Lišta bude k rámu přivařena. Pohyblivý rám se na obou jeho stranách připojí pomocí šroubů ke koncům válcových tyčí, které budou uloženy do válcových otvorů domků spodního rámu sloužící jako vedení pro svislý pohyb rámu (Obr. 24.). Domky se vloží do otevřených profilů nosného spodního rámu,

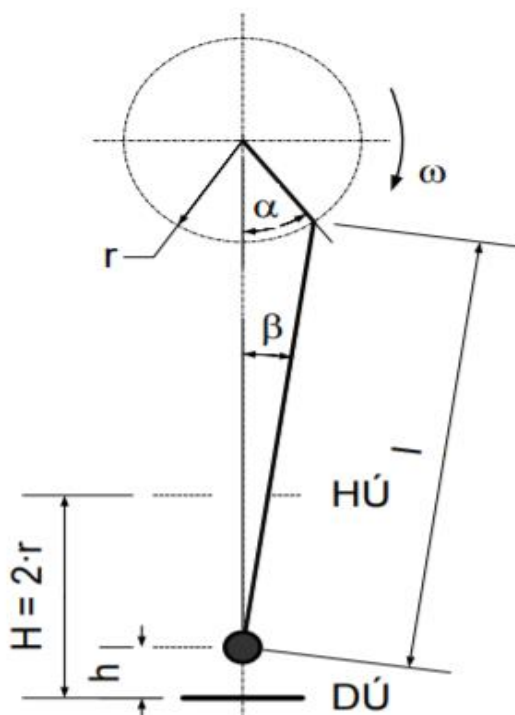
kde bude spojeno pomocí šroubů. Dimenzování ojnice a kliky klikového mechanismu bude odvozeno na základě následujících výpočtů.



Obr. 24) Vedení pro pohyb horního rámu

#### 4.4.3 Kinematika klikového mechanismu

Výpočtové vztahy pro klikový mechanismus tvářecího stroje jsou čerpány ze [17]. Za přímočaře pohybující se píst se považuje horní přítlačný rám a jeho výstupní síla se rovná požadované upínací síle  $F_u$  23000 N. O velikosti této síly rozhoduje délka zdvihu pohyblivého rámu. Hlavní rozměry prvku mechanismu, které se musí určit, a jejich vzájemné polohy jsou zobrazeny na (Obr. 25)



Obr. 25) Kinematika klikového mechanismu [17]

Kde:  $r$  – poloměr kliky  
 $l_{oj}$  – délka ojnice  
 $h$  – obecný zdvih  
 $\alpha_k$  – úhel natočení kliky  
 $\beta_o$  – úhel odklonu ojnice  
 $\lambda$  – klikový poměr, což je bezrozměrný parametr charakterizující klikový mechanismus, který se stanoví rovnicí (25).

$$\lambda = \frac{r}{l_{oj}} \quad (25)$$

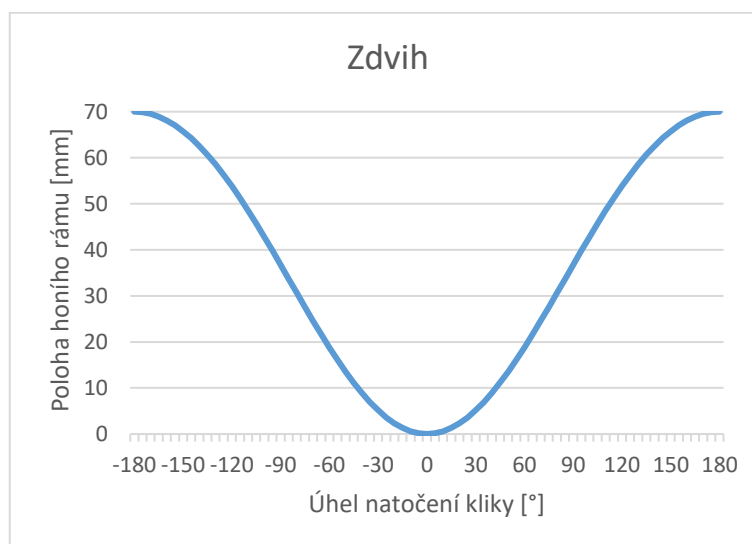
Podle (Obr. 25) celkový zdvih  $H$  je dvojnásobek délky kliky  $r$ . Celkový zdvih odpovídá maximální možné rozevření mezi horním rámem a místem pokládání plechu. Poloměr kliky uložené na excentru, a tím pádem i zdvih, bude výrazně menší než ovládací ruční páka, která je taktéž součástí excentru, aby šlo ručně vyvinout stejně velkou upínací sílu vzhledem k rovnováze momentů sil. Poloměr kliky  $r$  se volí 35 mm. Zdvih  $H$  pak bude  $2 \cdot 35 = 70$  mm. Tento zdvih je pro ohýbačky vyhovující. Dále se stanoví délka ojnice  $l_{oj}$  podle parametru  $\lambda$ . Podle [17] je  $\lambda$  pro univerzální klikový lis se středním zdvihem mezi 0,08 a 0,14. Volí se 0,10 a  $l_{oj}$  potom bude (25):

$$\lambda = \frac{r}{l_{oj}} \rightarrow l_{oj} = \frac{r}{\lambda} = \frac{35}{0,10} = 350 \text{ mm}$$

Momentální polohu horního rámu lze stanovit pomocí funkce obecného zdvihu  $h$  (26). Funkce je odvozena z geometrie součásti mechanismu.

$$h = r \cdot \left( 1 - \cos \alpha_k + \lambda \cdot \frac{\sin^2 \alpha_k}{2} \right) \quad (26)$$

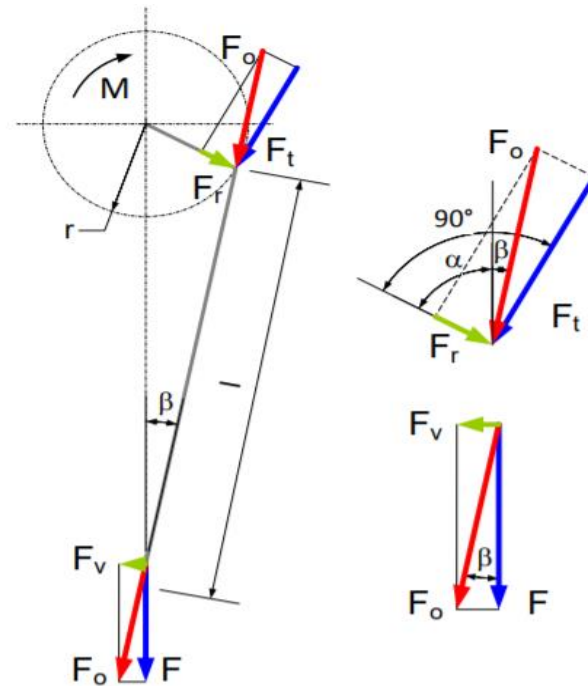
Průběh obecného zdvihu je zobrazen na grafu z (Obr. 26).



Obr. 26) Průběh zdvihu horního rámu

#### 4.4.4 Rozklad sil klikového mechanismu

Rozklad sil mechanismu je znázorněn na (Obr. 27).



Obr. 27) Rozklad sil klikového mechanismu [17]

Kde:  $F_u$  – pracovní síla, která je v tomto případě upínací síla.

$F_{os}$  – osová síla v ojnici

$F_t$  – tečná síla kliky

$M_{kl}$  – kroučící moment kliky

Průběh osově síly  $F_{os}$  se výpočte podle (27):

$$F_{os} = \frac{F_t}{\sin(\alpha_k + \beta)} \quad (27)$$

Na základě rovnováhy sil dále platí (28):

$$F_u = F_{os} \cdot \cos \beta_o \rightarrow \frac{F_t \cdot \cos \beta_o}{\sin(\alpha_k + \beta_o)}$$

$$F_t = \frac{F_u \cdot \sin(\alpha_k + \beta_o)}{\cos \beta_o} = \frac{F_u \cdot (\sin \alpha_k \cdot \cos \beta_o + \cos \alpha_k \cdot \sin \beta_o)}{\cos \beta_o} = \quad (28)$$

$$= F_u \cdot (\sin \alpha_k + \cos \alpha_k \cdot \operatorname{tg} \beta_o)$$

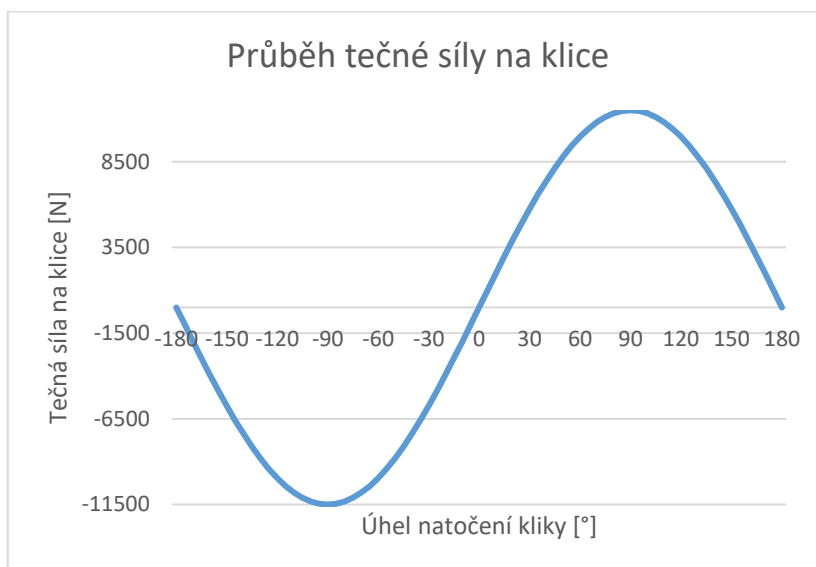
Většinou platí, že hodnota  $\sin \alpha_k$  je výrazně větší jak  $\cos \alpha_k \cdot \operatorname{tg} \beta_o$  [17], potom lze tečnou sílu na klice  $F_t$  přibližně vyjádřit ze vztahu (29).

$$F_t = F_u \cdot \sin \alpha_k \quad (29)$$

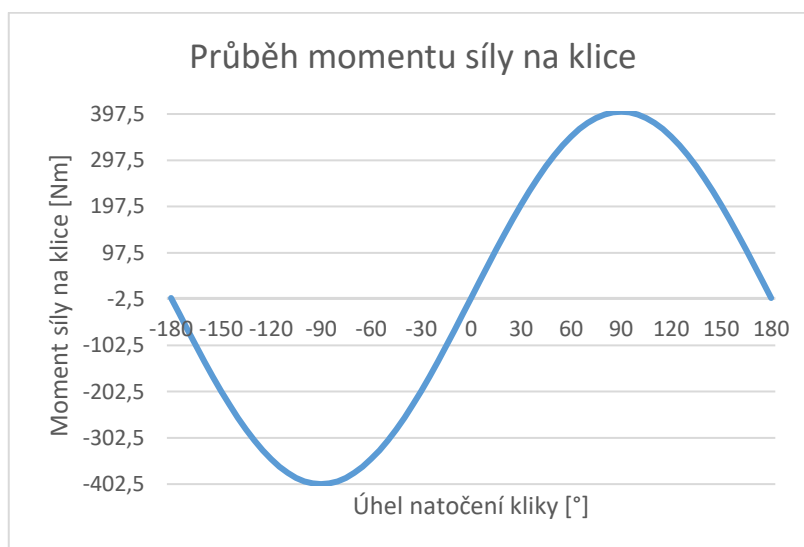
Moment na klice pak bude (30):

$$M_{kl} = F_t \cdot r \quad (30)$$

Pohyblivý rám bude propojen s tímto mechanismem na obou jeho stranách, aby se síly rovnoměrně rozložily na polovinu a nezatěžovali tolik jeho součásti. Průběh tečné síly a momentu na klice jednoho takového mechanismu je ukázán na grafu na (Obr. 28) a (Obr. 29).



Obr. 28) Průběh tečné síly na klice



Obr. 29) Průběh momentu síly na klice

S ohledem na rovnováhu sil mechanismu je pro dosažení upínací síly 23000 N na jeho posuvném členu nutné vyvinout stejně velkou sílu i na klice, která se ovládá ručně pákou. Pro ruční ovládání je to obrovská síla odpovídající 2,3 tunám. Do přítlačné síly lze také zařadit vliv hmotnosti horního rámu a jeho části, které působí vlastní tíhou na materiál. Předpokládá se, že jeho hmotnost bude alespoň 100 kg a bude působit na materiál tíhou o velikosti cca. 1000 N. O tuto hodnotu se sníží požadavek na ruční sílu, která potom bude 22000 N. Opět se využije výpočtu pro moment síly (30), kde rozhoduje délka páky o vyžadované lidské síle  $F_{\text{pak}}$  (30). Volená přípustná délka páky  $l_{\text{pak}}$  bude 700 mm.

$$M_{kl} = F_u \cdot r = 22000 \cdot 0,035 = 770 \text{ Nm}$$

$$F_{pak} = \frac{M_{kl}}{l_{pak}} = \frac{770}{0,7} = 1100 \text{ N}$$

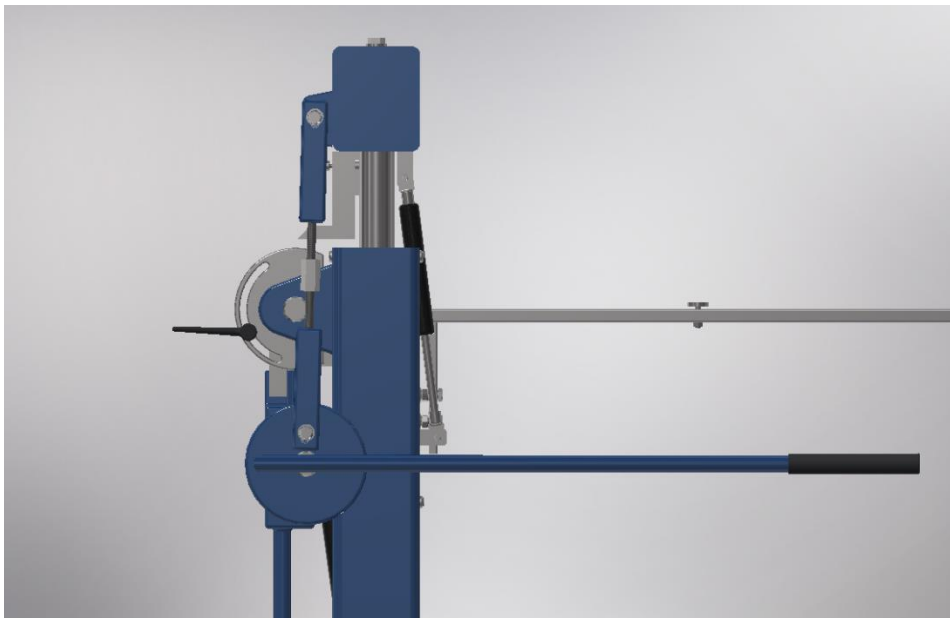
Výsledná síla odpovídá hmotnosti 110 kg, což je příliš náročné na manipulaci pro jednu osobu. Tato síla platí pro maximální rozměry ohýbaného ocelového plechu 1550 x 2 mm, které se na segmentové ohýbačce zpracovávají spíše výjimečně. Když už se taková součást bude ručně ohýbat, doporučuje se operaci provádět s pomocí druhých osob. Proto bude ruční páka na obou excentrech, umístěných na obou stranách ohýbačky. Ve dvou by se tak zátěž rozložila na 550 N na osobu, což je potom přijatelnější.

Nutná ruční síla  $F_{pak}$  (30) v případě kratších ocelových plechu pro profilové formy s přibližně jen třetinovým požadavkem na upínání 7400 N by byla:

$$M_{kl} = F_u \cdot r = 7400 \cdot 0,035 = 259 \text{ Nm}$$

$$F_{pak} = \frac{M_{kl}}{l_{pak}} = \frac{259}{0,7} = 370 \text{ N}$$

Výsledná síla je vyhovující pro občasnou práci na stroji i pro jednu osobu. Vzhledem k hmotnosti a tíhovému zatížení rámu se naopak při jeho zvedání, rám po povolení ruční páky neudrží v horní poloze. Proto zde budou taktéž aplikované pomocné plynové vzpěry. Celková hmotnost horních částí stroje se předpokládá alespoň 100 kg. Pohyb rámu je přímočarý a zdvih rámu je pouze okolo 35 mm. V tomto případě vystačí krátké vzpěry z [16] s parametry 10-23-100. Na (Obr. 30) je navržený excentr s ojnicí. Nakonec bude rozměr ojnice lehce nastavitelný pomocí specifického šroubu, který při jeho upínání dokáže přitáhnout znázorněné protějšší díly k sobě.



Obr. 30) Upínací mechanismus

Vzhledem k velké síle působící na ojnici, která by zatěžovala šroub v jeho ose, musí se zjistit minimální dovolený průměr šroubů  $d_{sr}$ . Uvažuje se poloviční zátěž od  $F_u$  11500 N, protože má ohýbačka upínací mechanismus na obou koncích. Síla se tak rovnoměrně rozloží. Dovolené napětí  $\sigma$  se bude uvažovat 100 MPa. Potom dovolená plocha  $S$  (31) a průměr  $d_{sr}$  bude (32):

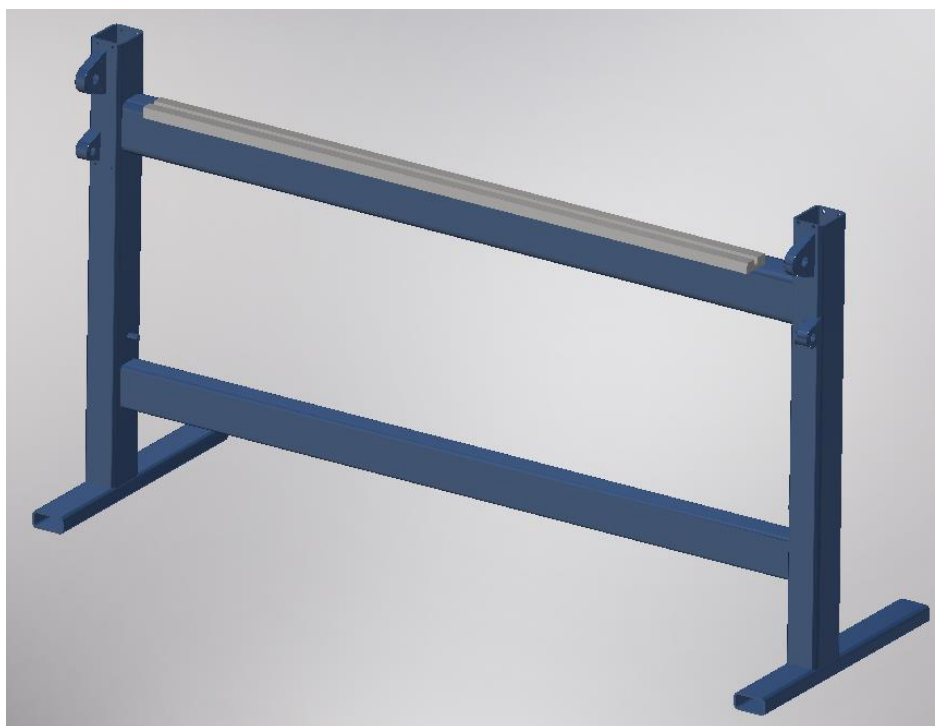
$$\sigma = \frac{F_u}{S} \rightarrow S = \frac{F_u}{\sigma} = \frac{11500}{100} = 115 \text{ mm}^2 \quad (31)$$

$$S = \frac{\pi \cdot d_{sr}^2}{4} \rightarrow d_{sr} = \sqrt{\frac{S \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{115 \cdot 4}{\pi}} = 12,1 \text{ mm} \cong 12 \text{ mm} \quad (32)$$

Minimální dovolený průměr pro hledaný šroub je tedy 12 mm.

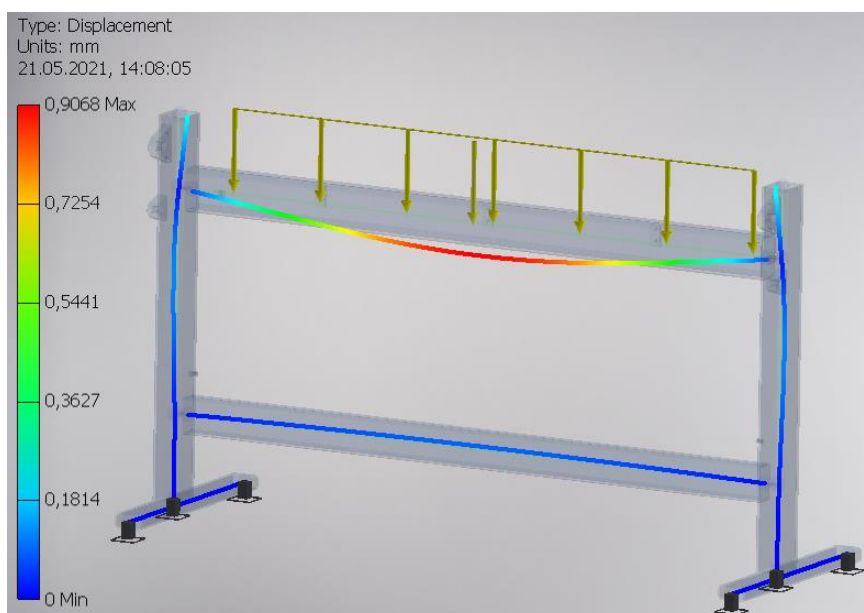
#### 4.5 Nosný pevný rám

Nosný rám je základ ohýbačky, na kterém drží všechny ostatní části stroje (Obr. 31). Rám bude svařovaná konstrukce z otevřených obdélníkových ocelkových profilů tloušťky 6 mm. Hlavní profil, na kterém bude navařena dolní lišta pro dolní segmenty, bude mít tloušťku 8 mm vzhledem k tomu, že může být vystaveny velké upínací síle horního rámu. Na nosném rámu budou navařeny uložení pro čepy, na kterých drží ohýbací deska a excentry.



Obr. 31) Nosný rám

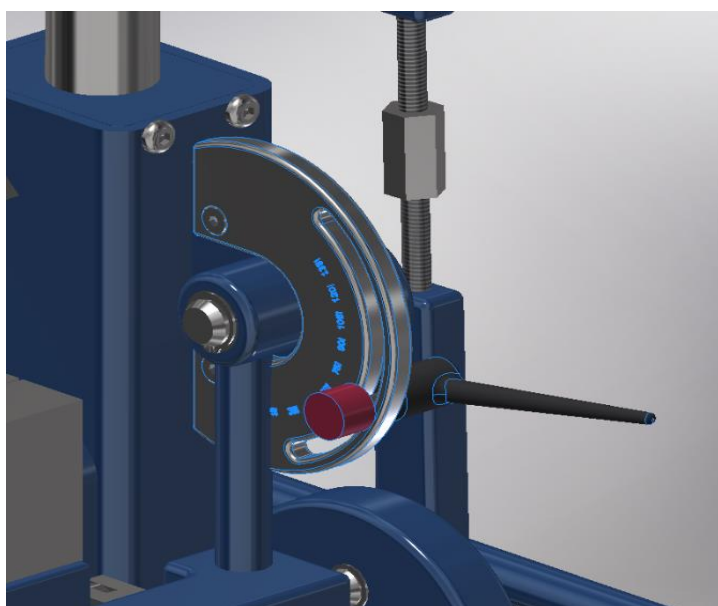
Ještě byla pomocí doplňku programu Inventor provedena analýza průhybu při maximálním zatížení hlavního nosníku rámu, který v jeho středu dosahuje hodnoty 0,91 mm (Obr. 32).



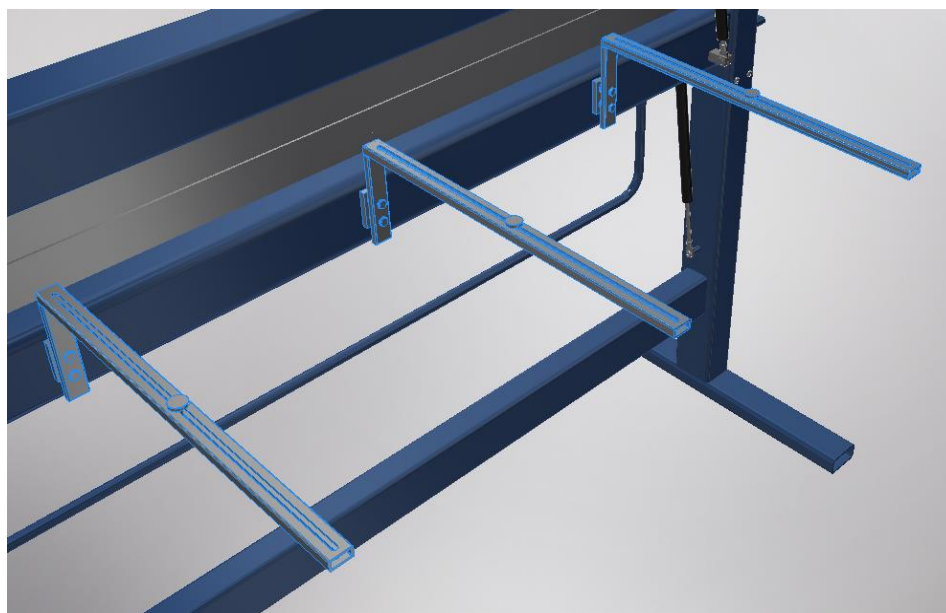
Obr. 32) Průhyb rámu

#### 4.6 Příslušenství

Pro efektivnější práci mívají ohýbačky také úhломěr s nastavitelným úhlovým dorazem (Obr. 33) a pro práci s dlouhými plechy zadní lišty, na kterých dlouhý plech drží. Zadní lišty mohou mít taktéž nastavitelný délkový doraz. Zadní lišty budou upevněny pomocí šroubů k speciálním destičkám, které mají navařené matice a jsou samy potom navařeny k hlavnímu nosníku rámu (Obr. 34).

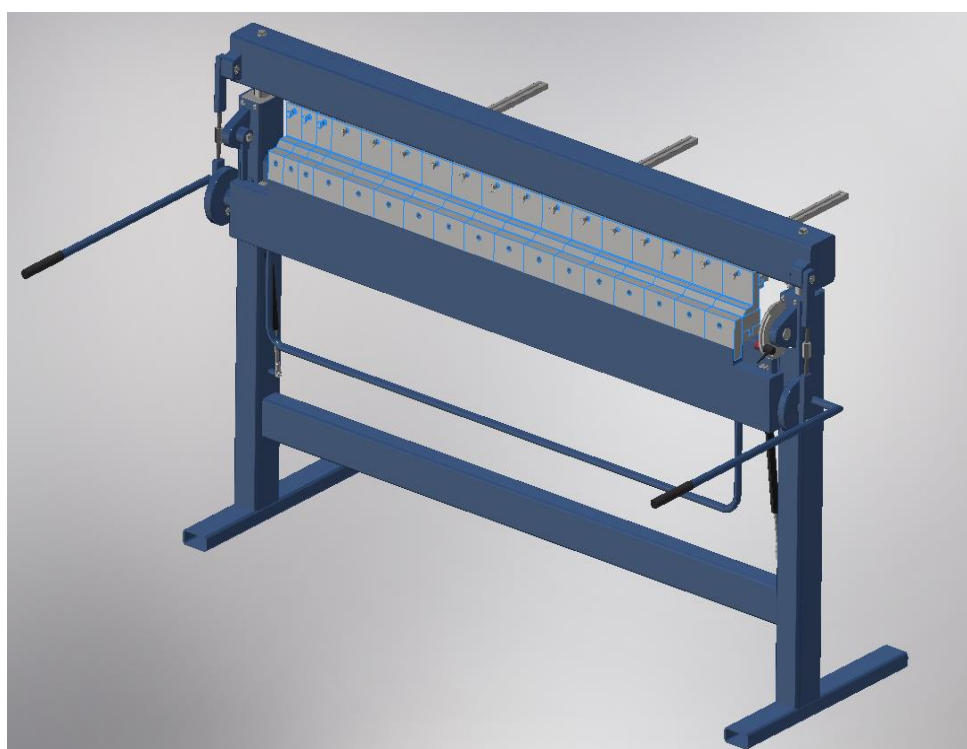


Obr. 33) Úhломěr s dorazem



Obr. 34) Zadní lišty

Kompletní model ohýbačky (Obr. 35):



Obr. 35) Kompletní model segmentové ohýbačky



## 5 ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo navržení konstrukčního řešení ruční segmentové ohýbačky na plech s maximální pracovní kapacitou 1550 x 2 mm a úhlem ohybu 135°.

Pro navržení uživatelsky přívětivého stroje se jeho celkový koncept odvíjí od průzkumu segmentových ohýbaček aktuálně dostupných na trhu. Pro velkou variabilitu forem, do kterých je možné plech zpracovávat, jsou všechny funkční části stroje při ohýbání vybaveny segmenty.

Významným mechanismem ohýbačky je upínání ohýbaného plechu jeho horním rámem. Pro řešení upínání byla navržena varianta s pohybovým šroubem a možnost upínání pomocí klikového mechanismu ovládaného excentrem. Bylo zvoleno upínání excentrem, které se dnes u segmentových ohýbačkách běžně uplatňuje.

Pro větší uživatelský komfort je systém úchytu horních segmentu ohýbačky navržen způsobem bez nutnosti použití nářadí. Dolní a ohýbací segmenty jsou usazené do otvorů lišt, kde drží bez nutnosti další podpory.

Dále byly provedeny výpočty ovládacích částí stroje, které vychází z požadavku možnosti ohýbat nízkouhlikový ocelový plech jakosti DC01 s mezi kluzu Re 235MPa do tloušťky 2 mm a šířky 1550 mm. Použité výpočetní vztahy jsou uvedené v teoretické části práce. Pro dosažení plastické deformaci uvedeného materiálu je nutné dosáhnout ohybového momentu o velikosti 420,6 Nm, na základě kterého byly navrženy rozměry ohýbací desky stroje a délka ramena madla pro ruční ovládání. Potom byla stanovena požadovaná upínací síla horního rámu, která dosahuje 23000 N, a ze které vychází navržená délka ovládací páky excentru. Z hlediska ruční manipulace se jedná o velkou sílu a vyžaduje pomoc další osoby. Stroj je proto vybaven pákou z obou stran. Taktéž vzhledem k velké hmotnosti ručně ovládaných částí stroje se do konstrukce přidaly podpůrné plynové vzpěry. Pro vyšší produktivitu jsou k ohýbačce ještě přidány úhloměr s dorazem a zadní nosný lišty s dorazy pro delší plechy.



## 6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] DVOŘÁK, Milan. Technologie II. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.
- [2] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4747-9.
- [3] LENFELD, Petr. Technologie plošného tváření – ohýbání. Technologie II [online]. Technická univerzita Liberec. Katedra strojní technologie, oddělení kovů a plastů [cit. 2021-3-10]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/07.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm)
- [4] DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. PLOŠNÉ TVÁŘENÍ. TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ. Studijní opory pro kombinované studium I. stupeň, 2. ročník CTT-K [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně. Ústav strojírenské technologie, odbor tváření kovů a plastů, 2006 [cit. 2021-3-16]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie\\_tvareni/kapitola\\_4.htm](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/kapitola_4.htm)
- [5] OHÝBAČKA PLECHU RUČNÍ XO 1000/3. MOSTR: VÝROBCE STROJŮ A STOŽÁRŮ [online]. [cit. 2021-3-20]. Dostupné z: <https://www.mostr.cz/vyrobky/detail/ohybacka-plechu-rucni-xo-1000-3>
- [6] Manual & Motorized Segment Bending. Hundt [online]. Wuppertal: Wilhelm Hundt [cit. 2021-3-20]. Dostupné z: [http://www.hundt.de/fileadmin/publikationen/Schechtl\\_bending\\_segment.pdf](http://www.hundt.de/fileadmin/publikationen/Schechtl_bending_segment.pdf)
- [7] Ruční segmentové ohýbačky Erbind, Schechtl a Dräco. PROFIMK: profesionální stroje a nářadí pro klempíře [online]. [cit. 2021-4-2]. Dostupné z: <http://www.profimk.eu/segmentove-ohybacky-plechu>
- [8] Ruční ohýbačka plechu HSBM 2020-20 SB. První hanácká BOW [online]. [cit. 2021-4-2]. Dostupné z: <https://www.bow.cz/produkt/3772920/rucni-ohybacka-plechu-hsbm-2020-20-sb>
- [9] Klikový mechanismus. ELUC: Elektronická učebnice [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1907>
- [10] Ohýbačka na plech W1,5 × 1 050F segmentová. Uni-max [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: <https://www.uni-max.cz/produkty/kovoobrabeni/ohybacky-a-stacecky-plechu/ohybacky-plechu/ohybacka-na-plech-w1-5-1-050f-segmentova>
- [11] OHÝBAČKA PLECHU RUČNÍ RO 1000/2. MOSTR: VÝROBCE STROJŮ A STOŽÁRŮ [online]. [cit. 2021-4-11]. Dostupné z: <https://www.mostr.cz/vyrobky/detail/ohybacka-plechu-rucni-ro-1000-2>
- [12] SEGMENTOVÁ OHÝBAČKA TYP SEG. DACHDECKER: VÝROBCE NÁŘADÍ PRO POKRÝVAČE [online]. [cit. 2021-4-12]. Dostupné z: <https://dachdecker.com.pl/cs/vyrobky/segmentove-ohybacky/segmentova-ohybacka-typ-seg/>
- [13] Ocelové plechy válcované za studena. Nypro: Váš dodavatel hutního materiálu [online]. [cit. 2021-4-15]. Dostupné z: <https://nyprohutni.cz/valcovane-za-studena>
- [14] Bezpečná manipulace s břemeny na zdravém pracovišti. BOZPinfo [online]. 12.04.2021 [cit. 2021-4-15]. Dostupné z: <https://www.bozpinfo.cz/bezpecna-manipulace-s-bremeny-na-zdravem-pracovisti>

- [15] HOW TO CALCULATE THE FORCE REQUIRED FOR A GAS STRUT. SGS Engineering [online]. [cit. 2021-4-17]. Dostupné z: <https://www.sgs-engineering.com/help-advice/how-to-calculate-the-force-required-for-a-gas-strut/>
- [16] Konfigurator: přizpůsobte si vlastní plynovou vzpěru. Plynovepruzinyshop.cz: Internetový obchod s plynovými vzpěrami [online]. [cit. 2021-4-19]. Dostupné z: <https://www.plynovepruzinyshop.cz/>
- [17] ČECHURA, Milan, Jan HLÁVAČ a Jiří STANĚK. Konstrukce tvářecích strojů: Učební texty pro bakalářské i navazující magisterské studium [online]. Západočeská univerzita v Plzni, 2015 [cit. 2021-4-24]. ISBN 978-80-261-0513-8. Dostupné z: <https://old.zcu.cz/export/sites/zcu/pracoviste/vyd/online/Konstrukce-tvarecich-stroju.pdf>

## 7 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ A OBRÁZKŮ

### 7.1 Seznam zkratk a symbolů

A	Vodorovná vzdálenost mezi počátkem ramene a spodním montážním bodem pístnice vzpěry	[mm]
b	Šířka materiálu	[mm]
b <sub>1</sub>	Šířka materiálu po ohnutí	[mm]
b <sub>o</sub>	Šířka ohýbací desky	[mm]
C	Vzdálenost mezi osou plně vytažené vzpěry a rovnoběžné přímkou procházející bodem úchyty ohýbací desky	[mm]
d	Průměr kruhové tyče	[mm]
D	Vzdálenost mezi bodem úchyty čelisti a horním montážním bodem válce vzpěry	[mm]
d <sub>sr</sub>	Průměr šroubu ojnice	[mm]
E	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
F <sub>1</sub>	Síla plynových vzpěr	[N]
F <sub>max</sub>	Přípustná ovládací síla	[N]
F <sub>o</sub>	Ohýbací síla	[N]
F <sub>os</sub>	Osová síla v ojnici	[N]
F <sub>ox</sub>	Vodorovná síla horního segmentu	[N]
F <sub>oy</sub>	Svislá síla horního segmentu	[N]
F <sub>oz</sub>	Celkové tíhové zatížení	[N]
F <sub>pak</sub>	Lidská síla – upínání	[N]
F <sub>t</sub>	Tečná síla kliky	[N]
F <sub>u</sub>	Upínací síla	[N]
F <sub>vzp</sub>	Síla jedné plynové vzpěry	[N]
g	Tíhové zrychlení	[ms <sup>-2</sup> ]
h	Obecný zdvih	[mm]
H	Celkový zdvih	[mm]
h <sub>s</sub>	Výška ohýbacích segmentů	[mm]
L	Vzdálenost těžiště počátku ramene ohýbací desky	[mm]
l <sub>n</sub>	Délka ohnuté části	[mm]
l <sub>oj</sub>	Délka ojnice	[mm]

$l_{pak}$	Délka páky excentru	[mm]
$l_{ram}$	Délka ramena madla ohýbací desky	[mm]
$L_{vzp}$	Délka plynové vzpěry v prodlouženém stavu	[mm]
$M_{kl}$	Kroutící moment kliky	[Nm]
$M_o$	Ohybový moment	[Nm]
$m_o$	Hmotnost ohýbací desky	[kg]
$m_{obs}$	Přípustná manipulační hmotnost břemene	[kg]
$m_{oc}$	Celková hmotnost ohýbací části stroje	[kg]
$m_s$	Hmotnost ohýbacích segmentů	[N]
$n$	Počet plynových vzpěr	[-]
$r$	Poloměr kliky	[mm]
$R_e$	Mez kluzu materiálu	[MPa]
$R_m$	Mez pevnosti materiálu	[MPa]
$R_{max}$	Maximální poloměr ohybu	[mm]
$R_{min}$	Minimální poloměr ohybu	[mm]
$R_o$	Poloměr ohybu	[mm]
$R_{pd}$	Síla podpory – spodní segmenty	[N]
$R_{ps}$	Síla podpory – ohýbací segmenty	[N]
$s$	Tloušťka materiálu	[mm]
$S$	Plocha šroubu ojnice	[mm <sup>2</sup> ]
$s_1$	Tloušťka materiálu po ohnutí	[mm]
$t_d$	Tloušťka spodních segmentů	[mm]
$t_o$	Tloušťka ohýbací desky	[mm]
$t_s$	Tloušťka ohýbacích segmentů	[mm]
$W_o$	Modul odporu průřezu v ohybu	[mm <sup>3</sup> ]
$x$	Součinitel velikosti posunutí neutrální plochy od původní osy průřezu	[-]
$X$	Vzdálenost mezi úchytem ohýbací desky a dolním montážním bodem pístnice vzpěry	[mm]
$z_r$	Součinitel rozšíření původního průřezu	[-]
$z_z$	Součinitel ztenčení	[-]
$\alpha$	Úhel ohybu	[°]
$\beta$	Úhel odpružení	[°]
$\gamma$	Úhel ohnutého úseku	[°]
$\varepsilon$	Mezní poměrné přetvoření krajních tahových vláken	[-]

$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\rho$	Poloměr neutrální plochy	[mm]
$\rho_o$	Hustota oceli	[kgm <sup>-3</sup> ]
$\sigma$	Dovolené napětí šroubu ojnice	[MPa]
$\alpha_k$	Úhel natočení kliky	[°]
$\beta_o$	Úhel odklonu ojnice	[°]
$\lambda$	Klikový poměr	[-]

## 7.2 Seznam obrázků

OBR. 1) PRŮBĚH A VELIKOST NAPĚTÍ MATERIÁLU PŘI OHYBU [3] .....	15
OBR. 2) SOUČINITEL ZTENČENÍ ( $Z_z$ ) MĚKKÉ OCELI PŘI OHÝBÁNÍ O ÚHEL $90^\circ$ [2] .....	16
OBR. 3) ZÁVISLOST SOUČINITELŮ $X$ A $Z_z$ NA POMĚRNÉM RÁDIUSU OHYBU $R_o/S$ [2] .....	16
OBR. 4) OHÝBÁNÍ DO TVARU $V$ A $U$ [3] .....	18
OBR. 5) ODPRUŽENÍ MATERIÁLU PŘI OHÝBÁNÍ [1] .....	19
OBR. 6) JEDNODUCHÉ OHÝBADLO [1] .....	19
OBR. 7) PRINCIP FUNKCE OHÝBAČKY [1] .....	20
OBR. 8) RUČNÍ LITINOVÁ OHÝBAČKA [5] .....	20
OBR. 9) FORMY PLECHU VYROBENÉ NA SEGMENTOVÉ OHÝBAČCE [6] 21	
OBR. 10) PŘÍKLADY TECHNOLOGIE OHRAŇOVÁNÍ [3] .....	21
OBR. 11) SCHÉMA PROFILOVÝCH VÁLCŮ PRO OHÝBÁNÍ [1] .....	22
OBR. 12) MOBILNÍ SEGMENTOVÁ OHÝBAČKA DRÁCO K1-AGN-3 [7] .....	22
OBR. 13) RUČNÍ SEGMENTOVÁ OHÝBAČKA SCHECHTL UK [7] .....	23
OBR. 14) RUČNÍ OHÝBAČKA PLECHU HSBM 2020-20 SB [8] .....	24
OBR. 15) EXCENTR OHÝBAČKY [10] .....	25
OBR. 16) KUŽELOVÉ SOUKOLÍ A POHYBOVÝ ŠROUB OHÝBAČKY [11] ...	26
OBR. 17) UPÍNÁNÍ SEGMENTŮ POMOCÍ ŠROUBŮ [12] .....	26
OBR. 18) UPÍNÁNÍ SEGMENTŮ – VARIANTA B2 .....	27
OBR. 19) NAVRŽENÁ OHÝBACÍ DESKA .....	31
OBR. 20) VZTAH PRO VÝPOČET SÍLY PLYNOVÉ VZPĚRY [15] .....	32
OBR. 21) VÝKLOPNÁ DESKA SE VZPĚRAMI .....	34
OBR. 22) PŮSOBENÍ SIL NA PLECH PŘI OHÝBÁNÍ (ÚHEL OHYBU $0^\circ$ ) .....	34
OBR. 23) ROZLOŽENÍ OHÝBACÍ SÍLY (ÚHEL OHYBU $135^\circ$ ) .....	35
OBR. 24) VEDENÍ PRO POHYB HORNÍHO RÁMU .....	36
OBR. 25) KINEMATIKA KLIKOVÉHO MECHANISMU [17] .....	36
OBR. 26) PRŮBĚH ZDVIHU HORNÍHO RÁMU .....	37
OBR. 27) ROZKLAD SIL KLIKOVÉHO MECHANISMU [17] .....	38
OBR. 28) PRŮBĚH TEČNÉ SÍLY NA KLICE .....	39
OBR. 29) PRŮBĚH MOMENTU SÍLY NA KLICE .....	39

<b>OBR. 30) UPÍNACÍ MECHANISMUS.....</b>	<b>40</b>
<b>OBR. 31) NOSNÝ RÁM .....</b>	<b>41</b>
<b>OBR. 32) PRŮHYB RÁMU .....</b>	<b>42</b>
<b>OBR. 33) ÚHLOMĚR S DORAZEM .....</b>	<b>42</b>
<b>OBR. 34) ZADNÍ LIŠTY .....</b>	<b>43</b>
<b>OBR. 35) KOMPLETNÍ MODEL SEGMENTOVÉ OHÝBAČKY .....</b>	<b>43</b>



## 8 SEZNAM PŘÍLOH

### Výkresová dokumentace:

- 1) Výkres sestavy – 1-SO21-00
- 2) Výkres svarku (nosný rám) – 1-SO21-01
- 3) Výrobní výkres ohýbací desky – 2-SO21-02
- 4) Výrobní výkres excentru – 3-SO21-03
- 5) Výrobní výkres přítlačného segmentu (100x100x30) – 4-SO21-04

### Ostatní:

- 3D model segmentové ohýbačky plechu (formát STEP)