



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 HYDRAULICKÉHO OHRAŇOVACÍHO LISU

DESIGN OF HYDRAULIC PRESS BRAKE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matúš Machara

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pavlík, Ph.D.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Matúš Machara
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	Ing. Jan Pavlík, Ph.D.
Akademický rok:	2021/22

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

Návrh hydraulického ohraňovacího lisu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhnete a konstrukčně zpracujete řešení hydraulického ohraňovacího lisu. Maximální pracovní síla 600 kN, maximální délka ohýbaného plechu 2000 mm.

Cíle bakalářské práce:

Rozbor současného stavu vědy a techniky u řešené problematiky.

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 2021/22

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jaroslav Katolický,
děkan fakulty

ABSTRAKT

Táto práca sa zaoberá v prvej časti problematikou ohýbania, ohraňovania a rôznymi typmi ohraňovacích strojov. V časti druhej bol detailne navrhnutý mechanizmus slúžiaci na riadenie barana ohraňovacieho lisu počas ohybu. Boli rozpracované jednotlivé situácie, ktoré môžu pri práci nastať. Na ich základe a na základe teoretickej úvahy o deformácii jednotlivých súčastí vymysleného riešenia boli nadimenzované jednotlivé komponenty. Taktiež bolo načrtnuté možné riešenie základnej konštrukcie celého ohraňovacieho lisu podľa parametrov zadania. V závere bolo spomenuté doporučenie pre výrobu tohto riešenia.

ABSTRACT

The thesis is focused in the first part on the issue of bending and various types of press brakes. In the second part, a mechanism was designed in detail to control the ram press brake during bending. The individual situations that may occur at work have been developed. Based on them and on the theoretical consideration of the deformation of individual parts of the invented solution, the individual components were dimensioned. A possible solution of the basic construction of the whole press brake according to the assignment parameters was also outlined. Finally, a recommendation for the production of this solution was mentioned.

KLÚČOVÉ SLOVÁ

Ohraňovací lis, ohraňovanie, baran ohraňovacieho lisu, hydraulický valec

KEYWORDS

Press brake, bending, ram press brake, hydraulic cylinder

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

MACHARA, Matúš. *Návrh hydraulického ohraňovacího lisu*, Brno, 2022 Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139742>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Jan Pavlík.

POĎAKOVANIE

Týmto by som rád poďakoval pánovi Ing. Janu Pavlíkovi, Ph.D. za cenné pripomienky a rady týkajúce sa spracovania bakalárskej práce. Taktiež ďakujem rodine za podporu v celom období bakalárskeho štúdia na vysokej škole.

ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojím pôvodným dielom, spracoval som ju samostatne pod vedením Ing. Jana Pavlíka, Ph.D. a s použitím literatúry uvedenej v zozname.

V Brně dne 20.5.2022

.....

Machara Matúš

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVÁCIA	17
3	OHÝBANIE	19
3.1	Polomer neutrálnej plochy	19
3.2	Odpruženie	21
3.3	Minimálny polomer ohybu	22
4	OHRAŇOVANIE	25
4.1	Ohraňovacie operácie	25
4.2	Ohraňovacie nástroje	26
4.2.1	Razník	26
4.2.2	Matrica	27
4.2.3	Upínanie nástrojov	28
4.3	Oraňovacie lisy	30
4.3.1	Mechanický ohraňovací lis	30
4.3.2	Hydraulický ohraňovací lis	31
4.3.3	Servo-elektrický ohraňovací lis	32
4.4	Riadené osi CNC ohraňovacieho lisu	33
5	NÁVRH VYBRANÝCH ČASTÍ OHRAŇOVACIEHO LISU	35
5.1	Návrh a výber variantov riešenia	36
5.1.1	Návrh kompletnej schémy zariadenia	38
5.2	Voľba vybraných častí riadiaceho mechanizmu	39
5.2.1	Voľba pracovných hydromotorov	39
5.2.2	Voľba ovládacích hydromotorov	40
5.2.3	Voľba lineárnych vedení	40
5.2.4	Voľba dĺžok ramien ovládacej páky	42
5.2.5	Voľba a kontrola skrutky a matice	43
5.2.6	Voľba a kontrola motoru a prevodovky	46
6	ZÁVER A DOPORUČENIE PRE PRAX	51
7	ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV	53
8	ZOZNAM SKRATEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK	55
8.1	Zoznam symbolov a skratiek	55
8.2	Zoznam obrázkov	57
8.3	Zoznam tabuliek	57
9	ZOZNAM PRÍLOH	59

1 ÚVOD

Tvárnění sa radí medzi často používané technológie v strojárstve. Medzi jeho hlavné výhody patrí krátky čas tvárniacich operácií a malé percento vzniknutého odpadu. Podľa zmeny hrúbky materiálu počas danej operácie sa delí na objemové a plošné. U plošného tvárnenia sa hrúbka polotovaru mení len málo. Spadá sem viacero operácií, z ktorých jedna je ohraňovanie.

Ohraňovanie je ohýbanie polotovaru s malým polomerom ohybu. Je ním možné vyrábať zložité tvary súčiastok z plechu. Táto operácia je vykonávaná na ohraňovacích lisoch, ktoré dosahujú veľkých lisovacích síl, a vysokej produktivity práce vďaka CNC riadeniu.

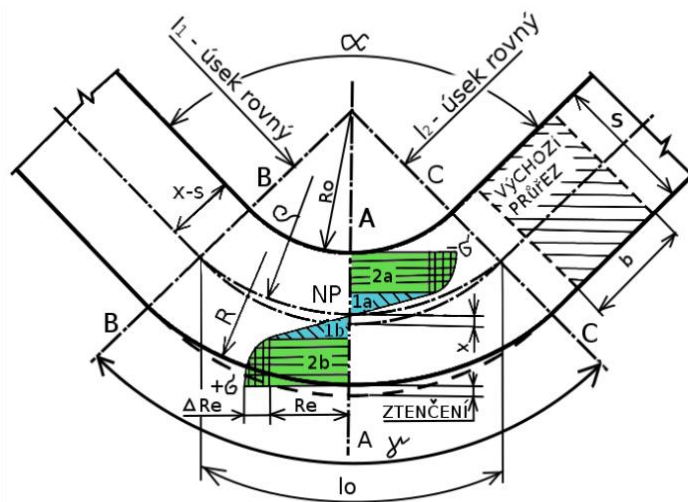
Ceny dnešných ohraňovacích lisov sa však pohybujú v pomerne vysokých číslach. Preto sa kúpa moderného ohraňovacieho lisu oplatí len pri jeho častom používaní. Ľudia, alebo aj firmy sa môžu nachádzať v takej situácii, kedy pre svoje fungovanie potrebujú pravidelne taký typ a také množstvo ohraňovaných súčiastok, že nie je pre nich ekonomicky výhodná ani kúpa ohraňovacieho lisu, ani platenie za ohraňovanie u dostupných firiem v ich okolí. Je preto možné niekedy vidieť snahu vyrobiť si vlastný ohraňovací lis. Často sa však jedná o stroje, na ktorých nemožno vyrábať širokú škálu výrobkov. S rastúcou nerovnomernosťou zaťaženia barana výrazne rastie ich nepresnosť a klesá ich funkčnosť. Pre určitú škálu výrobkov však môžu byť vyhovujúce.

2 MOTIVÁCIA

Motiváciou pre túto prácu bola snaha o zmenu ekonomicky nevýhodnej situácie malej firmy, ktorá sa zaoberá výrobou prototypov strojov z rôznych oblastí. Na svoju činnosť totiž potrebuje množstvo súčiastok, vyrábaných ohraňovaním. Toto množstvo nie je dostatočne veľké, aby sa jej oplátilo kúpiť konvenčný ohraňovací lis, no zároveň nie je ani dostatočne malé, aby bolo pre ňu výhodné objednávať si ohraňovanie špeciálnych polotovarov u firiem, ktoré takéto služby ponúkajú.

3 OHÝBANIE [1]

Ohýbanie je trvalé deformovanie materiálu, pri ktorom sa materiál vzniknutým napätím od pôsobiacej sily buď ohýba, alebo rovná. Priebeh napätia pri ohybe je znázornený na obr.1. Ohýbanie je v strojárskvej výrobe často používaná technologická operácia. Požadovaný tvar sa získava u väčšiny súčiastok z plechov, drôtov a tyčí aj niekoľkými ohybmi. Bežne sa ohýba za studena, avšak materiály tvrdé, krehké apod. sa ohýbajú za tepla. Schémy stavu, napätosti a deformácie vysvetľuje teória tvárnenia pre polotovary úzke ($b < 3s$) a široké ($b > 3s$), kde b je šírka polotovaru a s je jeho hrúbka. Pri ohýbaní úzkych polotovarov sa deformuje priečný prierez viac než pri ohýbaní polotovarov širokých. Ku stanoveniu rozmeru východzieho polotovaru pre ohýbanie je dôležitá znalosť polohy neutrálnej plochy ohýbaného prierezu.



1a, 1b - oblasť pružnej deformácie
 2a, 2b - oblasť plastickej deformácie so spevnením ΔRe
 x - veľkosť posunutia neutrálnej plochy (NP) od pôvodnej osi prierezu
 R_0 - polomer ohybu
 l_0 - dĺžka ohnutého úseku v neutrálnej ploche
 ρ - polomer neutrálnej plochy (NP)
 γ - uhol ohnutého úseku ($\gamma = 180^\circ - \alpha$)
 α - uhol ohybu

Obr. 1 Priebeh napätia pri ohybe [1]

3.1 Polomer neutrálnej plochy [1], [2]

Pri ohýbaní s veľkým polomerom zaoblenia, kde $R_0/s \geq 12$ sa veľkosť posunutia NP zanedbáva a určuje sa zo vzťahu:

$$\rho = R_0 + \frac{s}{2} \text{ [mm]} \quad (3.1)$$

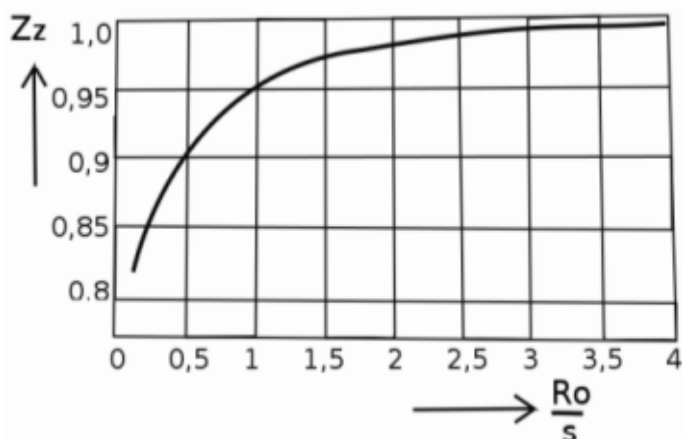
Pri ohýbaní s malými polomerami zaoblenia, kde $R_0/s \leq 6$ sa polomer určí so zohľadnením deformácie prierezu zo vzťahu:

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

kde: $z_z = s_1/s$ - súčiniteľ stenšenia [-],
 $z_r = b_1/b$ - súčiniteľ rozšírenia pôvodného prierezu [-],
 b_1, s_1 - šírka a hrúbka materiálu po ohnutí [mm].

Súčiniteľ stenšenia (z_z) pri ohybe závisí na tvárnosti materiálu, stupni deformácie, uhlu ohybu a trení materiálu o nástroj. Veľkosť tohto súčiniteľa pri ohýbaní hrubých prierezov z mäkkej ocele o 90° možno odpočítať z diagramu na obr. 2. Diagramy, z ktorých sa odpočítava súčiniteľ stenšenia materiálu boli zistené experimentálne. Hodnoty súčiniteľa rozšírenia (z_r) pre mäkkú

ocel' pre pomerné šírky vzorky $b = 0,5 \cdot s$ až $b \geq 3 \cdot s$ (úzke pásy) sú uvedené v tab. 1. Polotovary s pomernou šírkou $b > 3 \cdot s$ sa nazývajú široké pásy.



Obr. 2 Určenie z_z pri ohýbaní hrubých prierezov z mäkkej ocele o 90° [1]

Tab 1 Hodnoty súčiniteľa rozšírenia pre mäkkú ocel' pre úzke pásy [1]

Šírka ohýbaného dielca b [mm]	$b = 0,5 \cdot s$	$b = s$	$b = 1,5 \cdot s$	$b = 2 \cdot s$	$b = 2,5 \cdot s$	$b \geq s$
Súčiniteľ rozšírenia z_r [-]	1,09	1,05	1,025	1,01	1,005	1,0

Pri ohýbaní širokých pásov plechu ($b > 3 \cdot s$) s malými polomerami zaoblenia sa polomer neutrálnej osi (ρ) určuje pomocou súčiniteľa x , ktorý vyjadruje posunutie neutrálnej plochy zo vzťahu:

$$\rho = R_o + x_p \cdot s \text{ [mm]} \quad (3.3)$$

kde: x_p - súčiniteľ posunu neutrálnej plochy [mm].

V tabuľke 2 sú uvedené hodnoty súčiniteľa x_p a súčiniteľa stenšenia z_z pre ohyb širokých polotovarov pravouhlého prierezu z mäkkej ocele o uhol 90° .

Tab 2 Závislosť súčiniteľa x_p a súčiniteľa z_z na pomernom rádiuse ohybu R_o/s [1]

R_o/s	0,10	0,25	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	8,00
x_p	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483
z_z	0,82	0,87	0,92	0,96	0,985	0,992	0,995	0,996	0,996	0,997

Stanovenie dĺžky polotovaru.

Dĺžka polotovaru pre ohýbanú súčiastku je rovná súčtu dĺžok rovných úsekov finálneho výrobku a dĺžok oblúkov (neutrálnych plôch) v mieste ohybu. Dĺžka neutrálnej plochy (l_n) v ohnutom úseku závisí na uhlu oblúku neutrálnej vrstvy, na polomere ohybu (R_o) a hrúbke ohýbaného materiálu (t).

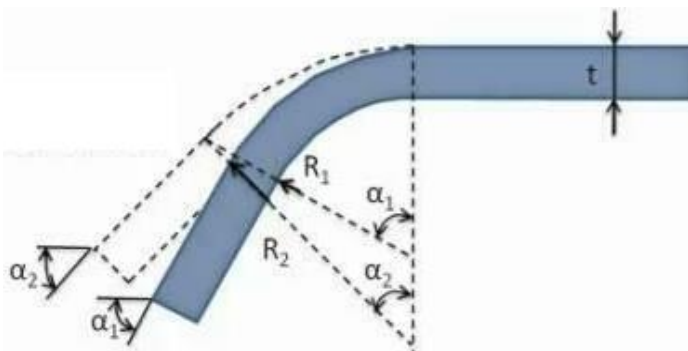
Dĺžka neutrálnej plochy v ohnutom úseku sa určí zo vzťahu:

$$l_n = \frac{\pi \cdot \gamma}{180} \cdot \rho \text{ [mm]} \quad (3.4)$$

kde: γ - uhol ohnutého úseku, $\gamma = 180 - \alpha$ [$^\circ$].

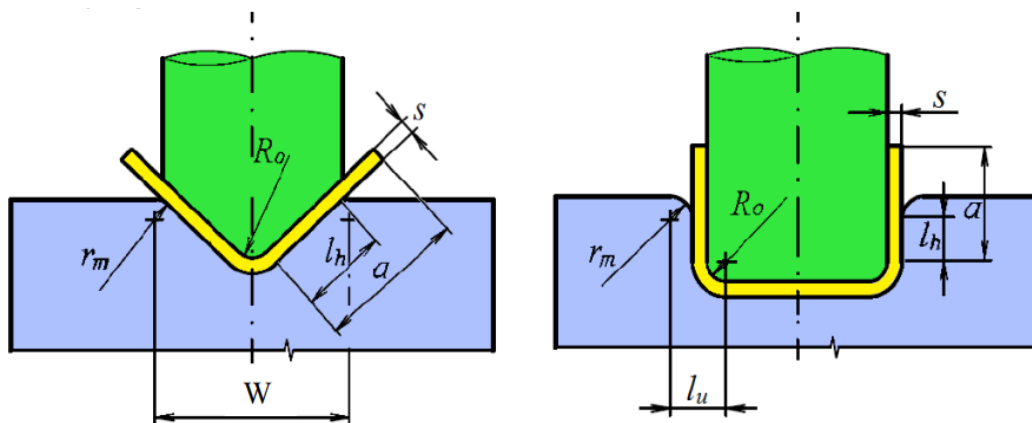
3.2 Odpružení [1], [2], [3], [4], [5],

Odpružení je jav, ktorý spôsobuje zmenu rozmerov a tvaru ohýbanej súčiastky po ohybe. Určitá vrstva materiálu okolo neutrálnej osi sa deformuje elasticky, a preto sa táto deformácia stráca práve vtedy, keď na súčiastku prestane pôsobiť ohýbacia sila. Tento jav nemožno pri ohýbaní zanedbať, pretože by spôsobil pomerne veľké nepresnosti. Na obrázku č. 3 je naznačené odpružení súčiastky po ohybe. Výrobok je ohnutý z východzieho stavu s polomerom R_1 a uhlom α_1 . Následne po odľahčení sa tieto parametre zmenia na α_2 a polomer na R_2 . Rozdiel medzi týmito uhlami sa nazýva uhol odprużenia.



Obr. 3 Znáozornenie odprużenia [3]

Na veľkosť odprużenia majú vplyv mechanické vlastnosti ohýbaného materiálu, jeho hrúbka, pomer polomeru ohybu k jeho hrúbke, veľkosť uhlu ohybu a konštrukcia ohýbadla. Veľkosť odprużenia sa zistí výpočtom, alebo pomocou diagramov zostavených na podklade praktických skúšok. V praxi sa najčastejšie stretávame s ohybom do V a do U, Tie sú naznačené na obrázku č. 4.



Obr. 4 Ohyb polotovaru do V (vľavo) a do U (vpravo) [4]

Pre približný výpočet uhlu odprużenia pre ohyb do V možno použiť nasledujúci vzťah:

$$\tan \beta = 0,375 \cdot \frac{W}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \quad [-] \quad (3.5)$$

kde: β - uhol odprużenia, $\beta = \alpha_2 - \alpha_1$ [°],
 W - vzdialenosť medzi operami ohybnice [mm]
 E - modul pružnosti v ťahu [MPa]
 k - súčiniteľ určujúci polohu neutrálnej plochy v závislosti na pomere R_o/s ; $k = 0,5$ až $0,68$ z ČSN 22 7340 [-]

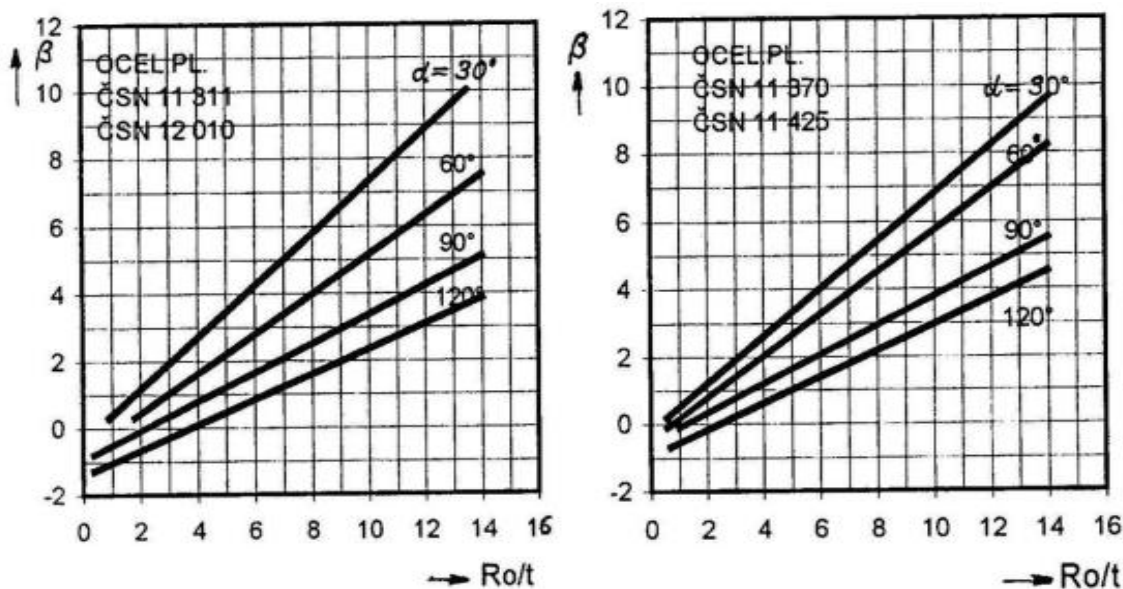
R_e - medza klzu ohýbaného plechu [MPa]

Pre približný výpočet uhlu odpruženia pre ohyb do U možno použiť nasledujúci vzťah:

$$\tan \beta = 0,75 \cdot \frac{l_u}{k \cdot s} \cdot \frac{R_e}{E} \quad [-] \quad (3.6)$$

kde: l_u - vid' obr. 4, $l_u = r_m + R_o + 1,2s$ [mm]

V praxi je možné orientačne určiť veľkosť odpruženia z diagramov na to určených, ktoré sú spracované pre rôzne materiály. Príklad takýchto diagramov je na obrázku č. 5.



Obr. 5 Diagramy pre orientačné určenie uhlu odpruženia vybraných uhlov ohybu α [5]

3.3 Minimálny polomer ohybu [2], [6],

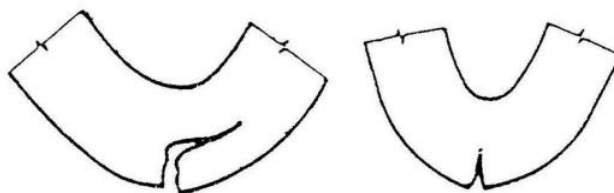
Pri ohýbaní sa vyskytujú niektoré technologické problémy, ako napr. praskanie materiálu vplyvom jeho spevňovania pri príliš nízkej hodnote pomeru R_o/t . V týchto prípadoch sa súdržnosť materiálu poruší a môžu vzniknúť podobné situácie, ako na obrázku č. 6. Vplyv na veľkosť kritického polomeru ohybu danej súčiastky majú mechanické vlastnosti materiálu. Najmä tvárnosť, ktorá závisí tiež od spôsobu spracovania materiálu (žíhaním ju možno zlepšiť). Najmenší polomer ohybu sa stanovuje teoreticky výpočtom, ale v praxi sa často určuje z empirického vzorca.

Minimálny polomer ohybu možno určiť zo vzťahu:

$$R_{Omin} = k_m \cdot s \quad [mm] \quad (3.7)$$

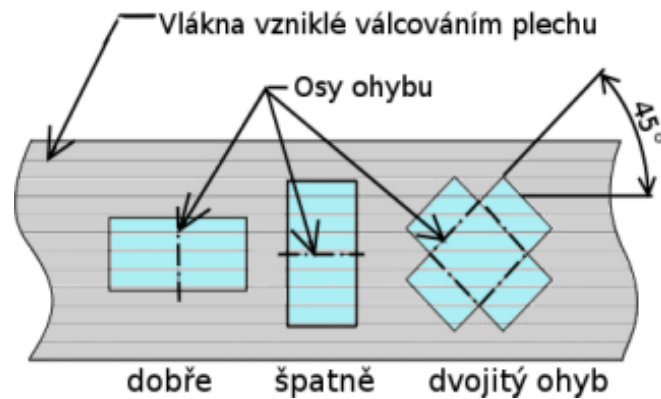
kde: k_m – koeficient podľa druhu materiálu [-]

R_{Omin} – minimálny polomer ohybu



Obr. 6 Praskanie polotovaru v dôsledku voľby príliš malého polomeru ohybu [2]

Hodnoty koeficientu k sú rôzne. Napríklad pre oceľ $k_m = 0,5$, no pre meď $k_m = 0,25$. Boli stanovené pre prípad kolmej osi ohybu na smer vlákien polotvaru. Tie sú zobrazené na obrázku č. 7. Ak je osa ohybu rovnobežná s vláknami materiálu (čomu sa treba vyhnúť, ak sa dá), zväčšuje sa R_{Omin} dvakrát. Možno pripustiť hranu ohybu súčiastky k smeru vlákien minimálne 30° a viac. Pri vystrihnutej súčiastke je treba ohýbať tak, aby otrep s priečnymi trhlkami bol na strane stlačenia (v oblasti tlakových napätí).



Obr. 7 Umiestnenie výrobku na plech [6]

4 OHRAŇOVANIE [7],

Podľa normy ČSN 22 6001 je ohraňovanie metóda plošného tvárnenia, pri čom sa jedná o ohýbanie plechových materiálov na ohraňovacích lisoch. Pri tomto procese je súčiastka ohýbaná pomocou matrice a razníku. Razník pri ohraňovaní pôsobí silou na ohýbaný materiál. Tým v ňom vyvoláva ohybový moment, vďaka ktorému ho deformuje a vtlačá do dutiny, ktorá je v matrici. Zároveň sa počas operácie postupne mení polomer ohybu. Dutina v matrici má najčastejšie tvar V. Na ohraňovacích lisoch sa dá vykonávať viacero operácií.

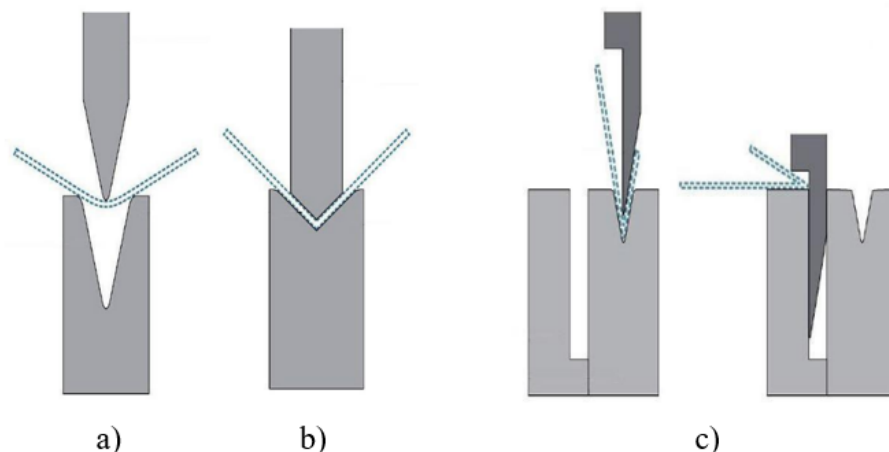
4.1 Ohraňovacie operácie [8],

Na ohraňovacích lisoch sa dá uskutočniť veľké množstvo ohýbajúcich operácií. Niektoré sa používajú často, iné len v špeciálnych prípadoch so špeciálnymi nástrojmi.

Najčastejšie používanou ohraňovacou operáciou je voľné ohýbanie. Razník tlačí polotovár do dutiny v matrici, pri čom ho nedotlačí až tak, že by došlo k vzájomnému plošnému dotyku matrice a materiálu. Polotovár sa neustále opiera len v dvoch miestach matrice, preto sa táto metóda volá aj dvojbodové ohýbanie. Uhol ohybu je riadený hĺbkou vniknutia razníka do matrice. Táto metóda je jednoduchšia menej finančne náročná a dovoľuje menšie ohýbacie sily. Vznikajú však pri nej väčšie nepresnosti spojené s odpružením, s ktorými treba počítať.

Ďalšou ohraňovacou operáciou je ohýbanie s dotlačením. Na rozdiel od voľného ohýbania, pri tejto operácii vtlačí razník súčiastku do dutiny matrice tak, že dôjde k vzájomnému plošnému kontaktu stien obrobku a matrice. Razník a matrica musia do seba správne zapadať. Preto je potrebná pre každý uhol a každý tvar kompatibilná dvojica nástrojov. Keď je už, obrobok úplne zatlačený do matrice, razník neustále pôsobí zvyšujúcou sa lisovacou silou dovtedy, kým nedosiahne stanovenú hodnotu. Takýmto spôsobom obrobok nadobúda obrysy razníka a matrice. Vysoký tlak spôsobí stabilizáciu uhlu, takže spätné odpruženie súčiastky je takmer úplne odstránené.

Ďalšou operáciou je ohyb s preložením. Hrany súčiastok vyrobených z plechov sa často ohýbajú tak, aby došlo k vytvoreniu lemu. Tým sa zvýši tuhosť celej súčiastky a vytvorí sa ochrana okraja. Ohyb s preložením prebieha v dvoch krokoch: najskôr sa obrobok ohne do uhlu 30° . Potom sa premiestni a dohne tak, že dôjde k dotyku oboch ramien ohybu, ktoré sa stanú rovnobežnými.



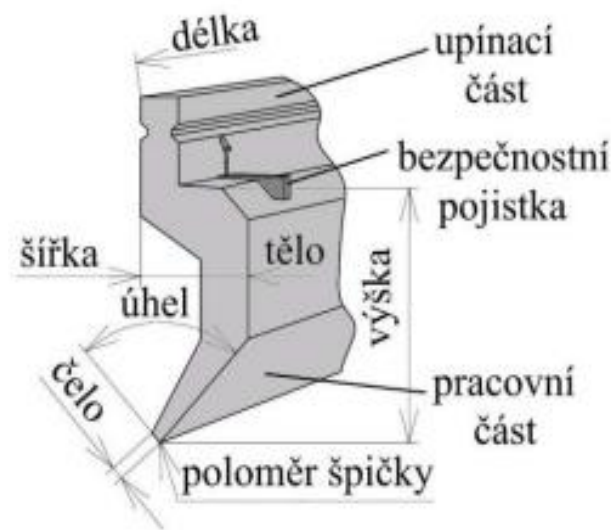
Obr. 8 a) - voľné ohýbanie, b) - ohyb s dotlačením, c) - ohyb s preložením [8]

4.2 Ohraňovacie nástroje [9], [10],

Tieto nástroje pozostávajú z dvoch hlavných častí, a to z razníku (ohybničku) a matrice. Razník býva väčšinou upnutý v hornej lište stroja, ktorá je pripravená o baran lisu. Matrica je pevne upnutá v dolnej časti stroja v pracovnom stole. Obyčajne je to tak, že počas ohraňovania koná baran lisu zvislý pohyb dole, a tak razník vtláča materiál do matrice. Tvar ohybu závisí na tvare matrice a razníku. Je nutné používať kompatibilnú kombináciu nástrojov. Uhol razníku musí byť zhodný, alebo menší, než uhol matrice. V katalógoch rôznych firiem nájdeme diagramy, na ktorých sú zaznačené všetky potrebné geometrické prvky pre správne vytvorenie programu na ohýbanie. Nástroje od rôznych firiem sú si tvarovo podobné, ale môžu sa líšiť spôsobom upínania. Môžu byť delené v štandardných dĺžkach, alebo je možné ich nechať v plnej dĺžke.

4.2.1 Razník [9], [10], [11], [12], [13],

Razník je jeden z dvoch hlavných prvkov zostavy nástrojov pre ohraňovanie. Vyrába sa v rôznych tvaroch a veľkostiach kvôli veľkému množstvu tvarov a veľkostí ohýbaných súčiastok. Každý razník je označený. Toto označenie obsahuje potrebné údaje o ňom, ako napríklad typ, dĺžka, maximálny uhol ohybu, ktorý s ním možno ohýbať, polomer zaoblenia špičky, výška a maximálne možné zaťaženie udávané v kN na meter dĺžky. Razník sa skladá z upínacej časti, za ktorú je upnutý v lište baranu, a následne zaistený bezpečnostnou poistkou, alebo iným zaistením podľa výrobcu. Stredná časť sa nazýva telo. Má rôzny tvar v závislosti od konkrétneho účelu použitia nástroja. Pracovná (spodná) časť nástroja je tepelne spracovaná, kvôli zvýšeniu odolnosti proti opotrebeniu, pretože je najviac namáhaná oterom a tlakom. Popis moderného razníku sa nachádza na obrázku č. 9.



Obr. 9 Popis častí razníku [12]

Druhy razníkov

Nástroje umožňujú aj obmedzujú výrobu. Pre rozličnosť tvarov ohybu ktoré je potrebné dosiahnuť boli vyvinuté mnohé tvary nástrojov. Tu sú uvedené niektoré z nich.

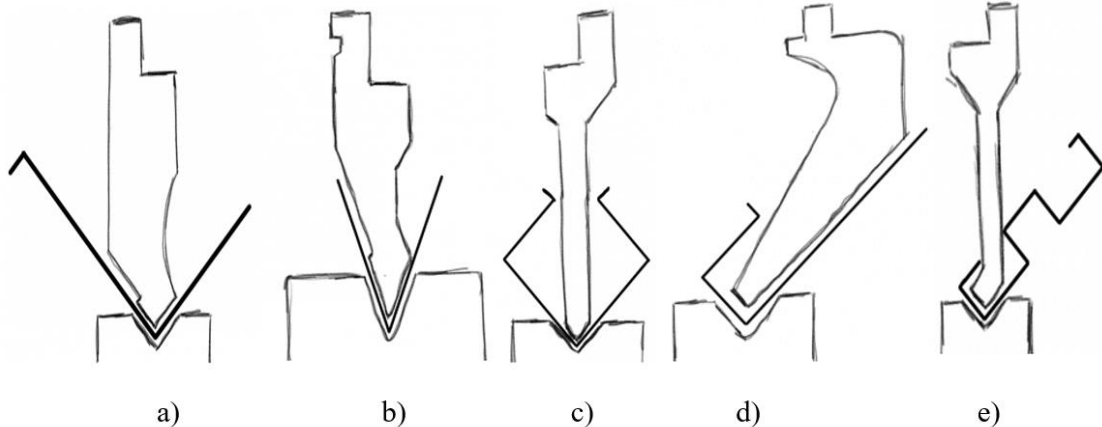
Štandardný razník znázornený na obr. 10 - a) je najbežnejším nástrojom ohraňovacieho lisu. Používa sa najčastejšie na voľné ohýbanie pod uhlom 90° . Má pomerne mohutnú konštrukciu, takže je schopný zniesť vysoké zaťaženie potrebné pre hrubšie plechy alebo väčšie ohýbacie dĺžky.

Nástroj na obr. 10 - b) sa vo všeobecnosti používa na ohýbanie uhlov medzi 30 až 60 stupňov. Opäť hrúbka razníka umožňuje väčšie sily, takže je vhodná pre hrubšie materiály.

Potreba takéhoto nástroja (obr. 10 - c) vzniká, keď nie je veľa miesta na vykonanie posledného ohybu. Na obrázku je možné vidieť, ako dôležitú úlohu zohráva šírka nástroja.

Razník na obr. 10 - d) sa používa na ohyby do tvaru U. Pri pohľade na obrázok je však vidno, že výška stien U-profilu je obmedzená. Tento nástroj musí byť robustný, pretože vďaka jeho tvaru rastie podiel ohybového napätia voči tlakovému.

Ďalší typ nástroja na obr. 10 - e) umožňuje ohýbanie tvarov, ktoré sú z časti uzavreté.



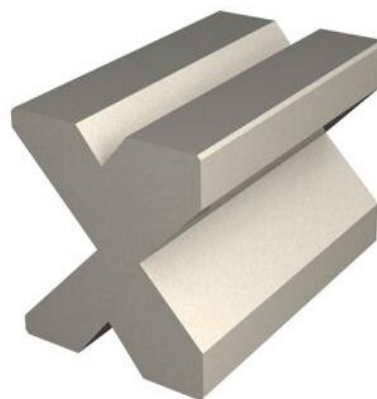
Obr. 10 Rôzne druhy razníkov [13]

4.2.2 Matrica [9], [10], [11], [12], [14],

Ďalším z hlavných prvkov zostavy nástrojov je matrica. Na rozdiel od razníku sa matrica upína za jej spodnú časť obvykle na pracovnom stole ohraňovacieho lisu. Hlavnou časťou je telo matrice. V ňom sa nachádza tvarová dutina, ktorá je jedným z určujúcich prvkov toho, aký bude mať ohyb tvar. Väčšinou má táto dutina tvar "V" s rôznymi uhlami rozovretia. Taktiež môže mať tvar "U", alebo aj iné špeciálne tvary podľa toho, aký tvar ohybu je treba dosiahnuť. Používajú matrice s jednou dutinou (obr. 11), ale aj s viacerými dutinami (obr. 12). Tie s viacerými dutinami sú výhodné v tom, že ich pootočením získame iné parametre. Hlavné parametre matrice sú výška, dĺžka, polomer zaoblenia hrany dutiny, uhol rozovretia a šírka rozovretia. Šírka rozovretia je vzdialenosť stredov polomerov zaoblenia vnútorných hrán tvarovej dutiny. Časti matrice, ktoré sú pri ohybe v kontakte s obrobkom sú taktiež tepelne spracované kvôli väčšej životnosti.



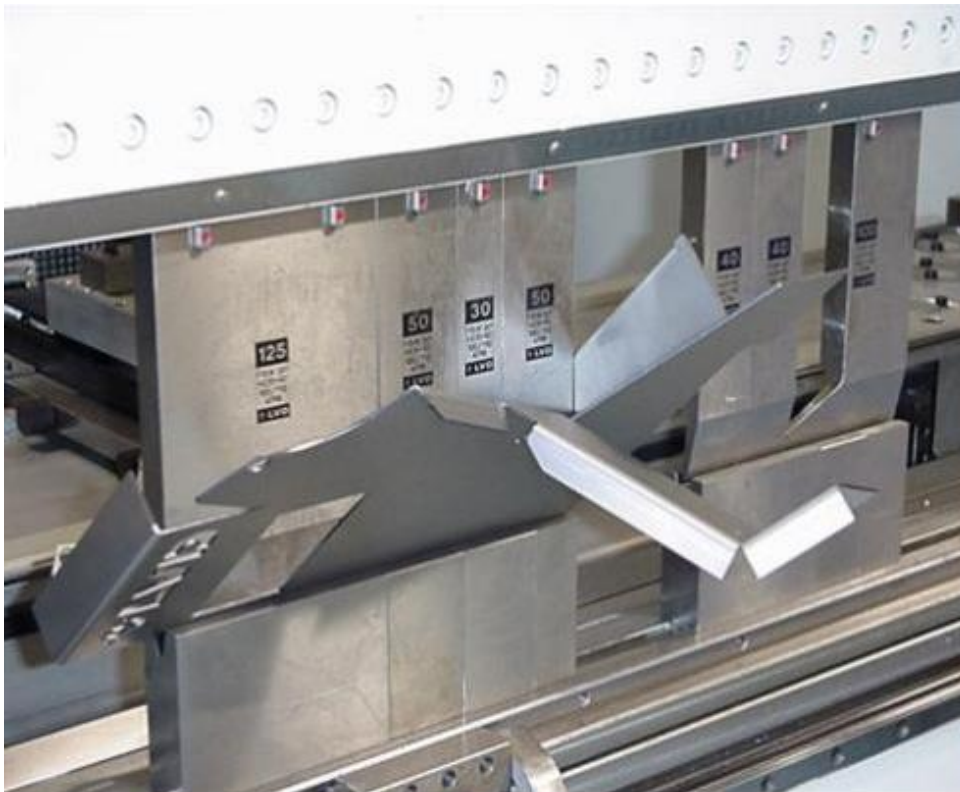
Obr. 11 Popis částí matrice [12]



Obr. 12 Matrica s viacerými dutinami [14]

4.2.3 Upínanie nástrojov [9], [10], [11], [15], [16], [17], [18], [19],

V zásade poznáme dva základné typy upínania nástrojov, a to manuálne a automatické. Oba typy majú svoje výhody aj nevýhody. Často je k ohybu potrebná špecifická dĺžka nástroja. Pokiaľ nie je k dispozícii celistvý nástroj s požadovanou dĺžkou, možno použiť nástroj delený. Princíp je v tom, že požadovaná dĺžka razníka, alebo matrice sa dosiahne kombináciou viacerých nástrojov rovnakých tvarov rôznych, alebo aj rovnakých dĺžok. Presný dĺžkový rozmer nástroja je potrebný najmä pri výrobe súčiastok s uzavretými susednými rohmi. Táto situácia je zobrazená na obrázku č. 13.



Obr. 13 Dosiahnutie atypickej dĺžky ohybu použitím deleného nástroja [15]

Manuálne upínanie nástrojov

Tento typ upínania je najjednoduchší, najlacnejší, no zároveň časovo najnáročnejší. Vyžaduje obsluhu, ktorá musí manuálne vymeniť jednotlivé nástroje. Túto metódu možno použiť, ak nedochádza počas smeny k častej výmene nástroja. Pri upínaní sa razník vloží alebo nasunie do adaptéru, pričom sa len jemne pritiahne prítlačná doska, aby nástroj nevypadol. Potom je nástroj primeranou silou zatlačený do matrice kvôli vymedzeniu vôle medzi razníkom a adaptérom. Následne sa dotiahnu skrutky na prítlačnej doske a stroj je pripravený na ohraňovanie.

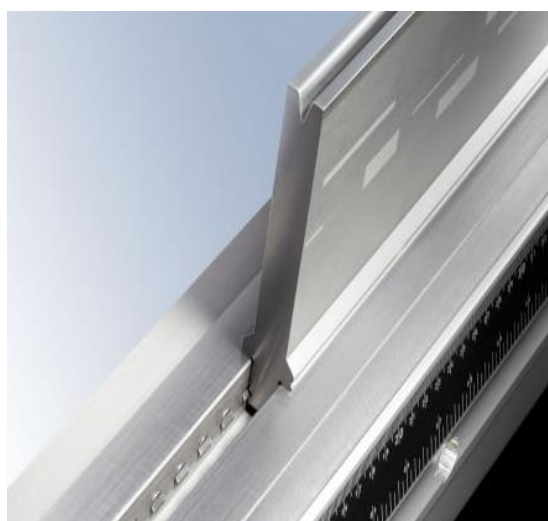
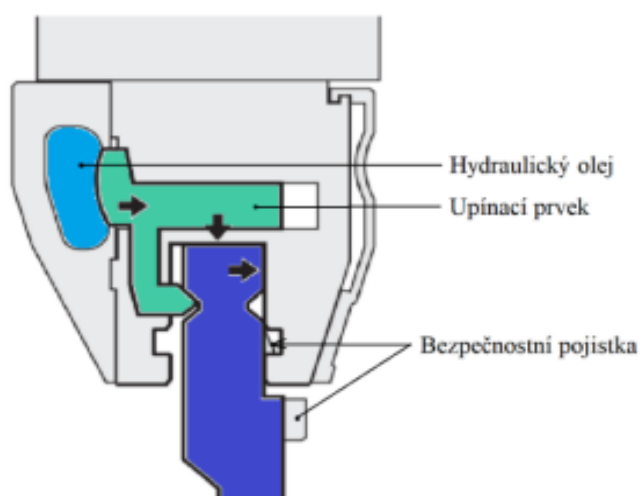
Podobný princíp platí aj pre upínanie matrice, pričom v tomto prípade nehrozí vypadnutie nástroja z adaptéru. Po výmene matrice nastáva mechanické zovretie, ktorým sa nástroj vycentruje. Štvordutinové matrice sa upínajú pomocou svoriek.



Obr. 14 Ukážka mechanického upnutia razníka aj matrice [16]

Automatické upínanie nástrojov

Môže byť hydraulické, pneumatické, alebo špeciálne, pričom najčastejšie sa dá v praxi stretnúť s hydraulickým. Hydraulický upínač je priamo spojený s baranom stroja, takže zaberá menej priestoru, ako adaptér pri mechanickom upínaní. Pri výmene nástroja sa najskôr zníži tlak v hydraulickej kvapaline. To spôsobí, že prítlačný kolík sa vysunie. Nástroj je v tomto momente zachytený len bezpečnostnou poistkou. Potom, ako ho obsluha uchopí, uvoľní bezpečnostnú poistku a vysunie nástroj z upínača. Následne je možné nasadiť nový nástroj. Tento typ upínania je vhodný pre výrobu, kde je potreba pomerne častej zmeny nástrojov. Schéma tohto princípu je na obrázku č. 15. Na obrázku č. 16 sú vidieť prítlačné kolíky, slúžiace na automatické upnutie matrice



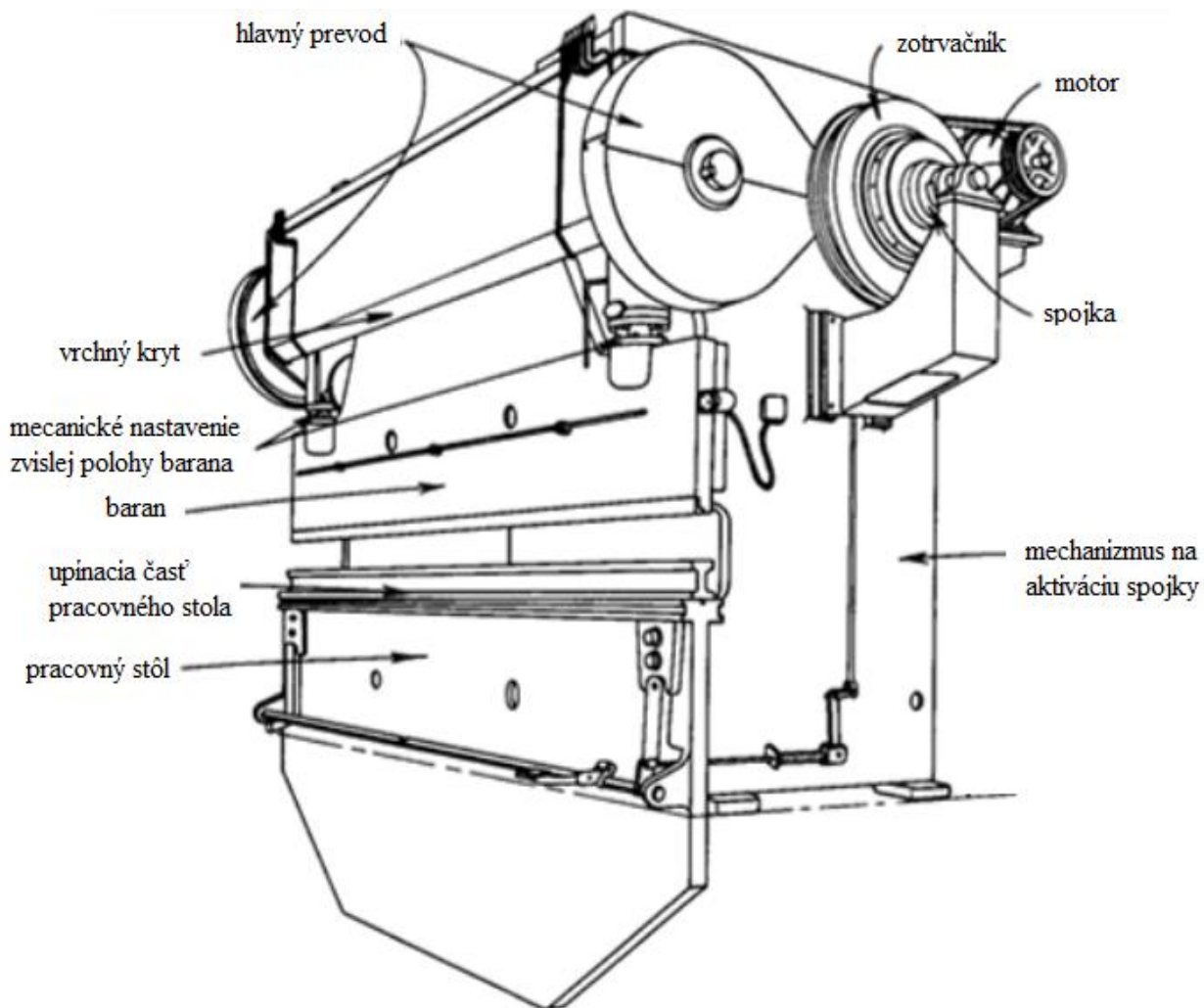
Obr. 15 Schéma hydraulického upínania [18] Obr. 16 Matrice v stole s upínacími kolíkmi [19]

4.3 Oraňovacie lisy [20]

Oraňovací lis je druh tvárniaceho stroja pre spracovanie plechu. Výhodou týchto strojov je schopnosť ekonomicky vyrobiť súčiastky takých tvarov, ktoré by nebolo vhodné, alebo dokonca ani možné vyrobiť inými bežnými ohýbacími strojmi. Svojou univerzálnosťou sa hodia pre použitie v kusovej či sériovej výrobe, nie však v hromadnej.

4.3.1 Mechanický oraňovací lis [21], [22]

Tento typ lisu je poháňaný elektromotorom, ktorý roztáča zotrvačník na vysokou rýchlosť. Keď po roztočení operátor zapne spojku, ktorá môže byť aktivovaná pneumaticky, hydraulicky alebo mechanicky, pohyblivý zotrvačník prenesie krútiaci moment na kľukový hriadeľ, na ktorom je pripojený baran stroja tak, že otáčanie kľukového hriadeľa spôsobuje vertikálny a cyklický pohyb barana. Tento typ lisu je jednoduchší a lacnejší. Lisovacia sila sa postupne s približovaním barana k dolnej úvrati zväčšuje vďaka tomu, že je prenášaná kľukovým mechanizmom. Jedna z jeho hlavných nevýhod je, že baran musí pri oraňovaní dokončiť celý cyklus (jedna otáčka kľukového hriadeľa). Zvyčajne ho je možné zastaviť uprostred cyklu, ale nie vrátiť späť. Toto predstavuje určité bezpečnostné problémy a prevádzkové obmedzenia. Tento typ lisu sa najčastejšie používa ako jednoúčelový stroj do liniek pre sériovú výrobu. Do roku 1960 sa používal veľmi frekventovane, no dnes sa však dá nájsť vo firmách len zriedkavo.



Obr. 17 Mechanický oraňovací lis [22]

4.3.2 Hydraulický ohraňovací lis [21], [23], [24], [25],

Tento druh ohraňovacích lisov existuje už vyše 60 rokov. Preto je k dispozícii mnoho rozdielnych typov, ktoré sa používajú doteraz. V dnešnej dobe majú v priemysle väčšinové zastúpenie CNC hydraulické ohraňovacie lisy. Baran týchto strojov je ovládaný niekoľkými (najčastejšie dvomi) synchronizovanými hydromotormi. Táto synchronizácia je zabezpečená neustálím sledovaním polohy barana senzormi, ktoré odosielajú informácie do riadiaceho systému. Ten na základe prijatých dát riadi vysoko presné regulačné ventily, ktoré riadia prietok a tlak oleja v jednotlivých valcoch samostatne, a tak zabezpečujú správnu polohu barana počas pracovnej operácie. V posledných časoch sú na trhu k dispozícii aj Hybridné stroje, ktoré neobsahujú klasické hydraulické komponenty poháňané asynchrónnym elektromotorom. V tomto hybridnom koncepte sa zvyčajne využívajú menej hydraulické kvapaliny, ktorá nie vždy prúdi tak, ako pri tradičných CNC hydraulických ohraňovákoch. Špeciálny hydrogenerátor je poháňaný servomotorom. Ten dokáže zmenou zmyslu otáčok na hydrogenerátore vyvolať zmenu smeru zvislého pohybu barana. V princípe sa jedná o podobnú pohybovú väzbu, aká je medzi skrutkou a maticou. Toto riešenie ponecháva hlavnú výhodu hydrauliky - veľké pracovné sily, a odstraňuje jej veľkú nevýhodu – malú účinnosť, pretože hydromotor sa točí len pri pohybe barana a nie stále, ako je tomu u bežných CNC hydraulických lisov, ktoré majú pohyb barana riadený ventilmi. Táto inovácia sa samozrejme patrične odzrkadľuje aj na cene stroja.



Obr. 18 Hydraulický ohraňovací lis spoločnosti Baileigh - BP-3305CNC [25]

4.3.3 Servo-elektrický ohraňovací lis [24], [26], [27]

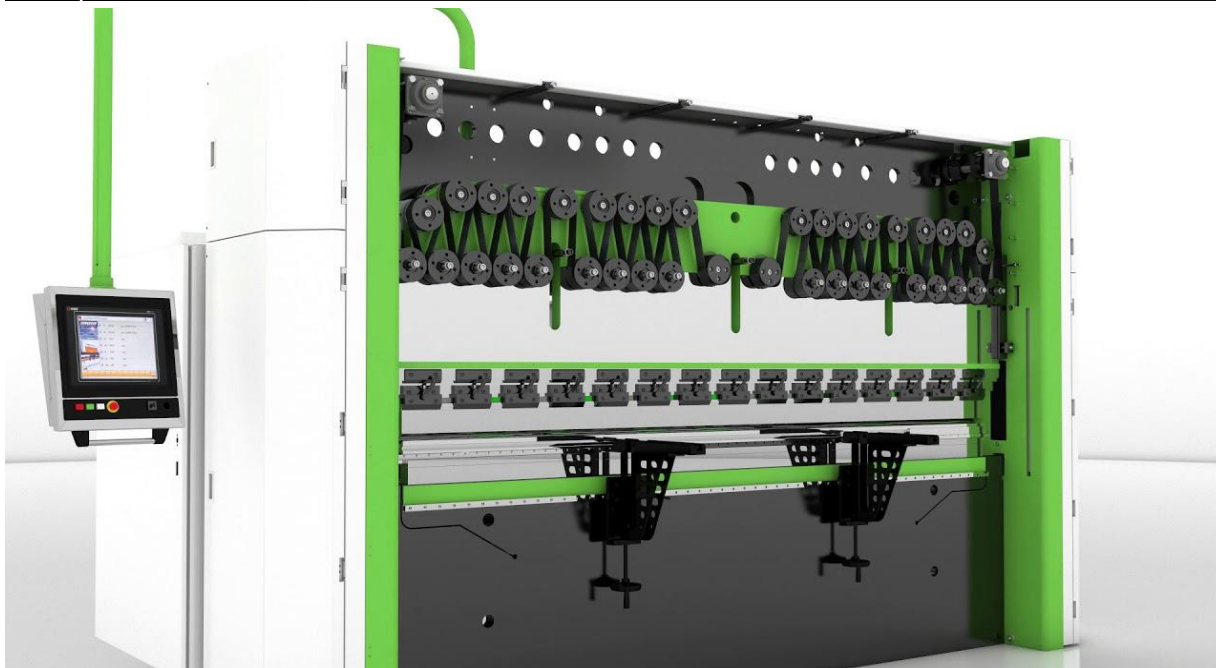
Tieto stroje využívajú servo-elektrické motory pre presné riadenie pohybu barana. Prenos pohybovej energie medzi motorom a baranom je realizovaný prostredníctvom mechanizmu. Podľa tohto mechanizmu sa delia na dva hlavné druhy. Prvý druh stroja používa na riadenie pohybu barana guľôčkové skrutky. Vnútri guľôčkovej matice nájdeme radu v skrutkovici zoradených guľčiek, ktoré sú usporiadané do uzavretého okruhu, vďaka čomu môžu vnútri matice donekonečna obiehať. Keď sa matica spojí so skrutkou, tak guľčičky obiehajú v závite. Keď potom skrutka rotuje, tak vďaka obiehajúcim guľčičkám celá matica vykonáva priamočarý pohyb v smere osy skrutky. Vďaka guľčičkám v matici a možnému predopnutiu sa guľčičkové skrutky vyznačujú i vysokou tuhosťou a tým aj presnosťou.

Pri tomto type je baran ovládaný viacerými skrutkami, ako vidíme z obr. To umožňuje menej robustnú konštrukciu barana, pretože ohybové sily naňho pôsobiace sú menšie. Tieto stroje sú však pomerne drahé a nedosahujú až také sily ako hydraulické ohraňovacie lisy. No sú tichšie, presnejšie a menej energeticky náročné.



Obr. 19 Ohraňovací lis s pohybom barana realizovanom guľôčkovými skrutkami [26]

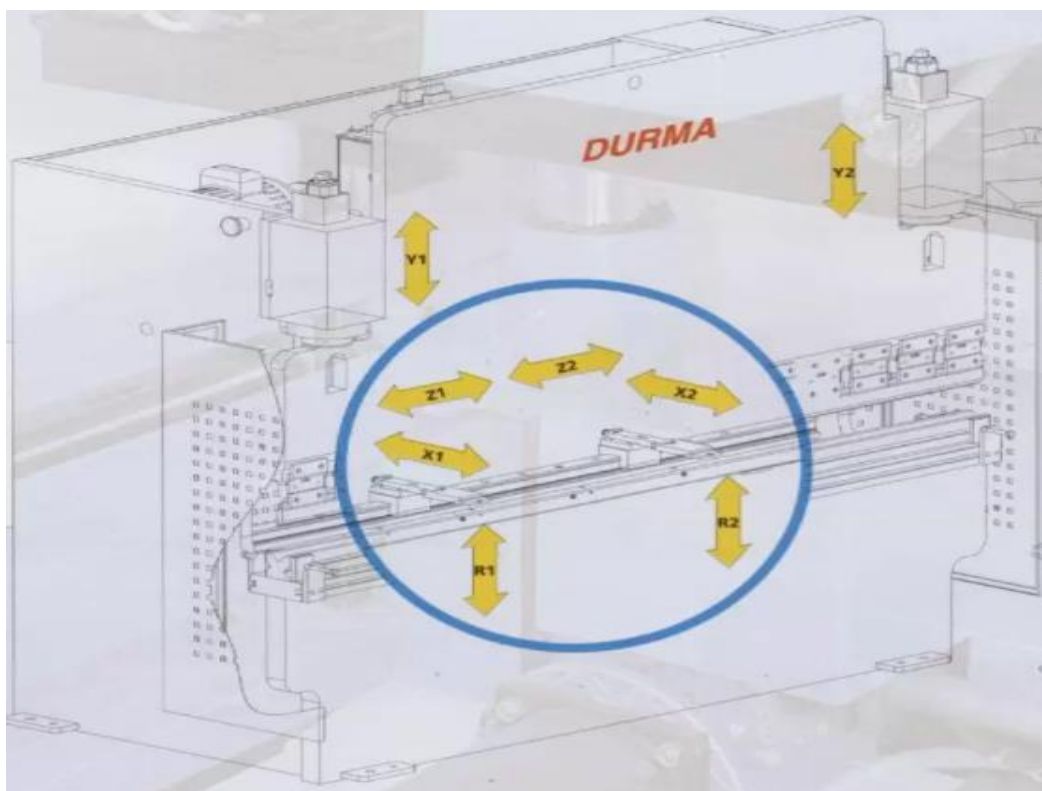
Další typ lisu používa na prenos pohybovej energie medzi motorom a baranom usporiadanie remení, ktoré plnia funkciu kladkostroja. Navíjanie remeňa servomotormi zapríčiní pohyb barana smerom dolu. Remeň je navíjaný väčšinou dvomi, alebo štyrmi servomotormi na dvoch, alebo štyroch miestach na krajných častiach stroja. Pohyb barana nahor sa realizuje pružinami, ktoré sú stláčané počas pracovného cyklu. Tieto pružiny sa nachádzajú po bokoch stroja. Takto je remeň neustále napnutý. Výhody aj nevýhody tohto usporiadania sú podobné, ako pri stroji používajúcom guľčičkové skrutky. Ohraňovacie lisy používajúce remenice sú však v porovnaní s nimi rozšírenejšie.



Obr. 20 Ohraňovací lis s pohybom barana realizovanom remenicami [27]

4.4 Riadené osi CNC ohraňovacieho lisu [28]

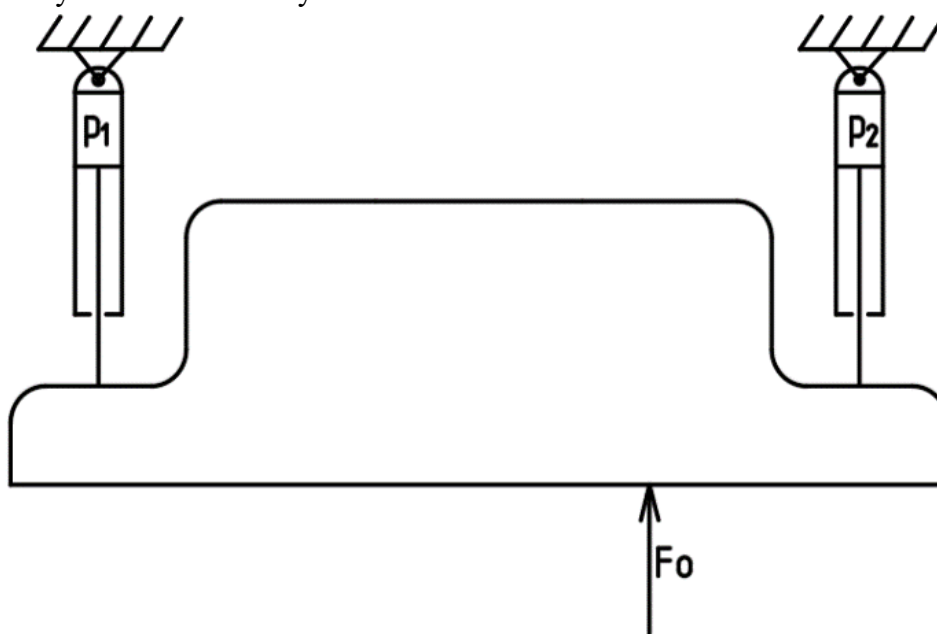
Na obrázku č 21 sú znázornené riadené osi CNC ohraňovacieho lisu. Osi Y1 a Y2 sa týkajú pohybu barana, ostatné zadných dorazov. Synchronizácia pohybu barana ohraňovacieho lisu (osy Y1-Y2) je pre presné ohýbanie veľmi dôležitá. V súčasnosti sa používa takmer výhradne elektronická synchronizácia pohybu barana. V praxi výsledky ohýbania veľmi závisia aj od stavu barana lisu, úpiniek, nástrojov a správneho nastavenia celej zostavy.



Obr. 21 Riadené osy bežného CNC ohraňovacieho lisu [28]

5 NÁVRH VYBRANÝCH ČASTÍ OHRAŇOVACIEHO LISU

Na baran ohraňovacieho lisu je kladená požiadavka, aby sa nachádzal počas celého procesu ohýbania čo najpresnejšie rovnobežne s maticou lisu. Riešenie tohto problému častokrát výrazne navyšuje cenu stroja. Pri ohraňovaní nastáva často situácia, keď nie je možné vyrobiť súčiastku len s jedným typom nástrojov. Kvôli tomu môžu byť v jednej časti stroja upnuté iné nástroje, ako v druhej, a tým pádom sa súčiastka pri ohýbaní nenachádza v strede barana. Situácia je naznačená na obrázku č. 22. Toto je jeden z častých prípadov, kedy je baran zaťažovaný nerovnomerne. Preto na jeho jednu stranu musí byť vyvíjaná väčšia sila, ako na druhú, a to musí byť riadené veľmi presne. To je dôvod, prečo majú CNC ohraňovacie lisy pohyb barana riadený dvomi samostatnými osami.



Obr. 22 Nerovnomerné zaťaženie barana pri ohýbaní

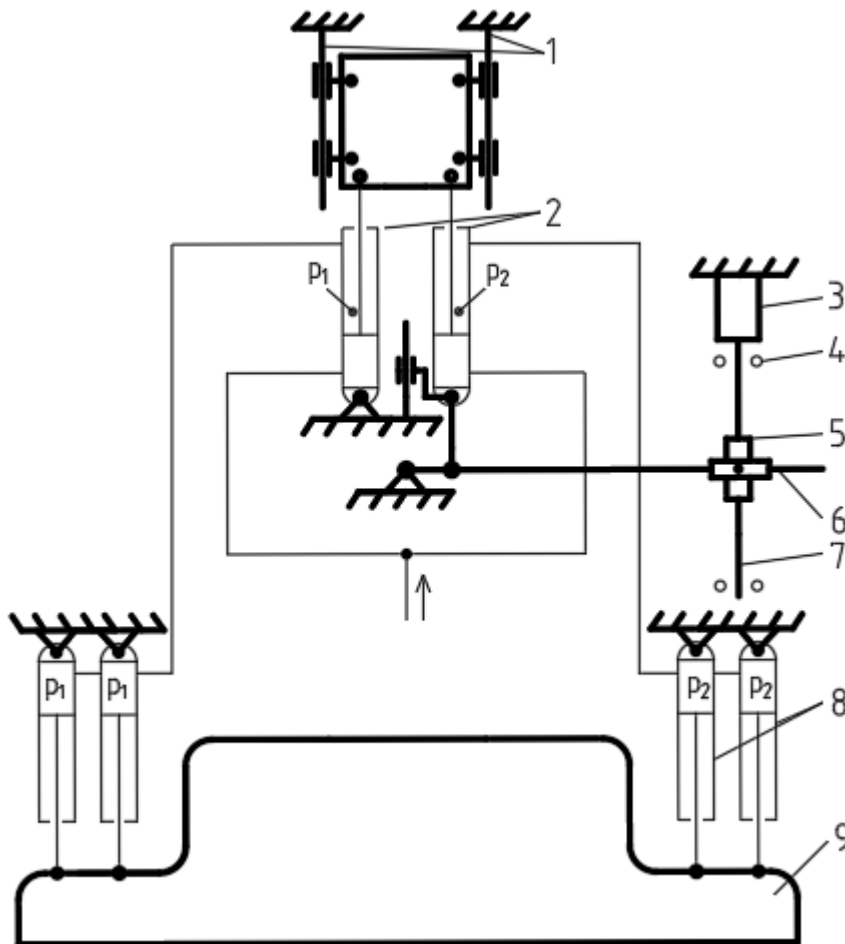
Na starších strojoch bola synchronizácia barana zabezpečená mechanicky pomocou torznej tyče. Takéto riešenie je zriedkavo možné vidieť aj na starších hydraulických ohraňovacích lisoch. Presnosť ohybu však priamo úmerne klesá s narastajúcou nerovnomernosťou zaťaženia. Príčinou sú pružné deformácie mechanizmu.

Pri servo-elektrických ohraňovacích lisoch je pohyb barana riadený dvomi, alebo viacerými servomotormi. Tie môžu nezávisle od seba meniť otáčky a moment s veľkou rýchlosťou a presnosťou na základe informácii zo senzorov, ktoré snímajú polohu barana. Tým môžu veľmi presne kompenzovať nerovnomerné zaťaženie barana. Servo-pohony s veľkými výkonmi a momentami sú však výrazne drahšie, ako klasické elektromotory.

Pri klasických CNC hydraulických ohraňovacích lisoch, kde je baran riadený hydraulickými valcami sa jeho chod riadi množstvom a tlakom hydraulickej kvapaliny dodávanej do jednotlivých valcov. Ako je naznačené na obrázku č. 22, do jedného valca musí byť kvapalina dodávaná pod iným tlakom, ako do druhého. To je však nutné vykonávať veľmi presne a rýchlo. V praxi je to realizované proporcionálnymi hydraulickými komponentami. Tie sú však tiež veľmi drahé, a preto výrazne ovplyvňujú cenu celého stroja.

Jeden z cieľov pri návrhu mechanizmu riadenia barana bol vyriešiť problém vyrovnávania barana bez použitia proporčionálnej techniky a špeciálnych hydraulických komponentov, práve kvôli ich vysokej cene.

5.1 Návrh a výber variantov riešenia

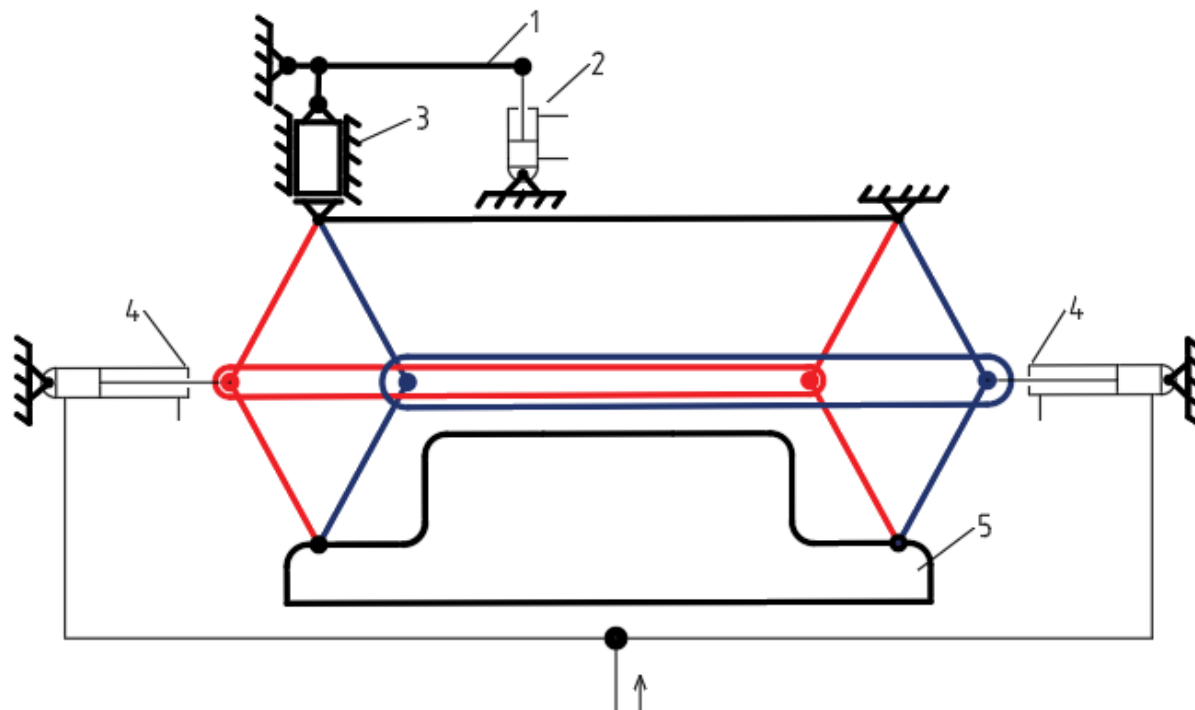


Obr. 23 Realizovanie chodu barana - variant 1

Pri tomto variante je hydraulická kvapalina dodávaná zo zdroja do ovládacích hydromotorov (2) do oblasti pred piestom. Z oblasti za piestom, kde je na obrázku č 23 znázornený tlak p_2 , je potom vytlačaná do pracovných hydromotorov (8). Piestnice ovládacích hydromotorov sú mechanicky zaväzbené na lineárnom vedení (1), a preto sa môžu vysúvať len súbežne. To zabezpečí transport rovnakého množstva kvapaliny do pracovných hydromotorov. Taktiež týmto riešením vzniknú dve separátne tlakové vetvy, ktoré riadia pohyb barana, a tým riešia problém jeho správneho chodu pri jeho nerovnomernom zaťažení.

Aj pri tomto riešení je však nutné presne ovládať a korigovať náklon barana počas pracovného cyklu, ako je tomu aj pri konvenčných strojoch. Hlavné dôvody sú nepresnosti výroby stroja, deformácia jednotlivých hydraulických a mechanických komponentov vplyvom tlaku kvapaliny (hlavne hydraulické hadice a potrubia) a mikroskopické stlačenie samotnej kvapaliny. Preto je jeden z ovládacích hydromotorov uchytený na lineárnom vedení aj za jeho spodnú časť. Zároveň je mechanicky spojený s pákou (6), ktorej náklon je ovládaný servomotorom (3) prostredníctvom matice (5), ktorá je na skrutke (7). Na matici sa nachádza

otočne zaväzbené_lineárne vedenie, v ktorom sa môže pohybovať páka. Skrutka je umiestnená v ložiskách (4). Vďaka tomuto usporiadaniu je možné náklonom páky ovládať náklon barana (9), a to aj počas jeho chodu.



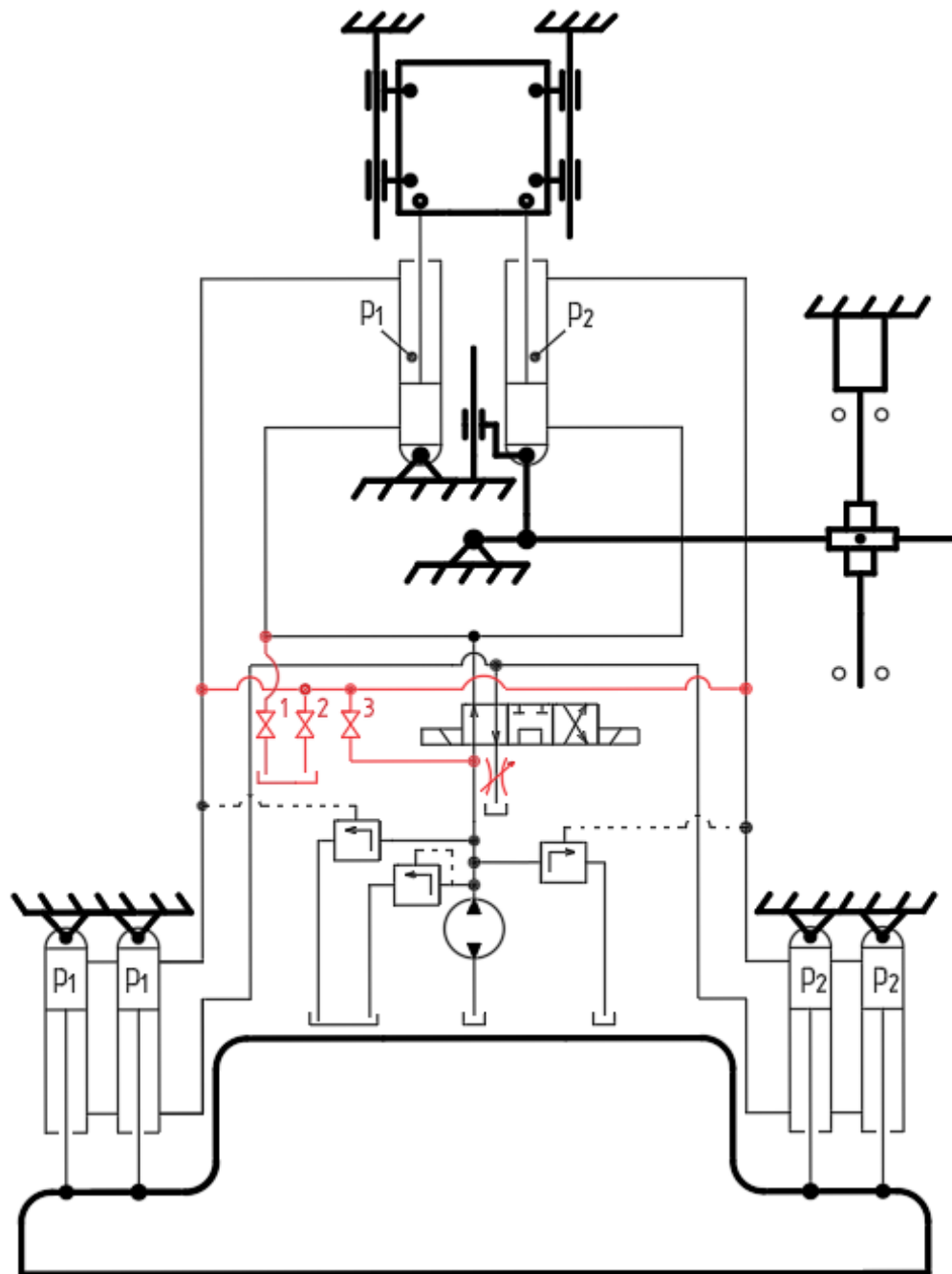
Obr. 24 Realizovanie chodu barana - variant 2

Pri tomto variante je hydraulická kvapalina dodávaná zo zdroja priamo do pracovných hydromotorov (4), ktorých piestnice tlačia na konštrukčné prvky, ktoré sú usporiadané tak, že pri pohybe majú vlastnosti parallerogramu. Toto usporiadanie zabezpečuje, že baran (5) je počas zvislého pohybu neustále rovnobežne. Tak, ako aj pri prvom variante, aj tu je potrebné presne ovládať a korigovať náklon barana počas pracovného cyklu kvôli elastickým deformáciám jednotlivých prvkov. Na to slúži ovládací hydromotor (2), ktorý je upevnený na páke (1). Tá je s celým mechanizmom prepojená cez lineárne vedenie (3). Náklonom páky sa vďaka mechanickému usporiadaniu nakláňa celý mechanizmus, a teda aj baran.

Výber vhodného variantu

Výhody variantu 2 spočívajú v tom, že je možné použiť menší počet hydromotorov, ktoré môžu byť zároveň aj menšie oproti prvému návrhu, pretože čím je navrhovaný mechanizmus bližšie spodnej úvrati, tým má väčšiu silu. Nevýhody variantu 2 sú v tom, že by bolo potrebné navrhnuť a zostrojiť špeciálnu koncepciu rámu ohraňovacieho lisu práve kvôli zamýšľanému mechanizmu a usporiadaniu hydromotorov v ňom, čo neplatí o prvom variante. Tiež by bolo nutné pridať ďalšie lineárne vedenia na určitých miestach mechanizmu s vlastnosťami parallerogramu, ktoré by zabezpečovali potrebnú tuhosť celej sústavy. Tá by navyše musela byť veľmi robustná, a tým pádom aj nie úplne najlacnejšia. Taktiež si variant 2 na svoje fungovanie vyžaduje minimálne 2 hydraulické rozvádzače, zatiaľ čo variant 1 len jeden. Pre tieto zásadné dôvody bolo rozhodnuté pre prvé riešenie problému ovládania barana.

5.1.1 Návrh kompletnej schémy zariadenia



Obr. 25 Kompletná schéma mechanizmu ovládania barana

Na obrázku č. 25 je znázornená kompletaná schéma mechanizmu riadenia, do ktorej boli umiestnené hydraulické prvky nevyhnutné na jej bezpečné a správne fungovanie. Z praxe je známe, že hydraulické komponenty nie sú dokonale tesné, a že časom dochádza k malým únikom kvapaliny. Preto bude vždy za určitú dobu potrebné doplniť chýbajúcu kvapalinu v jednotlivých vetvách. Riešenie tohto problému je taktiež znázornené na obrázku č. 25. Pre lepšiu prehľadnosť sú doplnené prvky znázornené červenou.

V prvej fáze zrovnania, keď je rozvádzač v polohe 1, príde baran do spodnej pozície. Razník sa oprie o matricu, a tým sa zabezpečí jeho správna poloha. V druhej fáze sa rozvádzač prepne do polohy 2 a následne sa otvoria ventily 1 a 3. Baran zostáva nehybný, zatiaľ čo je kvapalina dodávaná do oboch tlakových vetiev. Tá tam prúdi pod nastaviteľným tlakom

vd'aka škrtiacemu ventilu na výstupe. Keď sa piestnice ovládacích hydromotorov dostanú do požadovanej polohy, nastane tretia fáza rovnania. Rozvádzač sa prepne do polohy 1, zatiaľ čo ventily 1 a 3 sa uzavrujú a otvorí sa ventil 2. Piestnice ovládacích hydromotorov sa začnú hýbať smerom nahor, zatiaľ čo baran zostane stále nehybný. Až dosiahnu požadovanú polohu, ventil 2 sa uzavrie a škrtiaci ventil na výstupe sa úplne uvoľní, aby nespôsobil zbytočné energetické straty. Takto bude zrovnanie barana ukončené.

5.2 Voľba vybraných častí riadiaceho mechanizmu

Najdôležitejšie časti mechanizmu boli nadimenzované a zvolené na základe teoretických predpokladov a situácii, ktoré vychádzajú z požiadaviek firmy, ktorá by možno v budúcnosti tento mechanizmus vyrábala.

5.2.1 Voľba pracovných hydromotorov

Zo zadania vyplýva, že stroj musí byť schopný vyvinúť lisovacia silu 600 kN. Bolo vychádzané z predpokladu, že táto sila sa dosiahne, keď bude v pracovných hydromotoroch tlak 16 MPa, pretože v nedávanej minulosti to bola štandardná hodnota pracovného tlaku v hydraulických komponentoch, na ktorú boli dimenzované. Ak by bol na každej strane len jeden pracovný hydromotor, priemer jeho piestu by musel byť príliš veľký. Preto sú umiestnené 2 pracovné hydromotory na každú stranu. Z usporiadania hydromotorov je jasné, že jeden musí vyvinúť silu 150 kN. Z týchto údajov sa dal vypočítať potrebný priemer piestu. Je treba podotknúť, že v čase písania tejto práce nebolo jednoznačné, či by si firma, ktorá má záujem o tento lis valce kupovala, alebo vyrábala sama. Ak by vyhodnotila, že by bolo pre ňu výhodnejšie valce vyrábať, veľký rozmer piestu by nákup a výrobu potrebných komponentov skomplikoval. Aj preto bolo rozhodnuté, že sa na každú stranu barana použijú 2 hydromotory, a tak sa zmenší potrebný priemer piestov.

Potrebný priemer piestov bol určený zo vzťahu:

$$\frac{F_p}{S_p} = p_p \rightarrow d_p = \sqrt{\frac{4 \cdot F_p}{\pi \cdot p_p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,5 \cdot 10^5}{\pi \cdot 16}} = 109,3 \text{ [mm]} \quad (5.1)$$

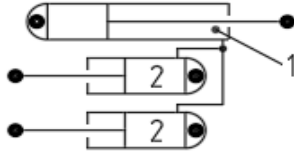
kde: F_p - sila na jednom hydromotore [N]
 S_p - teoretická plocha piestu [mm²]
 p_p - pracovný tlak [MPa]
 d_p - teoretický priemer piestu [mm]

Pre ďalší postup boli vybrané potrebné rozmery valcov z ponuky firmy Resona-Hydraulika, s.r.o., pretože táto firma ponúka nie len samotné valce a ich servis, ale aj prvky, ktoré by si daná firma objednávala, ak by sa rozhodla pre vlastnú výrobu valcov. Sú to napríklad chromované tyče, presné trubky, tesnenia a mnohé ďalšie. Najdôležitejšie rozmery pracovných hydromotorov boli zvolené nasledovne: Priemer piestu $D_{p2} = 110$ mm, priemer piestnice $d_{pi2} = 55$ mm a zdvih $Z_2 = 100$ mm

Zdvih pracovných valcov sa rovná zdvihu barana. Ten sa na bežných hydraulických ohraňovacích lisoch pohybuje v rozmedzí 100 až 200 mm. Preto sa v tomto rozmedzí nachádza aj zvolená hodnota zdvihu.

5.2.2 Voľba ovládacích hydromotorov

Rozmery ovládacích valcov boli zvolené nasledovne: Priemer piestu $D_{p1} = 80$ mm a priemer piestnice $d_{pi1} = 40$ mm. Ovládacie hydromotory sa však oproti tým pracovným musia líšiť v zdvihu z dvoch dôvodov. Majú iné priemery piestu a piestnice, a taktiež preto, že kvapalina je (viď obr. 26) vytláčaná z miesta 1 do miesta 2, ktoré sa nachádza v dvoch valcoch.



Obr. 26 Znárodnenie situácie pri pohybe barana nadol

Potrebný zdvih piestov bol určený zo vzťahu:

$$V_{p1} = 2 \cdot V_{p2} \rightarrow \frac{\pi \cdot (D_{p1}^2 - d_{pi1}^2)}{4} \cdot Z_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_{p2}^2}{4} \cdot Z_2 \quad (5.2)$$

$$Z_1 = \frac{2 \cdot Z_2 \cdot D_{p2}^2}{D_{p1}^2 - d_{pi1}^2} = \frac{2 \cdot 100 \cdot 110^2}{80^2 - 40^2} = 504,2 \text{ [mm]}$$

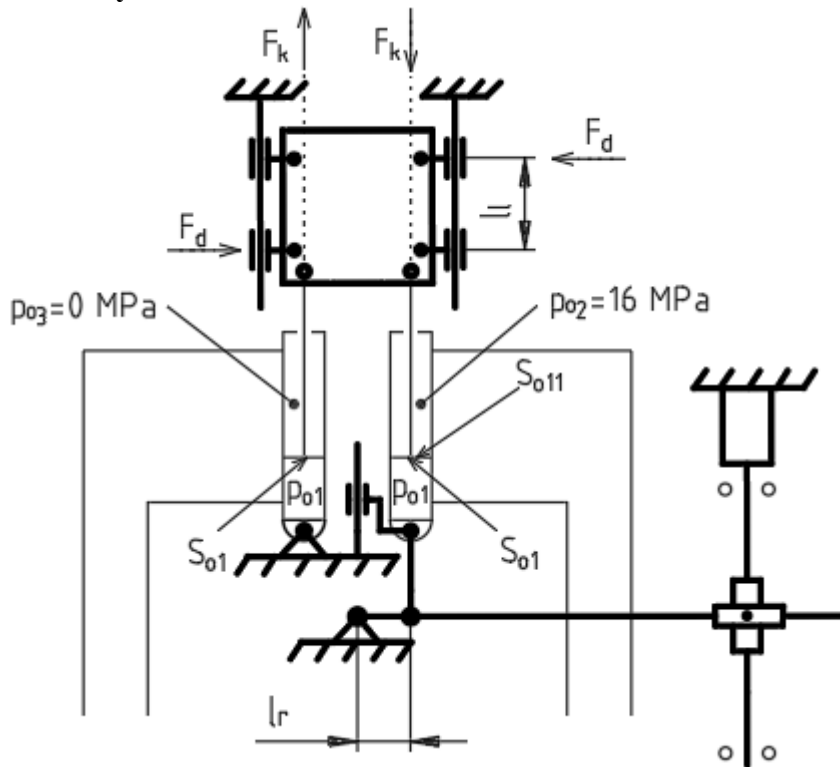
kde: V_{p1} – objem kvapaliny v mieste 1 [mm³]

V_{p2} – objem kvapaliny v mieste 2 [mm³]

Z_1 – zdvih ovládacích hydromotorov [mm]

Zdvih Z_1 bol zvolený podľa normalizovaných zdvihov: $Z_1 = 500$ mm.

5.2.3 Voľba lineárnych vedení



Obr. 27 Tlakové a silové pomery pri extrémnom nerovnomernom zaťažení barana.

Z navrhnutého usporiadania mechanických a hydraulických prvkov vyplýva, že v prípade nerovnomerného zaťaženia barana budú ovládacie hydromotory pôsobiť na lineárne vedenia silami, ktoré budú vyvodzovať krútiaci moment. Pri voľbe týchto vedení bolo uvažované s extrémnou situáciou, kedy na jednej strane je vyvodzovaná sila od pracovných hydromotorov 300 kN a na strane druhej sila 0 kN. To spôsobí, že v jednom valci je za piestom tlak 16 MPa a v druhom valci v tom istom priestore tlak 0 MPa. Táto situácia je popísaná na obrázku č. 27.

Na základe tejto úvahy bola vypočítaná hodnota tlaku p_{01} zo vzťahu:

$$p_{01} \cdot 2 S_{01} = p_{02} \cdot S_{011} \rightarrow p_{01} = \frac{p_{02} \cdot S_{011}}{2 S_{01}} = \frac{p_{02} \cdot \frac{\pi \cdot (D_{p1}^2 - d_{pi1}^2)}{4}}{\frac{2 \cdot \pi \cdot D_{p1}^2}{4}} \quad (5.3)$$

$$p_{01} = \frac{p_{02} \cdot (D_{p1}^2 - d_{pi1}^2)}{2 \cdot D_{p1}^2} = \frac{16 \cdot (80^2 - 40^2)}{2 \cdot 80^2} = 6 \text{ MPa}$$

kde: p_{01} – tlak v ovládacích hydromotoroch pred piestnicou pri situácii na obr. 27 [MPa]
 p_{02} – tlak v ovládacom hydromotre za piestnicou pri situácii na obr. 27 [MPa]
 S_{01} – plocha piestu v priestore pred piestom [mm²]
 S_{011} – plocha piestu v priestore za piestom [mm²]

Z hodnoty tohto tlaku bola potom určená veľkosť sily F_k nasledovne:

$$F_k = p_{01} \cdot S_{01} = p_{01} \cdot \frac{\pi \cdot D_{p1}^2}{4} = 6 \cdot \frac{\pi \cdot 80^2}{4} = 30\,159 \text{ N} \quad (5.4)$$

kde: F_k – sila, ktorú vyvodzuje ovládací hydromotor pri situácii na obr. 27 [N]

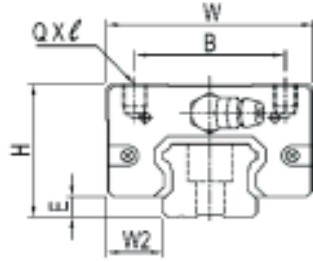
Pre ďalší výpočet bolo nutné zvoliť si rozmer l_r . Ten bol zvolený na základe najväčších priemerov ovládacích hydromotorov tak, aby sa bez problémov zmestili vedľa seba, tak ako je to naznačené na schémach. Preto bol zvolený rozmer $l_r = 50$ mm.

Následne bola určená veľkosť reakcie F_d zo vzťahu:

$$2 \cdot F_k \cdot l_r = F_d \cdot l_l \rightarrow F_d = \frac{2 \cdot F_k \cdot l_r}{l_l} = \frac{2 \cdot 30\,159 \cdot 50}{300} = 10\,053 \text{ N} \quad (5.5)$$

kde: F_d – reakcia, ktorá pôsobí v lineárnom vedení. [N]
 l_r – rameno na páke [mm]
 l_l – vzdialenosť lineárnych domcov [mm]

Pri dimenzovaní lineárneho vedenia bolo uvažované tak, že sa zaťaženie nerozloží rovnomerne medzi obe vedenia, ale že v danú chvíľu bude celé prenášané len jedným vedením, kvôli jednotlivým vôľam v mechanizme. Taktiež nebola použitá rovnica trvanlivosti, pretože zatiaľ nebolo možné presne určiť, ako často, a či vôbec bude nastávať extrémna situácia popísaná na obrázku 27. Preto bolo z ponuky firmy Power Belt pohonné mechanizmy s.r.o. zvolené lineárne vedenie TRS25VN. Domec tohto vedenia má základnú dynamickú únosnosť 25,81 kN. Tá je takmer trikrát väčšia ako sila F_d . To bolo vyhodnotené, ako dostatočná bezpečnosť. Aby bola táto úvaha správna, usporiadanie lineárnych domcov, na ktorých sú cez plech upevnené piestnice ovládacích hydromotorov bolo neskôr navrhnuté tak, aby boli domce zaťažované len silou a nie momentom.

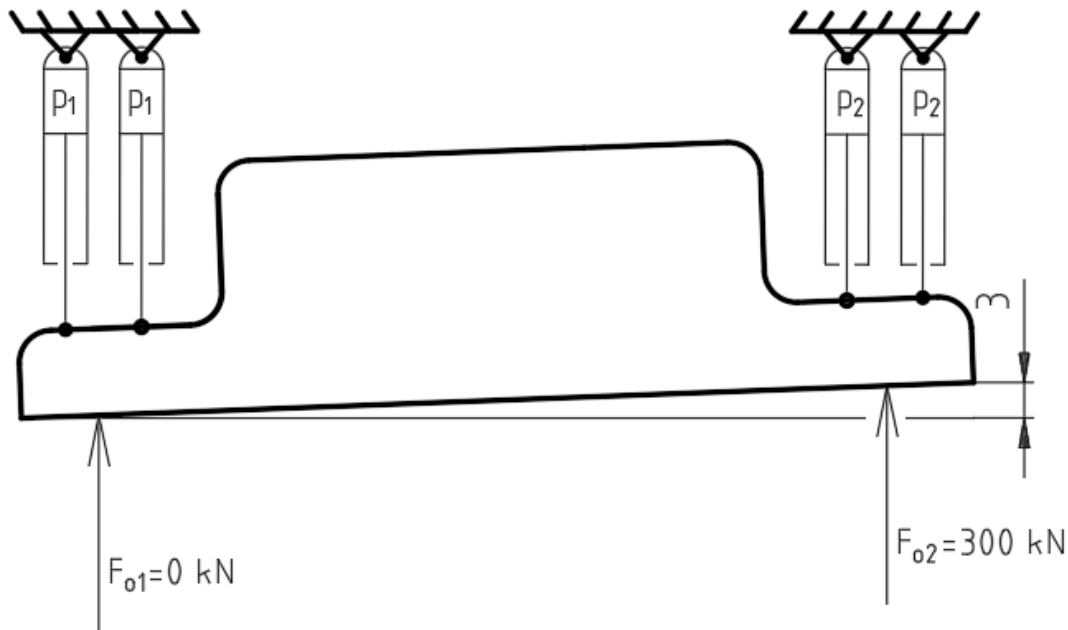


Típus Type	Méretek / Sizes									Zsírzás Greaser			Terhelés Load		Statikus nyomaték Static moment			Tömeg Weight
	H	W2	E	W	B	J	L	L1	Q x l	Oil Hole	T1	N	C	Co	Mx	My	Mz	
	(mm)												(kN)		(kNm)			
TRS25VS	33	12,5	5,8	48	35	-	57,2	35,2	M6x6,5	M6x1	4,5	14	19,43	30,02	0,348	0,187	0,187	0,25
TRS25VN						35	81	59					25,81	45,03	0,522	0,434	0,434	0,39

Obr. 28 Rozmery domca lineárneho vedenia [29]

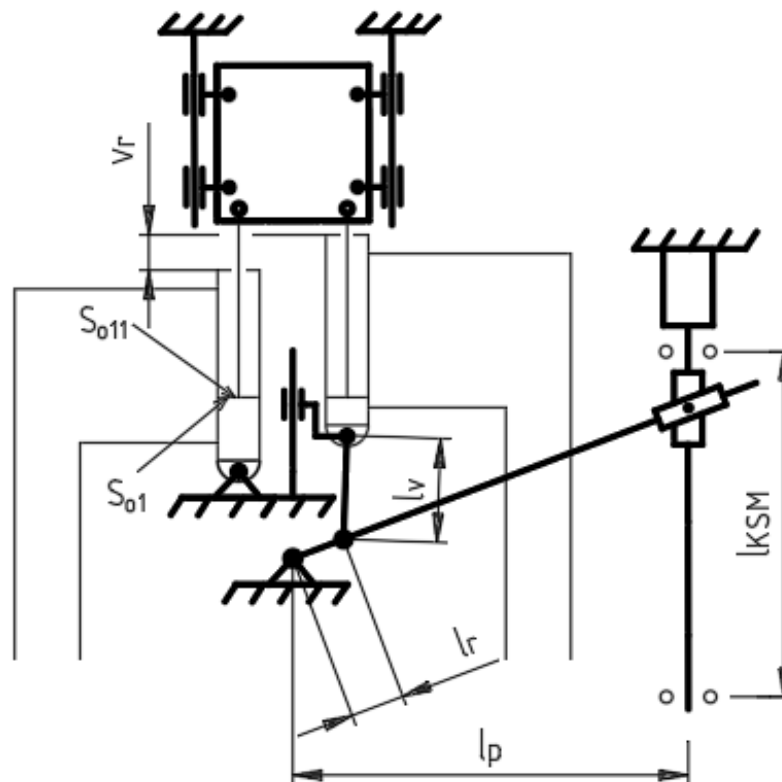
5.2.4 Voľba dĺžok ramien ovládacej páky

V reálnej situácii servomotor vyrovnáva baran ktorý má pri nerovnomernom zaťažení tendenciu nakláňať sa kvôli mechanickej deformácii všetkých častí, na ktoré je v danom momente prenášané napätie od ohýbania (tlaková deformácia piestnice, deformácie tesnení, hadíc a potrubí vplyvom tlaku kvapaliny atď). Na základe odhadov týchto deformácií bola stanovená požiadavka, že servomotor musí byť schopný vyrovnávať baran, lokálne zaťažený silou 300 kN, ktorého jedna strana je o 3 mm vyššie, ako druhá. Táto situácia je znázornená na obr. č. 29.



Obr. 29 Znázornenie danej teoretickej úvahy

Pri voľbe dĺžok ramien mechanizmu bolo nutné najskôr vypočítať hodnotu rozdielu výšok ovládacích hydromotorov v_r , ktorá je znázornená na obrázku č. 30. Tú ovládacie hydromotory dosiahnu pri situácii, s ktorou bolo uvažované na obrázku č. 29.



Obr. 30 Dĺžkové pomery v ovládacom mechanizme

Potrebná hodnota rozdielu výšok bola preto určená zo vzťahu:

$$2 \cdot S_{o2} \cdot s_{ro} = S_{o11} \cdot v_r \rightarrow v_r = \frac{2 \cdot S_{o2} \cdot s_{ro}}{S_{o11}} \quad (5.6)$$

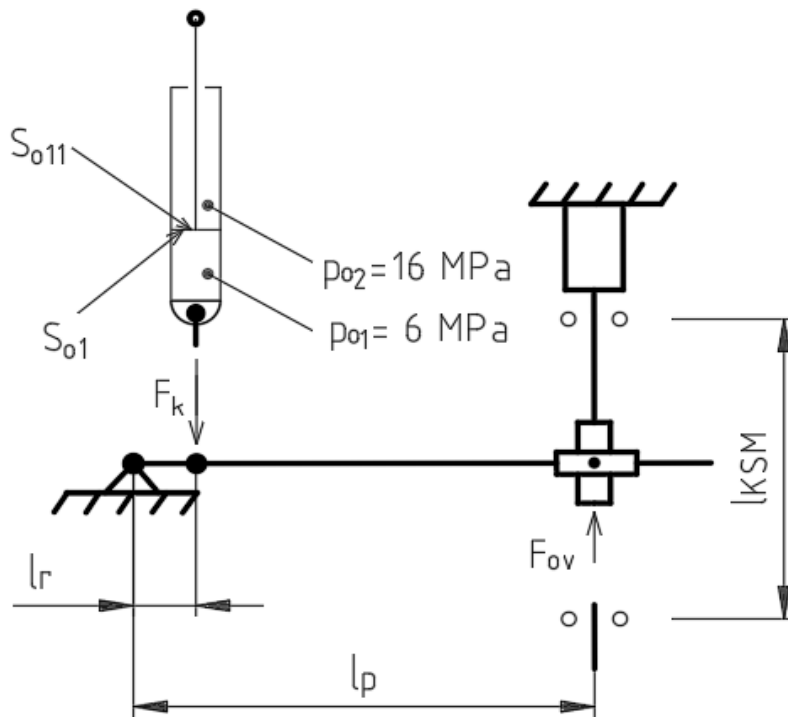
$$v_r = \frac{2 \cdot \frac{\pi \cdot D_{p2}^2}{4} \cdot 3}{\pi \cdot \frac{(D_{p1}^2 - d_{p11}^2)}{4}} = \frac{2 \cdot 110^2 \cdot 3}{(80^2 - 40^2)} = 15,13 \text{ mm}$$

kde: v_r – rozdiel výšky ovládacích hydromotorov [mm]

Na základe týchto údajov boli zvolené rozmery $l_r = 50 \text{ mm}$, $l_p = 800 \text{ mm}$, $l_v = 110 \text{ mm}$ a dĺžka skrutky $l_{KSM} = 800 \text{ mm}$.

5.2.5 Voľba a kontrola skrutky a matice

Pre voľbu skrutky bolo potrebné vypočítať ovládaciu silu F_{ov} , ktorá je znázornená na obrázku č. 31. Z mechanického usporiadania ovládacích hydromotorov a z hydraulickej schémy vyplýva, že maximálna sila, ktorá môže na páku pôsobiť je sila F_k . Jej veľkosť bola určená zo situácie vyobrazenej na obrázku č. 27. Tá nastane vtedy, ak sa tlak $p_{o2} = 16 \text{ MPa}$ a tlak $p_{o1} = 6 \text{ MPa}$. Vďaka usporiadaniu a nastaveniu poistných ventilov sa tlaky v ovládacích hydromotoroch nedostanú nebezpečne nad tieto hodnoty.



Obr. 31 Pôsobenie ovládacej sily na páke

Ovládacia sila bola určená zo vzťahu:

$$F_k \cdot l_r = F_{ov} \cdot l_p \rightarrow F_{ov} = \frac{F_k \cdot l_r}{l_p} = \frac{30159 \cdot 50}{800} = 1885 \text{ N} \quad (5.7)$$

kde: F_{ov} – ovládacia sila na páke [N]

Pri voľbe skrutky sa rozhodovalo medzi lichobežníkovým a guľičkovým závitom. Pre dané použitie je dôležité, aby mala skrutka s maticou čo najmenšie mechanické straty a aby umožňovala veľkú presnosť riadenia. Preto bolo rozhodnuté použiť guľičkový závit. Bolo stanovené že skrutka je bez predpätia, a teda je namáhaná na vzper. Preto sme priemer skrutky volili zo vzpernej stability.

Preto bol priemer skrutky určený zo vzpernej stability vzťahom:

$$k_v \cdot F_{kr} = \frac{\pi^3 \cdot 500 \cdot d_{smin}^4}{f_{vi} \cdot l_{KSM}^2} \rightarrow d_{smin} \quad (5.8)$$

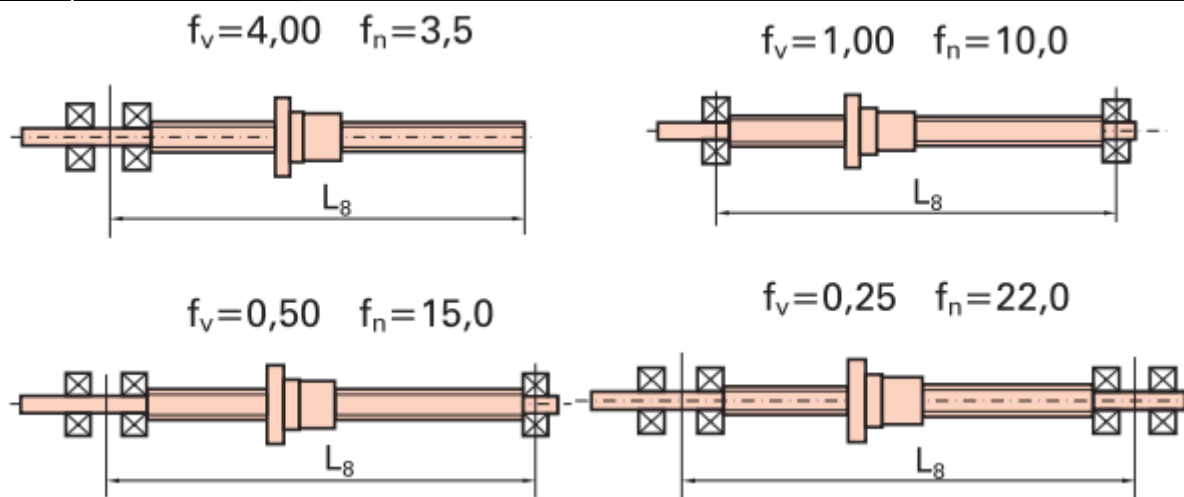
$$d_{smin} = \sqrt[4]{\frac{F_{kr} \cdot f_{vi} \cdot l_{KSM}^2 \cdot k_v}{\pi^3 \cdot 500}} = \sqrt[4]{\frac{1885 \cdot 1 \cdot 800^2 \cdot 3}{\pi^3 \cdot 500}} = 21,98 \text{ mm}$$

kde: F_{kr} – kritická sila, v tomto prípade $F_{kr} = F_{ov}$ [N]

k_v – odporúčaná bezpečnosť pre namáhanie na vzper [-]

d_{smin} – minimálny priemer skrutky [mm]

f_{vi} – súčiniteľ podľa typu uloženia – obr. 32 [-]



Obr. 32 Určenie súčiniteľov f_v a f_n na základe typu uloženia pohybovej skrutky [30]

Na základe ponuky z firmy Power Belt pohonné mechanizmy s.r.o a vypočítaných rozmerov bola zvolená skrutka a matica:

Skrutka				Matica			
Číslo artiklu	\varnothing x stúpanie závitů	Smer	Trieda presnosti závitů	Číslo artiklu	Výrobné číslo artiklu	\varnothing x stúpanie závitů	Smer
81.019.029	25x10	Pravotočivý	C7	81.077.029	GSFNUR02510T4D	25x10	Pravotočivý

Obr. 33 Parametre zvolenej skrutky a matice

Kritické otáčky skrutky

Guličkové skrutky sa väčšinou používajú ako pohybové. Pohyby, ktoré vykonávajú vo výrobných strojoch sú často veľmi rýchle, a preto si treba vypočítať ich kritické otáčky a porovnať ich so skutočnými.

Kritické otáčky skrutky boli určené zo vzťahu:

$$n_{kr} = \frac{10^7 \cdot f_{ni} \cdot d_0}{L_8^2} = \frac{10^7 \cdot 10 \cdot 25}{800^2} = 3906 \text{ min}^{-1} \quad (5.9)$$

kde: n_{kr} – kritické otáčky skrutky [min^{-1}]
 f_{ni} – súčiniteľ podľa typu uloženia [-]
 $L_8 = l_{KSM}$ [mm]

Servomotor, ktorý bol v pláne použiť má najväčšie menovité otáčky 3000 min^{-1} . Ak uvažujeme aj s prevodovkou, tak skutočné otáčky vybranej skrutky sú dostatočne vzdialené od tých kritických.

Kontrola matice

Dynamická únosnosť matice je $C_a = 29\,540 \text{ N}$. To je takmer sedemnásťkrát viac ako ovládacia sila F_{ov} . Keďže nie je predpoklad pre vysoko-cyklové namáhanie, takáto kontrola je dostačujúca.

5.2.6 Voľba a kontrola motoru a prevodovky

Na základe vypočítaných síl a rozmerov v ovládacom mechanizme a ponuky z firmy Power Belt pohonné mechanizmy s.r.o bol zvolený nasledovný motor s prevodovkou:

Motor			Prevodovka				
Číslo artiklu	Výkon (W)	Moment	Číslo artiklu	Typ prevodovky	Prevod	Výstupný moment prevodovky	Odporúčaná výkon motora
MSMD042J1S	0400W	1.3 Nm	93.026.546	PAC70-P2	1:5	35Nm	200/400W

Obr. 34 Parametre zvoleného motoru a prevodovky

Výstupný krútiaci moment z prevodovky bol určený zo vzťahu:

$$M_{vy} = M_m \cdot i = 1,3 \cdot 5 = 6,5 \text{ Nm} \quad (5.10)$$

kde: M_{vy} – výstupný krútiaci moment prevodovky [Nm]
 M_m – menovitý krútiaci moment motoru [Nm]
 i – prevodový pomer prevodovky [-]

Potrebný krútiaci moment pre ovládanie mechanizmu bol určený zo vzťahu:

$$F_{ov} \cdot P_s = M_{po} \cdot \varphi \cdot \eta_m \rightarrow M_{po} = \frac{F_{ov} \cdot P_s}{\varphi \cdot \eta_m} = \frac{1885 \cdot 0,01}{2 \cdot \pi \cdot 0,5} = 6 \text{ Nm} \quad (5.11)$$

kde: P_s – stúpanie závitů [m]
 M_{po} – potrebný krútiaci moment pre ovládanie mechanizmu [Nm]
 φ – uhlová dráha na jednu otáčku [rad]
 η – účinnosť ovládacieho mechanizmu [-]

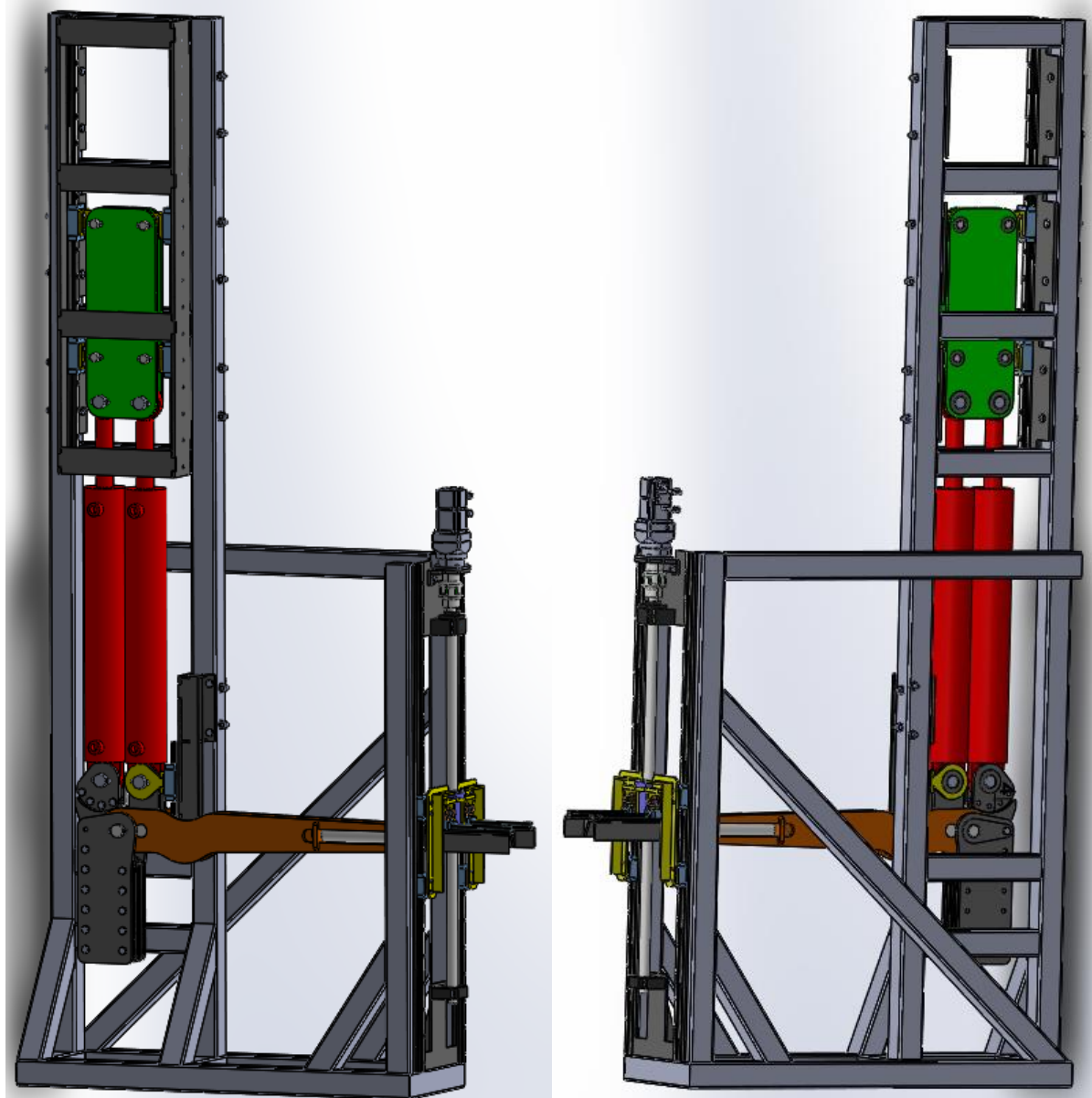
Do tohto výpočtu už museli byť zahrnuté aj straty trením v mechanizme. Účinnosť ovládacieho mechanizmu η bola odhadom stanovená pomerne nízko, aby bola väčšia istota, že v realite bude možné docieľiť rovnakú, alebo aj vyššiu účinnosť. Z výsledkov je vidno že $M_{po} < M_{vy}$, čo je nutná podmienka fungovania mechanizmu.

Rýchlosť rovnania barana bola určená zo vzťahu:

$$t_s = \frac{d_{rov}}{n_{vy} \cdot P_s} = \frac{d_{rov}}{\frac{n_m}{i} \cdot P_s} = \frac{0,38}{\frac{50}{5} \cdot 0,01} = 3,8 \text{ s} \quad (5.11)$$

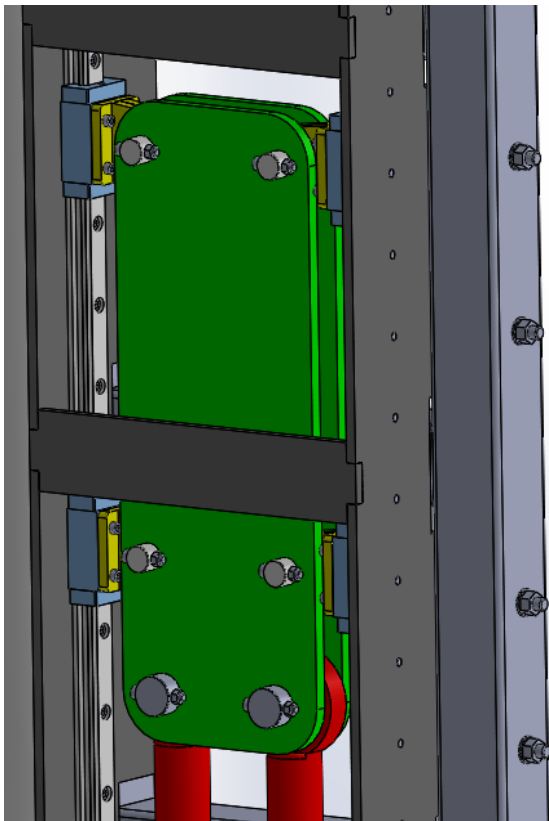
kde: t_s – rovníací čas [s]
 d_{rov} – rovníacia dráha [m]
 n_{vy} – výstupné otáčky prevodovky [s^{-1}]
 n_m – výstupné otáčky motoru [s^{-1}]

Rovníacia dráha $d_{rov} = 0,38$ m bola určená zo situácie na obrázku č. 29 a z dĺžkových parametrov jednotlivých komponentov ovládacieho mechanizmu. Je potrebné vedieť rýchlosť rovnania baranu, pretože tá v kombinácii s pracovnou rýchlosťou ovplyvňuje presnosť ohýbania stroja. Hodnota rovníacieho času je vzhľadom na pracovnú rýchlosť konvenčných ohraňovacích lisov pomerne veľká. Je potrebné s tým počítať pri ďalšom návrhu a dimenzovaní jednotlivých komponentov.

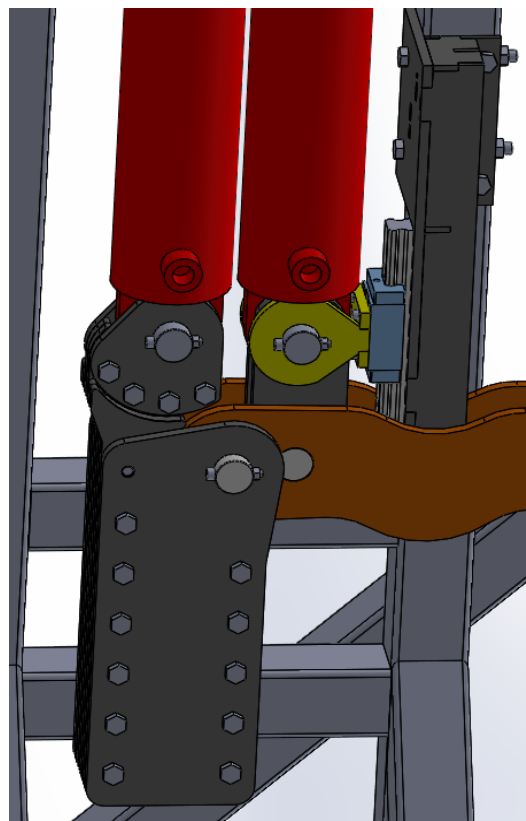


Obr. 35 Ovládací mechanismus barana spredu (vľavo) a zozadu (vpravo)

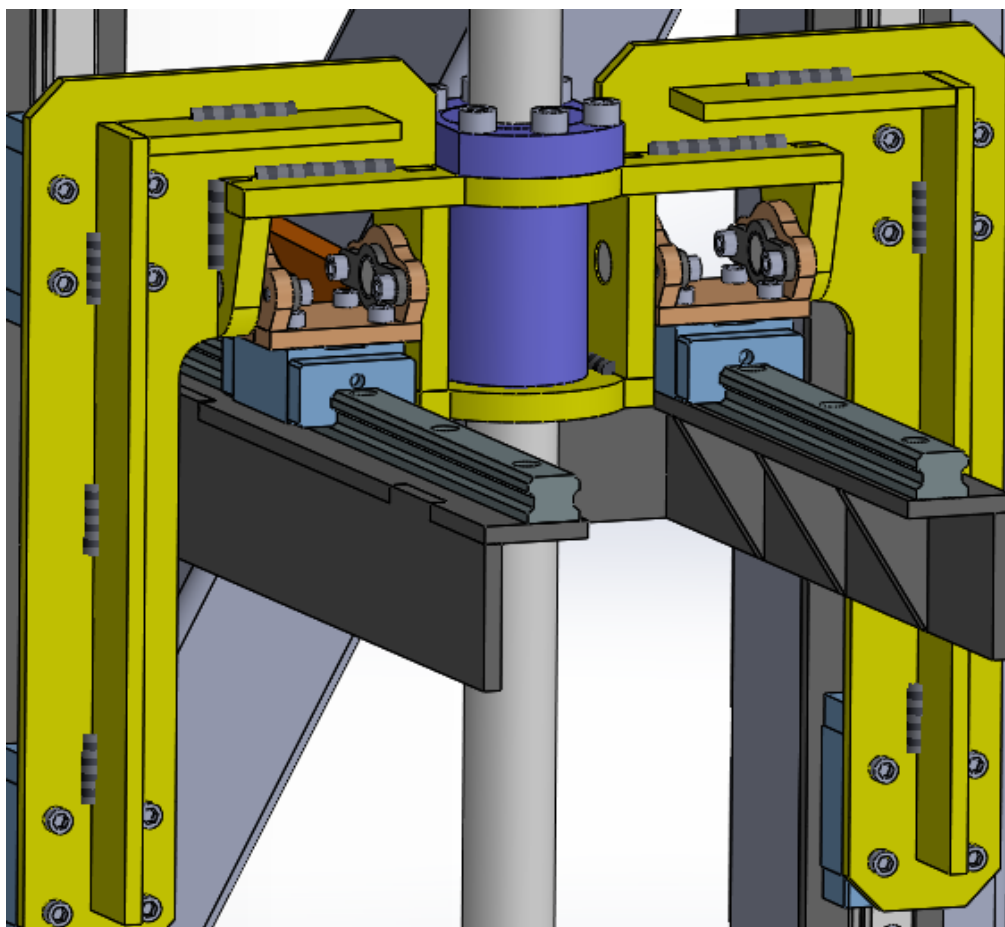
Ako je vidno na obrázkoch, väčšina dielov je z plechových výpalkov spojených zvarovými, alebo skrutkovými spojmi. Veľkosť čapov, hrúbka a šírka jednotlivých plechov bola odhadovaná podľa normalizovaných rozmerov hydromotorov Gul'ôčková skrutka je na strane pri motore uchytená v ložiskách, ktoré zachytávajú axiálne aj radiálne sily. Na druhej strane je uchytená len v axiálnom ložisku.



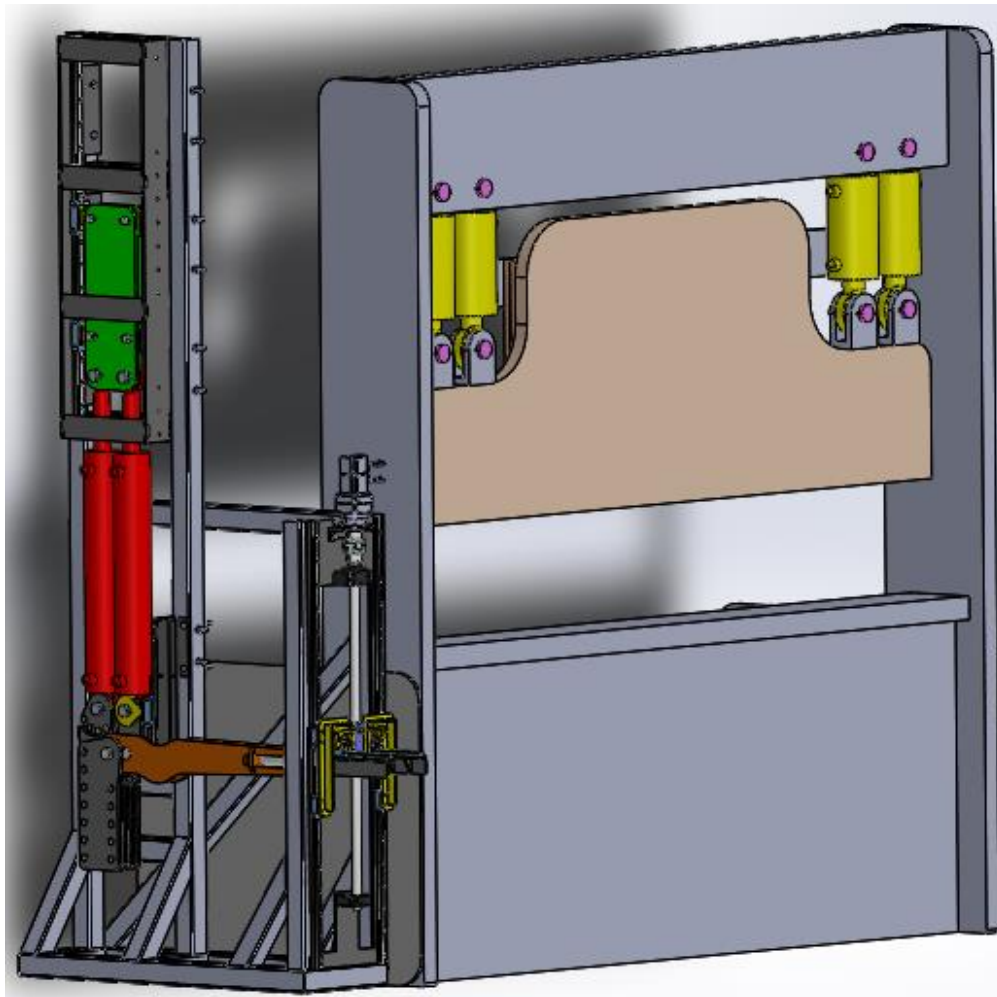
Obr. 36 Detail lineárneho vedenia piestnic



Obr. 37 Detail rotačných väzieb páky a valcov



Obr. 38 Detail úchytu matice s naznačenými zvarmi



Obr. 39 Ovládací mechanismus s ohraňovacím lisem

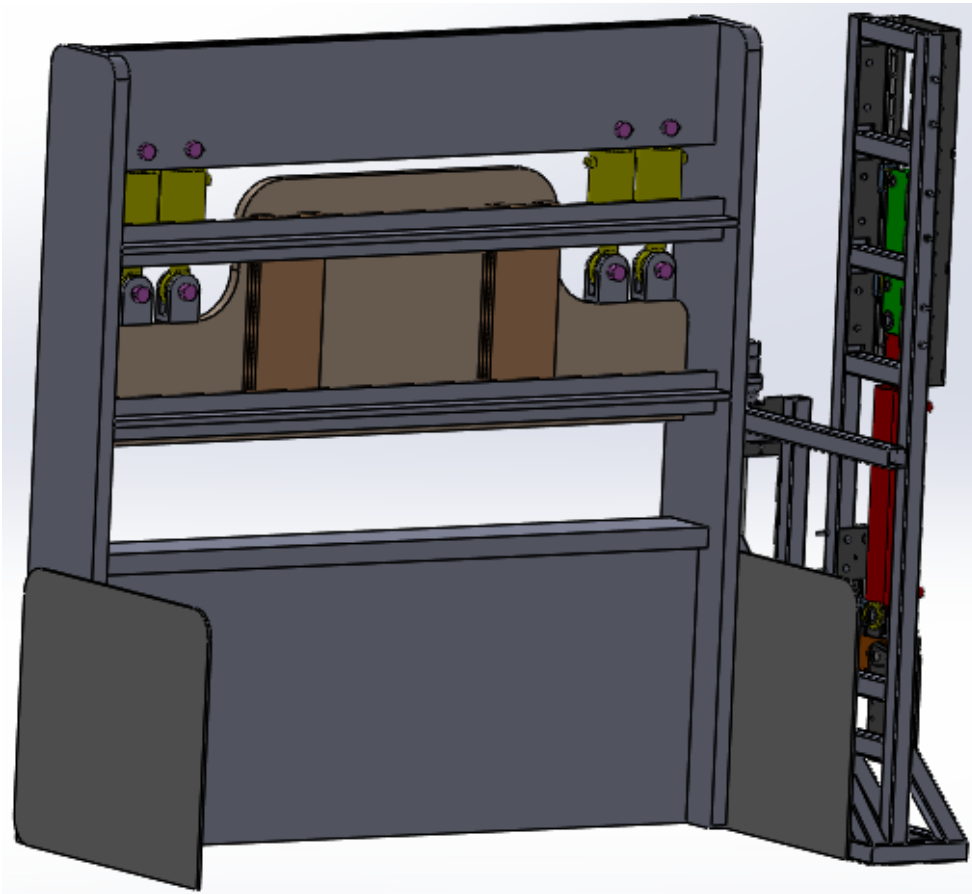
Na obrázku č. 39 sa nachádza ovládací mechanizmus, vedľa ktorého je základná konštrukcia ohraňovacieho lisu, ktorý má také rozmery, že by v ňom bolo možné ohnúť plech s maximálnou dĺžkou 2000 mm. Rozmery jednotlivých prvkov neboli dimenzované, ale odhadované. Ako vzor pri odhade poslúžili už existujúce stroje. Toto konštrukčné riešenie dovoľuje, aby bol celý mechanizmus riadenia barana mimo stroja. Tým pádom môže byť konštrukcia samotného lisu veľmi jednoduchá.

Rámy ohraňovacích, ale aj ostatných lisov sa vyrábajú v dvoch základných prevedeniach, a to v tvare O a C. Pri tvare C je baran symetricky medzi bočnicami stroja len v jednej osi. Kvôli tomu vznikajú v ráme veľké ohybové a ťahové napätia. Preto musí byť takýto rám veľmi mohutný. Pre tvar rámu O je charakteristické, že baran sa pohybuje symetricky medzi bočnicami až v dvoch osiach (viď. obr. 39). Tým pádom je napätie od lisovacej sily hlavne ťahové. To dovoľuje menšie rozmery nosných prvkov, a zároveň aj lacnejšiu a jednoduchšiu konštrukciu stroja. Preto bol pre tento prípad zvolený rám stroja do tvaru O.

Toto meno má tento rám aj preto, že v strede jeho bočníc býva dutina, do ktorej bývava umiestnené optické zariadenie snímajúce okolie razníku kvôli bezpečnosti. Toto zariadenie je pomerne cenovo náročné. Pri stroji, navrhovanom v tejto práci je predpoklad, že ohýbacie rýchlosti budú veľmi pomalé, a preto bude ešte v budúcnosti predmetom diskusie to, akým

spôsobom bude riešená bezpečnosť. Jedným z hlavných cieľov je nízka cena stroja, a preto sa nepredpokladá, že by sa použilo spomínané optické zariadenie.

Na obrázku č 40 je pohľad na celú konštrukciu zozadu. Je možné si tam všimnúť 2 tenšie plechy, ktoré naznačujú priestor pre zadné dorazy, slúžiace na presné umiestnenie súčiastky pri ohraňovaní. S týmito dorazmi sa taktiež počíta, no to už nebolo predmetom tejto práce.



Obr. 40 Zadný pohľad na konštrukciu stroja

Poslednou otázkou, ktorá sa v súvislosti s lisom riešila bolo vedenie barana. Na dnešných konvenčných strojoch je možné vidieť toto vedenie realizované prostredníctvom prizmatického vedenia, ktoré je použité aj vo vyrovnávacom mechanizme barana tohto lisu. Toto vedenie je však možné použiť vtedy, ak je možné pomerne presne určiť maximálne momentové a silové zaťaženie, ktoré bude na vedenie pôsobiť. To však nie je možné v prípade riešenia v tejto práci s istotou určiť. Preto bolo rozhodnuté pre použitie klasického klzného vedenia, ktoré je naznačené aj na obrázku č 40. Podľa toho, ako je navrhnuté dovoľuje toto vedenie väčší náklon barana. Ten je samozrejme počas ohraňovania nežiadúci, no. pri tejto situácii existuje predpoklad, že baran môže byť spočiatku ohybu pomerne dosť naklonený, pričom sa stihne zrovnať do konca ohybu.

6 ZÁVER A DOPORUČENIE PRE PRAX

Táto práca bola zameraná na oboznámenie sa s základnými informáciami z problematiky ohraňovania a na návrh vybraných častí špeciálneho ohraňovacieho lisu.

Prvá časť práce sa zaoberala teóriou ohýbania, ohraňovania a ohraňovacími lismi.

V druhej časti bol detailne navrhnutý mechanizmus slúžiaci na riadenie barana ohraňovacieho lisu počas ohybu. Taktiež bolo načrtnuté možné riešenie základnej konštrukcie celého ohraňovacieho lisu podľa parametrov zadania. Pri návrhu ovládacieho mechanizmu sa dával zreteľ na používanie bežne dostupných komponentov a technológií.

Na začiatku bola predstavená mechanicko-hydraulická schéma, ktorá objasňuje princíp fungovania celého mechanizmu. Tá bola vymyslená za účelom pomerne lacného riešenia správneho chodu barana počas ohraňovania. Následne bola doplnená o riešenie problému nepatrných únikov kvapaliny z hydraulického obvodu.

Návrh sa ďalej odvíjal od voľby pracovných hydromotorov, ktoré boli dimenzované podľa zadania. Zistilo sa najväčšie zaťaženie vybraných prvkov mechanizmu, ktoré boli na základe toho nadimenzované. Rozmery dĺžky páky a dĺžky skrutky boli určené hlavne na základe teoretického predpokladu, ktorý hovorí o maximálnej veľkosti deformácie komponentov ohraňovacieho lisu vplyvom tlaku kvapaliny. Pred začiatkom výroby tohto mechanizmu by bolo najvhodnejšie buď overiť tento predpoklad aj praktickým experimentom, alebo si pripraviť rozumné riešenie pre prípad, kedy by bola deformácia jednotlivých komponentov nečakane väčšia.

7 ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV

- [1] DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
- [2] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Brno: PC-DIR Real, 2000, 238 s. ISBN 80-85895-24-2.
- [3] TATÍČEK, František. Odpružení v plošném tváření. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2011, [cit. 2022-05-13]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-odpruzeni-v-plosnem-tvareni>
- [4] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
- [5] DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Brno: CERM, 2001, 238 s. ISBN 80-214-2032-4
- [6] HÁJEK Pavel: *Výroba krytu*. Brno, 2014. 95 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc
- [7] MFG, Machine. *Press Brake Bending Basics (A Guide to Sheet Metal Bending)* [online]. ©2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.machinemfg.com/press-brake-bending-basics/>
- [8] *Ohybání | TRUMPF* [online]. ©2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: https://www.trumpf.com/cs_CZ/reseni/pouziti/ohybani/?fbclid=IwAR0hCCBa4XVSu6kEX8p3x_wFgic89dqzuzBtbcUJtcN4ln5c0sPPSujLGEA
- [9] BĚHOUNEK, Martin. *Výroba výměníku krbové vložky*. Brno, 2016. 60s, 2 výkresy, 7 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojírenského inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
- [10] HÁJEK Pavel: *Výroba krytu*. Brno, 2014. 95 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc
- [11] CHLADEK, Martin. *Výroba jezdce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojírenského inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů, 2013. 66 s. 9 výkresů. 15 příloh. CD. Vedoucí diplomové práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.
- [12] LENFELD, Petr. *Technologie II*. 1. vyd. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 8073720205.
- [13] CLINCHING, Sheet Metal. *Press Brake Tooling* [online]. ©2021 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://fractory.com/press-brake-tooling/>
- [14] *moratechnik.com* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.moratechnik.com/p/18593/multi-v-matrica-85-v16223550-mm-dlзка-200-mm>
- [15] *Newtech* [online]. ©2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.newtech.cz/zpracovani-plechu/lvd/cnc-ohranovaci-lisy/nastroje-pro-ohranovaci-lisy>

- [16] *Precitools press brake tools, bending tooling from Italy* [online]. ©2018 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.press-brake-tools.com/en/index.htm>
- [17] *Clamping systems for punches, dies, and tool adapters for press brakes | Gasparini Industries* [online]. [vid. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.gasparini.com/en/press-brakes/tool-clamping-punches-dies/>
- [18] *Wila. Press brake productivity quick start* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.wila.nl/images1/wila/data/pdf/Quickstart-how-to-get-startedGB-Df2-web-2020.pdf>
- [19] *Tool Design, The Key to Press Brake Automation - Fab Shop Magazine* [online]. ©2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://fsmdirect.com/bending-folding/press-brake-tooling/336-tool-design-the-key-to-press-brake-automation>
- [20] *Ohraňovací lis - oneindustry – průmyslový portál, výroba a technologie* [online]. ©2021 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.oneindustry.cz/lexikon/ohranovaci-lis/>
- [21] *Introduction-to-press-brakes* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.southernfabsales.com/hubfs/docs/introduction-to-press-brakes.pdf?hsLang=en-us>
- [22] *Mfg Tooling* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://uni.edu/~rao/Mfg%20Tooling%20-09%20Progressive%20dies.pdf>
- [23] *Hybrid Press Brakes—The Best Of Both Worlds | RMT - Revolution Machine Tools* [online]. [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.rmtus.com/hybrid-press-brakes-the-best-of-both-worlds>
- [24] LETANG, Paul. Understanding modern press brakes. *The Fabricator* [online]. 2017, (January) [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/bending/understanding-modern-press-brakes>
- [25] *CNC Hydraulic Press Brake - BP-3305CNC | Baileigh Industrial* [online]. ©2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.baileigh.com/cnc-press-brake-bp-3305cnc>
- [26] *Coast One electric press brake 65 to 165 tons - Garant Machinery* [online]. ©2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://garantmachinerie.com/en/products/press-brake-electric-electronic-coast-one-series-g-65-to-165-tons/>
- [27] *ERMAKSAN - GREEN PRESS FX SERVO* [online]. ©2022 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <http://www.ermaksan.com.tr/en-EN/Product/Press-Brake/GREEN-PRES>
- [28] *Osy ohraňovacích lisů - Formetal* [online]. ©2021 [cit. 2022-05-15]. Dostupné z: <https://www.formetal.cz/blog/osy-ohranovacich-lisu/>
- [29] *Lineárna technika - Lineárne vedenia a vozíky - TBI MOTION lineárny posuv pre priemysel, (gul'ôčkové prevedenie) - Vozíky TRS-V so štyrmi závitmi - Power Belt* [online]. ©2018 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://powerbelt.sk/voziky-trs-vbr-so-styrmi-zavitmi-p565>
- [30] *PRODUKTOVÝ KATALOG: KŠ pro vysoké rychlosti (HS). PRODUKTOVÝ KATALOG* [online]. 2012 [cit. 2022-05-16]. Dostupné z: <https://www.mpdims.cz/contents/editor/ke-stazeni/kulickove-srouby/KSK%20srouby.pdf>

8 ZOZNAM SKRATEK, SYMBOLOV, OBRÁZKOV A TABULIEK

8.1 Zoznam symbolov a skratiek

Označenie	Legenda	Jednotka
b	šírka materiálu	[mm]
b ₁	šírka materiálu po ohnutí	[mm]
d _p	teoretický priemer piestu	[mm]
D _{p2}	priemer piestu ovládacieho valca	[mm]
D _{p2}	priemer piestu pracovného valca	[mm]
d _{pi2}	priemer piestnice pracovného valca	[mm]
d _{pi2}	priemer piestnice pracovného valca	[mm]
d _{rov}	rovnacia dráha	[m]
d _{smin}	minimálny priemer skrutky	[mm]
E	modul pružnosti v ťahu	[MPa]
F _d	reakcia, ktorá pôsobí v lineárnom vedení	[N]
F _k	sila, ktorú vyvodzuje ovládací hydromotor pri extrémnej situácii	[N]
F _{kr}	kritická sila	[N]
f _{ni}	súčiniteľ podľa typu uloženia	[-]
F _{ov}	ovládacia sila na páke	[N]
F _p	sila na jednom hydromotore	[N]
f _{vi}	súčiniteľ podľa typu uloženia	[-]
i	prevodový pomer prevodovky	[-]
K	súčiniteľ určujúci polohu neutrálnej plochy	[-]
k _m	koeficient podľa druhu materiálu	[-]
k _v	odporúčaná bezpečnosť pre namáhanie na vzper	[-]
L ₈	dĺžka skrutky medzi ložiskami	[mm]
l _{KSM}	dĺžka skrutky medzi ložiskami	[mm]
l _l	vzdialenosť lineárnych domcov	[mm]
l _n	dĺžka neutrálnej plochy v ohnutom úseku	[mm]
l _o	dĺžka ohnutého úseku v neutrálnej ploche	[mm]
l _r	rameno na páke	[mm]
l _u	vzdialenosť stredov rádiusov nástrojov	[mm]
M _m	menovitý krútiaci moment motoru	[Nm]
M _{po}	potrebný krútiaci moment pre ovládanie mechanizmu	[Nm]
M _{vý}	výstupný krútiaci moment prevodovky	[Nm]
n _{kr}	kritické otáčky skrutky	[min ⁻¹]
n _m	výstupné otáčky motoru	[s ⁻¹]
n _{vý}	výstupné otáčky prevodovky	[s ⁻¹]
p ₀₁	tlak v ovládacích hydromotorech pred piestnicou	[MPa]
p ₀₂	tlak v ovládacom hydromotre za piestnicou	[MPa]
p _p	pracovný tlak	[MPa]
P _s	stúpanie závitů	[m]
Re	medza klzu ohýbaného plechu	[MPa]

Označenie	Legenda	Jednotka
R^o	polomer ohybu	[mm]
R^{Omin}	minimálny polomer ohybu	[mm]
s	hrúbka materiálu	[mm]
S^{01}	plocha piestu v priestore pred piestom	[mm ²]
S^{011}	plocha piestu v priestore za piestom	[mm ²]
s^1	šírka a hrúbka materiálu po ohnutí	[mm]
S^p	teoretická plocha piestu	[mm ²]
t^s	rovnací čas	[s]
V^{p1}	objem kvapaliny v mieste 1	[mm ³]
V^{p2}	objem kvapaliny v mieste 2	[mm ³]
v^f	rozdiel výšky ovládacích hydromotorov	[mm]
W	vzdialenosť medzi operami ohybnice	[mm]
x	veľkosť posunutia neutrálnej plochy od pôvodnej osi prierezu	[mm]
x^p	súčiniteľ posunu neutrálnej plochy	[mm]
Z^1	zdvih ovládacích hydromotorov	[mm]
Z^2	zdvih pracovného valca	[mm]
z^f	súčiniteľ rozšírenia pôvodného prierezu	[-]
z^z	súčiniteľ stenšenia	[-]
α	uhol ohybu	[°]
β	uhol odpruženia	[°]
γ	uhol ohnutého úseku ($\gamma = 180^\circ - \alpha$)	[°]
η	účinnosť ovládacieho mechanizmu	[-]
ρ	polomer neutrálnej plochy (NP)	[mm]
φ	uhlová dráha na jednu otáčku	[rad]

8.2 Zoznam obrázkov

Obr. 1	Priebeh napätia pri ohybe [1].....	19
Obr. 2	Určenie z_z pri ohýbaní hrubých prierezov z mäkkej ocele o 90° [1].....	20
Obr. 3	Znázornenie odpruženia [3].....	21
Obr. 4	Ohyb polotovaru do V (vľavo) a do U (vpravo) [4].....	21
Obr. 5	Diagramy pre orientačné určenie uhlu odpruženia vybraných uhlov ohybu α [5].....	22
Obr. 6	Praskanie polotovaru v dôsledku voľby príliš malého polomeru ohybu [2].....	22
Obr. 7	Umiestnenie výrobku na plech [6].....	23
Obr. 8	a) - voľné ohýbanie, b) - ohyb s dotlačením, c) - ohyb s preložením [8].....	25
Obr. 9	Popis častí razníku [12].....	26
Obr. 10	Rôzne druhy razníkov [13].....	27
Obr. 11	Popis častí matrice [12]	27
Obr. 12	Matrica s viacerými dutinami [14].....	27
Obr. 13	Dosiahnutie atypickej dĺžky ohybu použitím deleného nástroja [15].....	28
Obr. 14	Ukážka mechanického upnutia razníka aj matrice [16].....	29
Obr. 15	Schéma hydraulického upínania [18]	29
Obr. 16	Matrica v stole s up. kolíkmi [19] ...	29
Obr. 17	Mechanický ohraňovací lis [22].....	30
Obr. 18	Hydraulický ohraňovací lis spoločnosti Baileight - BP-3305CNC [25].....	31
Obr. 19	Ohraňovací lis s pohybom barana realizovanom guľôčkovými skrutkami [26].....	32
Obr. 20	Ohraňovací lis s pohybom barana realizovanom remenicami [27].....	33
Obr. 21	Riadené osy bežného CNC ohraňovacieho lisu [28].....	33
Obr. 22	Nerovnomerné zaťaženie barana pri ohýbaní.....	35
Obr. 23	Realizovanie chodu barana - variant 1.....	36
Obr. 24	Realizovanie chodu barana - variant 2.....	37
Obr. 25	Kompletná schéma mechanizmu ovládania barana.....	38
Obr. 26	Znázornenie situácie pri pohybe barana nadol.....	40
Obr. 27	Tlakové a silové pomery pri extrémnom nerovnomernom zaťažení barana.....	40
Obr. 28	Rozmery domca lineárneho vedenia [29].....	42
Obr. 29	Znázornenie danej teoretickej úvahy.....	42
Obr. 30	Dĺžkové pomery v ovládacom mechanizme.....	43
Obr. 31	Pôsobenie ovládacej sily na páke.....	44
Obr. 32	Určenie súčiniteľov f_v a f_n na základe typu uloženia pohybovej skrutky [30].....	45
Obr. 33	Parametre zvolenej skrutky a matice.....	45
Obr. 34	Parametre zvoleného motoru a prevodovky.....	46
Obr. 35	Ovládací mechanizmus barana spredu (vľavo) a zozadu (vpravo).....	47
Obr. 36	Detail lineárneho vedenia piestnic	48
Obr. 37	Detail rotačných väzieb páky a valcov	48
Obr. 38	Detail úchyty matice s naznačenými zvarmi.....	48
Obr. 39	Ovládací mechanizmus s ohraňovacím lisom.....	49
Obr. 40	Zadný pohľad na konštrukciu stroja.....	50

8.3 Zoznam tabuliek

Tab 1	Hodnoty súčiniteľa rozšírenia pre mäkkú oceľ pre úzke pásy [1].....	20
Tab 2	Závislosť súčiniteľa x_p a súčiniteľa z_z na pomernom rádiuse ohybu R_o/s [1].....	20

9 ZOZNAM PRÍLOH

CD

3D Model

Výkresy:

BP-19-01

BP-19-01-PZ1-01

BP-19-01-PZ1-02

BP-19-01-PZ1-03

BP-19-01-PZ1-04

BP-19-01-PZ

