



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

KONSTRUKCE PILY NA PROFILY HLINÍKOVÉHO KONSTRUKČNÍHO SYSTÉMU

DESIGN OF A SAWING MACHINE FOR PROFILES OF THE ALUMINUM PROFILE SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Vendula Juřicová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2016

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Studentka:	Ing. Vendula Juřicová
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce:	doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
Akademický rok:	2015/16

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

Konstrukce pily na profily hliníkového konstrukčního systému

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je konstrukční návrh pily na profily hliníkového konstrukčního systému. Důležitým požadavkem je snadno nastavitelná délka řezu výsledného dílu, vysoká přesnost zařízení, rychlost, bezpečnost, vhodná ergonomie a nízká cena.

Cíle diplomové práce:

1. Analýza trhu v oblasti pil na hliníkové profily.
2. Varianty řešení (ruční versus poloautomatická versus automatická varianta).
3. Zhodnocení a výběr nejefektivnější varianty (z hlediska ceny, bezpečnosti, přesnosti, rychlosti, ergonomie atd.) metodou multikriteriálního hodnocení.
4. Zpracování vybrané varianty (potřebné návrhové a kontrolní výpočty, 3D model, výkres sestavy, dílenský výkres vybrané součástky).
5. Analýza rizik.
6. Stručné ekonomické vyhodnocení nového konstrukčního návrhu.
7. Závěrečné zhodnocení z hlediska dosažených cílů.

Seznam literatury:

Shigley, J. E., Mischke, Ch. R., Budynas, R. G. (2010): Konstruování strojních součástí. ISBN 978-8-214-2629-0.

Knoflíček, R. (2004): Roboty a pružné výrobní systémy. Studijní opora, ÚVSSR FSI VUT.

Internetové odkazy na výrobce pil na kovy.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2015/16

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce je zaměřena na návrh pily na profily hliníkového konstrukčního systému. Nejprve jsou popsány základní typy pil, následuje rozbor variant řešení, výběr nejvýhodnější varianty, návrh výsledného řešení a zhodnocení. Výsledné řešení by mělo být ergonomicky přijatelné, bezpečné, cenově dostupné a efektivní.

KLÍČOVÁ SLOVA

Typy pil, ČSN EN 13898+A1, ČSN EN ISO 12100, multikriteriální analýza, Basic MOST

ABSTRACT

This diploma thesies is focused on design of a sawing machine for profiles of the aluminium profile system. In the beginning the basic types of sawing machines are described, followed by the analysis of alternative solutions, selecting the best option, design of the final solution and evaluation. The resulting solution should be ergonomically acceptable, safe, affordable and efficient.

KEYWORDS

Types of sawing machines, ČSN EN 13898+A1, ČSN EN ISO 12100, multicriteria decisional analysis, Basic MOST

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

JUŘICOVÁ, V. *Konstrukce pily na profily hliníkového konstrukčního systému*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 94 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr..

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala panu Knoflíčkovi nejen za cenné rady, ale i za vstřícný přístup, vždy „otevřené dveře“ a velkou trpělivost. Můj velký vděk patří i společnosti FERLIG s.r.o., která mi umožnila zpracovávat tuto diplomovou práci, předala mi malinkou část svých zkušeností a ukázala mi některá zákoutí pil na profil hliníkového konstrukčního systému.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a Ing. Vladimíra Juřici a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 27.05.2016

.....
Juřicová Vendula

OBSAH

1	ÚVOD.....	10
2	ZADÁNÍ.....	11
3	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ.....	12
3.1	Analýza trhu v oblasti pil na profily hliníkového konstrukčního systému.....	12
3.2	Základy konstrukce.....	17
3.2.1	Přenos energie od motoru k pilovému kotouči.....	18
3.2.2	Vedení.....	19
3.2.3	Odměřování polohy.....	19
3.2.4	Možnosti automatického posuvu materiálu.....	21
3.2.5	Řezný nástroj.....	22
3.2.6	Řezná kapalina.....	23
3.3	Základní výpočet.....	23
3.3.1	Výkon vřetene stanovený z objemu odebraného materiálu.....	24
3.3.2	Výkon vřetene stanovený z řezné síly.....	25
3.3.3	Potřebná přítlačná síla upínek.....	27
3.4	Bezpečnost.....	28
3.4.1	Norma ČSN EN 13898+A1.....	28
3.4.2	Ochrana zdraví při práci.....	31
3.5	Multikriteriální analýza.....	32
3.5.1	Metody stanovení vah.....	33
3.5.2	Metody stanovení pořadí variant.....	34
3.5.3	Bazická bodovací metoda.....	35
3.6	Nepřímé měření spotřeby času pomocí metody Basic MOST.....	36
3.6.1	Obecný pohyb.....	37
3.6.2	Kontrolovaný pohyb.....	37
3.6.3	Použití nářadí.....	38
4	VARIANTY ŘEŠENÍ.....	40
4.1	Ruční varianta.....	41
4.2	Poloautomatická varianta.....	43
4.3	Automatická varianta.....	46
5	VÝBĚR NEJVÝHODNĚJŠÍ VARIANTY.....	48
6	ZPRACOVÁNÍ VYBRANÉ VARIANTY.....	50
6.1	Vstupní regál.....	52
6.2	Řezací zařízení - pila.....	53
6.2.1	Rám.....	55
6.2.2	Řezací a posuvová jednotka.....	55
6.2.3	Upínání.....	59
6.2.4	Kryty.....	61
6.3	Odměřování.....	63
6.4	Výstupní regál.....	65
6.5	Mazání.....	66
6.6	Výpočty.....	67
7	ANALÝZA RIZIK.....	70
7.1	Informace pro posouzení rizika.....	70
7.2	Použité harmonizované normy.....	70
7.3	Mezní hodnoty strojního zařízení.....	72
7.4	Identifikace nebezpečí.....	73
7.5	Odhad rizika.....	73

7.6	Zhodnocení rizika.....	75
8	EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ.....	76
9	ZHODNOCENÍ.....	82
10	ZÁVĚR.....	84
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	85
12	SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....	88
12.1	Seznam symbolů.....	88
12.2	Seznam obrázků.....	91
12.3	Seznam tabulek.....	92
13	SEZNAM PŘÍLOH.....	94

1 ÚVOD

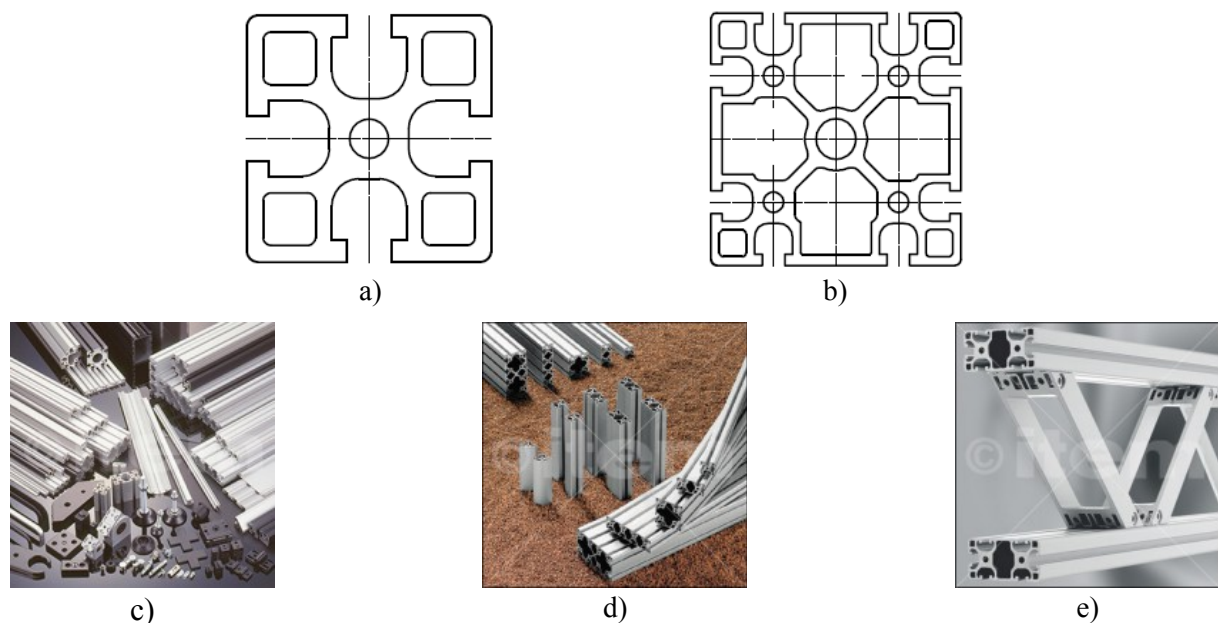
Profily hliníkového konstrukčního systému jsou na trhu již mnoho let a lze říci, že jejich odběratelé mají stoupající „touhu“ po dalších a dalších profilech vyobrazených například na Obr. 1.

„Hliníkový konstrukční systém umožňuje rychlost, jednoduchou realizaci a adaptibilitu: jakýkoliv komponent může být spojen s ostatními, aniž by vyžadoval speciální nástroje nebo svaření.“ Takto prezentuje profily společnost Alutec K&K s.r.o. působící v České republice od roku 1994. [1]

„Základem systému jsou přesné eloxované hliníkové profily s podélnými drážkami a otvory pro upevnění spojovacích materiálů a rozsáhlého příslušenství; povrchové plochy jsou odolné proti korozi a poškrábání. Koncepce systému umožňuje velkou pružnost, vysokou přesnost i pevnost, ale také rychlou přestavitelnost a možnost opakovaného použití prvků systému.“ Toto jsou slova převzata ze stránek společnosti Haberkorn Ulmer s.r.o., která je výhradním dodavatelem profilů značky Item (Industrietechnik und Maschinenbau GmbH) v Česku. [2]

Se zvyšující se spotřebou těchto profilů se zvyšuje motivace a aktivita odběratelských firem v oblasti vlastního zpracování. Přeci jen je mnohdy levnější a hlavně efektivnější vyrobit si potřebný profil (potřebnou sestavu) hned, v reálném čase, než čekat na zásilku jeden den, dva dny, či týdny.

A to je i motivací této diplomové práce – sestavit pilu na profily hliníkového konstrukčního systému, která by měla přiměřeně dlouhou dobu návratnosti (cca 3 roky) byla by dostatečně přesná, dostatečně kompaktní a lehce ovladatelná. Důležité také je, aby alespoň v nějakém ze zmíněných parametrů vyčnívala nad běžně dostupnými pilami. Jinak by bylo zbytečné ji vyrábět.



Obr. 1) Profily hliníkového konstrukčního systému: a) profil 45x45 od firmy Alutec [1], b) profil 90x90 firmy Alutec [1], c) d) e) hliníkové profily společnosti Item [2]

2 ZADÁNÍ

Řezané profily hliníkového konstrukčního systému (dále jen řezaný materiál)

- minimální rozměr řezaného materiálu: 30 x 30 – 6000 mm
- maximální profil řezaného materiálu: 100 x 100 – 6000 mm

Přesnost

- přesnost řezu (tuhost soustavy, přesnost zajetí pily do profilu) co nejvyšší (0,05 mm výhodou)
- přesnost odměřování (nastavení odměřovacího zařízení do přesné polohy) co nejvyšší (0,02 mm výhodou)
- drsnost povrchu řezu cca $R_a = 3,2 \mu\text{m}$
- eliminace poškozování povrchu:
 - vhodný tvar styčných ploch
 - doprava bez škrábanců (válečky)
 - materiál, který bude přímo v kontaktu s řezaným materiálem, nesmí způsobit jeho poškození → má mít nižší, nebo maximálně stejnou tvrdost jako řezaný materiál
- řezání kotoučovým nástrojem s SK plátky
 - velikost kotouče 500 mm

Rychlost & výkonnost

- řezná rychlost cca 50 m/s
- průměrná rychlost jednoho řezu (včetně vložení řezaného materiálu na dopravník, odměření požadované délky a odebrání uřezaného kusu) cca 1 min
- výkon dle řezné síly

Ke zvážení

- +- frekvenční měnič
- +- chlazení

Bezpečnost

- pneumatické x mechanické upínání
- krytování
- dvouruční ovládání

Ergonomie:

- pracovní výška 900 mm

3 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU POZNÁNÍ

V rámci této kapitoly je nejprve uveden přehled v oblasti pil na řezání (nejen) profilů hliníkového konstrukčního materiálu. Dále následují kapitoly charakterizující konstrukční možnosti v oblasti přenosu energie od motoru k pilovému kotouči, vedení, odměřování polohy, automatický posuv materiálu, řezný nástroj a řeznou kapalinu.

Vzorce pro základní výpočty (výpočet výkonu motoru a upínací síly) jsou uvedeny v rámci jedné z podkapitol, výpočty obecné obsahuje Příloha 1.

Velký význam pro výsledné řešení pily má bezpečnost. Není v možnostech této práce obsáhnout všechny důležité body, spíše pro zajímavost jsou uvedeny některé informace vycházející z normy ČSN EN 13898+A1 (Obráběcí a tvářecí stroje – Bezpečnost – Pily na studený kov) a norem na ni navazujících. V práci je zapracováno i několik bodů z Ochrany zdraví při práci dányh nařízením vlády č. 361/2007 Sb.

Poslední část této kapitoly se věnuje popisu multikriteriální analýzy a nepřímé metody měření spotřeby času – Basic MOSTu. Jedná se o velmi užitečné pomůcky při srovnávání jednotlivých variant.

3.1 Analýza trhu v oblasti pil na profily hliníkového konstrukčního systému

Pily na řezání „studeného“ kovu mají jeden, nebo více z těchto nástrojů: pilový pás, pilový kotouč, pilový list.

Pásové pily [3]

Řezný nástroj = pilové pásy, souvislé (nekonečné) pásy se zuby podél jedné z hran.

1) vodorovný pásový stroj

1. otočný typ – hlava pily je na jedné straně otočná, při pohybu do řezu klesá dolů a opisuje oblouk. Viz Tab. 1.
2. typ s kývavou hlavou – specifický typ otočné pily, kdy je hlava pily v úrovni ramena člověka
3. stojanový – vedení pilové hlavy je uloženo na jednom nebo více stojanech (sloupech), hlava pily klesá přímo dolů

2) svislý pásový stroj

1. typ s pevným rámem, pro tvarové řezání – do řezu se posouvá řezaný materiál (po přímé či zakřivené dráze), rám je pevný (případně naklápěcí). Viz Tab. 2.
2. typ s předním řezáním – řezaný materiál je pevně upnut na stole, rám koná vodorovný pohyb směrem ze zadní strany materiálu k přední
3. typ s pojezdem – řezaný materiál je pevně upnut na stole se štěrbinou, ve které se pohybuje pilový pás. Rám (případně stůl) se pohybuje v příčném směru. Tento typ se často používá na řezání desek.

Kotoučové pily [3]

Řezný nástroj = pilový kotouč.


- 1) typ s otočnou hlavou – vřeteno s pilovou hlavou je upnuto na otočném ramenu, při pohybu klesá dolů a opisuje oblouk. Hlava může být pevná, natáčecí či naklápěcí. Posuv pily může být ovládán ručně nebo strojně. Viz Tab. 3.
- 2) typ s posuvem – vedení vřetene s pilovou hlavou je uloženo na jednom stojanu nebo dvou sloupech, hlava pily klesá přímo dolů
- 3) typ s posuvem nahoru – vřeteno s pilovým kotoučem je uloženo v zadním rámu stroje a pohybuje se směrem nahoru. Při zdvihu prochází štěrbinou ve stole a následně vniká do upnutého materiálu. Součástí může být otočný stůl, případně lze natáčet pilový kotouč. Viz Tab. 4.
- 4) typ stolový s podélným posuvem – vřeteno s pilovým kotoučem je uloženo na saních přejíždějících „pod stolem“. Pilový kotouč vjíždí do materiálu vodorovně.
- 5) typ vodorovný vrchní – obdoba předchozího typu, saně se však pohybují nad stolem
- 6) typ s radiálním ramenem – vřeteno s pilovým kotoučem je uloženo na saních přejíždějících na spodní straně radiálního ramene. Pilový kotouč vjíždí do materiálu vodorovně. Radiální rameno je otočné na sloupu. Viz Tab. 5.
- 7) kyvadlový typ – vřeteno s pilovým kotoučem je uloženo na hlavě, která se může kývat podobně jako kyvadlo (nad stolem nebo pod stolem). Pilový kotouč se pohybuje po oblouku, do materiálu vniká zezadu.
- 8) typ s předním řezáním – vřeteno s pilovým kotoučem je uloženo na saních. Pilový kotouč zajíždí zezadu do pevně upnutého materiálu.
- 9) typ s více pilovými kotouči:
 1. typ s dvojicí pilových kotoučů a s jednou hlavou – dva pilové kotouče jsou upnuty na jedné pilové hlavě. Mezi kotouči je úhel 90° . Mezi každým kotoučem a materiálem je úhel 45° . Pila je vhodná hlavně pro úhlové řezání.
 2. typ s dvojicí hlav – materiál je řezán na obou koncích dvěma a více hlavami s pilovými kotouči. Pilový kotouč se může do řezu přibližovat po oblouku. Viz Tab. 6.
 3. typ s více hlavami – pilové kotouče jsou kolmé na osu řezaného materiálu. Tento typ je určen k řezání většího množství kusů.

Rámové pily [3]


Řezný nástroj = pilový list v rámu, přímkový list se zuby na jedné hraně.

- 1) typ vodorovný otočný – rám s pilovým listem, který se vratně pohybuje, je unášen hlavou otočnou na jedné straně. Směrem dolů po oblouku se koná posuvný pohyb k řezanému materiálu.

Tab. 1) Vodorovný pásový stroj – otočný typ

Pásová pila na kov PROMA PPK – 115 [4]		
<p>Pila je určena na řezání běžně používaných materiálů zahrnujících hliník, neželezné kovy i ocel vysoké pevnosti. Řez lze uskutečnit pod úhlem 0° až 45°. Změna řezné rychlosti se provádí posunutím klínového řemenu. Padání ramene je možno ovlivňovat přes pružinu.</p>		
Příkon	370 W	
Napětí	230 V / 50 Hz	
Řezná rychlost	20 – 29 – 51 m/min	
Prořez (dle natočení a typu profilu, pro plný profil 3x méně)	+/- 110 mm	
Rozměr pásu	1640 x 13 x 0,6 mm	
Hmotnost	65 kg	
Cena	10 790 Kč (s DPH)	

Tab. 2) Svislý pásový stroj – typ s pevným rámem

PÁSOVÁ PILA HOLZMANN HBS 300J [5]		
<p>Pila je určena na řezání dřeva dvěma možnými rychlostmi. Tichý provoz a dlouhou životnost pásu zajišťují pogumovaná hliníková kola. Litinový stůl lze naklonit 45° vpřed, součástí je i pravítko.</p>		
Výkon	0,75 kW	
Napětí	230 V	
Prořez (výška x šířka)	max 165 x 305 mm	
Rozměry pásu	2240 x 6 – 15 mm	
Rozměry balení	400 x 1100 x 500 mm	
Hmotnost	83 kg	
Cena	14 703 Kč (s DPH)	


Tab. 3) Kotoučová pila - typ s otočnou hlavou

Kapovací pila na kov Bernardo DCR 355 [6]		
Pila je určena na řezání hliníkových a ocelových profilů, nerez oceli, plastů. Vše probíhá bez maziva a chladicí kapaliny. Upínání svěráku lze nastavit od 45° do 90°. Kryt je automatický.		
Výkon	2,2 kW	
Napájecí napětí	230 V	
Otáčky	1300 ot/min	
Prořez	+/- 120 x 120 mm	
Průměr kotouče	355 x 2,4 mm	
Rozměry stroje	380 x 650 x 580 mm	
Hmotnost	23,5 kg	
Cena	14 308 Kč (s DPH)	


Tab. 4) Kotoučová pila - typ s posuvem nahoru

BOMAR AL 500 ANC [7]		
Automatická pila určená na řezání profilů a plných materiálů z mědi, tvrdých plastů a hliníku pod úhlem 90°. Pila je vybavena dvěma svěráky – hlavním a podávacím (ten je polohován kulíčkovým šroubem). Délka jednoho podání je 500 mm, podávání lze provádět do délky 999 mm. Otáčky motoru lze plynule měnit frekvenčním měničem.		
Výkon	4 kW	
Napětí	400 V/50 Hz	
Řezná rychlost	51 m/s	
Pilový kotouč	500 x 30 x 4,0	
Rozměry	1550 x 940 x 905 mm	
Hmotnost	550 kg	
Cena	11 269,19 €	

Tab. 5) Kotoučová pila - typ s radiálním ramenem

Pila s radiálním ramenem 300 mm 230 V DeWALT DW721KN [8]		
Pila je určena k řezání materiálu o průřezu 507 x 90 mm. Vysokou přesnost zajišťují 4 válečková ložiska v sestavě motorové hlavy spolu s robustním litinovým ramenem.		
Výkon/příkon	1,5 kW/2 kW	
Otáčky	2800 ot/min	
Prořez	507 x 90 mm	
Průměr kotouče	300 mm	
Rozměry stroje	1200 x 1490 x 1470 mm	
Hmotnost	112 kg	
Cena	66 900,00 Kč	

Tab. 6) Kotoučová pila - typ s dvojicí hlav

Dvoukotoučová pila ZGS 311 Rotox [9]		
<p>Pila je určena na řezání profilů z hliníku či plastu. Pro krátké díly lze využít manuálního dorazu. Míra se odečítá na stupnici, nebo digitálně. Stroj je vybaven pneumatickým horizontálním i vertikálním upínáním.</p>	Výkon	2 x 1,5 kW
	Napětí	400 V
	Pracovní tlak	7 barů
	Otáčky	3700 ot/min
	Řezaná délka	250 až 3750 mm
	Hmotnost	450 kg
		

3.2 Základy konstrukce

V tabulce níže (Tab. 7) jsou uvedeny základní pojmy, či konstrukční části, týkající se nejen zadaného zařízení, ale i strojů obecně.

Tab. 7) Základní konstrukční části [10]

přenos energie od motoru k pilovému kotouči	řemenový převod	klínové řemeny • drážkové řemeny • ozubené řemeny
	řetězový převod	válečkové řetězy • Fleyerovy a Gallovy řetězy • dopravní řetězy
	ozubená kola	evolventní • cykloidní ozubení
s přímým ozubením • se šikmým ozubením • s šípovým ozubením		
vedení pohonu	kluzné	hydrodynamické (otevřené) • hydrostatické (otevřené, uzavřené, servostatické)
		válcové (kruhové) • prizmatické • ploché • rybí
	valivé	s omezenou délkou zdvihu (valivé klece uzavřené / otevřené vedení) • s neomezenou délkou zdvihu (valivé bloky, profilové valivé vedení)
		předepjaté vedení
		kuličky • válečky • jehly
	kombinované	v jedné pohybové souřadnici (kluzně-valivá) • na jednom stroji (kluzně-valivá, valivě-hydrostatická)
aerostatické		
odměřování polohy	přímé • nepřímé	
	inkrementální • absolutní	
	fotoelektrické • induktivní • magnetické • laserové	
pohon posuvu materiálu	rotační servopohon	KŠM • pastorek a hřeben • šnek a hřeben
	lineární motor	asynchronní • synchronní

3.2.1 Přenos energie od motoru k pilovému kotouči

Účinnost řemenů, řetězů i ozubených kol je přibližně stejná – pohybuje se v rozmezí 96 až 98 %. V tabulce níže jsou uvedeny přenášené rychlosti jednotlivých typů řemenů (Tab. 8).

Tab. 8) Přenos energie od motoru k pilovému kotouči [11]

Typ řemenu/řetězu	Rychlost [m/s]
válcová soukolí s přímými zuby	5
řetězové převody	20
speciální řemen pro pomaloběžné převody	25
oplaštěný klínový řemen	35
ozubené řemeny	40 až 50
ozubené řemeny – vysokorychlostní	až 60
drážkové řemeny	až 60
ploché řemeny (menší výkon, nižší napínací síly)	80 až 100
soukolí se šikmými zuby	120

Ozubená kola

Ozubená kola se nacházejí v mnoha odvětvích průmyslu – nyní už i v nanotechnologii na atomární úrovni. Jsou určeny k přenosu kroutícího momentu a rotačního pohybu. Případně slouží k převodu přímočarého pohybu na rotační a naopak. U tohoto typu převodu nedochází k prokluzu. Šikmé ozubení vyniká tichostí a klidností chodu, nevýhodou je vznikající osová síla a vyšší cena.

Klínové řemeny

U klínových řemenů se účinnost pohybuje od 95 do 98 %. Účinnost je snížena při zatížení vyšším, či nižším, než je jmenovité. Extrémní rychlostí či nadměrným bezpečnostním faktorem se hodnoty účinnosti také snižují. Není-li řemen zhruba každých 2000 hodin dopínán, může účinnost vlivem prokluzu klesnout až pod 80 %. [11]

Ozubené řemeny

Účinnost ozubených řemenů sahá až k 98 – 99 %. Přenos síly probíhá bez prokluzu, předepínací síly nejsou tak velké, vznikají pouze malá zatížená a tím i nevelké deformace zubů. [11]

Drážkové řemeny

Chod drážkového řemene je téměř bez vibrací, vysoce výkonný s dlouhou životností. Lze realizovat i velké převodové poměry. V těchto řemenech je spojena flexibilita plochého řemene s příznivým přenosem výkonu řetězu klínového. [11]

3.2.2 Vedení

Popis jednotlivých typů vedení a odměřování vychází z knihy Dr. Ing. Jiřího Marka „Konstrukce CNC obráběcích strojů“. Viz [10].

Vedení kluzné

Může dojít k nestabilitě povrchu → nerovnoměrný trhavý pohyb, necitlivost, tyto nedostatky lze odstranit užitím hydrostatického (kapalinového) tření. U hydrodynamického vedení lze docílit požadovaných parametrů užitím aditivních mazacích olejů nebo umělohmotnými obklady vodících ploch. Důležitá je také kvalita opracování vodících ploch.

Valivé vedení

Valivé vedení vyniká nad kluzným v menším součiniteli tření, výhodnější je také menší rozdíl mezi třením za klidu a za pohybu. Vedení se opotřebovává minimálně. Vymezení vůlí a předepnutí valivých těles zajišťuje vysokou přesnost pohybu i při malých rychlostech.

Nevýhodou tohoto typu vedení je menší útlum chvění a větší rozměry (než u vedení kluzného). Vyšší cena je přímo úměrná náročnosti výroby.

Profilové valivé vedení

Bezvůlové, přesné vedení s jednodušší kompenzací nepřesností, snadná instalace a vysokorychlostní posuvy jsou bezesporu také příjemnou výhodou. U velkých strojů je nutno znásobit počet vozíčků a kolejnic, nebo použít větší profil vedení. Princip profilového vedení spočívá v obíhání valivých elementů po profilu kolejnice. Zatímco válečky vynikají svou únosností, kuličky jsou vhodnější pro aplikace vyžadující vyšší rychlost.

Kombinovaná vedení

Například kluzně-valivé uzavřené – útlum kmitů, nezvýšení zatížení od klopného momentu.

Aerostatické vedení

Užití stlačeného vzduchu místo kapaliny.

3.2.3 Odměřování polohy

Přímé

Odměřovací systém je přímo spojen s částí stroje vykonávající pohyb. Pro vyloučení teplotních dilatací konstrukce se odměřování umísťuje co nejbližše pohybující se části. Přesnost je vykoupena vyšší cenou a složitější konstrukcí. Několik příkladů tohoto typu odměřování je uvedeno v Tab. 9.

Nepřímé

Odměřování se nepohybuje společně s částí stroje vykonávající měřený pohyb, ale je spojeno např. s motorem, nebo s koncem kuličkového šroubu. Tento způsob je vhodný pro jednodušší aplikace či pro malé zdvihy os. Nevýhodou je neovlivněnost výsledků teplotními dilatacemi a vloženými převody.

Přírůstkové (inkrementální, relativní)

Řídicí systém přičítá/odčítá získané impulsy od referenční polohy. Chybí informace o poloze při výpadku elektrické energie, nutné najetí do referenčního bodu.

Absolutní

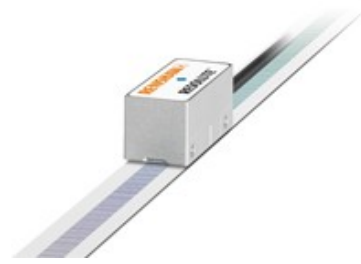
Uchovává informaci o poloze.

Tab. 9) Přímé odměřování polohy

<p><u>Hiwin – vedení s odměřováním [12]</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • magnetický pásek nalepen přímo na kolejnici (odolný proti prachu, vlhkosti, třískám a oleji) 1. snímací jednotka integrovaná do vozíku • analogové/digitální bezkontaktní odměřování • rozlišení 0,5 μm • reálný čas • jednoduché připojení a nastavení • absolutní x relativní odměřování 	
<p><u>Heidenhain – zapouzdřené lineární snímače [13]</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • odolnost proti stříkající vodě, prachu a šponám • určeno k použití na obráběcích strojích • přesnost do 2 μm • krok 0,001 μm • měřicí délka 30 m • jednoduchá a rychlá montáž 	
<p><u>Renishaw – optické lineární snímače [14]</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • vysokorychlostní, přírůstkové, absolutní • nulová hystereze • odolnost vůči vnějším vlivům • minimální údržba • přírůstkové lineární snímače – rozlišení do 5 nm (RGH25F), až 1 nm (TONiC) 	
<p><u>Jirka & spol. – vedené magnetické snímače [15]</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • vzduchová mezera mezi mag. páskou a snímačem je neměnná (1 mm) • spolehlivost, odolnost vůči poškození, jednoduchá montáž, nízká cena • rozlišení až 1 μm 	

Renishaw – absolutní snímací systém RESOLUTE [16]

- princip zvláště rychlého digitálního fotoaparátu, který snímá dlouhý neopakující se čárový kód
- rozlišení až 1 nm při 100 m/s



3.2.4 Možnosti automatického posuvu materiálu

Popis možností automatického posuvu materiálu v mnohém vychází z knihy Dr. Ing. Jiřího Marka „Konstrukce CNC obráběcích strojů“. Viz [10].

Rotační servopohony

Elektrický servomechanismus sestává z regulátoru pro řízení polohy (otáček), z výkonového polovodičového měniče pro řízení a napájení motoru a ze samotného elektromotoru. Součástí mnohdy bývají odměřovací prvky rychlosti, případně polohy. Lze zvolit jak odměřování inkrementální, tak absolutní.

KŠM

Vyskytují se dva základní principy zabudování KŠM. V prvním případě se šroub otáčí a matice se po něm přímočaře posunuje, v druhém případě je šroub statický a matice vykonává jak rotační, tak translační pohyb. Známý je i případ, kdy se oba typy pohybů kombinují.

Ke zmenšení opotřebení a k vymezení vůlí se hojně využívá KŠM s valivým třením. Účinnost se blíží 90-ti procentům. Matice a šroub jsou vyrobeny z oceli, povrch závitů kalen a broušen.

Výhody:

- vysoká účinnost
- minimální oteplování za provozu
- až úplné vymezení vůlí
- možnost předpětí (tuhost, přesnost)
- malé opotřebení → vysoká životnost
- plynulý pohyb

Pastorek a hřeben

Pro posuv pracovních strojů není vhodné použití kuličkových šroubů vzhledem k vysokému převodu a nižší účinnosti. Při použití pastorku a hřebenu je nutné vymezení vůlí, nevýhodou je též nesamosvornost spojení, které vyžaduje aplikaci brzdy. Pro pohon rozměrných stolů je výhodné použít duplexní pastorek a hřeben.

Šnek a šnekový hřeben

Využívá se převážně u velkých obráběcích strojů pro posuvy pracovních stolů. Jeho předností je vysoká hodnota tuhosti a minimální tření. Sekce ozubení, která je v záběru je dostatečně mazána přiváděným tlakovým olejem.

Lineární motor

Je vhodné a výhodné využít lineární motor pro vysokorychlostní obrábění (naopak pro výkonné obrábění se doporučuje kuličkový šroub s maticí). Tyto motory fungují bez vloženého převodu (řemeny, ozubená kola). Posuvová síla vzniká působením elektromagnetických sil na support stroje, s potřebou větší síly se motory zdvojují. Objevuje se zde požadavek na vyšší odměřování polohy než u kuličkového šroubu.

3.2.5 Řezný nástroj

Pila od svého prvopočátku prošla množstvím malých, avšak podstatných změn. První pily, v nichž byl proužek kovu napnut a upevněn v dřevěném oblouku, se datují minimálně k roku 2700 př. n. l. do starého Egypta. O další vylepšení se zasloužili Římané. Ti vyřešili problém se zasekáváním pily uvnitř materiálu tím, že vyhnuly zuby střídavě na obě strany. Na přelomu 15. a 16. století se pilou zabýval i Leonardo da Vinci, který každý druhý zub otočil tak, aby pila zabírala v obou směrech. [1]

První pilové kotouče se vyráběly celistvé s rozvedenými zuby a byly určeny na řezání dřeva. Až koncem 18. století se objevily pily na ocel. Pily se zuby celistvými se datují do roku 1783, pily se zuby vsazenými do roku 1880. Uhlíková ocel vsazovaných zubů byla roku 1905 nahrazena rychlořeznou ocelí, výkonost stoupla. O 14 let později se začaly používat i kotoučové pily s SK plátky [1], [2]. V dnešní době se například pro nábytkářský průmysl a různé druhy plastů používají pily s břity z polykrystalických diamantů (PKD). [3]

U pilových kotoučů je podstatný i tvar ozubení a mezer, pravidelnost roztečí, také velikosti, umístění a tvar dilatačních a odhlučňovacích drážek.

Pilový kotouč na hliník [3]

V dnešní době se k řezání hliníku využívají převážně kotouče s břitovými destičkami ze slinutých karbidů. Například Pilana pro své kotouče na hliník používá jakost tvrdokovu K 10 → tvrdost [HV 30] 1700 až 1800, kombinace jemnozrnné struktury (viz Obr. 2).

Do pilových kotoučů bývají vyřezány speciálně tvarované odhlučňovací a dilatační drážky. Tyto drážky zabraňují deformacím kotouče při zhoršených řezných podmínkách, kdy na pilu působí odstředivé síly a kotouč se zahřívá třením o obrobek. Kvalita řezu zůstává zachována, hlučnost je přiměřená.

Pokyny ke konstrukci [3]:

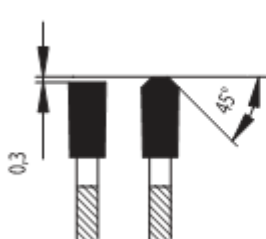
- příruby pro kotouče by měly mít stejný průměr, a to asi 1/3 průměru kotouče. Boční házení je zapotřebí eliminovat.
- je nutno zkontrolovat dokonalý tvar hřídele
- břity mají být vhodně a včas přeastřeny
- upínací otvor nelze zvětšit o více než 20 mm

- přesah zubu kotouče se slinutým karbidem nad materiálem je roven onomu SK plátku
- nejlépe 2 až 3 zuby v záběru (celá tříska se musí bez problémů vtěsnat do zubové mezery, jinak zub vylomí. Naopak příliš velké rozteče způsobují nerovnoměrnost práce → z řezání se stává obrážení. [2])
- rychlost kotouče 30 až 70 m/s

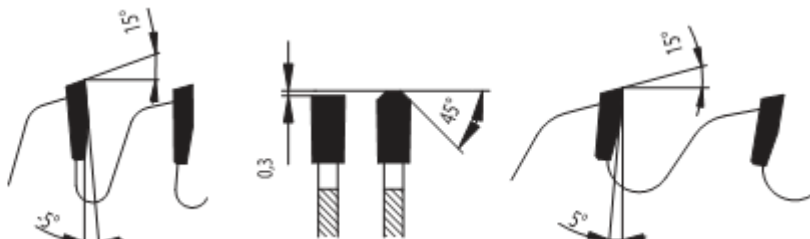
U pilových kotoučů na hliník se střídá zub trapézový (předřezávací) se zubem rovným (deřezávacím). Průřezy třísek jsou u obou typů zubů stejné (viz Obr. 3 a Obr. 4) [2],[3].



Obr. 2) Pilový kotouč [3]



Obr. 3) Pila určená pro ruční posuv [3]



Obr. 4) Pila určená pro strojní posuv [3]

3.2.6 Řezná kapalina

Řezná kapalina je určena pro chlazení a mazání řezného nástroje. Nejčastěji se používá olej, olejová mlha, líh, směs oleje a vody.

Mezi systémy řezné kapaliny se řadí oběhový systém (oběh pomocí čerpadla) a systém minimálního množství (k nástroji je třeba přivádět pouze minimální množství kapaliny (čerpadlo není zapotřebí)). [3]

3.3 Základní výpočet

Stěžejním výpočtem pily na profily hliníkového konstrukčního systému je výpočet potřebného výkonu motoru a přítlačné síly upínek [4], [5]. Výkon motoru se nejsnáze určí jako výkon vřetene ovlivněný účinnostmi, jak je uvedeno ve vzorci (1).

$$P_m = \frac{P_c}{\eta_c} \quad (1)$$

kde:

P_{m1} ... výkon motoru [kW]

P_c ... výkon vřetena [kW]

η_c ... celková účinnost [-]

Celková účinnost, uvedená ve vzorci (2) je kombinací účinnosti motoru, řemenového převodu a ložisek.

$$\eta_c = \eta_m \cdot \eta_r \cdot \eta_l^2 \quad (2)$$

kde:

η_m ... účinnost motoru [-]

η_r ... účinnost řemenového převodu [-]

η_l ... účinnost ložisek [-]

Výkon vřetene lze určit dvěma způsoby danými vzorci (3) a (6):

3.3.1 Výkon vřetene stanovený z objemu odebraného materiálu

$$P_{c1} = \frac{k_c \cdot a_p \cdot a_e \cdot v_f}{60 \cdot 10^6} \quad (3)$$

kde:

P_{c1} ... výkon vřetena stanovený z velikosti odebraného materiálu [kW], dále viz vzorec (5)

k_c ... měrná řezná síla [N/mm²], viz vzorec (12)

a_p ... šířka záběru ostří [mm]

a_e ... pracovní záběr (šířka řezaného materiálu) [mm]

v_f ... posuvová rychlost [mm/min], viz vzorec (4)

Posuvová rychlost

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (4)$$

kde:

f_z ... posuv na zub [mm]

z ... počet zubů na pilovém kotouči [-]

n ... otáčky vřetene [min⁻¹]

Výkon motoru stanovený z objemu odebraného materiálu s rozloženou posuvovou rychlostí

$$P_{c1} = \frac{k_c \cdot a_p \cdot a_e \cdot f_z \cdot z \cdot n}{60 \cdot 10^6} \quad (5)$$

Každý zub pilového kotouče vjíždí n-krát za minutu do materiálu a odebírá třísku o ploše $a_p \times f_z$ a o délce a_e (= šířka řezaného materiálu). Na odebrání jednoho plošného elementu je zapotřebí síla k_c .

Výpočet provedený tímto způsobem (vzorec (1)) je velmi častý, jsou zde však dva spekulativní aspekty:

1) Konstantní tloušťka třísky:

Vzorec počítá s konstantní tloušťkou třísky v rámci celého průřezu materiálu. Tloušťka však není konstantní. Při vstupu zubu do materiálu je nejnižší, na samém vrcholu kružnice pak nejvyšší (hodnota f_z), poté zase klesá.

2) Aproximace křivky vodorovnou přímkou:

V reálu se zuby pilového kotouče pohybují po kružnici a i v řezu opisují oblouk. Vzorec však tento oblouk nahrazuje přímkou – pracovní šířkou řezaného materiálu.

Zatímco vzorec první naddimenzovává potřebný výkon, vzorec druhý jej zmenšuje. Je otázkou do jaké míry se tyto parametry kompenzují a do jaké míry zkreslují výpočet.

3.3.2 Výkon vřetene stanovený z řezné síly

$$P_{c2} = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \cdot 1000} \quad (6)$$

kde:

P_{c2} ... výkon vřetena stanovený z řezné síly [kW], viz vzorec (8) a (13)

F_c ... řezná síla [N], viz vzorec (7)

v_c ... řezná rychlost [m/min]

Řezná síla

$$F_c = k_c \cdot a_p \cdot h_m \cdot z_z \quad (7)$$

kde:

h_m ... průměrná tloušťka třísky [mm], viz vzorec (9)

z_z ... počet zubů v záběru [-]

Výkon motoru stanovený z objemu odebraného materiálu s rozloženou silou

$$P_{c2} = \frac{k_c \cdot a_p \cdot h_m \cdot z_z \cdot v_c}{60 \cdot 1000} \quad (8)$$

Tento vzorec počítá s reálným počtem zubů v záběru z_z . Každý zub působí na průměrnou plochu $a_p \times h_m$ silou k_c . Délku odebrané části za časovou jednotku vyjadřuje řezná rychlost v_c .

I tento vzorec v podstatě počítá s odebraným objemem materiálu, tedy $a_p \times h_m \times v_c/t$, avšak pro odlišnost vzorců byl jako objemový vzorec nazván vzorec (3).

Průměrná tloušťka třísky

$$h_m = f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} \quad (9)$$

kde:

D ... průměr pilového kotouče [mm]

Počet zubů v záběru

$$z_z = \frac{\Psi}{360^\circ} \cdot z \quad (10)$$

kde:

Ψ ... úhel záběru ostří [°], viz vzorec (11)

Úhel záběru ostří

$$\Psi = 2 \cdot \arcsin \left(\frac{\frac{ae}{2}}{\frac{D}{2}} \right) \quad (11)$$

Měrná řezná síla

$$k_c = \frac{k_{c1}}{h_m^{m_c}} \quad (12)$$

kde:

k_{c1} ... měrná řezná síla pro $a_p = 1$ mm a $a_e = 1$ mm [N/mm²]

m_c ... nárůst měrné řezné rychlosti [-]

Výsledný vzorec řezného výkonu vřetena P_{c2} po dosazení uvedených veličin:

$$P_{c2} = \frac{\left(\frac{k_{c1}}{\left(f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} \right)^{m_c}} \right) \cdot a_p \cdot \left(f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} \right) \cdot \frac{2 \cdot \arcsin \left(\frac{\frac{ae}{2}}{\frac{D}{2}} \right)}{360^\circ} \cdot z \cdot v_c}{60 \cdot 1000 \cdot \eta_m \cdot \eta_r \cdot \eta_l^2} \quad (13)$$

3.3.3 Potřebná přítlačná síla upínek

Upínky musí zadržet jednak sílu řeznou (viz vzorec (7) a (15)), která přitlačí materiál k opěře, a také sílu posuvovou, tu nebezpečnější, která tlačí materiál nahoru. Posuvová síla se většinou zjišťuje experimentem a vyjadřuje se jako poměrná část síly řezné. Tato síla nedosahuje hodnot síly řezné, ale vzhledem k tomu, že její hodnota není známa a vzhledem k možnému riziku, které by špatný odhad mohl vyvolat, bude její předpokládaná velikost rovna právě velikosti řezné síly. Výsledná síla pak je dána vzorcem (14) a (16).

Výsledná síla pro $F_c = F_f$

$$F = F_c \cdot \sqrt{2} \cdot k_F \quad (14)$$

kde:

F ... výsledná síla [N], viz vzorec (14) a (15)

F_f ... posuvová síla [N], $F_f = F_c$

k_F ... bezpečnostní koeficient [-]

Výsledná síla

$$F = \left(\frac{k_{c1}}{\left(f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} \right)^{m_c}} \right) \cdot a_p \cdot \left(f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} \right) \cdot \frac{2 \cdot \arcsin \left(\frac{\frac{ae}{2}}{\frac{D}{2}} \right)}{360^\circ} \cdot z \cdot \sqrt{2} \cdot k_F \quad (15)$$

Výsledná síla obecně vyjadřuje sílu na udržení materiálu ve stabilní poloze. Sílu vyvolanou řezem zachycují nejen upínky, ale i opěra za řezaným materiálem. Ovšem vzhledem k tomu, že upínání je kritickou záležitostí a je zapotřebí jej udělat dostatečně pevné, bude vypočtená síla brána jako skutečná potřebná upínací síla.

3.4 Bezpečnost

3.4.1 Norma ČSN EN 13898+A1

Norma ČSN EN 13898+A1 (z níž vychází celá tato podkapitola – viz. [3]) je verzí evropské normy 13898:2003+A1:2009. Jedná se o normu typu C, která stanovuje bezpečnostní požadavky a opatření, jenž jsou kladeny na osoby zabývající se návrhem, výrobou a dodáním strojů na řezání studeného kovu. V normě je uvedeno předpokládané použití, jakožto i předvídatelné nesprávné použití, seřizování, údržba i čištění a jejich vliv na bezpečnost osob v blízkosti. Předpokládá se přístup k zařízení ze všech stran, běžná činnost stroje i nezamýšlené spuštění. Norma se vztahuje i na pomocná zařízení.

Pily musí být konstruovány s ohledem na zásady stanovené v EN 292 (od 1.12.2000 ČSN EN ISO 12100). Dále je důležité, aby byl přístup k pohybujícímu se pilovému kotouči zamezen pevným či pohyblivým krytem s blokováním. Ochranné kryty musí být konstruovány tak, aby zabránily přístupu do nebezpečných prostor, zachytily případné odletující části, jakožto i nebezpečné látky, hluk, záření a případný výbuch. Pro ochranu člověka jsou stanoveny bezpečné vzdálenosti, kontrola přístupu do nebezpečného prostoru, vhodná viditelnost a ergonomie. Více je uvedeno v kapitole 5 a 6 EN 953:1997 (od 1.6.2016 ČSN EN ISO 14120). Otvory v krytech jsou popsány v tabulce 4 normy EN 294:1992 (od 1.10.2008 ČSN EN ISO 13857).

Normou je dále stanoveno, že blokovací zařízení (krytu) musí být vybaveno alespoň jedním osvědčeným (kategorie 1 z EN 954-1:1996 (od 1.1.2009 ČSN EN ISO 13849-1)) elektromechanickým čidlem s nuceným (pozitivním) rozpojením: dle 5.1 EN 1088:1995 (od 1.8.2014 ČSN EN ISO 14119). Zastavení při otevření krytu musí být kategorie 0 nebo 1 dle 9.2.2 EN 60204-1:1997:

- 0 = zastavení okamžitým odpojením přívodu energie do ovládacích částí stroje
- 1 = řízené zastavení s energií převáděnou do ovládacích částí stroje, aby se dosáhlo zastavení, a když je zastavení dosaženo, potom odpojení přívodu energie

Bezpečnostní součásti a funkce musejí být dle požadavků normy EN 954-1:1996 (od 1.1.2009 ČSN EN ISO 13849-1). Nouzové zastavení je blíže specifikováno v EN 418 (od 1.1.2009 ČSN EN ISO 13850) a 9.2.5.4 EN 60204-1:21997.

Kotoučová pila se strojním posuvem hlavy nahoru

Je zapotřebí zajistit nemožnost přístupu do nebezpečných prostor stroje. K tomuto účelu musí být využit jeden z následujících krytů:

- pevný ochranný kryt
- pohyblivý ochranný kryt s blokováním a s jištěním ochranného krytu
- pohyblivý ochranný kryt s blokováním a bez jištění ochranného krytu
 - + brzda, která zastaví kotouč dříve, než je k němu dosažen přístup
 - + kotouč se zasune pod desku stolu dříve, než je k němu dosažen přístup

Upínání

U upínání je důležité ošetřit nebezpečí stlačení upínkami. Existují 3 možnosti:

- zdvih upínek maximálně 6 mm
- upínací rychlost maximálně 10 mm/s a nepřetržité působení na ovladač
- bezpečnostní ochrana: tabulka 1, 2 nebo 3 EN 294:1992 (od 1.10.2008 ČSN EN ISO 13857)

Upínky musejí být blokovány tak, aby nemohlo dojít ke ztrátě upínací síly v průběhu řezání. Stejně tak se upínky nesmějí uvolnit v případě poruchy dodávky energie.

Sběr a odvádění třísek

Stroj musí být zakrytován pevným, nebo pohyblivým krytem s blokováním tak, aby byl zamezen přístup do prostoru sběru a odvádění třísek. Dále je třeba zabránit hromadění třísek v pracovním prostoru. Jejich odstranění musí být možné s minimálním odebráním jednotlivých částí krytů.

Údržba

Vstup do nebezpečných prostor musí být omezen dle 6.2 EN 292-2:1991 a 1.6.1 EN 292-2/A1:1995 (od 1.12.2000 ČSN EN ISO 12100).

Elektrická nebezpečí

Zařízení musí být konstruováno dle 6.2 a 6.3 + 5.3 EN 60204-1:1997. Je třeba například chránit živé části elektrického zařízení krytem, přepážkami, izolací nebo umístěním mimo dosah. Taktéž je důležitá ochrana před nebezpečným dotykem neživých částí (například zabráněním výskytu dotykového napětí, nebo automatickým odpojením elektrického napájení)

Nebezpečí způsobená hlukem

Tab. 10) Opatření ke snížení hluku [3]

Zdroj hluku a typy hluku	Možné prostředky k omezení hladin hluku
Hluk převodu	Tlumení motoru, řemenů a převodové skříně
Výfuky pneu. systému	Tlumiče
Vyjímání materiálu	Obložení odrazivým materiálem na vnitřních površích
Hluk způsobený řezáním	Nabroušení nástrojů, akustické panely, bezpečné upnutí, rychlost, posuv
Manipulace s řezaným materiálem	Vhodná konstrukce a materiál konstrukce
Nedostatek řezné kapaliny	Zvýšení množství.

Postup omezování hluku uveden v EN ISO 11688-1 a EN ISO 11688-2. Norma EN ISO 11688-1 definuje možné příčiny hluku a dává možnosti k jeho snížení. Některá opatření ke snížení hluku jsou uvedena v Tab. 10.

Nebezpečí způsobená zanedbáním ergonomických principů při konstrukci stroje

Správná konstrukce stroje a ovladačů je blíže stanovena v článku 3.6 EN 292-2:1991 (od 1.12.2000 ČSN EN ISO 12100). Umístění, označení a osvětlení ovladačů a míst pro vizuální kontrolu je uvedeno v normách: EN 614-1, -2 (od 1.8.2009 ČSN EN 614-1+A1, -2+A1); EN 894-1, -2, -3 (od 1.8.2009 ČSN EN 894-1+A1, -2+A1, -3+A1); EN 1005-1,-2,-3 (od 1.5.2009 ČSN EN 1005-1+A1, -2+A1, -3+A1), EN ISO 7250-1 (neharmonizovaná).

Umístění sdělovačů dle ČSN EN 894-2+A1:

Lze rozlišit 2 typy vizuálních úkolů – detekci a monitorování. Při detekčních úlohách musí být obsluha upozorněna systémem. Naopak při úlohách monitorovacích obsluha aktivně vyhledává informace.

Doporučená výška znaku dle ČSN EN 894-2+A1 [6], viz Obr. 5:

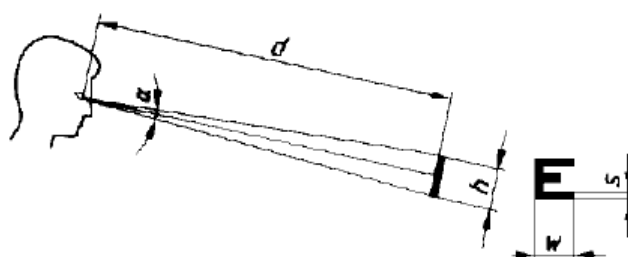
d – vzdálenost očí od kritického znaku

α – úhel pohledu ke znaku
v obloukových minutách

h – výška znaku

w – šířka znaku

s – tloušťka znaku



Obr. 5) Nákres k doporučené výšce znaku [6]






Doporučená výška znaku (h): 18 až 22 obloukových minut v požadované vzdálenosti.

Přijatelná výška znaku (h): 15 až 18 obloukových minut v požadované vzdálenosti.

Nevhodná výška znaku (h): méně než 15 obloukových minut v požadované vzdálenosti.

Hodnocení síly/točivého momentu pro výběr ručních ovladačů ČSN EN 894-3+A1 [7], viz Tab. 11.

Tab. 11) Hodnocení síly/točivého momentu pro výběr ručních ovladačů ČSN EN 894-3+A1 [7]

Kód	Symbol	Stupeň požadavků	Síla/kroučící moment
0		Zanedbatelný	< 10 N < 0,5 Nm
1		Nízký	≥ 10 až < 25 N ≥ 0,5 až < 1,5 Nm
2		Střední	≥ 25 až < 50 N ≥ 1,5 až < 3 Nm
3		Vysoký	≥ 50 až < 80 N ≥ 3 až < 5 Nm
4		Velmi vysoký	≥ 80 až < 120 N ≥ 5 až < 50 Nm

Vztah mezi parametry fyzické výkonnosti a normami ČSN EN 1005-1+A1 [8], viz Tab. 12.

Tab. 12) Vztah mezi parametry fyzické výkonnosti a normami ČSN EN 1005-1+A1 [8]

Parametry	Norma
Tělesné rozměry	EN 547-1, EN 547-2, EN 547-3 (Rozměry lidského těla)
	EN 1005-4 (Hodnocení pracovních poloh)
Polohy a pohyby	EN 1005-2 (Ruční manipulace s předměty)
	EN 1005-3 (Doporučené mezní síly)
Doporučené síly	EN 894-3 (Ovladače)

Neočekávané spuštění, neočekávaný přeběh/překročení rychlosti

Aby se zabránilo neočekávanému spuštění stroje, je zapotřebí konstruovat ovládací systém dle EN 954-1:1996 (od 1.1.2009 ČSN EN ISO 13849-1), EN 60204-1, EN 982 (od 1.7.2011 ČSN EN ISO 4413, EN 983 (od 1.7.2011 ČSN EN ISO 4414). Obnovení dodávky energie po přerušení musí vyhovovat článku 3.7 EN 292-2:1991 (od 1.12.2000 ČSN EN ISO 12100).

3.4.2 Ochrana zdraví při práci

Ochrana zdraví při práci je definována nařízením vlády č. 361/2007 Sb, kde jsou zapracovány příslušné předpisy dané Evropskou unií. [9]

Změna: 68/2010 Sb., 93/2012 Sb., 9/2013 Sb.

- hygienický limit pro celkovou fyzickou zátěž za směnu (8hodin) činí 4,5 MJ pro ženu a 6,8 MJ pro muže. Průměrná srdeční frekvence je 102.
- průměrný hygienický limit pro práci v nepříjemných polohách je 30 minut za směnu (8 hodin), pro práci v podmínečně přijatelných polohách 160 minut. Doba trvání jednotlivých poloh nesmí překročit 8 minut.
- přípustné hygienické limity hmotnosti břemene pro muže byly zrušeny, ponechána byla hodnota celosměnové (8 hodin) kumulativní hmotnosti – 10 000 kg. Žena může občas (<30 minut/8 hodin) zvedat břemena o hmotnosti až 20 kg, často (> 30 minut/8 hodin) pak 15 kg. Pro práci v sedě jsou to 3 kg a kumulativně 6 500 kg. Zaměstnanec musí být seznámen (pokud to je možno) s hmotností, těžištěm a vlastnostmi břemene, o způsobu jeho uchopení a zacházení s ním.
- psychická zátěž může být způsobena monotonií (stereotypem), vnuceným tempem (zaměstnanec pracuje dle tempa stroje), třísměnným/nepřetržitým provozem nebo prací pouze v noci.
- pro pracoviště spojené s prací ve stoje a trvalým zapojením obou rukou je určen objemový prostor 15 m³ na jednoho zaměstnance. Dále musí být pro každého

pracovníka vymezeny 2 m² podlahové plochy. Šíře plochy určené pro pohyb má být minimálně 1 metr.

- je-li pracovní poloha trvale vestoje, musí být pracoviště (pokud je to možno) vybaveno sedátkem pro krátkodobý odpočinek. Neméně podstatná je i opěra pro dolní končetiny.
- optimální výška pracovních ploch je uvedena v Tab. 13

Tab. 13) Optimální výška pracovní plochy [9]

vestoje	800 až 1 000 mm
vsedě (výška nad sedákem) (výška sedáku má být 400 + 50 mm nad podlahou)	muži: 220 až 310 ženy: 210 až 300
při vyšších nárocích na zrak	pracovní rovina + 100 až 200 mm
při vyšší hmotnosti (nad 2 kg) předmětů + práce vestoje:	pracovní rovina - 100 až 200 mm

Minimální opatření k ochraně zdraví při práci (překračuje-li práce dané limity, či možná rizika) jsou bezpečnostní přestávky v trvání 5 až 10 minut po každých 2 hodinách nebo střídání činností zaměstnanců.

3.5 Multikriteriální analýza

Při řešení rozhodovacích úloh je potřeba zvolit z množství různorodých variant tu nejlepší možnou z hlediska více kritérií.

Variantami (alternativami) se rozumí možnosti, které lze uskutečnit. Množina rozhodovacích variant bývá značena písmenem A . A_i (pro $i = 1, 2, \dots, m$). [10]

Kritérii se rozumí hlediska, dle kterých jsou jednotlivé varianty vyhodnocovány. Množina kritérií bývá značena písmenem K . K_j (pro $j = 1, 2, \dots, n$). Dle povahy se kritéria dělí na maximalizační (nejlepší hodnoty = ty nejvyšší) a na minimalizační (nejlepší hodnoty = ty nejnižší). Dle kvantifikovatelnosti lze rozeznat kritéria kvalitativní a kvantitativní. [10]

Kriteriální matice (vzorec (16)) vyjadřuje vztah mezi variantami (řádky matice) a kritérii (sloupce matice). Y_{ij} (pro $i = 1, 2, \dots, m$, pro $j = 1, 2, \dots, n$). [10]

$$\begin{matrix} & k_1 & k_2 & \dots & k_n \\ \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_p \end{matrix} & \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix} & & & \end{matrix} \quad (16)$$

kde:

- k_1, k_2, \dots, k_n ... jednotlivá kritéria
- a_1, a_2, \dots, a_n ... jednotlivé varianty
- $y_{11}, y_{12}, \dots, y_{mn}$... hodnota určitého kritéria

Aspirační úroveň kritéria je hodnota, od které je daná varianta při daném kritériu akceptovatelná. Váha kritéria určuje důležitost daného kritéria mezi ostatními v dané rozhodovací úloze. Její hodnoty se pohybují v intervalu $\langle 0, 1 \rangle$. Součet vah kritérií je roven jedné. [11]

Dominovaná varianta je varianta, jenž může být nahrazena variantou příznivější. Varianta A_i dominuje variantu A_j , jestliže lze nalézt alespoň jedno kritérium, pro které platí $y_{i1} > y_{j1}$, pro zbylá kritéria: $(y_{i2}, y_{i3}, \dots, y_{in}) \geq (y_{j2}, y_{j3}, \dots, y_{jn})$. Varianta s nejvyšší možnou hodnotou se nazývá nedominovatelná, nebo též paretoovská. [11]

Ideální variantou je ta, která dosahuje maximálních hodnot ve všech kritériích. Naopak bazální varianta má všechna kritéria nejhorší. V případě ideální a bazální varianty se mnohdy jedná pouze o hypotetickou variantu. [11]

Kompromisní variantou se nazývá varianta doporučená k řešení, která je [11]:

- nedominovatelná
- jednoznačná
- rozpoznatelná (určitá)
- neměnná, je-li přidána nová dominovaná varianta
- nezávislá na stejných hodnotách určitého kritéria
- neměnná se změnou pořadí kritérií
- neměnná se změnou měřítka (přičtení, vynásobení všech čísel určitou hodnotou)

3.5.1 Metody stanovení vah

Metody vychází ze zdroje [11].

- 1) Rozhodovatel je schopen seřadit kritéria dle důležitosti.
 1. Metoda pořadí – vytvoření pořadí kritérií dle důležitosti a postupné přidělení vah dle tohoto pořadí (stejně rozestupy vah).
 2. Fullerova metoda – výběr hodnotnějšího kritéria vždy ze dvou kritérií (vypsáných nad sebou). Ve vyhodnocení se sečte počet bodů pro každé kritérium a dle toho se rozdělí váhy (tak, aby byl součet 1), viz Tab. 14.

Tab. 14) Fullerova metoda

1	1	1	...	Kritérium	Počet „bodů“	Váha
2	3	4	...	K_1	3	1/2
<hr/>				K_2	1	1/6
	2	2	...	K_3	2	1/3
	3	4	...	K_4	0	0
<hr/>				Celkem	6	1
		3	...			
		4	...			

- 2) Rozhodovatel je schopen seřadit kritéria dle důležitosti a určit jejich rozestupy.
 1. Bodovací metoda - vytvoření pořadí kritérií dle důležitosti a přidělení ekvivalentní váhy dle velikosti preferencí (různé velikosti vah).
 2. Saatyho metoda - výběr hodnotnějšího kritéria ze dvou kritérií, ohodnocení velikosti preference (např 1 až 10). V této metodě je zapotřebí konzistentní matice.
 3. Metoda postupného rozvrhu vah – seskupení kritérií do dílčích skupin dle příbuznosti. Nejprve se určí váhy skupin mezi sebou a následně se rozdělí váhy uvnitř těchto skupin. Výsledné váhy jsou součinem váhy skupiny a váhy daného kritéria.

3.5.2 Metody stanovení pořadí variant

Metody vychází ze zdroje [11].

- 1) Znalost aspirační úrovně
 1. Konjunktivní metoda – vyřazuje všechny varianty, které nesplňují požadovanou aspirační úroveň určitého kritéria/kritérií.
 2. Disjunktivní metoda – vyřazuje všechny varianty, které nesplňují ani jednu požadovanou aspirační úroveň kritéria/kritérií.
 3. PRIAM – víceuroková metoda, při níž se v každém kroku zvyšuje aspirační úroveň některého z kritérií.
- 2) Znalost pořadí variant dle kritérií
 1. Metoda pořadí – jednotlivým variantám se přidělí pořadí v rámci každého kritéria. Ve výsledku se body vynásobí vahami a sečtou – pro každou variantu.
 2. Lexikografická metoda – nejprve je stanoveno nejdůležitější kritérium. Varianty s nejvyššími hodnotami tohoto kritéria se ponechají a stanoví se druhé nejdůležitější kritérium. Výsledkem je jediná nedominovatelná varianta.
 3. Permutační metoda
 4. ORESTE
- 3) Znalost kardinální informace o variantách (dle kritérií)
 1. Maximalizace užitku
 - Bodovací metoda – každému prvku kritériální matice je přiřazen určitý počet bodů daný zvolenou stupnicí. Počet bodů kritéria roste spolu s jeho lepší hodnotou. Pro všechna kritéria je stanoven maximální a minimální počet bodů.
 - Metoda váženého součtu – určení užitku pro každou hodnotu kritéria K_j , vzorce (17), (18) a (19).

$$u_j(A_i) = u_{ij}; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (17)$$

$$u_{ij} = \frac{y_{ij} - d_j}{h_j - d_j}; \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (18)$$

$$u(A_i) = \sum_{j=1}^n w_j \cdot u_{ij} \quad (19)$$

kde:

- u_j ... dílčí užitečná funkce
- u_{ij} ... dílčí užitek
- A_j ... varianta
- y_{ij} ... hodnota
- w_j ... normované váhy jednotlivých kritérií
- d_j ... nejhorší hodnota j-tého kritéria
- h_j ... nejlepší hodnota j-tého kritéria

2. Minimalizace odstupů od ideální varianty
3. Míra substituce
4. Relace založené na preferencích

3.5.3 Bazická bodovací metoda

Pro účely této práce byla vybrána bazická bodovací metoda. Jedná se o metodu, která je dostatečně přesná a relativně rychlá. Pro více informací: [12], [13].

Jednotlivá kritéria důležitá pro hodnocení variant jsou v rámci této metody značeny jako T_1, T_2, \dots, T_n , kde n se obvykle pohybuje v rozsahu od 1 do 100. Jak již bylo zmíněno výše, každému prvku kritériální matice je následně přiřazen určitý počet bodů dle třídění (t_1, t_2, \dots, t_j) daný zvolenou stupnicí.

Zvolená stupnice

$t_1 = 0$ nevyhovující (0 %)	$t_5 = 4$ vyhovující	$t_9 = 8$ velmi dobré
$t_2 = 1$	$t_6 = 5$	$t_{10} = 9$
$t_3 = 2$ velmi slabé	$t_7 = 6$ dobré	$t_{11} = 10$ výborné (100 %)
$t_4 = 3$	$t_8 = 7$	

Každému kritériu je přiřazena váha g_1, g_2, \dots, g_n , kde $0 \leq g_n \leq 1$. Technický stav hodnoceného kritéria v dané variantě lze popsat vzorcem (20).

$$(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n) = (g_1 \cdot t_1, g_2 \cdot t_2, \dots, g_n \cdot t_n) \quad (20)$$

kde:

- $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$... technický stav hodnoceného kritéria
- g_1, g_2, \dots, g_n ... váha
- t_1, t_2, \dots, t_n ... zvolená stupnice

Konečná technická hodnota varianty je dána vzorcem (21).

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^n \tau_i}{\sum_{i=1}^n g_i \cdot t_{max}} = \frac{g_1 \cdot t_1 + g_2 \cdot t_2 + \dots + g_n \cdot t_n}{(g_1 + g_2 + \dots + g_n) \cdot t_{max}} \leq 1 \quad (21)$$

kde:

τ ... konečná technická hodnota varianty

t_{max} ... maximální hodnota ve zvolené stupnici

Ekonomickou hodnotu varianty ξ lze vyjádřit obdobně. Po stanovení technické a ekonomické hodnoty variant mohou být výsledky zaneseny do roviny hodnotícího diagramu ($\xi = f(\tau)$).

3.6 Nepřímé měření spotřeby času pomocí metody Basic MOST

Nepřímé měření času teoreticky nemůže dosáhnout přesnosti času měřeného přímou metodou – je ovšem neméně podstatné. Předpověď trvání určitého děje hraje důležitou úlohu například ve výběru varianty řešení, či vůbec v otázce realizace určitého projektu. Zdroj pro tuto kapitolu: [14].

První časové studie byly aplikovány F. W. Taylorem při přednášce na téma „Soustava kusové sazby, krok k vyřešení dělnické otázky“. Na počátku 19. století vytvořili Frank Bunker a Lilian Gilbertovi první pohybové studie sestávající ze 17-ti therbligů (základních prvků) a z odpočinku.

Roku 1948 představil Harold B. Manard metodu MTM (Methods Time Measurement), v níž zkombinoval časové a pohybové studie. O několik let později, roku 1972, byla zveřejněna metoda MOST (Maynard Operation Sequence Technique) týmu Kjella Zandina, která je založena na podobném principu.

Metoda MOST vychází z fyzikálního principu práce ($W = F \times s$). Dle délky trvání práce lze rozlišit Mini MOST, Basic MOST a Maxi MOST. Aplikace Basic MOST je vhodná pro činnosti trvající 10 sekund až 10 minut (četnost 150x až 1500x za týden), proto bude využita i pro tuto práci.

Pomocí aplikace Basic MOST jsou jednotlivé úkony rozloženy na pohyby. Každému vyšetřenému pohybu je přidělen index dle tabulky (viz Příloha 2 Data karta), který odpovídá desetině časové jednotky TMU (Time Measurement Units). 1 TMU = 0,036 sekund.

Příklad: Pro 8 až 10 kroků je předepsán index 16 = 160 TMU = 5,76 sekund. Pro překonání vzdálenosti 8 až 10 kroků potřebuje obsluha 5,76 sekund.

Příklad II: Jedno klepnutí ruky s kladivem (pohyb pouze zápěstím) je označeno indexem 3 = 30 TMU = 1,08 sekund. Na jedno klepnutí kladivem je zapotřebí 1,08 sekund.

Základem Basic MOSTu jsou 4 hlavní pohybové sekvence.

3.6.1 Obecný pohyb

Přesun objektu z jedné pozice na druhou (manuálně; volně vzduchem) je popsán sekvencí s několika dílčími pohyby, přesněji subaktivitami, Tab. 15 a Tab. 16.

Tab. 15) Subaktivity obecného pohybu

Subaktivity			
A	B	G	P
Action distance	Body motion	Gain control	Placement
vzdálenost činu (většinou horizontální)	pohyb těla (většinou vertikální)	získat kontrolu	umístit

Tab. 16) Sekvence obecného pohybu

Sekvence	Popis	
ABG ABP A	sekvence obecného pohybu	
ABG	získat	uchopit objekt v určité vzdálenosti a výšce
ABP	položít	odložit objekt na danou pozici
A	návrat	návrat do počáteční pozice

Příklad: Operátor ujde 2 kroky (A_3), sehne se (B_6), uchopí těžkou bednu (G_3) a opět se napřímí. Následně popojde o 4 kroky (A_6) a bednu odloží na stůl ($B_0 P_1$).

$$A_3 B_6 G_3 A_6 B_0 P_1 A_0$$

$$(3 + 6 + 3 + 6 + 0 + 1 + 0) \times 10 = 190 \text{ TMU} = 6,84 \text{ s}$$

Příklad II: Montér najednou odebere 6 šroubků ze zásobníku umístěného v dosahu ($A_1 B_0 G_3$) a umístí je po jednom do šesti děr, které jsou ve vzdálenosti cca 12 cm od sebe ($A_1 B_0 P_3$).

$$A_1 B_0 G_3 (A_1 B_0 P_3) A_0 \quad (6)$$

$$(1 + 0 + 3 + (1 + 0 + 3) \times 6 + 0) \times 10 = 280 \text{ TMU} = 10,08 \text{ s}$$

3.6.2 Kontrolovaný pohyb

Kontrolovaný přesun objektu z jedné pozice na druhou (manuálně). Objekt má být přesunut konkrétní cestou, případně je jeho přesun omezen kontaktem s jiným předmětem, Tab. 17 a Tab. 18.

Tab. 17) Subaktivity kontrolovaného pohybu

Subaktivity					
Obecný pohyb			M	X	I
A	B	G			

Action distance	Body motion	Gain control	Move controll	Process time	Align
vzdálenost činu (většinou horizontální)	pohyb těla (většinou vertikální)	získat kontrolu	řízený pohyb	čas procesu (elektrické či mechanické strojní zařízení)	následující kontrolovaný pohyb či zarovnání objektů

Tab. 18) Sekvence kontrolovaného pohybu

Sekvence	Popis	
ABG MXI A	sekvence kontrolovaného pohybu	
ABG	získat	uchopit objekt v určité vzdálenosti a výšce
MXI	přemístit/spustit	kontrolovaně odložit objekt na danou pozici
A	návrat	návrat do počáteční pozice

Příklad: Operátor se sehne (z 50-ti %), uchopí velkou bednu (A₀ B₃ G₃), tlakem ji posune vpřed o více než 50 cm (M₆) a tam ji zarovná na 2 body (> 10 cm) (I₆), napřímí se a vrátí se do výchozí pozice (A₃).

$$A_0 B_3 G_3 M_6 X_0 I_6 A_3$$

$$(0 + 3 + 3 + 6 + 0 + 6 + 3) \times 10 = 210 \text{ TMU} = 7,56 \text{ s}$$

3.6.3 Použití nářadí

Přesun objektu z jedné pozice na druhou (manuálně; volně vzduchem) s použitím nástrojů, případně se „zamyšlením“, Tab. 19 a Tab. 20.

Tab. 19) Subaktivity při použití nářadí

Subaktivity						
F	L	C	S	M	R	T
Fasten	Loosen	Cut	Surface treat	Measure	Record	Think
utáhnout	uvolnit	dělit	povrchová úprava	měřit	zaznamenat	zamyslet se

Tab. 20) Sekvence pohybu s použitím nářadí

Sekvence	Popis	
ABG ABP _ ABP A	sekvence pohybu s použitím nářadí	
ABG	získat	uchopit nástroj
ABP	položít	přiložit nástroj

_	použít nástroj	(znak „_“ zastupuje F, L, C, S, M, R, T)
ABP	položit	odložit nástroj
A	návrat	návrat do počáteční pozice

Příklad: Montér odebere šroubovák ze stolu, u kterého pracuje (A₁ B₀ G₁), vloží jeho hrot do šroubku (A₁ B₀ P₃) a pěti otáčkami šroubek dotáhne (F₁₀). Po ukončení činnosti šroubovák opět odloží (A₁ B₀ P₁) a ruka se vrátí do výchozí pozice (A₁).

A₁ B₀ G₁ A₁ B₀ P₃ F₁₀ A₁ B₀ P₁ A₁

$$(1 + 0 + 1 + 1 + 0 + 3 + 10 + 1 + 0 + 1 + 1) \times 10 = 190 \text{ TMU} = 6,84 \text{ s}$$

4 VARIANTY ŘEŠENÍ

Pila na řezání profilů hliníkového konstrukčního systému (dále jen stroj) by měla sestávat z následujících základních konstrukčních skupin, které budou více či méně propojeny.

- 1) regál na profily hliníkového konstrukčního systému (dále jen Al profily)
- 2) vstupní dopravník Al profilů
- 3) upínání Al profilů
- 4) řezací jednotka
- 5) odměřování délky řezaných Al profilů
- 6) výstupní dopravník Al profilů
- 7) krytování řezací jednotky

Většina skupin je závislá na stupni automatizace výsledného celku – na typu řízení, které je neméně podstatné jako konstrukce sama například v oblasti bezpečnosti a pořizovací ceny. Regál na Al profily, vstupní dopravník a výstupní dopravník Al profilů byly navrženy nezávisle na automatizaci .

V řešeních, jež budou nastíněna níže, není uvažována pásová pila, která se na hliník používá pouze ve výjimečných případech, kde není požadována vysoká rychlost řezu.

Jak již bylo zmíněno výše, existuje mnoho možností posuvu pilového kotouče do řezu. Při vodorovném posuvu do řezu pila zabírá relativně velký prostor za, či případně před, řezaným materiálem – stroj ztrácí na kompaktnosti a je jej zapotřebí vybavit většími kryty. Při špatném upnutí (případně krytování) se tento typ stává významně nebezpečným.

Posuv pily nahoru působí na první pohled ještě nebezpečněji, ale nemusí tomu tak být. Riziko vymrštění dílu lze zmírnit volbou správného pilového kotouče (s pozitivním úhlem čela), který přitlačuje materiál k desce stolu. Dalším opatřením může být umístění středu pilového kotouče mírně před střed průřezu řezaného materiálu, jenž by byl opřen o doraz. Pilový kotouč tak materiál mírně přitlačí ke zmíněnému dorazu. Výhodou této varianty je její kompaktnost a možnost uložení řezacího zařízení ve spodní části stolu (vyšší přehlednost pracovního prostoru).

Mezi bezpečnostně nejvýhodnější varianty se řadí typ s posuvem dolů a typ s otočnou hlavou.

Mezi zvažovanými typy pil budou v ruční, poloautomatické i automatické variantě tyto:

- 1) typ s otočnou hlavou
 - na konzolce (upevněné na desce pracovního stolu) by byla otočně uložena deska s motorem a pilovým kotoučem poháněným přes řemenový převod. Pila by se do řezu dostávala pohybem po oblouku směrem dolů.
 - vhodné pro ruční, poloautomatické i automatické řezání
- 2) typ s posuvem (dolů)

- na rámu (postaveném na desce pracovního stolu) by byla upevněna deska s motorem a pilovým kotoučem poháněným přes řemenový převod. Pila by se do řezu dostávala svislým pohybem dolů.
 - vhodné pro ruční, poloautomatické i automatické řezání
- 3) typ s posuvem nahoru
- pod deskou pracovního stolu by byla upevněna deska s motorem a pilovým kotoučem poháněným přes řemenový převod. Pila by se do řezu dostávala svislým pohybem nahoru.
 - vhodné spíše pro poloautomatické a automatické řezání

4.1 Ruční varianta

Ruční proces řezání je dle normy ČSN EN 13898 +A1 (Obráběcí a tvářecí stroje - Bezpečnost - Pily na studený kov) přesně definován takto [3]:

„Činnost stroje při ručním řezání, při kterém se všechny kroky procesu v posloupnosti obrábění ovládají nebo spouštějí obsluhou.“

Možná řešení vybraných uzlů jsou uvedeny v Tab. 21.

Tab. 21) Možná řešení vybraných uzlů - ruční varianta

řezací jednotka	ruční posuv pilového kotouče do řezu → typ s otočnou hlavou nebo typ s posuvem nahoru
odměřování	ruční odměřování → obsluha přesune odměřovací jednotku do požadované vzdálenosti od místa řezu, kde jednotku zaaretuje. Polotovary k ní následně ručně přikládá
upínání	mechanické upínání → po ustavení konce Al profilu do požadované vzdálenosti od místa řezu obsluha nastaví upínky a mechanicky upne polotovar pneumatické upínání → po ustavení konce Al profilu do požadované vzdálenosti od místa řezu obsluha nastaví upínky a vydá povel (zmáčkne tlačítko) k pneumatickému upnutí polotovaru hydraulické upínání → podobné pneumatickému, avšak silnější
krytování	krytování kotouče a řemenu řezací jednotky
řízení	žádné složitější el. obvod

Při ručním posuvu do řezu je teoreticky nemožné přesně dodržet řezné parametry pro hliník – především posuv 0,01 mm/zub. Nedodržením řezných parametrů dochází k znehodnocení kvality řezu. Tuto nevýhodu se částečně snaží kompenzovat gravitační pily s otočnou hlavou.

Pilu by bylo možno posouvat do řezu i „strojně“, avšak pak by začalo být výhodnější celý stroj zpoloautomatizovat (vyměnit mechanické upínky za pneumatické, upravit kryt a seřadit jednotlivé kroky pomocí relátek do cyklu).

Ač se to zdá nepravděpodobné, ruční odměřování může být stejně přesné, jako odměřování strojní. Důležitý je zde typ přenosu mechanické energie od ruky obsluhy k dorazu (například šroubem s malým stoupáním a velkým průměrem) a lineární snímač s dostatečně velkým rozlišením. Hodnota zjištěná lineárním snímačem by byla zobrazena na displeji.

Upínání mechanické nevyžaduje přísun stlačeného vzduchu, je spolehlivé, cenově nenáročné, avšak zdlouhavé. Upínání pneumatické zkracuje čas potřebný na upnutí, avšak vyžaduje krytování, aby nemohlo dojít ke stlačení článku prstu, či dlaně. Pneumatické upínání je využíváno spíše u poloautomatických či zcela automatických pil.

Výsledný výběr jednotlivých uzlů a jejich technicko-ekonomické vyhodnocení je uvedeno v Tab. 22, Tab. 23, Tab. 24.

Tab. 22) Výsledný výběr jednotlivých uzlů – ruční varianta

řezací jednotka	ruční posuv pilového kotouče do řezu
odměřování	ruční odměřování
upínání	mechanické upínání
krytování	krytování kotouče a řemenu řezací jednotky
řízení	žádné

Tab. 23) Ohodnocení kritérií z technického hlediska – ruční varianta

doba potřebná na 1 řez	cca 64 s (viz Příloha 2 Basic MOST - varianty)
přesnost řezu - tuhost řezací jednotky	dle konstrukce
přesnost odměřování	dle konstrukce → rozlišení i 0,02 mm
kvalita povrchu po řezu (dodržení řezných parametrů)	při ručním řešení nelze přesně dodržet řezné parametry → např. posuv na zub 0,01 mm
složitost konstrukce (předpoklad poruch)	mnohem méně snímačů, čidel a mechaniky, než u automatického řešení → menší předpoklad poruch systému
počet vadných kusů	konstrukce bez hlídání jednotlivých kroků → větší pravděpodobnost vadného kusu
míra údržby	mnohem méně snímačů, čidel a mechaniky, než u automatického řešení → menší potřeba údržby
bezpečnost provozu	konstrukce bez hlídání jednotlivých kroků → větší pravděpodobnost

	úrazu
nenáročnost obsluhy	obsluha je potřebná téměř v každém kroku
ergonomie konstrukce (pro obsluhu)	dle konstrukce
rozměr stoje	dle konstrukce
přehlednost pracovního prostoru	u typu pily s posuvem (dolů) a typu s otočnou hlavou se řezací jednotka nachází nad pracovním prostorem a zamezuje tak otevřenému výhledu na řezaný díl

Tab. 24) Ohodnocení kritérií z ekonomického hlediska – ruční varianta

pořizovací cena	dle hrubé kalkulace cca 168 000 Kč (viz Příloha 3 Kalkulace - variant)
-----------------	--

4.2 Poloautomatická varianta

Poloautomatický stroj nebo stroj s jediným pracovním cyklem je dle normy ČSN EN 13898 +A1 (Obráběcí a tvářecí stroje - Bezpečnost - Pily na studený kov) přesně definován takto [3]:

„Stroj, u kterého strojně ovládané součásti vykonávají jediný cyklus iniciovaný obsluhou.

POZNÁMKA Typický cyklus může být:

- *upnutí materiálu;*
- *posuv nástroje na řezání k materiálu;*
- *proces řezání;*
- *zpětný posuv nástroje na řezání;*
- *uvolnění materiálu.“*

Možná řešení vybraných uzlů jsou uvedeny v Tab. 25.

Tab. 25) Možná řešení vybraných uzlů - poloautomatická varianta

řezací jednotka	strojní (automatický) posuv pilového kotouče do řezu
odměřování	ruční odměřování → obsluha přesune odměřovací jednotku do požadované vzdálenosti od místa řezu, kde jednotku zaaretuje, polotovary k ní následně ručně přikládá. stojní (automatické) odměřování → lineární jednotka (osa) se automaticky přesune do požadované polohy.
upínání	pneumatické upínání → po ustavení Al profilu v požadované vzdálenosti od místa řezu obsluha nastaví upínky a vydá povel (zmáčkne tlačítko) k zahájení cyklu

	hydraulické upínání → podobné pneumatickému, avšak zbytečně silné
krytování	krytování kotouče, řemenu řezací jednotky a pneumatického upínání
řízení	složitější el. obvod řídící systém

Jedna z výhod automatického (strojního) posuvu již byla zmíněna – řezné parametry (například posuv na zub) zůstávají konstantní. Další výhodou může být návaznost řezací jednotky na snímače → řezací jednotka se spustí až po odezvě snímačů v upínání.

Posuv do řezu musí být dostatečně přesný, spolehlivý a „tuhý“. K posuvu motoru s vřetenem (s pilovým kotoučem) do řezu lze použít například:

1) pneumatický válec + tlumič

- pneumatický válec sám o sobě neumí zajistit vysoce přesný a konstantní pohyb
- síly vznikající při řezu nebudou konstantní (i vzhledem k proměnlivosti profilu) → vibrace → bez tlumiče by pneumatický válec „propružoval“

2) hydraulický válec

- hlavní výhodou hydrauliky je její nestlačitelnost, proto není v tomto případě zapotřebí žádný tlumič
- nevýhodou je potřeba čerpadla

Jelikož firma, zadávající tuto práci, disponuje rozvody stlačeného vzduchu, je příznivější variantou právě stlačený vzduch spolu s tlumičem.

Ruční odměřování již bylo zmíněno výše. Jeho výhodou je dostatečná přesnost a nízká pořizovací cena. Nemůže však strojnímu odměřování konkurovat v „efektivnosti“. Přesněji řečeno, ruční posuv vyžaduje přítomnost a námahu obsluhy, zatímco posuv strojní probíhá automaticky. Tím spíše, pokud se odměřování nejen automaticky přestavuje, ale pokud k němu i polotovar automaticky přijíždí. Toto řešení se však již více přibližuje následující, automatické variantě, proto bude posuzováno níže.

Upínání pomocí pneumatiky je pro dané problémy rozšířeným a výhodným řešením. Pneumatika má jednu příjemnou výhodu – pístnice se vysouvá tak dlouho, dokud nenarazí na překážku, na kterou následně působí veškerou svou silou, což je výhodné při řezání různorodých profilů. Problém může nastat s vyhodnocováním → pokud se mění vysunutí pístnice, nelze přesně nastavit snímač koncové polohy. Další výhodou tohoto pohonu je linearita pohonu – není třeba žádných dalších převodů.

Výše vyzdvihované vlastnosti má i upínání hydraulické. Pneumatika je však pro danou aplikaci dostatečně silná. Nespornou výhodou pneumatiky je její dostupnost (jak bylo zmíněno výše – firma disponuje rozvody stlačeného vzduchu).

U poloautomatické varianty je zapotřebí krytovat nejen kotouč, ale i automatické upínání, které by mohlo způsobit stlačení části lidského těla (prstů, dlaně...). Kryt může být dle určení stroje pevný či pohyblivý (otevíratelný).

Výsledný výběr jednotlivých uzlů a jejich technicko-ekonomické vyhodnocení je uvedeno v Tab. 26, Tab. 27, Tab. 28.

Tab. 26) Výsledný výběr jednotlivých uzlů – poloautomatická varianta

řezací jednotka	strojní (automatický) posuv pilového kotouče do řezu
odměřování	ruční odměřování
upínání	pneumatické upínání
krytování	krytování kotouče, řemenu řezací jednotky a pneumatického upínání
řízení	složitější el. obvod

Tab. 27) Ohodnocení kritérií z technického hlediska – poloautomatická varianta

doba potřebná na 1 řez	cca 52 s (viz Příloha 2 Basic MOST - varianty)
přesnost řezu - tuhost řezací jednotky	dle konstrukce
přesnost odměřování	dle konstrukce → rozlišení i 0,02 mm
kvalita povrchu po řezu (dodržení řezných parametrů)	posuv kotoučové pily do řezu je zprostředkován pneumatickým válcem, který je usměrňován tlumičem rázů → lze přesně dodržet řezné parametry
složitost konstrukce (předpoklad poruch)	o něco méně snímačů, čidel a mechaniky, než u automatického řešení → menší předpoklad poruch
počet vadných kusů	konstrukce s částečným hlídáním jednotlivých kroků → nižší pravděpodobnost vadného kusu než u ruční varianty
míra údržby	o něco méně snímačů, čidel a mechaniky, než u automatického řešení → menší potřeba údržby
bezpečnost provozu	konstrukce s hlídáním méně bezpečných kroků → velmi nízká pravděpodobnost úrazu
nenáročnost obsluhy	obsluha je potřebná u odměřování
ergonomie konstrukce (pro obsluhu)	dle konstrukce
rozměr stoje	dle konstrukce
přehlednost pracovního prostoru	dle konstrukce

Tab. 28) Ohodnocení kritérií z ekonomického hlediska – poloautomatická varianta

pořizovací cena	dle hrubé kalkulace cca 199 000 Kč (viz Příloha 3 Kalkulace - variant)
-----------------	--

4.3 Automatická varianta

Automatický stroj je dle normy ČSN EN 13898 +A1 (Obráběcí a tvářecí stroje - Bezpečnost - Pily na studený kov) přesně definován takto [3]:

„Stroj, u kterého strojně ovládané součásti vykonávají nepřetržité nebo opakované cykly, přičemž první cyklus je iniciován prvním spuštěním ovládacího systému obsluhou; cykly probíhají buď až do dosažení automaticky určených podmínek nebo do signálu zastavení, daného obsluhou.

POZNÁMKA Typický cyklus může být:

- *podávání řezaného materiálu;*
- *upnutí řezaného materiálu;*
- *posuv nástroje na řezání řezaným materiálem;*
- *zpětný posuv nástroje na řezání;*
- *uvolnění obrobku;*
- *vyložení obrobku;*
- *uvolnění řezaného materiálu;*
- *opakování uvedeného cyklu až do signálu zastavení.“*

Automatická varianta se od poloautomatické liší dle definice hlavně ve vícenásobném opakování určitého cyklu. K tomu je zapotřebí jednak automatické odměřování, automatický posuv materiálu do řezu a také složitější řídicí systém.

Výsledný výběr jednotlivých uzlů a jejich technicko-ekonomické vyhodnocení je uvedeno v Tab. 29, Tab. 30, Tab. 31.

Tab. 29) Výsledný výběr jednotlivých uzlů – automatická varianta

řezací jednotka	strojní (automatický) posuv pilového kotouče do řezu
odměřování	strojní (automatické) odměřování
upínání	pneumatické upínání
krytování	krytování kotouče, řemenu řezací jednotky a pneumatického upínání
řízení	řídicí systém

Tab. 30) Ohodnocení kritérií z technického hlediska – automatická varianta

doba potřebná na 1 řez	cca 35 s (viz Příloha 2 Basic MOST - varianty)
přesnost řezu - tuhost řezací jednotky	dle konstrukce
přesnost odměřování	dle konstrukce → rozlišení i 0,02 mm
kvalita povrchu po řezu (dodržení řezných	posuv kotoučové pily do řezu je zprostředkován pneumatickým válcem, který je usměrňován tlumičem rázů → lze přesně dodržet

parametrů)	řezné parametry
složitost konstrukce (předpoklad poruch)	více snímačů, čidel a mechaniky, než u ručního řešení → vyšší předpoklad poruch
počet vadných kusů	konstrukce s hlídáním jednotlivých kroků → nízká pravděpodobnost vadného kusu
míra údržby	více snímačů, čidel a mechaniky, než u ručního řešení → menší potřeba údržby
bezpečnost provozu	konstrukce s hlídáním méně bezpečných kroků → velmi nízká pravděpodobnost úrazu
nenáročnost obsluhy	obsluha je potřebná u odměřování
ergonomie konstrukce (pro obsluhu)	dle konstrukce
rozměr stoje	dle konstrukce
přehlednost pracovního prostoru	dle konstrukce

Tab. 31) Ohodnocení kritérií z ekonomického hlediska – automatická varianta

pořizovací cena	dle hrubé kalkulace cca 376 000 Kč (viz Příloha 3 Kalkulace - variant)
-----------------	--

5 VÝBĚR NEJVÝHODNĚJŠÍ VARIANTY

K výběru nejvýhodnější varianty byla využita bazická bodovací metoda (3.5.3 Bazická bodovací metoda).

Celkem bylo zvoleno 12 kritérií s různorodou důležitostí (vahou). Následně došlo k bodovému ohodnocení každého kritéria v rámci jednotlivých variant a byla vypočtena konečná technická hodnota (průměrný počet bodů) pro každou variantu.

- VAR I = ruční pracoviště
- VAR II = poloautomatické pracoviště
- VAR III = automatické pracoviště

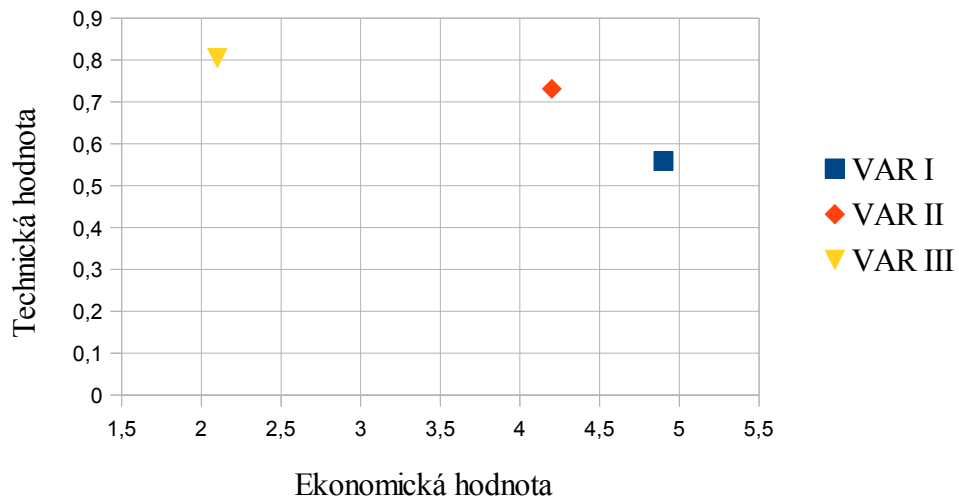
S růstem technické hodnoty roste kvalita zařízení. Jak je patrné z Tab. 32, nejvyšší konečnou technickou hodnotu (0,8 bodů) má varianta III (automatické pracoviště), o 0,7 bodu zaostává varianta II (poloautomatické pracoviště) a o 2,4 varianta I (ruční pracoviště). Na základě těchto informací by mělo být k realizaci doporučeno automatické pracoviště. Nicméně v oblasti ekonomického stavu si automatická varianta stojí nejhůře, je vzdálena o 2,8 bodu od pracoviště ručního.

Tab. 32) Bodové ohodnocení jednotlivých variant

KRITÉRIUM	VÁHA KRITÉRIA	OHODNOCENÍ KRITÉRIA			TECHNICKÝ STAV		
		VAR I	VAR II	VAR III	VAR I	VAR II	VAR III
doba potřebná na jeden řez	0,8	4	5	9	3,2	4	7,2
přesnost řezu (tuhost řezací jednotky)	0,9	8	8	8	7,2	7,2	7,2
přesnost odměřování	0,9	8	8	8	7,2	7,2	7,2
kvalita povrchu po řezu (dodržení řezných parametrů)	0,9	2	8	8	1,8	7,2	7,2
jednoduchost konstrukce (předpoklad poruch)	0,5	8	6	5	4	3	2,5
nízký počet vadných kusů	0,7	3	6	8	2,1	4,2	5,6
nízká míra údržby	0,5	9	8	7	4,5	4	3,5
bezpečnost provozu	1	4	8	9	4	8	9
nenáročnost obsluhy	0,6	3	6	9	1,8	3,6	5,4
ergonomie konstrukce (pro obsluhu)	0,8	8	8	8	6,4	6,4	6,4
rozměr stoje	0,5	8	8	8	4	4	4
přehlednost pracovního prostoru	0,6	4	8	8	2,4	4,8	4,8
	SOUČET VAH				KONEČNÁ TECHNICKÁ HODNOTA		
	8,7				0,56	0,73	0,8
KRITÉRIUM	VÁHA KRITÉRIA	OHODNOCENÍ KRITÉRIA			EKONOMICKÝ STAV		
		VAR I	VAR II	VAR III	VAR I	VAR II	VAR III
nízká pořizovací cena	0,7	7	6	3	4,9	4,2	2,1

Řešení je názorné v grafu závislosti technického stavu na stavu ekonomickém (Graf 1). Nejvýhodnější variantou je pak ta nejposlednější vpravo nahoře – varianta poloautomatická.

KONEČNÁ TECHNICKO-EKONOMICKÁ HODNOTA



Graf 1) Konečná technicko-ekonomická hodnota

6 ZPRACOVÁNÍ VYBRANÉ VARIANTY

Pila na řezání hliníkových profilů (viz Obr. 6) sestává ze 4 základních konstrukčních celků:

- vstupní regál
- pila – řezací zařízení
- odměřování
- výstupní regál

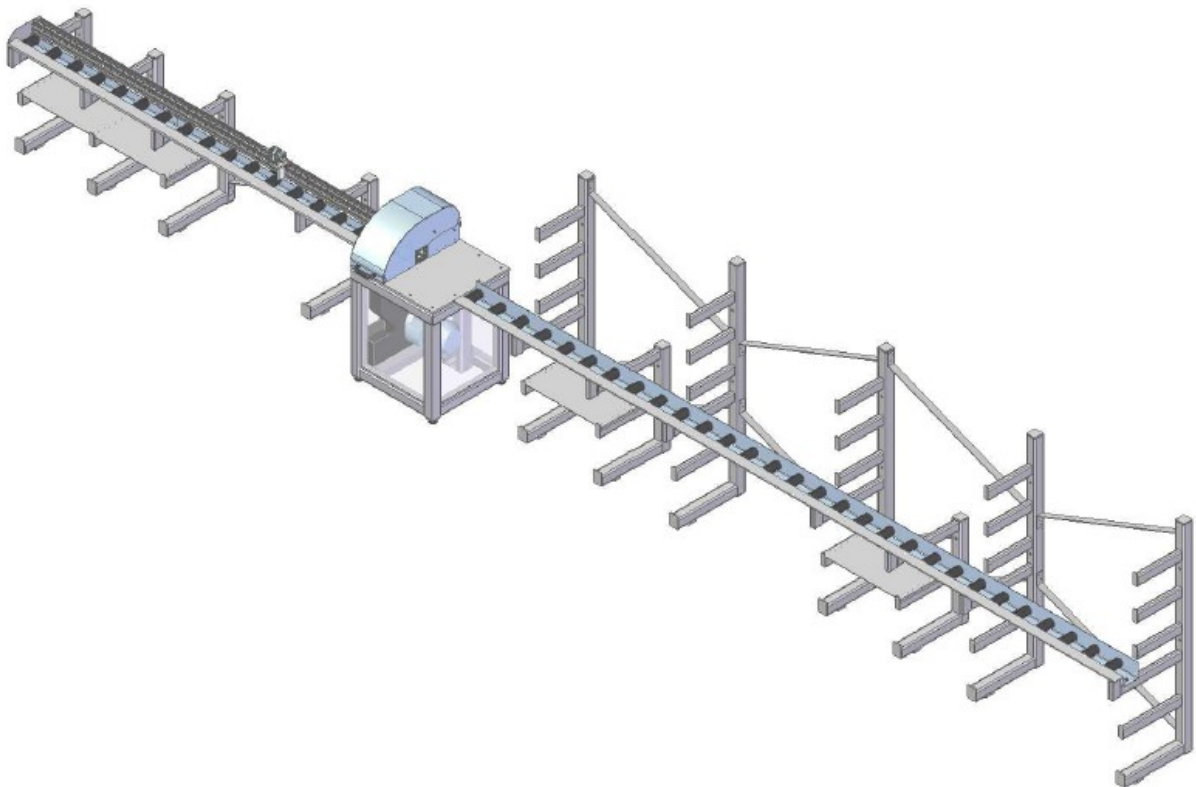
V následujících podkapitolách budou skupiny podrobněji rozepsány. Základní parametry navrženého zařízení jsou uvedeny v Tab. 33.

Tab. 33) Základní parametry navrženého zařízení

Název	Pila na profily hliníkového konstrukčního systému
Výkon	5,5 kW
Řezná rychlost	50 m/s
Maximální celková odchylka snímače od požadované polohy	0,005 mm
Pilový kotouč	500x4/3,2x30
Minimální profil řezaného materiálu	30 x 30 mm
Maximální profil řezaného materiálu	100 x 100 mm
Minimální řezaná délka	150 mm
Tuhost konstrukce	vysoká
Mazání	možno doplnit
Vstupní dopravník	na 6-ti metrové profily
Výstupní dopravník	na 3-metrové profily
Hmotnost	cca 1300 kg
Rozměry pily (řezacího zařízení) (v x š x d)	1640 (otevřený kryt)/1220 (uzavřený kryt) x 750 x 898 mm
Rozměry vstupního dopravníku (v x š x d)	1825 x 710 x 6000 mm
Rozměry výstupního dopravníku (v x š x d)	900 x 710 x 3353 mm
Celkové rozměry pily	1825 x 898 x 10103 mm

Popis funkce

- motor je ve výchozí pozici jištěn pojistkou
- po uzavření krytu a současném sepnutí tlačítek S1 a S2 (a ověření, že je motor v dolní poloze) se spustí motor a upínky sjedou dolů
- upínání je ovládáno třípolohovým ventilem (Ve výchozím stavu ventilem neprochází vzduch. Až po přivedení proudu se ventil posune vlevo nebo vpravo a povolí přívod/odvod vzduchu do/z pneumatického válce. Po přerušení přívodu proudu se ventil opět vrátí do výchozí polohy. Nebezpečí ztráty upínací síly při poruše dodávky vzduchu je takto eliminováno na minimum.)
- tlakový snímač vyhodnotí dostatečné upnutí řezaného materiálu a dá povel k odjištění pojistky motoru
- po odjištění začne vyjíždět pneumatický válec (pro posuv do řezu) nahoru, zastaví se aktivací čidla, které detekuje horní polohu válce a jede zpět dolů
- pneumatický válec (pro posuv do řezu) je ve spodní poloze mechanicky zajištěn pojistkou (jednočinným pneumatickým válcem) a vyhodnocen patřičným čidlem
- posuv pneumatického válce do řezu třípolohovým ventilem. (Ve výchozím stavu ventilem neprochází vzduch. Až po přivedení proudu se ventil posune vlevo nebo vpravo a povolí přívod/odvod vzduchu do/z pneumatického válce. Po přerušení přívodu proudu se ventil opět vrátí do výchozí polohy. Nebezpečí nestability a trhavého pohybu při ztrátě vzduchu nad pístnicí při výjezdu nahoru je eliminováno na minimum.)



Obr. 6) Celková sestava

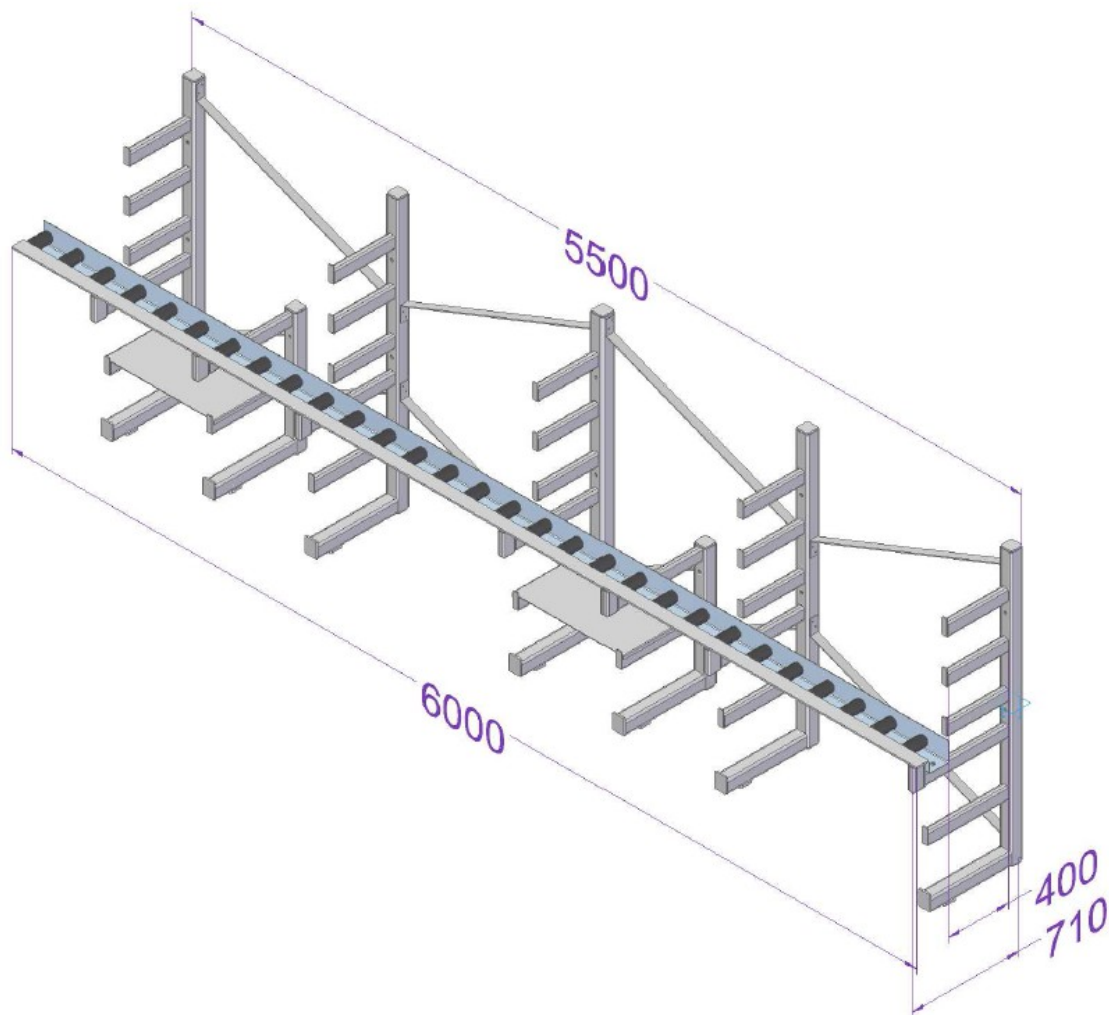
- následuje uvolnění řezaného materiálu, jakmile upínky vyjedou do horní polohy (kontrola snímačem), lze otevřít kryt
- motor je možno zastavit tlačítkem STOP

6.1 Vstupní regál

Celkovou vstupní regálovou sestavu (viz Obr. 7) tvoří 5 stojin o výšce 1800 mm a 2 stojiny kratší (dosahující pouze k dopravníku). Tato různorodost zajistí možnost vkládat do regálu i kratší řezaný materiál. Ke vkládání ještě menšího materiálu mohou být nižší příčky stojin doplněny o police.

Větší stojiny jsou rovnoměrně rozloženy po délce 5500 mm. Mezi první a druhou zleva a pak čtvrtou a pátou se nachází stojiny menší. V pořadí na třetí příčce, v zahloubení, (na nejvyšší příčce menších stojin) je uložen válečkový dopravník dlouhý 6000 mm. Před dopravníkem (u obsluhy) se nachází 6000 mm dlouhá deska, která tak zvětšuje plochu na níž je profil položen.

Zmíněné stojiny jsou vyrobeny z obdélníkových jechlů z materiálu S235JRG1. Na jecku 80x80x6 délky 1800 mm, přišroubovanému do zdi, je přivařeno 6 příček. K první,



Obr. 7) Regál se vstupním dopravníkem

nejspodnější příčce (80x80x6 délky 530 mm), jsou ze spodní strany přivařeny dvě patky, přes které je regál přišroubován k podlaze. Výška přední patky se od té zadní liší o 5 milimetrů → regál se opírá o zeď. Horní plocha třetí příčky 80x40x5 sahá do výšky 820 mm, od země. Po odečtení výřezu v jeklu pro válečkový dopravník (2 mm) a přičtení výšky válečkového dopravníku (82 mm) vychází výška pracovní plochy na 900 mm. Tato příčka je nejdelší (příčky nižší jsou kratší, aby o ně obsluha nezakopávala a příčky vyšší jsou kratší, aby mohlo docházet k bezproblémové manipulaci s řezaným materiálem).

Zvolený válečkový dopravník (Paletová lišta Groovy NR 210, Drašar) má ocelové válečky s potahem z 2 mm PVC, integrované ložisko a nosnost až 200 kg na váleček o průměru 82 mm. Zadní strana dopravníku je zvýšena o 430 mm nad válečky a tvoří tak pevnou oporu pro řezaný materiál. Dopravník má na šířku 130 mm. Povlak válečků by měl zabránit možnému poškození řezaného materiálu. Válečky jsou od sebe vzdáleny 200 mm, s nosností až 160 kg/váleček.

Hloubka horních příček regálu je 400 mm, což stěží odpovídá normám pro dosah člověka. K tomu je zapotřebí připočítat šířku dopravníku (130 mm) a onu desku (80 mm). Není v lidských silách využít (hlavně ve vyšších polohách) hloubku regálu 610 mm, i proto se předpokládá využití vozíku se speciálními úvazy. Vozík se speciálními úvazy bude muset být stejně použit pro pokládání těžších polotovarů na dopravník (profil 100 x 100 váží až 60 kg).

Proti klopení do stran jsou mezi každými dvěma stojinami zpevnění.

Popis funkce:

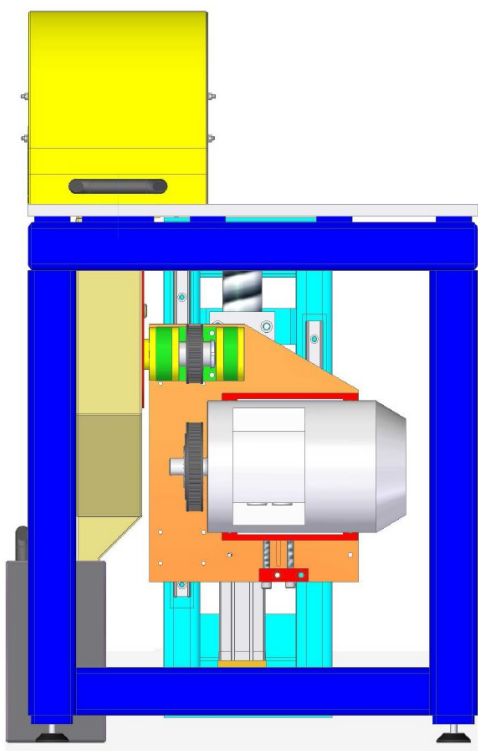
Regál je určen ke skladování řezaného materiálu. Při manipulaci s materiálem je třeba dbát zvýšené bezpečnosti a v případě potřeby využít vhodný manipulační prostředek – například vozík s úvazy určenými pro daný typ materiálu. Po odebrání materiálu z příček je tento vložen na dopravník, přitlačen k zvýšené zadní straně dopravníku a manuálně přesouván přes řezací zařízení až k dorazu. Přitlačení materiálu k zadní straně dopravníku je velmi důležité pro výslednou přesnost řezu.

6.2 Řezací zařízení - pila

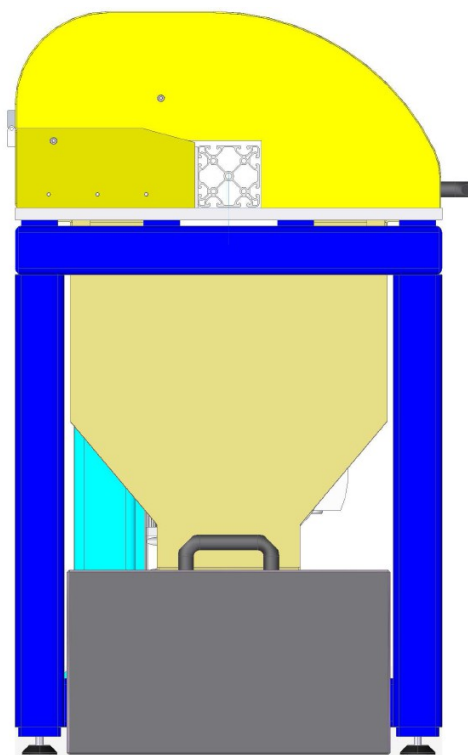
Konstrukce řezacího zařízení - pily je stěžejním bodem této diplomové práce. Navržená pila sestává z několika podskupin:

- rám
- řezací jednotka
- posuvová jednotka
- upínání
- kryty

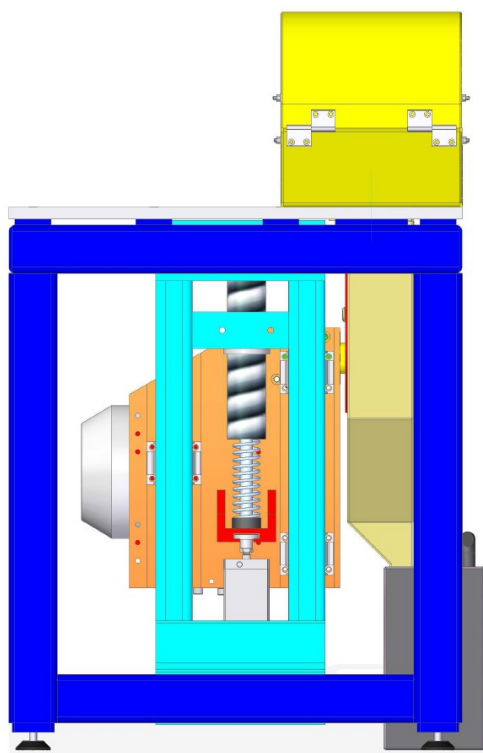
Zařízení zobrazené níže (viz Obr. 8, Obr. 9, Obr. 10, Obr. 11) je blíže popsáno v následujících podkapitolách.



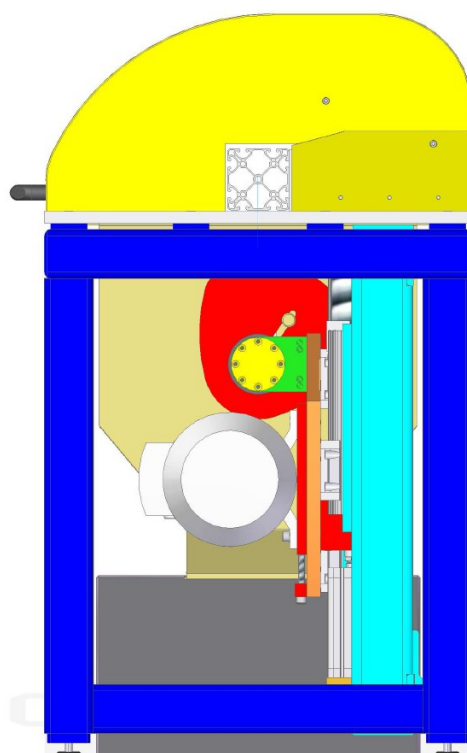
Obr. 8) Pila - zepředu



Obr. 9) Pila - ze strany výstupu



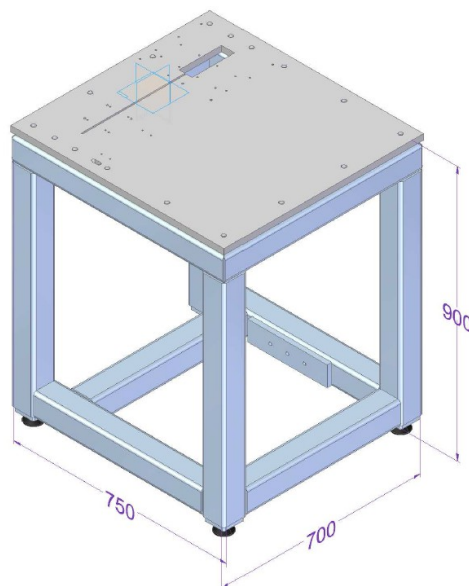
Obr. 10) Pila - zezadu



Obr. 11) Pila - ze strany vstupu

6.2.1 Rám

Rám (viz Obr. 12) je nosnou konstrukcí pily. Sestává ze čtvercových jeklů 80x80x5 svařených do pevné konstrukce. Uvnitř rámu se nachází posuvová jednotka unášející jednotku řezací. Horní část rámu tvoří hliníková deska (hliníková proto, aby nedošlo k poškrábání řezaného materiálu). Na desce jsou uloženy čtyři upínky a kryt.



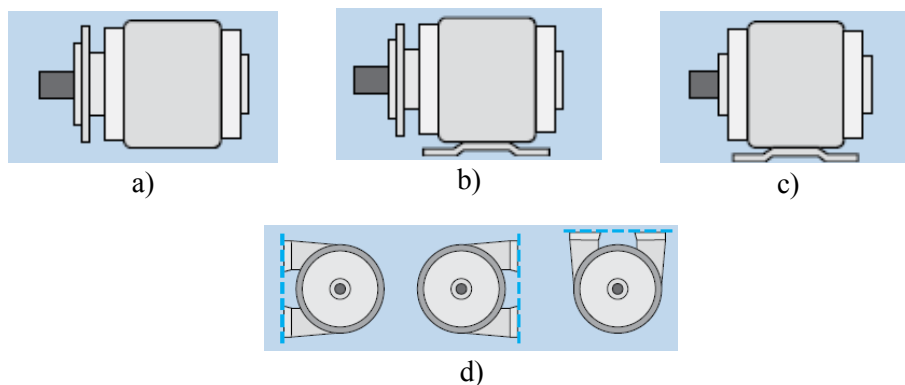
Obr. 12) Rám

6.2.2 Řezací a posuvová jednotka

Po mnoha peripetiích byl zvolen typ pily s posuvem nahoru pro svou kompaktnost a přehlednost pracovního prostoru. Je tedy nasnadě, že řezací jednotka bude pod deskou stolu. Jejími hlavními komponenty budou: pilový kotouč, řemenový převod (2x řemenice + řemen) a motor. Možností seskupení dané sestavy je velmi mnoho. Samotný motor lze zakoupit ve třech základních provedeních viz Obr. 13):

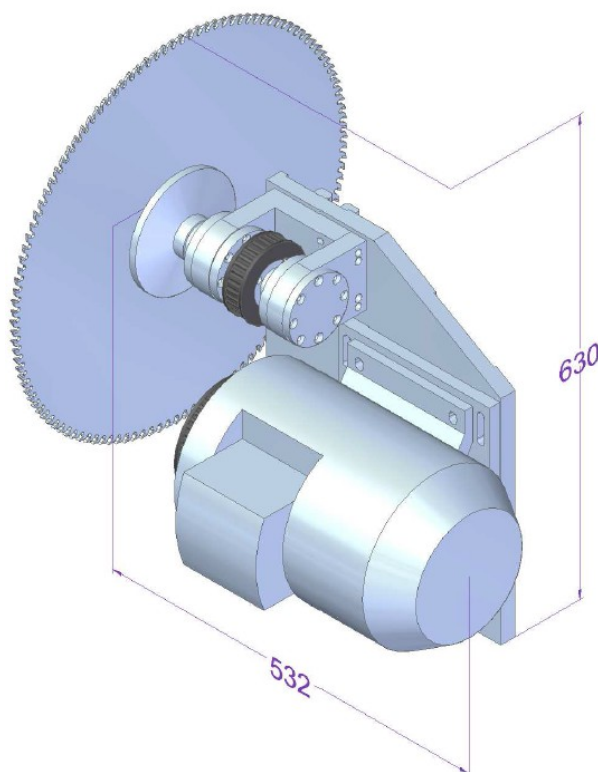
1. Motor s přírubou – provedení, kdy je motor uchycen k pevné desce pomocí příruby. Pokud by na této desce byly uloženy i vozíky lineárního vedení, působil by na ně příliš velký ohybový moment vyvolaný jednak tíhou motoru a také řezem samotným. Proto by v rámci tohoto způsobu uložení motoru musela být přidána další deska právě pro vhodné vedení vozíků. Motor s patkami a přírubou – provedení, kdy je motor uchycen k pevné desce pomocí patek, k přírubě pak může být uchyceno vedení pilového kotouče. Přichycení řezného kotouče k motoru může vyvolat velké chvění a nepřesnosti. Příruba by musela být zpevněna a uchycena k rámu. Uchycovat motor k rámu 2x je zbytečné.
2. Motor s patkami – provedení, kdy je motor uchycen k pevné desce pomocí patek. Lze využít i uchycení motoru z boku, nebo shora. Jelikož se předpokládá využití lineárního vedení, je výhodné umístit motor z boku. Takto lze řezací jednotku přímo přišroubovat k vozíkům lineárního vedení a není zapotřebí vytvářet další součástky. Uložení z boku je výhodné i pro uložení pneumatického válce s tlumičem. Tlumič lze dát přímo nad pneumatický válec, čímž se eliminuje chvění a nepřesnost, která by mohla vzniknout při uložení zmíněných prvků vedle sebe. Osa pilového kotouče musí být rovnoběžná s osou motoru a vzdálena od něj 166 mm (vypočtená vzdálenost řemenic).

Vzdálenost vrcholu pilového kotouče od horní hrany motoru musí být vyšší než 140 mm (130 mm = zdvih, 10 mm = rezerva).



Pro výslednou konstrukci (viz Obr. 14) byl zvolen motor (SIMOTICS GP 1LE1, Siemens [15]) s patkami přichycený na desku motoru z boku. Tato deska je následně přišroubována k základové desce, v jejíž horní části se nachází sestava pilového kotouče. Desky lze mezi sebou vertikálně posunout, čímž dojde k napnutí řemene mezi řemenicí na vřetenu a řemenicí motoru.

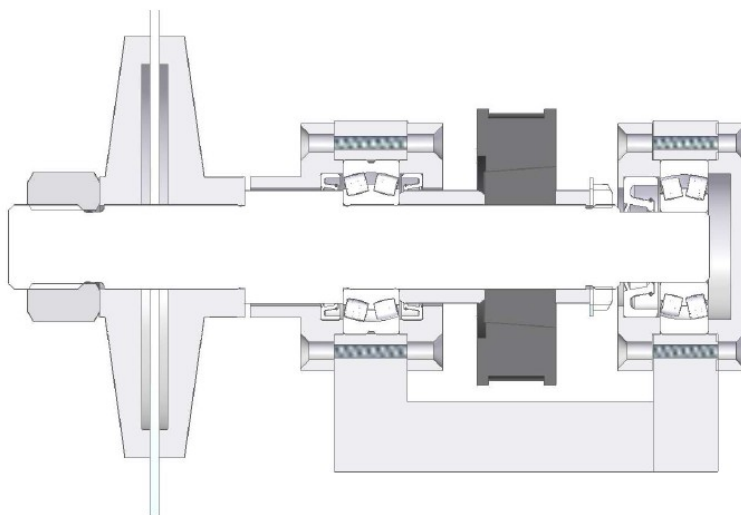
Vybraný motor se zvýšeným výkonem o velikosti 112M (osová výška = 112 mm) má výkon 5,5 kW (výpočet viz.), otáčky 1420 1/min a moment pak 37 Nm. Účinnost při dílčím zatížení $\frac{3}{4}$ jmenovitého zatížení se pohybuje kolem 96,5 %. [15]



Obr. 14) Řezací jednotka

Jednotlivé komponenty na vřetenu (viz Obr. 15) jsou uloženy následovně (směrem k pilovému kotouči) (viz Příloha 1 – výpočty a Příloha 5 – výkresy)

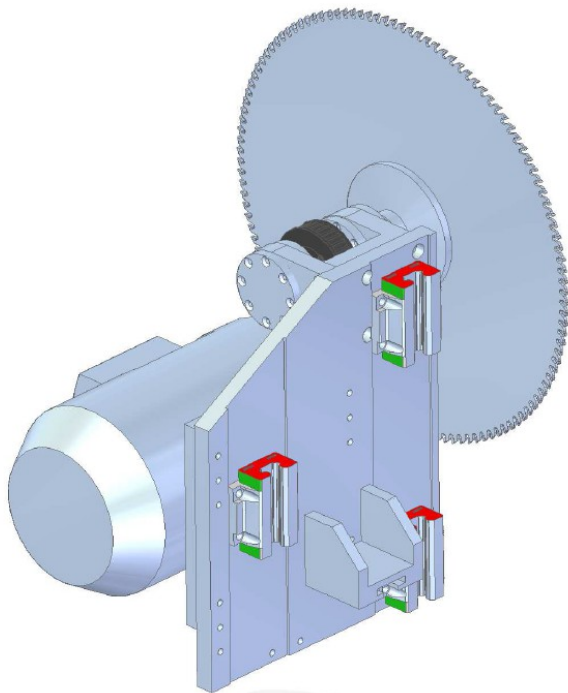
1. soudečkové ložisko (22206 E, SKF [16], Příloha 1) – to je výhodné nejen díky své radiální únosnosti, ale i díky možnosti zachycení případných axiálních sil, pouzdra ložisek jsou svázána kolíky kvůli vymezení vůlí
2. hřídelové těsnění
3. KM matice s podložkou
4. distanční váleček – vymezuje vůli mezi KM maticí s podložkou a řemenicí
5. řemenice (36-08M-20 TB, Tyma [11], Příloha 1) - byla vybrána řemenice s pouzdem TAPER, které zabezpečuje řemenici proti axiálnímu posuvu.
6. distanční váleček – vymezuje vůli mezi soudečkovým ložiskem a řemenicí
7. soudečkové ložisko (21305 CC, SKF) [16]– z pravé strany se zapírá o osazení
8. delší příruba – uložena s přesahem na hřídeli a zajištěna perem, je delší, aby zabránila vyosení (naklopení) pilového kotouče. Z pravé strany má přišroubované dva válečky, které přesně zapadají do výřezů v pilovém kotouči a do otvorů v druhé přírubě. Válečky usnadňují výměnu pilového kotouče a zároveň zajišťují jeho stálou polohu („neprotčení“) vzhledem k přírubám
9. pilový kotouč (87-13TFZ P, 500x4/3,2x30, Pilana [3]) – vzhledem k maximálnímu průřezu řezaného materiálu 100 x 100 mm by se zdál vyhovujícím kotouč o průměru 350 mm. To však neplatí pro hliník – doporučený průměr (a zvolený průměr) kotouče činí 500 mm. Vybraný kotouč je pro pily se strojním posuvem na řezání hliníku, plastů a syntetických materiálů.
10. kratší příruba
11. matka



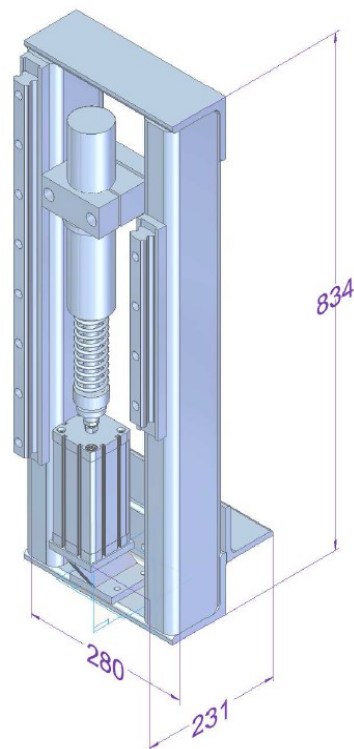
Obr. 15) Vřeteno

Motor je do řezu vysouván kompaktním pneumatickým válcem (ADN 130-A-P-A-S10, Festo [18]), uloženým ze zadní strany nosné desky. Síla pneumatického válce při výsuvu dosahuje 1870 N. Viz Obr. 17.

Jelikož pneumatický válec nedokáže zaručit přesnost pohybu (v rámci posuvu na zub), nachází se ve stejné ose i tlumič (působící proti pohybu válce). Válec s tlumičem jsou umístěny v takové pozici, aby vozíky lineárního vedení (HGW30CC, Hiwin [12]) přenášely co nejmenší sílu. Zmíněné vozíky jsou celkem 3 (viz Obr. 16) - dva z pravé strany pneumatického válce a jeden ze strany levé (ten vyrovnává vznikající momenty). Výpočet vozíků je uveden v příloze.



Obr. 16) Řezací jednotka - zezadu



Obr. 17) Posuvová jednotka

Výpočet tlumiče – těleso s hnací silou, viz Obr. 18 [17]

$$F_{pmax} = 1870 \text{ N}$$

$$F_f = 75 \text{ N}$$

$$m = 85 \text{ kg}$$

$$s_{tl} = 130 \text{ mm}$$

$$c_{tl} = 60 \text{ cyklů/h}$$

$$W_{tl1} = 0 \text{ Nm (dopadová rychlost je nulová)}$$

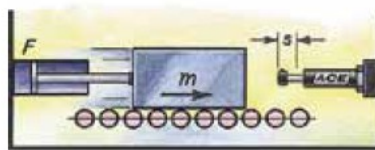
$$W_{3tl} = W_{tl1} + W_{tl2} = 0 + W_{tl2} = W_{tl2}$$

Maximální energie od hnací síly za 1 cyklus

$$W_{2tl} = (F_{pvmax} - m \cdot g - F_f) \cdot s_{tl} \quad (22)$$

$$W_{2tl} = (1870 \text{ N} - 85 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} - 75 \text{ N}) \cdot 0,130 \text{ m}$$

$$W_{2tl} = 125 \text{ Nm}$$



Obr. 18) Tlumič a působící síly [17]

Maximální celková energie za hodinu

$$W_{4tl} = W_{3tl} \cdot c_{tl} \quad (23)$$

$$W_{4tl} = 125 \text{ Nm} \cdot 60 \text{ cyklů/h}$$

$$W_{2tl} = 7500 \text{ Nm}$$

kde:

W_{1tl} ... kinetická energie za 1 cyklus

W_{2tl} ... maximální energie od hnací síly za 1 cyklus [Nm]

F_{pvmax} ... hnací síla

m ... hmotnost tělesa [kg]

g ... tíhové zrychlení [m/s^2]

F_f ... posuvová síla [N]

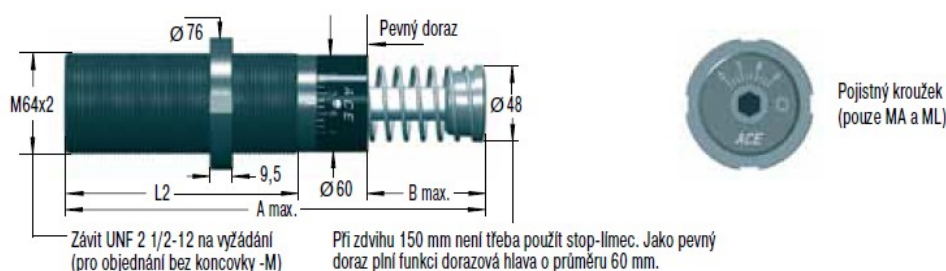
s_{tl} ... zdvih tlumiče [m]

W_{3tl} ... maximální celková energie za cyklus [Nm]

W_{4tl} ... maximální celková energie za hodinu [Nm]

c_{tl} ... počet cyklů [cyklus/h]

Vzhledem k tomu, že rychlost dopadu hmotnosti na tlumič je nulová, tak maximální možná celková energie dosahuje k pouhým 125 Nm/zdvih. Volba tlumiče tak závisí především na požadovaném zdvihu. Zvolený nastavitelný tlumič (MA64150EUM, Bibus, viz Obr. 19 [17]) s maximálním zdvihem 150 mm snese energii až 6120 Nm na zdvih, zpětná síla se pohybuje v intervalu 75 až 365 N, vratný čas pístitnice je 0,48 s a hmotnost 5,1 kg. Tlumič má téměř po délce základního tělesa vyřezán závit M64x2 a dosahuje maximální délky 450 mm.

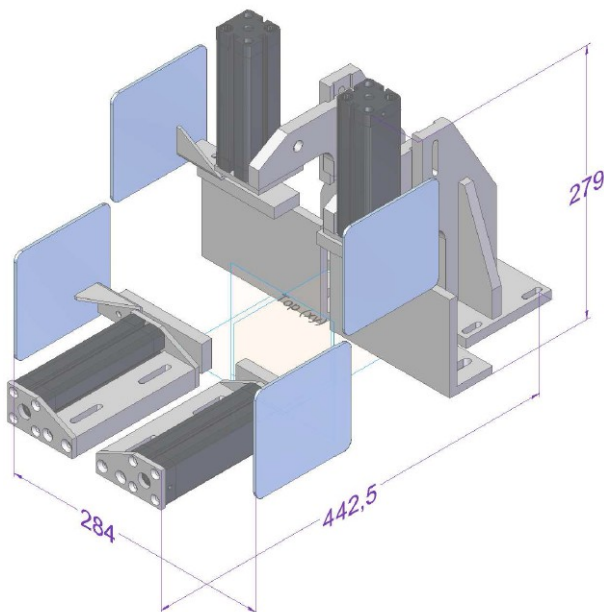


Obr. 19) MA64150EUM, Bibus [17]

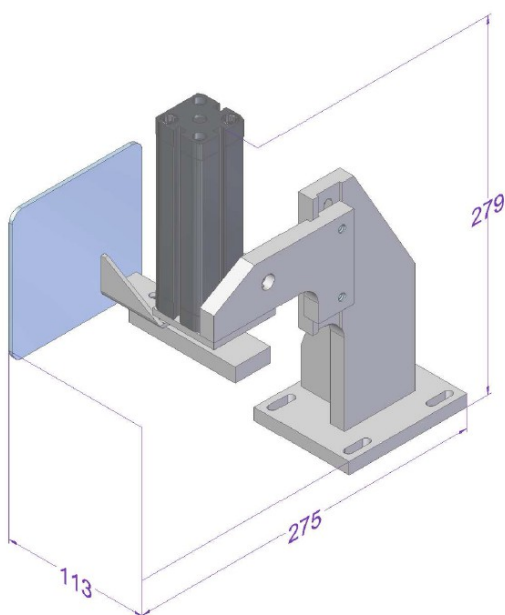
6.2.3 Upínání

Sestavu upínání (viz Obr. 20) tvoří 4 upínací podsestavy – dvě upínací jednotky horní (viz Obr. 21) a dvě boční (viz Obr. 22). Základem každé jednotky je pneumatický válec (ADN-25-100-A-P-A-Q, Festo [18]), který dokáže vyvodit sílu 295 N při pohybu vpřed. Vzhledem k velikosti vznikajících sil je soustava upínek několikanásobně předimenzována, aby byla zaručena bezpečnost. Z vnější strany každé upínky se nachází krytka krytu. Tato při sjíždění pneumatického válce dolů zakrývá výřez v krytu.

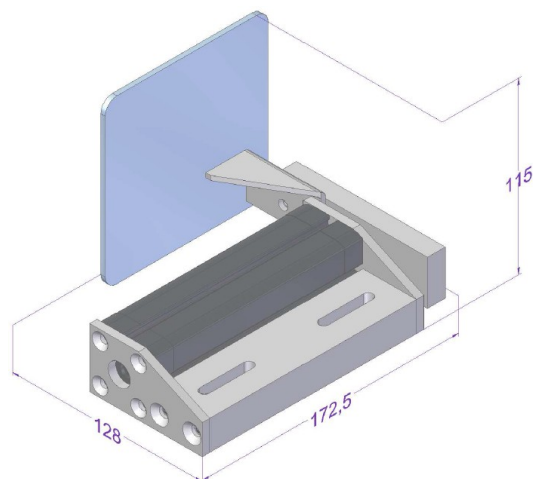
Upínky horní je možno přestavovat jak ve směru horizontálním tak vertikálním. Upínky boční, které přitlačují materiál k opoře lze posouvat pouze dopředu/dozadu. Každá z upínek je vybavena tlakovým čidlem.



Obr. 20) Upínací sestava



Obr. 21) Upínka horní



Obr. 22) Upínka boční

Popis funkce

Po uzavření krytu a dvouručního spuštění stroje upínky sjedou dolů, upnou řezaný materiál a zároveň uzavrou výřez v krytu. Tlačítka spuštění je nutno držet po celou dobu sjíždění upínek.

6.2.4 Kryty

Kryt horní

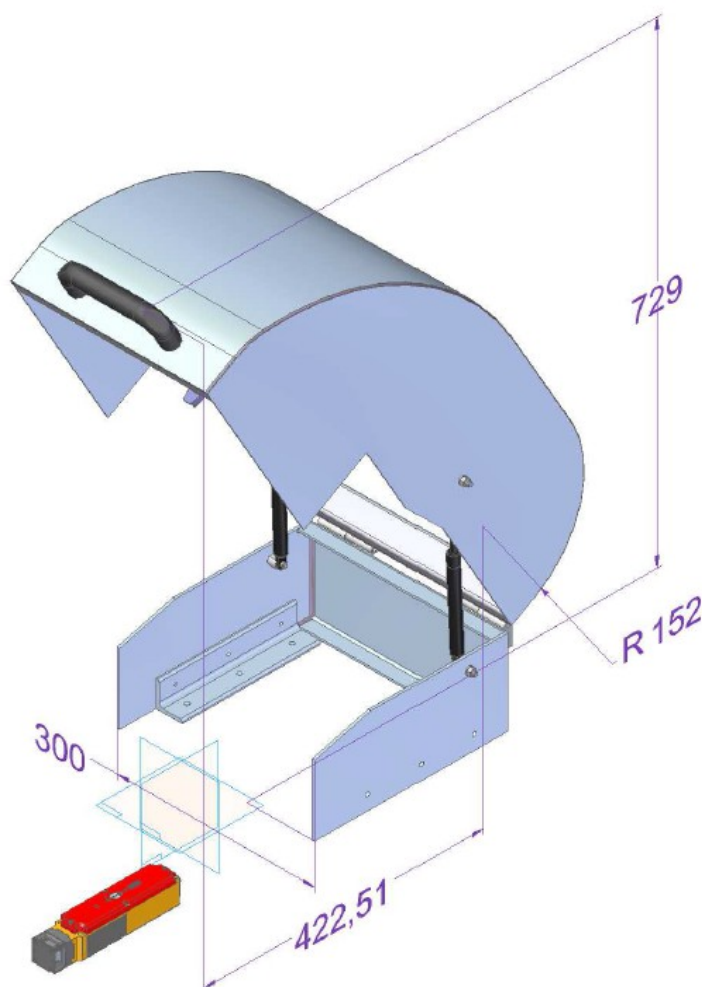
Kryt horní (viz Obr. 23, Obr. 24) chrání obsluhu před odlétávajícími třískami a slouží jako preventivní opatření v případě selhání upínek a vymrštění řezaného materiálu. K tomu by však po dobu životnosti stroje nemělo dojít.

Základem odklápěcí části krytu jsou 3 plechy tloušťky 2 mm svařené v jeden celek koutovým svarem $z = 2$ mm. V bocích krytu jsou úměrně velké výřezy aby prošel i největší řezaný materiál (profil 100 x 100 – 6000 mm). Pohyblivá část je uchycena dvěma panty k části pevné, umístěné na pracovním stole. Součástí sestavy jsou i dvě plynové vzpěry, které umožňují rozevírání krytu v rozsahu 0° až 60° .

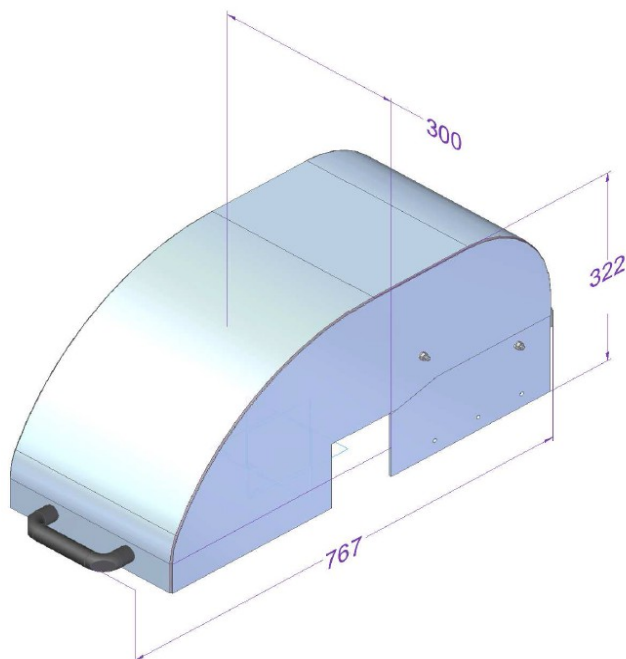
V přední části krytu je umístěn bezpečnostní zámek s vysokou úrovní kódování (CTP, Euchner, viz Obr. 25 [19]). Zámek spadá do kategorie elektromechanických bezpečnostních zámků s monitorovaným jištěním ochranného krytu. Součástí je unikátně kódovaný RFID transpondér. Maximální blokovací síla dosahuje až 2600 N.

Kryt kotouče

Kryt kotouče zakrývá pilový kotouč v jeho dolní úvratí a zachytává odletující třísky, které se následně hromadí v bedně. Viz Obr. 26, Obr. 27.



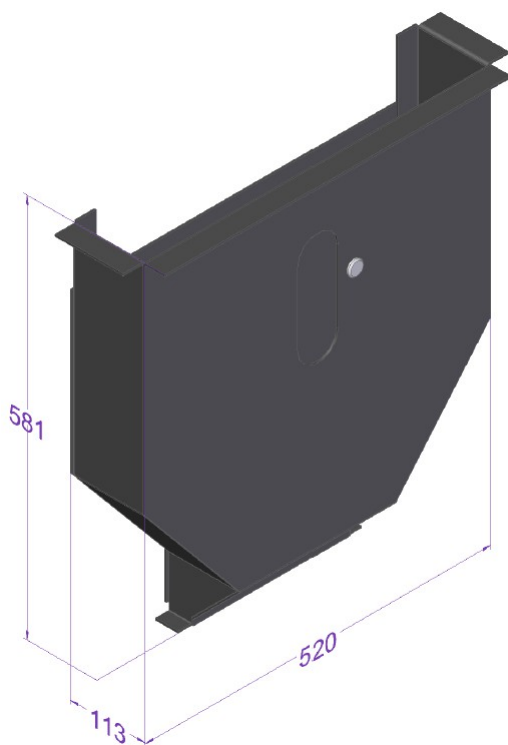
Obr. 23) Kryt horní - otevřený



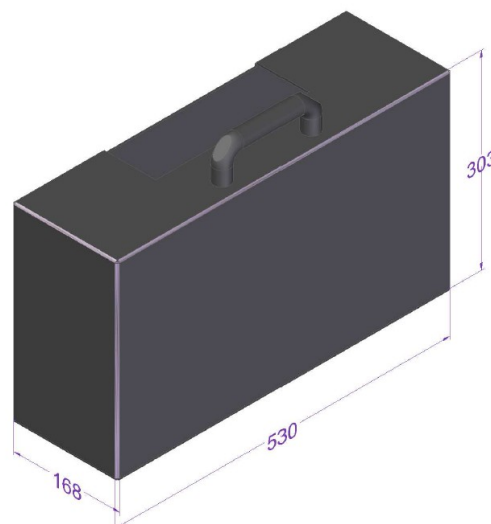
Obr. 24) Kryt horní - uzavřený



Obr. 25) CTP,
Euchner



Obr. 26) Kryt kotouče



Obr. 27) Bedna na třísky

Kryt rámu

K zamezení přístupu k pohonu (řemenicím) je celý obvod zakrytován plechy, případně plexisklem.

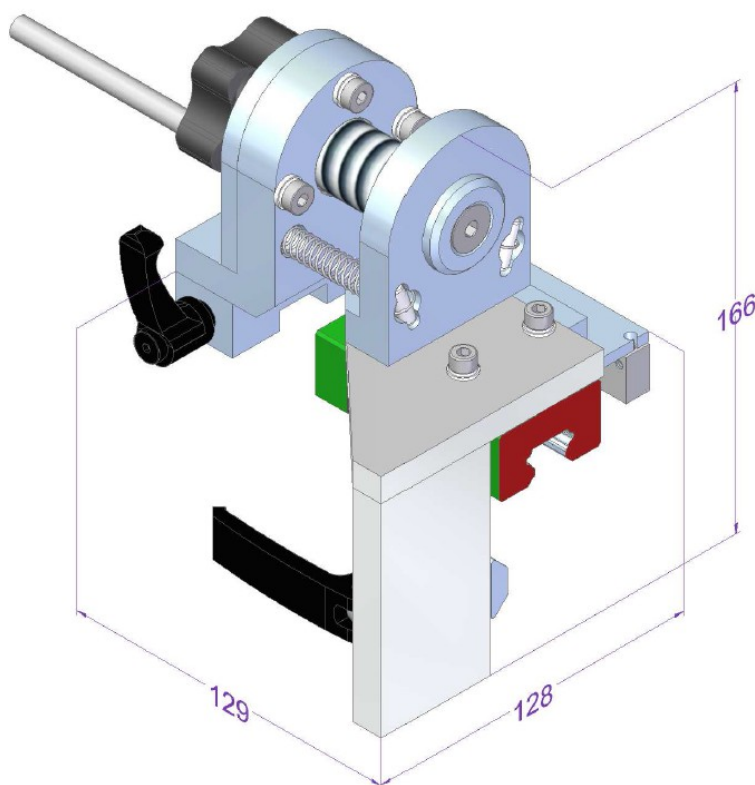
6.3 Odměřování

Odměřovací jednotka (viz Obr. 28, Obr. 29) je určena k odměřování požadované délky řezaného materiálu. Jednotka se pohybuje v rozsahu 150 až 3000 mm od místa řezu. Minimální délka profilu je 150 mm. Je-li zapotřebí uřezat tyč delší než 3000 mm, uřeže se dopočet do celkové délky (6000 mm) řezaného materiálu. Při řezání délek nad 3000 mm nelze zaručit vysokou přesnost.

Sama odměřovací jednotka sestává z několika částí. První částí je doraz, který tvoří opěrnou plochu pro řezaný materiál. Ke zvýšení přesnosti je doraz z levé strany vybaven excentrickou pákou. Páka má na výstupu vodící kámen, jenž se pohybuje v otvoru Al profilu. Sklopením páky se kámen přitlačí k přední straně otvoru a zaaretuje tak odměřovací jednotku v požadované pozici.

Další část dorazu tvoří jeden z nejmenších lineárních vozíků od Hiwinu (HGH20CA, Hiwin [12]). Celková délka vozíku je 77,5 mm, šířka 44 a výška (i s kolejničí) pouhých 30 mm. Únosnost vozíku několikanásobně překračuje požadavky této úlohy, avšak rozměrově zcela vyhovuje.

Vozík je jednak pevně spjat s dorazem, ale také s unašečem hřídele s vnitřním závitem M24x0,75. Zmíněnou závitovou dírou prochází hřídel s vládacím kolečkem na protilehlém konci (od konce závitového). Viz Obr. 30.



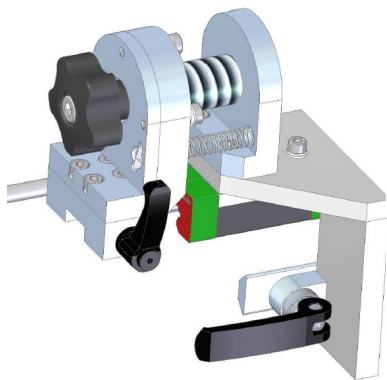
Obr. 28) Odměřovací jednotka

Velmi jemná rozteč závitu (0,75 mm) byla zvolena vzhledem k požadavku na co nejvyšší přesnost. Pootočením šroubu o 90° dojde k lineárnímu posuvu jednotky o 0,1875 mm. Pootočením o 4,8° pak dojde k posuvu jednotky o 0,01 mm. Ovládací kolečko má vnější

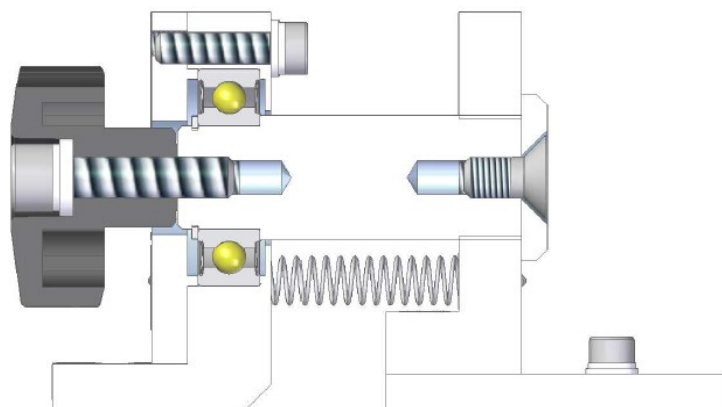
průměr 63 mm – pootočení o $4,8^\circ$ na tomto průměru znamená posun po oblouku přibližně o 2,63 mm.

Třetí částí odměřovací jednotky je brzda lineárního vedení ovladatelná mechanickou pákou (HK 2001 A, Hiwin [12]), na které se nachází vedení hřídele s integrovaným ložiskem (to zabezpečuje přesnost a jednodušší ovladatelnost jednotky). Na ložisko (6004 – 2RSH, SKF) v tomto provedení působí minimální síly, proto není zapotřebí provádět výpočet únosnosti.

K vymezení vůle šroubu jsou použity 2 tažné pružiny (T 0,63x9,5x29,6x20, Fevos [20]) svírající vedení a unašeč hřídele. Drát o průměru 0,63 mm je stočen 20-ti závitů na pružinu o vnějším průměru 9,5 mm. Předpětí pružiny je 13,2 N (F_0), tuhost 0,115 N/mm (C), rozsah délek 29,6 mm (L_0) až 96,1 mm (L_8).



Obr. 30) Odměřovací jednotka - zezadu



Obr. 29) Řez odměřovací jednotkou

Výpočet síly vyvolané pružinou

$$l_{\max} = 71 \text{ mm}$$

$$l_{\min} = 49 \text{ mm}$$

$$F_{l_{\max}} = (l_{\max} - l_0) \cdot C + F_0 \quad (24)$$

$$F_{l_{\max}} = (71 \text{ mm} - 29,6 \text{ mm}) \cdot 0,115 \frac{\text{N}}{\text{mm}} + 13,2 \text{ N}$$

$$F_{l_{\max}} = 18 \text{ N}$$

$$F_{l_{\min}} = (l_{\min} - l_0) \cdot C + F_0 \quad (25)$$

$$F_{l_{\min}} = (49 \text{ mm} - 29,6 \text{ mm}) \cdot 0,115 \frac{\text{N}}{\text{mm}} + 13,2 \text{ N}$$

$$F_{l_{\min}} = 15,4 \text{ N}$$

kde:

l_{\max} ... maximální délka pružiny [mm]

l_{\min} ... minimální délka pružiny [mm]

F_{lmax} ... síla pružiny při maximální délce [mm]

F_{lmin} ... síla pružiny při minimální délce [mm]

F_0 ... předpětí [N]

C ... tuhost [N/mm]

Výpočet vyjadřuje sílu pouze jedné pružiny. Hodnoty sil je zapotřebí vynásobit dvěma.

Poslední část tvoří lineární magnetický snímač (TMLS-01A-02-PRECISE, Jirka & spol., viz Obr. 32 [15]), který je pevně spojen s vozíkem lineárního vedení a veden v dráze magnetického snímače (ochranný hliníkový profil AP-02, Jirka & spol.) s odměřovací stupnicí (magnetická páska řady MT-02-008, Jirka & spol.). Snímač má rozlišitelnost 1 mikron s celkovou maximální odchylkou do 5 mikronů. Výstup snímače zobrazuje digitální displej umístěný u řezací jednotky (digitální indikace řady BC-21HS, Jirka & spol., viz Obr. 31). 6-ti místný LED displej má výšku číslic 25 mm, lze nastavit referenční bod, trvalou paměť, funkci pulení, absolutní/inkrementální odměřování, vynulování nulování a další.



Obr. 32) TMLS-01A-02-PRECISE [15]



Obr. 31) Digitální indikace řady BC-21HS [15]

Popis funkce

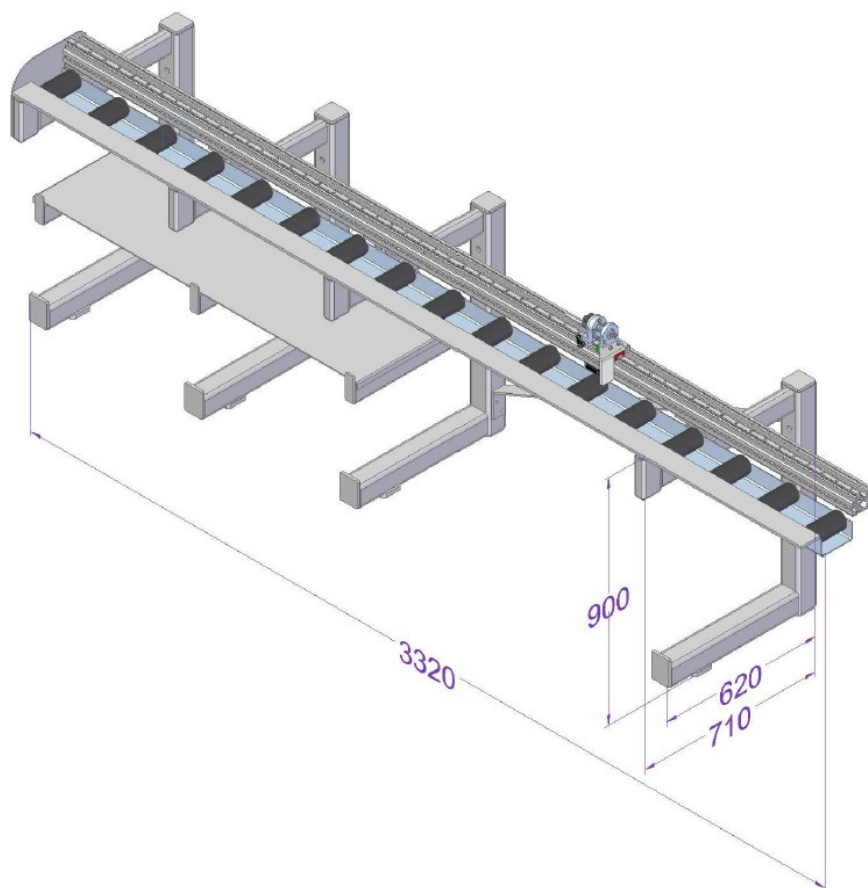
Obsluha nejprve odaretuje mechanickou páku brzdy lineárního vedení a páku spojenou s dorazem. Následně posune odměřovací jednotku přibližně do požadované vzdálenosti – vzdálenost je zobrazována na displeji. Při přesnosti cca +/- 5 mm obsluha upne páku brzdy lineárního vedení a pomocí ovládacího kolečka nastaví přesnou polohu dorazu. Výsledné ustavení zpevní upnutím excentrické páky.

6.4 Výstupní regál

Regál s výstupním dopravníkem (viz Obr. 33) je napodobeninou regálu vstupního. Pro snadnější manipulaci s odměřováním však sestává pouze z nižších stojin.

Tři nižší stojiny jsou nerovnoměrně rozloženy po délce 2680 mm. Na nejvyšší příčce stojin je uložen válečkový dopravník dlouhý 3300 mm. Tento dopravník (Paletová lišta Groovy NR 210, Drašar [21]) již nemá zvýšenou zadní stranu. Za dopravníkem je přivařený jekl s destičkou přišroubovanou k hliníkovému profilu, na kterém se nachází vedení odměřovací jednotky. Před dopravníkem (u obsluhy) se nachází dlouhá hliníková deska pro snadnější odběr řezaného materiálu.

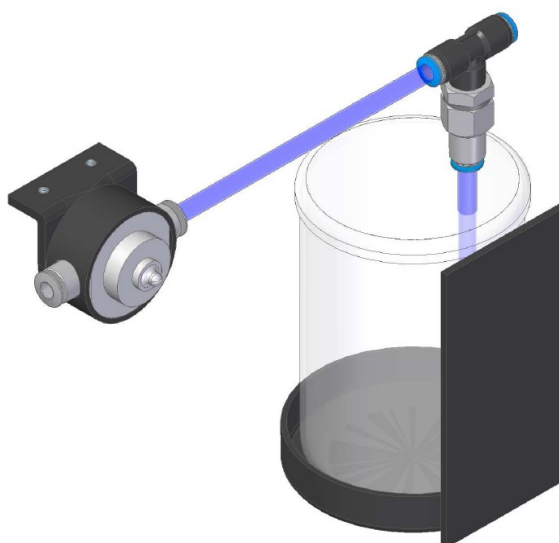
Regály jsou pouze pomocnou skupinou navrhovaného řešení. Vzhledem k vážným následkům, které by mohla způsobit špatná dimenzace stojin a upevnění, je nutné provést důkladné výpočty a za pomoci norem ověřit správný návrh regálu. Toto však sahá nad rámec zadání.



Obr. 33) Regál s výstupním dopravníkem a s odměřováním

6.5 Mazání

Obecně se hliník hodně „lepí“. Tato vlastnost se s teplotou kotouče ještě zvýrazňuje. Přivádění řezné kapaliny bude pravděpodobně zapotřebí, ovšem existuje i šance, že se zuby díky velkému průměru pilového kotouče stihnou ochladit a mazání nebude zapotřebí.



Obr. 34) Návrh mazání

V návrhu celkové sestavy mazání prozatím není zakomponováno. Návrh je zobrazen na Obr. 34.

Základ mazání tvoří pneumatická tryska (136.5, Hennlich, viz Obr. 35, Obr. 36 [22]). Ta je uložena ve speciálně vyráběné součástce a upnuta ke krytu řezného kotouče. Po přivedení tlaku vzduchu se začne nasávat řezná kapalina z nádoby, ta se v trysce smísí se vzduchem a vytryskne na pilový kotouč ve formě dutého kužele o úhlu 60°.

Průměr kružnice, na kterou dopadá řezná kapalina:

$$l_{tk} = 30 \text{ mm}$$

$$\alpha_r = 60^\circ$$

$$D_{kr} = 2 \cdot tg \frac{\alpha}{2} \cdot l_{tk} \quad (26)$$

$$D_{kr} = 2 \cdot tg \frac{60^\circ}{2} \cdot 30 \text{ mm}$$

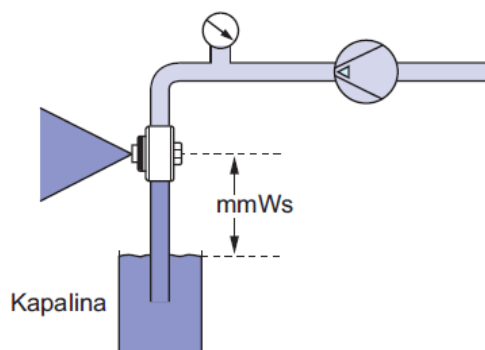
$$D_{kr} = 34,6 \text{ mm}$$

kde:

D_{kr} ... průměr kružnice, na kterou dopadá řezná kapalina

l_{tk} ... vzdálenost trysky od kotouče

α_r ... úhel rozstříku



Obr. 35) Nasávací princip činnosti trysky [22]



Obr. 36) Pneumatická tryska 136.5, Hennlich [22]

6.6 Výpočty

V samotné práci je uveden pouze vzorec pro výpočet pohonu a upínací síly. Další výpočty jsou naznačeny v Příloze 1 – dle [24].

Výpočet pilového kotouče daný vzorcem (13) vychází ze vzorce (6) uvedeném v kapitole 3.3.2 Výkon vřetene stanovený z řezné síly. Do původního vzorce byly zavedeny dvě korekce:

- 1) K řezání hliníkových profilů je používán kotouč, na jehož obvodu se střídá zub trapézový se zubem rovným (3.2.5 Řezný nástroj). Zub trapézový má zkoseny boční hrany a zabírá pouze svým středem. Zub rovný naopak zabírá pouze svými rohy (je nižší). V teorii stojí, že každý zub odebírá stejné množství materiálu. Toto množství je

poloviční, oproti množství předpokládanému (vzorce (6), (8) a (13) počítají s plochou $a_p \times h_m$, nikoli s plochou $a_p \times h_m/2$.

- 2) Řezaný materiál není zcela vyplněn. Počet zubů v záběru z_z daný vzorcem (10) bude odpovídat realitě pouze u větších profilů, a to maximálně z jedné dvanáctiny řezané výšky. Obecně existuje předpoklad, že největším sortimentem budou střední až menší profily, počet zubů v záběru bude nejčastěji 5 a méně.

Výpočet výkonu s korekcemi

Požadavky kladené na pilu:

$$a_e = 100 \text{ mm}$$

$$v_c = 3000 \text{ m/min}$$

$$f_z = 0,01 \text{ mm/zub}$$

Údaje o řezné síle [23]:

$$k_{cl} = \text{cca } 470 \text{ MPa}$$

$$m_c = 0,25$$

Pilový kotouč [3]:

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

$$a_p = 4 \text{ mm}$$

$$z_z = 5 \text{ zubů}$$

Účinnosti:

$$\eta_m = 0,86$$

$$\eta_r = 0,98$$

$$\eta_l = 0,95$$

$$P_{c2} = \frac{\left(\frac{k_{cl}}{\left(f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} \right)^{m_c}} \cdot a_p \cdot \left(f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} \right) \cdot \frac{z_z}{2} \cdot v_c \right)}{60 \cdot 1000} \quad (13)$$

$$P_{c2} = \frac{\left(\frac{470 \text{ MPa}}{\left(0,01 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{100 \text{ mm}}{500 \text{ mm}}} \right)^{0,25}} \cdot 4 \text{ mm} \cdot \left(0,01 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{100 \text{ mm}}{500 \text{ mm}}} \right) \cdot \frac{5 \text{ zubů}}{2} \cdot 3000 \frac{\text{m}}{\text{min}} \right)}{60 \cdot 1000}$$

$$0,86 \cdot 0,98 \cdot 0,95^2$$

$$P_{c2} \approx 5,297 \text{ kW}$$

Výpočet minimální upínací síly s korekcemi:

Ve výpočtu síly jsou zavedeny stejné korekce jako při výpočtu výkonu. Většina zadávaných hodnot je uvedeno nad vzorcem (14).

$$k_F = 3 \text{ a více}$$

$$F_{min} = \left(\frac{k_{cl}}{\left(f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} \right)^{m_c}} \right) \cdot a_p \cdot \left(f_z \cdot \sqrt{\frac{a_e}{D}} \right) \cdot \left(\frac{2 \cdot \arcsin \left(\frac{\frac{ae}{2}}{D} \right)}{360^\circ} \right) \cdot \frac{z_z}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot k_F \quad (15)$$

$$F_{min} = \left(\frac{470 \text{ MPa}}{\left(0,01 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{100 \text{ mm}}{500 \text{ mm}}} \right)^{0,25}} \right) \cdot 4 \text{ mm} \cdot \left(0,01 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{100 \text{ mm}}{500 \text{ mm}}} \right) \cdot \frac{5 \text{ zubů}}{2} \cdot \sqrt{2} \cdot 3$$

$$F_{min} = 344,8 \text{ N}$$

7 ANALÝZA RIZIK

Posouzení rizika bylo provedeno dle ČSN EN ISO 12100 [25]. Norma ČSN EN ISO 12100 je českou verzí evropské normy EN ISO 12100:2010. Předmětem normy je specifikovat základní terminologii, zásady a metody pro bezpečnou konstrukci strojních zařízení. Norma dále definuje zásady při posuzování a snižování rizika.

Posouzení rizika zahrnuje analýzu rizika (určení mezních hodnot, identifikace nebezpečí, odhad rizika) a zhodnocení rizika.

7.1 Informace pro posouzení rizika

a) Popis strojního zařízení

- zařízení je určeno pro běžného uživatele
- předpokládané životní cykly stroje:
 - doprava (přeprava zařízení na místo určení)
 - montáž a instalace (smontování jednotlivých skupin v celkovou sestavu)
 - uvedení do provozu a seřizování (oživení a seřizování strojního zařízení)
 - provoz (užívání strojního zařízení dle pokynů v návodu)
 - čištění a údržba (případné mazání, výměna opotřebovaných dílů, čištění a další)
 - vyřazení z provozu a demontáž (demontáž strojního zařízení a likvidace dle platných norem)
- zdroje energie:
 - elektrická energie (třífázové napětí 230 V)
 - stlačený vzduch (přívod vzduchu o tlaku 6 barů je realizován z vedlejšího objektu)

b) Předpisy, normy a jiné použitelné dokumenty:

ČSN EN 14070+A1 – Bezpečnost obráběcích a tvářecích strojů – Postupové a jednoúčelové stroje

ČSN EN 13898+A1 – Obráběcí a tvářecí stroje – Bezpečnost – Pily na studený kov

7.2 Použité harmonizované normy

Bezpečnost strojních zařízení		
ČSN EN 547-1+A1	Tělesné rozměry	Část 1: Zásady stanovení požadovaných rozměrů otvorů pro přístup celého těla ke strojnímu zařízení
ČSN EN 547-2+A1		Část 2: Zásady stanovení rozměrů požadovaných pro přístupové otvory

ČSN EN 547-3+A1		Část 3: Antropometrické údaje
ČSN EN 614-1+A1	Ergonomické zásady navrhování	Část 1: Terminologie a všeobecné zásady
ČSN EN 894-1+A1	Ergonomické požadavky pro navrhování sdělovačů a ovládačů	Část 1: Všeobecné zásady interakcí člověka se sdělovači a ovládači
ČSN EN 894-2+A1		Část 2: Sdělovače
ČSN EN 894-3+A1		Část 3: Ovládače
ČSN EN 953 +A1 → od 1.6.2016 ČSN EN ISO 14120	Ochranné kryty - Všeobecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů	
ČSN EN 1005-1+A1	Fyzická výkonnost člověka	Část 1: Termíny a definice
ČSN EN 1005-2+A1		Část 2: Ruční obsluha strojního zařízení a jeho součástí
ČSN EN 1005-4+A1		Část 4: Hodnocení pracovních poloh a pohybů ve vztahu ke strojnímu zařízení
ČSN EN ISO 13849-1	Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci*	
ČSN EN ISO 13850	Nouzové zastavení - Zásady pro konstrukci	
ČSN EN ISO 13857	Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami	
ČSN EN ISO 14119	Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty - Zásady pro konstrukci a volbu	
ČSN EN 60204-1	Elektrická zařízení strojů - Část 1: Všeobecné požadavky*	
Pneumatika		
ČSN EN ISO 4414	Všeobecná pravidla a bezpečnostní požadavky na pneumatické systémy a jejich součásti	
Akustika		
ČSN EN ISO 11688-1	Doporučené postupy pro navrhování strojů a zařízení s nízkým hlukem	Část 1: Plánování

* Návrh elektrického zapojení a elektronických prvků bude proveden odborníkem v této oblasti po schválení konstrukčního řešení.

7.3 Mezní hodnoty strojního zařízení

1) Vymezení používání

- popisované strojní zařízení má pouze jediný provozní režim – poloautomatický. Obsluha musí ručně založit polotovar, ručně nastavit odměřování, zavřít kryt a dát povel k řezu. Strojní zařízení následně provede řez (pilový kotouč poháněný asynchronním motorem se vysune pomocí tlumeného pneumatického válce). Při odpojení krytu je možný i servisní režim. Je však nezbytně nutné dbát zvýšené bezpečnosti a nevkládat žádné předměty (ani řezaný materiál), tím spíše části lidského těla, do místa řezu.
- pila na řezání profilů hliníkového konstrukčního systému je určena pro obsluhu proškolenou a seznámenou se všemi bezpečnostními požadavky. Obsluha bude na dopravník profilů vkládat objemné a těžké polotovary mnohdy nad 15 kg → tato práce není určena pro ženy.
- úrovně zaškolení:
 - obsluhující – zaškolení do užívání strojního zařízení, poučení o bezpečnosti a případných zbytkových rizicích při užívání
 - údržbáři a technici – zaškolení do údržby a seřizování strojního zařízení, poučení o bezpečnosti a případných zbytkových rizicích při údržbě a seřizování
- jiné osoby vyskytující se v okolí stroje:
 - osoby pracující v téže dílně – poučení o bezpečnosti a případných zbytkových rizicích při pohybu v okolí popisovaného strojního zařízení
 - široká veřejnost – zákaz vstupu na pracoviště cizím osobám

2) Vymezení prostoru

- rozsah pohybu
 - uvedeno výše (6 Zpracování vybrané varianty)
- dodávka energie
 - zásuvka na přívod elektrické energie bude umístěna na stěně za strojním zařízením
 - hadice přívod stlačeného vzduchu musí být vhodně umístěny, případně zakrytovány, aby nemohlo dojít k zakopnutí. Přívod stlačeného vzduchu bude ve vzdálenosti asi 10 m od místa ustavení strojního zařízení

3) Vymezení doby

- vymezení životnosti:
 - pilový kotouč – dle řezaných profilů a parametrů
 - ložiska – obecně cca 5 let
 - pneumatické válce – cca 3 roky
 - čidla na pneumatickém válci – cca 3 roky
 - magnetický snímač – cca 3 roky

- seřizování
 - napínání řemene – kontrola řemene 1x za 2000 hodin
 - seřizování čidel, kontrola krytu – cca 1x za 1000 hodin, nebo dle potřeby
 - údržba pneumatických částí – cca 1x za 1000 hodin, nebo dle potřeby
 - kontrola šroubových spojení – cca 1x za 1000 hodin, nebo dle potřeby
 - případné doplňování mazací kapaliny
 - mazání vozíků lineárního vedení (KP2K DIN 51825 – 1,4 cm³) – 1x za 4 měsíce

4) Ostatní vymezení

- zpracovávaným materiálem budou profily ze slitiny: Al Mg Si 0,5 F 25
- udržovatelnost:
 - stroj je zapotřebí několikrát za směnu vyčistit od třísek
 - jednou týdně je doporučeno utřít prach z celého zařízení
- prostředí:
 - strojní zařízení je určeno do vnitřního prostředí
 - teplota v hale by se měla pohybovat v rozmezí 10 až 35 °C
 - vlhkost max. 50 % při 40 °C (všeobecně do 85 %)
 - nadmořská výška max 1000 mnm

7.4 Identifikace nebezpečí

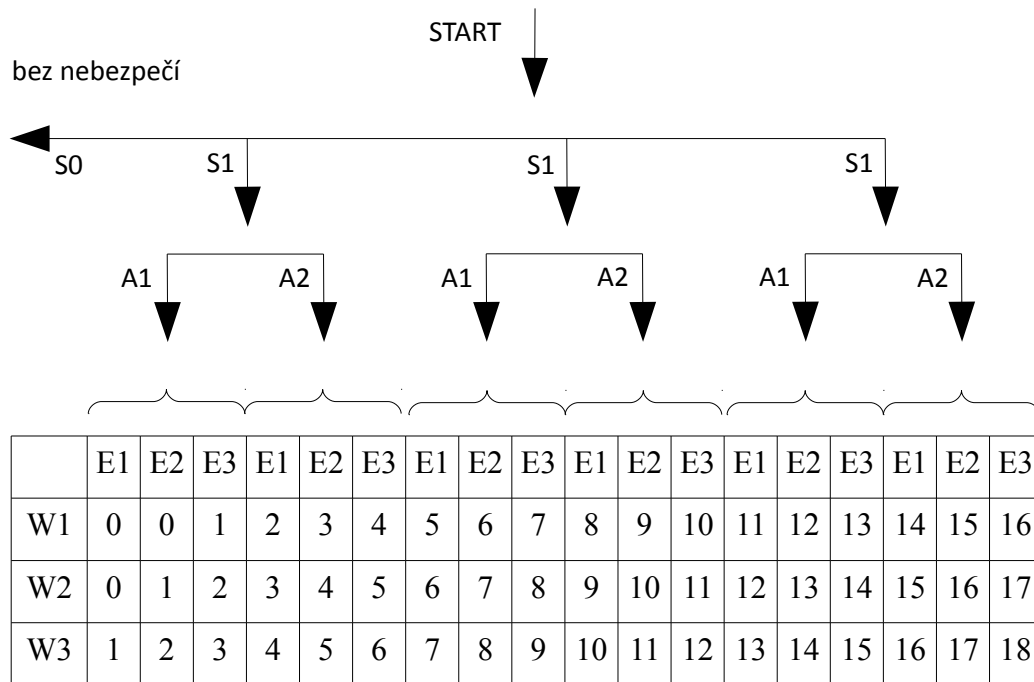
Identifikace nebezpečí byla provedena v jednotlivých životních cyklech stroje s ohledem na možné stavy stroje (stroj vykonává předpokládanou/nepředpokládanou funkci), na vzájemné působení člověka a stroje během jednotlivých cyklů a na nepředpokladatelné chování obsluhy či předvídatelné selhání stroje. (Příloha 4)

Nebezpečí byla analyzována dle životního cyklu stroje (viz.) a dle nebezpečných komponentů (viz). Seznam významných nebezpečí je uveden v ().

7.5 Odhad rizika

Riziko spojené s určitým nebezpečím je závislé na závažnosti úrazu a na pravděpodobnosti výskytu úrazů (pravděpodobnost vystavení osob nebezpečím, pravděpodobnost vzniku nebezpečí, pravděpodobnost vyvarování se úrazu). (Příloha 4)

Pro odhad rizika je výhodné použít Obr. 37 a Tab. 34, které zohledňují všechny důležité prvky spojené s nebezpečnými situacemi. [26]



Obr. 37) Odhad rizika

Tab. 34) Odhad rizika

S	Závažnost úrazu (škody)	E	Možnosti vyvarování se nebo omezení úrazu (škody)
S0	bez nebezpečí	E1	možné
S1	lehké poškození (přechodné následky)	E2	možné za určitých okolností
S2	těžké zranění (trvalé následky)	E3	sotva možné
S3	smrt	W	Pravděpodobnost výskytu nebezpečné události
A	Vystavení osob nebezpečím	W1	malá či nepravděpodobná
A1	zřídka až častěji	W2	střední (vícekrát za život jedince)
A2	často až trvale	W3	velká (častý výskyt nebezpečí)

Závažnost úrazu (škody)

Při hodnocení závažnosti úrazu musí být vzat v potaz nejen nejpravděpodobnější možný úraz, ale i ten nejtěžší možný. Do úvah je třeba zahrnout i rozsah úrazu (u jedné osoby či u více osob)

Vystavení osob nebezpečím

Osoba je ohrožena tím více, čím déle je nucena pobývat v nebezpečném prostoru.

Možnosti vyvarování se nebo omezení úrazu (škody)

Možnost vyvarování se úrazů závisí na několika faktorech (kvalifikace obsluhy, rychlost nastání nebezpečné situace, možnost uvědomění si rizika, možnost zabránit úrazu, praktické zkušenosti a znalosti).

Lze zde zahrnout také lidské faktory, jako je vzájemné působení osob, psychická či fyzická únava, schopnost uvědomit si možná rizika a další).

Pravděpodobnost výskytu nebezpečné události

Pravděpodobnost výskytu nebezpečné události závisí na spolehlivosti stroje, porovnání rizik a historických/statistických údajích. Dala by se zde zahrnout i možnost obejít ochranná opatření.

7.6 Zhodnocení rizika

Zhodnocení rizik bylo provedeno dle hodnot získaných z Obr. 37 (Příloha 4). Hranice přijatelnosti rizik jsou:

- 0-4 přijatelné riziko,
- 5-6 riziko přijatelné po prověření,
- 7-18 nepřijatelné riziko.

8 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

Ekonomické vyhodnocení hraje důležitou roli při rozhodování o dalším vývoji projektu. V případě nežádoucí doby návratnosti (v tomto případě 3 roky) nelze stroj doporučit k výrobě.

Výpočet vychází z aktuální ceny na trhu za jeden řez. Od této hodnoty jsou odečteny předpokládané náklady. Výsledný rozdíl tvoří zisk, který bude použit na pokrytí pořizovacích nákladů. Doba návratnosti vyjádřena v počtu řezů je pak podílem pořizovací ceny a zisku z jednoho řezu.

Základní vstupní parametry s označením a hodnotami uvádí tabulka Tab. 35.

Tab. 35) Základní vstupní parametry

Základní vstupní parametry	Označení	Hodnota
Cena dodavatelů za jeden řez	$P_{dř1}$	25 až 42 Kč
Cena práce (mzda pracovníka, režie a další)	P_p	600 Kč/h
Cena řezné kapaliny na jeden řez	$P_{řk1}$	max 1 Kč
Doba jednoho řezu (Příloha 2 – Basic MOST – vybrané řešení)	$t_{ř}$	cca 44 s
Předpokládaná doba seřizování, údržby a čištění včetně doplňování řezné kapaliny a vysypávání třísek (při plném provozu)	t_{sp}	cca 0,5 h/den
Přebroušení/výměna pilového kotouče (jedná se o teoretickou hodnotu, měřenou v hodinách práce za měsíc)	t_{pk}	cca 3 h/měsíc
Pořizovací náklady (Příloha 3 – Kalkulace – vybrané řešení)	C_p	235 000 Kč

Cena práce za 1 řez

$$P_p = 600 \text{ Kč/h}$$

$$t_{ř1} = 44 \text{ s}$$

$$P_{p1} = \frac{P_p}{3600} \cdot t_{ř1} \quad (27)$$

$$P_{p1} = \frac{600 \frac{\text{Kč}}{\text{h}}}{3600} \cdot 44 \text{ s}$$

$$P_{p1} \approx 7,4 \text{ Kč}$$

kde:

P_{p1} ... cena práce na jednom řezu [Kč]

P_p ... cena práce (mzda pracovníka, režie a další) [Kč]

$t_{\tilde{r}1}$... doba jednoho řezu [s]

Cena za seřizování, údržbu a čištění vyjádřená na 1 řez při plném provozu

$t_{sp} = 0,5$ h/směna

$t_{sm} = 7,5$ h

$$P_{s1p} = \frac{t_{sp} \cdot P_p}{t_{sm} \cdot 3600} \cdot t_{\tilde{r}1} \quad (28)$$

$$P_{s1p} = \frac{0,5 \frac{h}{směna} \cdot 600 \frac{Kč}{h}}{7,5 h \cdot 3600} \cdot 44 s$$

$$P_{s1p} \simeq 0,49 Kč$$

kde:

P_{s1p} ... cena za seřizování, údržbu a čištění vyjádřená na 1 řez při plném provozu [Kč]

t_{sp} ... předpokládaná doba seřizování, údržby a čištění při plném provozu [s]

t_{sm} ... délka směny [s]

Cena za opotřebení řezného kotouče vyjádřená na 1 řez

$n_s = 21$ směn

$t_{pk} = 3$ h/měsíc

$$P_{pk1p} = \frac{t_{pk} \cdot P_p}{n_s \cdot t_{sm} \cdot 3600} \cdot t_{\tilde{r}1} \quad (29)$$

$$P_{pk1p} = \frac{3 \frac{h}{měsíc} \cdot 600 \frac{Kč}{h}}{21 směn \cdot 7,5 h \cdot 3600} \cdot 44 s$$

$$P_{pk1p} \simeq 0,14 Kč$$

kde:

P_{pk1p} ... cena za opotřebení řezného kotouče vyjádřená na 1 řez [Kč]

t_{pkp} ... předpokládaná doba na přebroušení/výměnu pilového kotouče při plném provozu [s]

n_s ... průměrný počet pracovních dnů v měsíci

Výsledná cena jednoho řezu při plném provozu

$P_{\tilde{r}k1} = 1$ Kč

$$P_{\tilde{r}1p} = P_{\tilde{r}k1} + P_{pl} + P_{s1p} + P_{pk1p} \quad (30)$$

$$P_{\tilde{r}1p} = 1 Kč + 7,4 Kč + 0,49 Kč + 0,14 Kč$$

$$P_{\tilde{r}1p} = 8,03 Kč$$

kde:

$P_{ř1p}$... výsledná cena jednoho řezu při plném provozu [Kč]

$P_{řk1}$... cena řezné kapaliny na jeden řez [Kč]

Průměrný zisk z jednoho řezu při plném provozu

$P_{dř1} = 33 \text{ Kč}$

$$Z_{ř1p} = P_{dř1} - P_{ř1p} \quad (31)$$

$$Z_{ř1p} = 33 \text{ Kč} - 8,03 \text{ Kč}$$

$$Z_{ř1p} = 24,97 \text{ Kč}$$

kde:

$Z_{ř1p}$... průměrný zisk z jednoho řezu při plném provozu [Kč]

$P_{dř1}$... cena dodavatelů za jeden řez [Kč]

Počet řezů ke splacení stroje při plném provozu

$C = 235\,000 \text{ Kč}$

$$n_{řp} = \frac{C}{Z_{ř1p}} \quad (32)$$

$$n_{řp} = \frac{235\,000 \text{ Kč}}{24,97 \text{ Kč}}$$

$$n_{řp} \approx 9412 \text{ řezů}$$

kde:

$n_{řp}$... počet řezů ke splacení stroje při plném provozu [řez]

C_p ... pořizovací náklady na zařízení [Kč]

Počet řezů za směnu při plném provozu

$$n_{řsp} = \frac{(t_{sm} - t_{sp}) \cdot 3600}{t_{ř1}} \quad (33)$$

$$n_{řsp} = \frac{(7,5 \text{ h} - 0,5 \text{ h}) \cdot 3600}{44 \text{ s}}$$

$$n_{řsp} = 572 \text{ řezů}$$

kde:

$n_{řsp}$... počet řezů za směnu při plném provozu [řez]

Počet směn ke splacení stroje při plném provozu

$$n_{ssp} = \frac{n_{řp}}{n_{řsp}} \quad (34)$$

$$n_{ssp} = \frac{9412 \text{ řezů}}{572 \text{ řezů}}$$

$$n_{ssp} \approx 16,5 \text{ směn}$$

kde:

n_{ss} ... počet směn ke splacení stroje při plném provozu [směna]

Navržená poloautomatická pila by mohla být při plném provozu splacena již za 16,5 směn. Ovšem za přibližně takovou dobu by teoreticky měla být splacena i pila automatická. Dle propočtů provede automatická pila až 2x více řezů než pila poloautomatická, přičemž náklady na její pořízení jsou přibližně 2x tak velké.

Ovšem 572 řezů za směnu znamená plné vytížení stroje. Stroj však provede přibližně 20 řezů za den, což je samo o sobě pro automatizaci krajně nevhodné.

Cena za seřizování, údržbu a čištění vyjádřená na 1 řez při běžném provozu

Předpokládaná doba seřizování, údržby a čištění včetně doplňování řezné kapaliny a vysypávání třísek (při plném provozu) = cca 0,1 h/směna

$t_s = 0,1$ h/směna

$$P_{sl} = \frac{t_s \cdot P_p}{t_{sm} \cdot 3600} \cdot t_{řl} \quad (35)$$

$$P_{sl} = \frac{0,1 \frac{h}{směna} \cdot 600 \frac{Kč}{h}}{7,5 h \cdot 3600} \cdot 44 s$$

$$P_{sl} \approx 0,1 \text{ Kč}$$

kde:

P_{sl} ... cena za seřizování, údržbu a čištění vyjádřená na 1 řez [Kč]

t_s ... předpokládaná doba seřizování, údržby a čištění [s]

Cena za opotřebení řezného kotouče vyjádřená na 1 řez

Práce provedená na pilovém kotouči, případně náhrada celého kotouče by neměla přesáhnout hodnotu 0,5 pracovních hodin za měsíc.

$t_{pk} = 0,5$ h/měsíc

$$P_{pkl} = \frac{t_{pk} \cdot P_p}{n_s \cdot t_{sm} \cdot 3600} \cdot t_{řl} \quad (36)$$

$$P_{pk1} = \frac{0,5 \frac{h}{\text{měsíc}} \cdot 600 \frac{K\check{c}}{h}}{21 \text{ směn} \cdot 7,5 h \cdot 3600} \cdot 44 s$$

$$P_{pk1} \simeq 0,03 K\check{c}$$

kde:

P_{pk1} ... cena za opotřebení řezného kotouče vyjádřená na 1 řez [Kč]

t_{pk} ... předpokládaná doba na přebroušení/výměnu pilového kotouče [s]

Výsledná cena jednoho řezu

$$P_{\bar{r}1} = P_{\bar{r}k1} + P_{pl} + P_{sl} + P_{pk1} \quad (37)$$

$$P_{\bar{r}1} = 1 K\check{c} + 7,4 K\check{c} + 0,1 K\check{c} + 0,03 K\check{c}$$

$$P_{\bar{r}1} = 8,53 K\check{c}$$

kde:

$P_{\bar{r}1}$... výsledná cena jednoho řezu [Kč]

Průměrný zisk z jednoho řezu

$$Z_{\bar{r}1} = P_{\bar{d}\bar{r}1} - P_{\bar{r}1} \quad (38)$$

$$Z_{\bar{r}1} = 33 K\check{c} - 8,53 K\check{c}$$

$$Z_{\bar{r}1} = 24,47 K\check{c}$$

kde:

$Z_{\bar{r}1}$... průměrný zisk z jednoho řezu [Kč]

Počet řezů ke splacení stroje

$$n_{\bar{r}} = \frac{C_p}{Z_{\bar{r}1}} \quad (39)$$

$$n_{\bar{r}} = \frac{235\,000 K\check{c}}{24,47 K\check{c}}$$

$$n_{\bar{r}} = 9604 \text{ řezů}$$

kde:

$n_{\bar{r}}$... počet řezů ke splacení stroje [řez]

Počet směn ke splacení stroje

$$n_{ss} = \frac{n_{\bar{r}}}{n_{\bar{r}s}} \quad (40)$$

$$n_{ss} = \frac{7765 \text{ řezů}}{20 \text{ řezů}}$$

$$n_{ss} = 480 \text{ směn}$$

kde:

n_{ss} ... počet směn ke splacení stroje [směna]

Návratnost stroje v letech

$d = 252$ dnů

$$n_l = \frac{n_{ss}}{d} \quad (41)$$

$$n_l = \frac{480 \text{ směn}}{252 \text{ směn}}$$

$$n_l = 1,9 \text{ let}$$

kde:

n_{fs} ... návratnost stroje v letech [roky]

d ... průměrný počet pracovních dnů v roce [dny]

Požadovaná návratnost stroje je do tří let, návratnost navrhovaného řešení

9 ZHODNOCENÍ

Doba potřebná na jeden řez

Odměření materiálu, upnutí, případné uzavření krytu, řez, případné otevření krytu, odebrání a odložení uřezané části – cca 44 sekund

Přesnost řezu (tuhost řezací jednotky)

Řezací jednotka je konstruována tak, aby byla dostatečně tuhá a tím i přesná.

Přesnost odměřování

Magnetický snímač má deklarovanou celkovou odchylku 0,005 mm. Pokud bude materiál z čela zařezán a s přesností uložen na doraz, měla by být dosažitelná přesnost velmi vysoká a snad i nejvyšší možná v rámci poloautomatického řešení dané úlohy.

Kvalita povrchu po řezu (dodržení řezných parametrů)

Motor, pneumatický válec posouvající řezací jednotku do řezu i připojený tlumič jsou navrženy tak, aby bylo možno dodržet řezné parametry určené pro řezaný materiál, což by mělo zaručit kvalitní povrch.

Jednoduchost konstrukce (nižší předpoklad poruch)

Konstrukce je navržena tak, aby byla co nejkompaktnější s minimálním množstvím dílů. Minimalizace součástí snižuje cenu zařízení a pravděpodobnost vzniku poruchy.

Nízký počet vadných kusů

Odměrovací jednotka není svázána s pohonem. Pokud obsluha špatně nastaví odměřování, bude vyroben vadný kus.

Původně plánované dvouruční spouštění s trvalým tlakem na tlačítka bylo nahrazeno se spouštěním bez trvalého tlaku. Pila se tak nezastaví uprostřed nařezaného dílu přičiněním chyby obsluhy.

Nízká míra údržby

Je zapotřebí udržovat pilový kotouč správně naostřený, jednou za čas promazávat vedení a ložiska, doplňovat řeznou kapalinu a správně likvidovat třísky. Provoz zařízení není bezúdržbový, avšak v oblasti pil průměrný.

Bezpečnost provozu

Na základě normy ČSN EN ISO 12100 byla provedena analýza rizik. Rizika významná byla snížena na minimum. Obsluhu je nutno seznámit se zbytkovými riziky.

Nenáročnost obsluhy

Obsluha nemusí být speciálně školená, stroj je intuitivní a ovládání jednoduché. Nenáročnost ve významu malé námahy se u pily na hliníkové profily zaručit nedá – většina profilů bude pokládána na dopravník ručně.

Ergonomie konstrukce (pro obsluhu)

Pracovní výška stolu, umístění ovladačů, hloubka regálu byly navrženy s ohledem na požadavky ergonomie.

Rozměr stoje

Představa elegantního stroje, jehož šířka je o malinko větší než průměr pilového kotouče, nebyla naplněna. K zaručení stability a bezpečnosti byl navržen mohutnější větší rám. Šířku prodlužuje i navazující regál, jehož minimální hloubka horních příček byla zvolena 400 mm. Zbylé parametry, délka a výška, jsou vzhledem k zadané úloze optimální.

Přehlednost pracovního prostoru

Bohužel není stroj tak přehledný, jako byla teorie. Upínky zhora a z boku brání přímému pohledu do místa řezu. Pracovní prostor je příliš zaplněný.

Pořizovací cena

Pořizovací cena se vyšplhala na 235 000 Kč. Vzhledem k tomu, že je do této ceny započten i poměrně robustní regál, lze říci, že se jedná o cenu průměrnou.

10 ZÁVĚR

Navrhované zařízení splňuje požadavek na dobu jednoho řezu do 1 minuty – řez i s odměřováním by měl trvat cca 44 sekund. Pořizovací cena je přibližně standardní, avšak výrobou ve vlastní režii lze z ceny standardní udělat výhodnou. Při konstrukci byl kladen důraz na tuhost zařízení a volbu velmi přesných odměřovacích komponent, čímž by měla být zaručena vysoká přesnost a kvalita povrchu (po řezu nebude potřeba zafrézovávat konce uřezaného kusu). Splněny byly i požadavky na bezpečnost a ergonomii konstrukce.

Námětem na zlepšení je automatické řízení zdvihu řezací jednotky dle tloušťky řezaného materiálu.

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *ALUTEC K & K s.r.o.: Hliníkový konstrukční systém* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.aluteckk.cz/>
- [2] *Item @ HABERKORN* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.item24.cz/>
- [3] ČSN EN 13898. *Obráběcí a tvářecí stroje - Bezpečnost - Pily na studený kov*. 2009.
- [4] Pásová pila na kov PROMA PPK - 115. *PROMA-FERM.cz* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.proma-ferm.cz/pasove-pily-na-kov/pasova-pila-na-kov-proma-ppk-115-p-132803.html?cPath=205771>
- [5] PÁSOVÁ PILA HOLZMANN HBS 300J. *HOBBYSTROJE* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.hobbystroje.cz/hobbystroje/eshop/20-1-/0/5/443-PASOVA-PILA-HOLZMANN-HBS-300J>
- [6] Kapovací pila Bernardo DRC 355. *BOUKAL: obchodní firma* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: http://shop.boukal.cz/kovoobrabeci-stroje/kapovaci-pila-bernardo-drc-355/?gclid=CISdgOC118sCFcFsGwodBZoG_g
- [7] BOMAR AL 500 ANC kotoučová pila na hliník automatická. *BOMAR* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.bomar-pily.cz/sk/katalog/kotoucove-pily-na-kov/bomar-al-500-anc-kotoucova-pila-na-hlinik-automaticka-104-003-b1>
- [8] Pila s radiálním ramenem 300mm 230V DeWALT DW721KN. *DeWALT* [online]. 2009 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.naradi-dewalt.cz/pila-s-radialnim-ramenem-300mm-230v-dewalt-dw721kn-p-971.html?zenid=20c09a85ebd7741dd8514f65a6baf4ed>
- [9] Řez ALU. *ROTOX* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.rotox.de/cs/produkty/alu-anebo-stroje-na-ocel/rez/alu.html>
- [10] MAREK, Jiří a kolektiv. *Konstrukce CNC obráběcích strojů*. MM publishing, s.r.o., 2014, 684 s. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [11] *TYMA: řemeny, převody a dopravní pásy* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.tyma.cz/>
- [12] *HIWIN: Motion Control & Systems* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/>
- [13] Zapouzdřené lineární snímače. *HEIDENHAIN* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/produkty-a-pouziti/linearni-snimace/zapouzdrene-linearni-snimace/
- [14] Optické lineární snímače. *RENISHAW: apply inovation* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/opticke-linearni-snimace--6433>
- [15] *Jirka & spol.* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.jirkaspol.cz/>

- [16] Absolutní optický snímač RESOLUTE™ - přesnost. *RANISHAW: apply inovation*
- [17] [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.renishaw.cz/cs/absolutni-opticky-snimac-resolute-presnost--10859>
- [1] Historie pily: Pily a pilové kotouče. *OKO* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://oko.yin.cz/38/historie-pily/>
- [2] SKVORCOV, Pavel Fedorovič. *Řezání kovů kotoučovými pilami: příručka pro praxi s tabulkami řezných podmínek a návod k z hospodárně řezání kovů : určeno pracujícím ve strojárnách, technikům z přípravy výroby a z dílenské konstrukce.* Praha: Práce, 1952. Technické příručky Práce.
- [3] *PILANA* [online]. 2016 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.pilana.cz>
- [4] HOLUB, Michal. *GVK: Vřetena obráběcích strojů.* 2013.
- [5] *TeaguTec: Member IMC group* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.taegutec.cz/>
- [6] ČSN EN 894-2 +A1. *Bezpečnost strojních zařízení - Ergonomické požadavky pro navrhování sdělovačů a ovládačů - Část 2: Sdělovače.* 2009.
- [7] ČSN EN 894-3+A1. *Bezpečnost strojních zařízení - Ergonomické požadavky pro navrhování sdělovačů a ovládačů - Část 3: Ovládače.* 2009.
- [8] ČSN EN 1005-2+A1. *Bezpečnost strojních zařízení - Fyzická výkonnost člověka - Část 2: Ruční obsluha strojního zařízení a jeho součástí.* 2009.
- [9] PARLAMENT ČESKÉ REPUBLIKY, Poslanecká sněmovna. Poslanecká sněmovna parlamentu České republiky [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.psp.cz/sqw/hp.sqw?akk=3>
- [10] KORVINY, Petr. *Teoretické základy vícekriteriálního rozhoocání* [online]. , 31 [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: http://korviny.cz/mca7/soubory/teorie_mca.pdf
- [11] Vícekriteriální rozhodování za jistoty. *Ekonomická fakulta: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www2.ef.jcu.cz/~jfrieb/tspp/data/teorie/Vicekritko.pdf>
- [12] KOLÍBAL, Zdeněk a Radek KNOFLÍČEK. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů.* 1. vyd. Košice: Viena, 2000, 178 s. Edice vědecké a odborné literatury. ISBN 80-889-2227-5.
- [13] KNOFLÍČEK, Radek. *Mobilní robotické systémy.* [Brno: Vysoké učení technické], 1996, [111] s.
- [14] JUŘICOVÁ, Vendula. *Koncept montážní linky pro montáž centrální části systému termoregulace motoru.* Brno 2015. Diplomová práce. Vysoké učení v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 141 s. 6 příloh. Ing. Roman Kubík, Ph.D.
- [15] *Vlastimil Moravec ELEKTROMOTORY: Siemens* [online]. [cit. 2016-05-10].

- Dostupné z: <http://www.elektromotory.net/>
- [16] *SKF: The Power of Knowledge Engineering* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.skf.com>
- [17] *BIBUS s.r.o.: supporting your success* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.bibus.cz/bibus-sro/>
- [18] *Www.festo.cz* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: https://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm
- [19] *Euchner: More than safety.* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.euchner.cz/>
- [20] *FEVOS* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.pruziny-fevos.cz/>
- [21] *LOŽISKA Drašar s.r.o.* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.drasar.cz/>
- [22] Pneumatické rozprašovací trysky. *HENNLICH* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/trysky-pneumaticke-rozprasovaci-trysky-22.html>
- [23] *SANDVIK Coromant* [online]. [cit. 2016-05-10]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/pages/default.aspx?Country=cz>
- [24] Shigley, J. E., Mischke, Ch. R., Budynas, R. G. *Konstruování strojních součástí*. VUTIUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0
- [25] ČSN EN ISO 12100. *Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika*. 2011.
- [26] BLECHA, Petr. *Management technických rizik u výrobních strojů*. Brno: Vědecké spisy Vysokého učení technického v Brně, 2010. Habilitační a inaugurační spisy, sv. 343. ISSN 1213-418X.

12 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

12.1 Seznam symbolů

Symbol	Význam	Jednotka
A_j	varianta	-
C	tuhost	N/mm
C_p	pořizovací náklady na zařízení	Kč
D	průměr pilového kotouče	mm
D_{kr}	průměr kružnice, na kterou dopadá řezná kapalina	mm
F	výsledná síla	N
F_0	předpětí	N
F_c	řezná síla	N
F_f	posuvová síla	N
F_f	posuvová síla	N
F_{lmax}	síla pružiny při maximální délce	N
F_{lmin}	síla pružiny při minimální délce	N
F_{pvmax}	hnací síla	N
P_c	výkon vřetena	kW
P_{c1}	výkon vřetena stanovený z velikosti odebraného materiálu	kW
P_{c2}	výkon vřetena stanovený z řezné síly	kW
$P_{dř1}$	cena dodavatelů za jeden řez	Kč
P_{m1}	výkon motoru	kW
P_p	cena práce (mzda pracovníka, režie a další)	Kč
P_{p1}	cena práce na jednom řezu	Kč
P_{pk1}	cena za opotřebení řezného kotouče vyjádřená na 1 řez	Kč
P_{pk1p}	cena za opotřebení řezného kotouče vyjádřená na 1 řez	Kč
$P_{ř1}$	výsledná cena jednoho řezu	Kč
$P_{ř1p}$	výsledná cena jednoho řezu při plném provozu	Kč

Symbol	Význam	Jednotka
$P_{řk1}$	cena řezné kapaliny na jeden řez	Kč
P_{s1}	cena za seřizování, údržbu a čištění vyjádřená na 1 řez	Kč
P_{s1p}	cena za seřizování, údržbu a čištění vyjádřená na 1 řez při plném provozu	Kč
W_{1tl}	kinetická energie za 1 cyklus	Nm
W_{2tl}	maximální energie od hnací síly za 1 cyklus	Nm
W_{3tl}	maximální celková energie za cyklus	Nm
W_{4tl}	maximální celková energie za hodinu	Nm
$Z_{ř1}$	průměrný zisk z jednoho řezu	Kč
$Z_{ř1p}$	průměrný zisk z jednoho řezu při plném provozu	Kč
a_1, a_2, \dots, a_n	jednotlivé varianty	-
a_e	pracovní záběr (šířka řezaného materiálu)	mm
a_p	šířka záběru ostří	mm
c_{tl}	počet cyklů	-
d	průměrný počet pracovních dnů v roce	dny
d_j	nejhorší hodnota j-tého kritéria	-
f_z	posuv na zub	mm
g	tíhové zrychlení	m/s^2
g_1, g_2, \dots, g_n	váha	-
h_j	nejlepší hodnota j-tého kritéria	-
h_m	průměrná tloušťka třísky	mm
k_1, k_2, \dots, k_n	jednotlivá kritéria	-
k_c	měrná řezná síla	N/mm^2
k_{c1}	měrná řezná síla pro $a_p = 1$ mm a $a_e = 1$ mm	N/mm^2
k_F	bezpečnostní koeficient	-
l_{max}	maximální délka pružiny	mm
l_{min}	minimální délka pružiny	mm
l_{tk}	vzdálenost trysky od kotouče	mm

Symbol	Význam	Jednotka
m	hmotnost tělesa	kg
m_c	nárůst měrné řezné rychlosti	-
n	otáčky vřetene	1/min
n_f	počet řezů ke splacení stroje	-
n_{fp}	počet řezů ke splacení stroje při plném provozu	-
n_{fs}	návratnost stroje v letech	roky
n_{fsp}	počet řezů za směnu při plném provozu	-
n_s	průměrný počet pracovních dnů v měsíci	dny
n_{ss}	počet směn ke splacení stroje při plném provozu	-
n_{ss}	počet směn ke splacení stroje	-
S_{tl}	zdvih tlumiče	mm
t_1, t_2, \dots, t_n	zvolená stupnice	-
t_{max}	maximální hodnota ve zvolené stupnici	-
t_{pk}	předpokládaná doba na přebroušení/výměnu pilového kotouče	s
t_{pkp}	předpokládaná doba na přebroušení/výměnu pilového s kotouče při plném provozu	s
t_{f1}	doba jednoho řezu	s
t_s	předpokládaná doba seřizování, údržby a čištění	h
t_{sm}	délka směny	h
t_{sp}	předpokládaná doba seřizování, údržby a čištění při plném provozu	h
u_{ij}	dílčí užitek	-
u_j	dílčí užítková funkce	-
v_c	řezná rychlost	m/min
v_f	posuvová rychlost	mm/min
w_j	normované váhy jednotlivých kritérií	-
$y_{11}, y_{12}, \dots, y_{mn}$	hodnota určitého kritéria	-
y_{ij}	hodnota	-

Symbol	Význam	Jednotka
z	počet zubů na pilovém kotouči	-
z_z	počet zubů v záběru	-
Ψ	úhel záběru ostří	°
α_r	úhel rozstříku	°
η_c	celková účinnost	-
η_l	účinnost ložisek	-
η_m	účinnost motoru	-
η_r	účinnost řemenového převodu	-
τ	konečná technická hodnota varianty	-
$\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$	technický stav hodnoceného kritéria	-

12.2 Seznam obrázků

Obr. 1) Profily hliníkového konstrukčního systému: a) profil 45x45 od firmy Alutec [1], b) profil 90x90 firmy Alutec [1], c) d) e) hliníkové profily společnosti Item [2].....	10
Obr. 2) Pilový kotouč [3].....	23
Obr. 3) Pila určená pro ruční posuv [3].....	23
Obr. 4) Pila určená pro strojní posuv [3].....	23
Obr. 5) Nákres k doporučené výšce zraku [6].....	30
Obr. 6) Celková sestava.....	51
Obr. 7) Regál se vstupním dopravníkem.....	52
Obr. 8) Pila - zepředu.....	54
Obr. 9) Pila - ze strany výstupu.....	54
Obr. 10) Pila - zezadu.....	54
Obr. 11) Pila - ze strany vstupu.....	54
Obr. 12) Rám.....	55
Obr. 13) Možnosti uložení motoru: a) motor s přírubou, b) motor s patkami a přírubou, c) motor s patkami, d) možnosti uchycení motoru.....	56
Obr. 14) Řezací jednotka.....	56
Obr. 15) Vřeteno.....	57
Obr. 16) Řezací jednotka - zezadu.....	58

Obr. 17) Posuvová jednotka.....	58
Obr. 18) Tlumič a působící síly [17].....	58
Obr. 19) MA64150EUM, Bibus [17].....	59
Obr. 20) Upínací sestava.....	60
Obr. 21) Upínka horní.....	60
Obr. 22) Upínka boční.....	60
Obr. 23) Kryt horní - otevřený.....	61
Obr. 24) Kryt horní - uzavřený.....	62
Obr. 25) CTP, Euchner.....	62
Obr. 26) Kryt kotouče.....	62
Obr. 27) Bedna na třísky.....	62
Obr. 28) Odměřovací jednotka.....	63
Obr. 29) Řez odměřovací jednotkou.....	64
Obr. 30) Odměřovací jednotka - zezadu.....	64
Obr. 31) Digitální indikace řady BC-21HS [15].....	65
Obr. 32) TMLS-01A-02-PRECISE [15].....	65
Obr. 33) Regál s výstupním dopravníkem a s odměřováním.....	66
Obr. 34) Návrh mazání.....	66
Obr. 35) Nasávací princip činnosti trysky [22].....	67
Obr. 36) Pneumatická tryska 136.5, Hennlich [22].....	67
Obr. 37) Odhad rizika.....	74

12.3 Seznam tabulek

Tab. 1) Vodorovný pásový stroj – otočný typ.....	14
Tab. 2) Svislý pásový stroj – typ s pevným rámem.....	14
Tab. 3) Kotoučová pila - typ s otočnou hlavou.....	15
Tab. 4) Kotoučová pila - typ s posuvem nahoru.....	15
Tab. 5) Kotoučová pila - typ s radiálním ramenem.....	16
Tab. 6) Kotoučová pila - typ s dvojicí hlav.....	16
Tab. 7) Základní konstrukční části [10].....	17
Tab. 8) Přenos energie od motoru k pilovému kotouči [11].....	18
Tab. 9) Přímé odměřování polohy.....	20
Tab. 10) Opatření ke snížení hluku [3].....	29
Tab. 11) Hodnocení síly/točivého momentu pro výběr ručních ovladačů ČSN EN 894-3+A1 [7].....	30
Tab. 12) Vztah mezi parametry fyzické výkonnosti a normami ČSN EN 1005-1+A1 [8].....	31
Tab. 13) Optimální výška pracovní plochy [9].....	32

Tab. 14) Fullerova metoda.....	33
Tab. 15) Subaktivity obecného pohybu.....	37
Tab. 16) Sekvence obecného pohybu.....	37
Tab. 17) Subaktivity kontrolovaného pohybu.....	37
Tab. 18) Sekvence kontrolovaného pohybu.....	38
Tab. 19) Subaktivity při použití nářadí.....	38
Tab. 20) Sekvence pohybu s použitím nářadí.....	38
Tab. 21) Možná řešení vybraných uzlů - ruční varianta.....	41
Tab. 22) Výsledný výběr jednotlivých uzlů – ruční varianta.....	42
Tab. 23) Ohodnocení kritérií z technického hlediska – ruční varianta.....	42
Tab. 24) Ohodnocení kritérií z ekonomického hlediska – ruční varianta.....	43
Tab. 25) Možná řešení vybraných uzlů - poloautomatická varianta.....	43
Tab. 26) Výsledný výběr jednotlivých uzlů – poloautomatická varianta.....	45
Tab. 27) Ohodnocení kritérií z technického hlediska – poloautomatická varianta.....	45
Tab. 28) Ohodnocení kritérií z ekonomického hlediska – poloautomatická varianta.....	45
Tab. 29) Výsledný výběr jednotlivých uzlů – automatická varianta.....	46
Tab. 30) Ohodnocení kritérií z technického hlediska – automatická varianta.....	46
Tab. 31) Ohodnocení kritérií z ekonomického hlediska – automatická varianta.....	47
Tab. 32) Bodové ohodnocení jednotlivých variant.....	48
Tab. 33) Základní parametry navrženého zařízení.....	50
Tab. 34) Odhad rizika.....	74
Tab. 35) Základní vstupní parametry.....	76

13 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Mathcad

- Mathcad – Kontrola hřídele
- Mathcad – Kontrola per
- Mathcad – Výpočet vozíků
- Mathcad – Výpočet pohonu
- Mathcad – Seznam symbolů
- Řemenice

Příloha 1 – Basic MOST

- Basic MOST – data karty
- Basic MOST – varianty
- Basic MOST – vybrané řešení

Příloha 1 – Kalkulace

- Kalkulace – varianty
- Kalkulace – vybrané řešení

Příloha 1 – ČSN EN ISO 12100

- ČSN EN ISO 12100 – Analýza nebezpečných komponent
- ČSN EN ISO 12100 – Analýza významných nebezpečí
- ČSN EN ISO 12100 – Bezpečnostní schéma
- ČSN EN ISO 12100 – Odhad, analýza a hodnocení rizika
- ČSN EN ISO 12100 – Zjištěná nebezpečí

Příloha 1 – Výkresy

- Výkres – celková sestavaA2
- Výkres – celková sestavaA4
- Výkres – hřídelA3
- Výkres – hřídelA4

Příloha 1 – 3D model