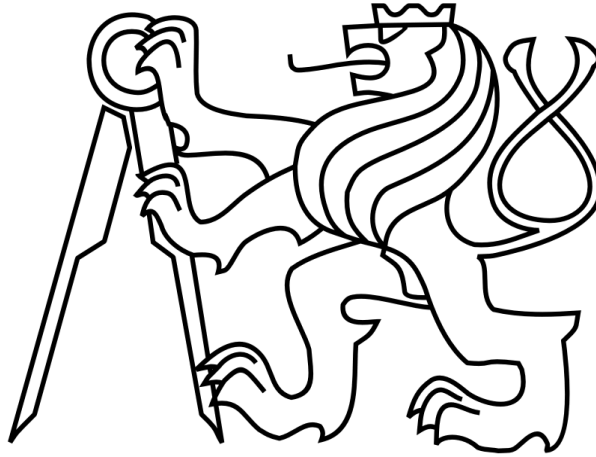


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



Bakalářská práce

Návrh ovládacího panelu obráběcího stroje

2016

Jakub Sládek



Vysoká škola: ČVUT v Praze
Fakulta: strojní
Ústav: Výrobní stroje a zařízení
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro **Jakub Sládek**
Program: Teoretický základ strojního inženýrství
Obor:

Téma práce: **Návrh ovládacího panelu obráběcího stroje**
Design of control panel for machine tool

S t r u č n á o s n o v a z a d á n í :

Navrhněte ovládací panel obráběcího stroje.

Práce bude obsahovat tyto hlavní body:

1. Rešerše možných řešení u nás i ve světě
2. Min. 3 koncepční návrhy konstrukčního řešení
3. Návrh konstrukce vybrané varianty včetně návrhových a kontrolních výpočtů
4. Tvorba detailního 3D modelu ovládacího panelu
5. Vytvoření výkresové dokumentace

Rozsah grafické části práce: Výkres sestavy panelu; Výrobní výkresy vybraných součástí konstrukce

Rozsah textové části práce: 25 – 45 stran

Doporučená literatura: HOUŠA, Jaromír. *Konstrukce číslicově řízených obráběcích strojů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985, 287 s.

MAREK, Jiří a kol. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. 684 stran. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R MISCHKE a Richard G BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. vyd. Editor Miloš Vlk. Překlad Martin Hartl. V Brně: VUT IUM, 2010, xxv, 1159 s. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jaroslav Červenka

Datum zadání bakalářské práce: 25. 4. 2016

Termín odevzdání bakalářské práce: 15. 7. 2016

Neodevzdá-li student bakalářskou práci v určeném termínu, musí tuto skutečnost předem písemně zdůvodnit a omluva být děkanem uznána. Děkan studentovi stanoví náhradní termín odevzdání bakalářské práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, musí si student zapsat bakalářskou práci podruhé.

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne:



.....
student



Ing. Petr Kolář, Ph.D.
vedoucí ústavu



Prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
děkan fakulty

V Praze dne 20. 4. 2016



Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl v příloženém seznamu veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací, vydaným ČVUT v Praze 1. 7. 2009.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 15. 7. 2016

.....
podpis



Poděkování

Tímto chci poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. M. Sulitkovi, Ph.D. a konzultantovi panu Ing. J. Červenkovi za jejich pomoc, cenné rady a připomínky, kterými mi byli nápomocni při vypracování této bakalářské práce.



Anotace

Autor:	Jakub Sládek
Název BP:	Návrh ovládacího panelu obráběcího stroje
Rozsah práce:	53 str., 50 obr., 7 tab., 4 grafy, 69 rovnic
Školní rok vyhotovení:	2016
Škola:	ČVUT – Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí BP:	Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Jaroslav Červenka
Zadavatel:	ČVUT – FS
Využití:	univerzální použití ovládacího panelu pro obráběcí stroje
Klíčová slova:	ovládací panel, CNC řídicí systém, AI profily
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá studií ovládacích panelů, rozborem konstrukčních návrhů a vlastním návrhem vybrané konstrukce ovládacího panelu.



Annotation

Author:	Jakub Sládek
Title of bachelor dissertation:	Design of control panel for machine tool
Extent:	53 p., 50 fig., 7 tab., 4 graph, 69 equation
Academic year:	2016
Univerzity:	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 – Department of Production Machines and Equipment
Supervisor:	Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.
Consultant:	Ing. Jaroslav Červenka
Submitter of the Theme:	CTU – Faculty of Mechanical Engineering
Application:	Versatile application of control panel for machine tools
Key words:	control panel, CNC controls, AI sections
Annotation:	This bachelor dissertation deals with a study on control panels, with an inquiry into engineering designs and with a respective design of a chosen construction of control panel.



Obsah

Seznam použitých symbolů.....	10
1. Úvod	13
2. CNC řídicí systém stroje	14
3. Rešerše ovládacích panelů	15
3.1. Typy upevnění ovládacích panelů	16
3.2. Shrnutí.....	20
4. Požadavky na uspořádání ovládacího panelu	21
4.1. Ergonomie ovládacího panelu.....	21
4.1.1. Návrhové výpočty	24
4.1.2. Řešení výškového rozdílu ovládacího panelu.....	26
4.1.3. Shrnutí.....	27
4.2. Typy řídicích systémů.....	27
4.2.1. Rozměry řídicích systémů	28
4.2.2. Montáž řídicích systémů	28
5. Návrh konstrukčního řešení ovládacího panelu.....	29
5.1. Návrh konstrukce	29
5.1.1. Konstrukce A	29
5.1.2. Konstrukce B	29
5.1.3. Konstrukce C.....	30
5.1.4. Konstrukce D	30
5.2. Návrh řešení svislého zdvihu ovládacího panelu	31
5.2.1. Lineární vedení.....	31
5.2.2. Pohonné mechanismy.....	31
5.2.3. Kompenzace vlastní tíhy panelu.....	31
5.2.4. Aretace panelu	32
6. Návrh konstrukce vybrané varianty	33
6.1. Koncepce stavby skříně panelu z tažených Al profilů	33
6.2. Nosná skříň.....	34
6.3. Výšková kompenzace	35
6.4. Nosné rameno.....	35
6.5. Doplnky	36
6.6. Komplexní návrh ovládacího panelu.....	37



7.	Výpočtová část	38
7.1.	Návrh průřezu vodících tyčí	38
7.1.1.	Ohybové napětí	41
7.1.2.	Průhyb vodících tyčí	42
7.1.3.	Kontrola uložení	44
7.1.4.	Shrnutí	44
7.2.	Návrh aretačního čepu	44
7.2.1.	Shrnutí	44
7.3.	Kontrola připojovacích šroubů nosného ramene	45
7.3.1.	Shrnutí	45
8.	Analýza výrobních nákladů	46
8.1.	Shrnutí	47
9.	Závěr	48
10.	Seznamy	49
10.1.	Zdroje	49
10.2.	Seznam obrázků	52
10.3.	Seznam tabulek	53
10.4.	Seznam grafů	53
10.5.	Seznam rovnic	53
10.6.	Seznam použitého softwaru	55
10.7.	Seznam příloh	55



Seznam použitých symbolů

Symbol	Jednotka	Název
a	[m]	délka dolní části s klávesnicí ovládacího panelu
a ₁	[m]	tloušťka spojovací pásoviny
b	[m]	poloha dolního ložiska od bodu A
b ₁	[m]	tloušťka stěny jeklu
c	[m]	poloha horního ložiska od bodu A
C ₁	[Nmm ²]	konstanta 1 z Bernoulliho diferenciální rovnice průhybové čáry
c ₁	[m]	tloušťka nosné desky
C ₂	[Nmm ³]	konstanta 2 z Bernoulliho diferenciální rovnice průhybové čáry
C ₃	[Nmm ²]	konstanta 3 z Bernoulliho diferenciální rovnice průhybové čáry
C ₄	[Nmm ³]	konstanta 4 z Bernoulliho diferenciální rovnice průhybové čáry
C ₅	[Nmm ²]	konstanta 5 z Bernoulliho diferenciální rovnice průhybové čáry
C ₆	[Nmm ³]	konstanta 6 z Bernoulliho diferenciální rovnice průhybové čáry
d	[m]	průměr aretačního čepu
D	[m]	průměr díry pro šroub v nosné desce
d ₁	[m]	průměr závitu 1
d ₂	[m]	průměr závitu 2
d ₃	[m]	průměr závitu 3
d _p	[m]	poloha obrazovky na ovládacím panelu
d _t	[m]	průměr vodící tyče
E	[Nmm ⁻²]	Youngův modul pružnosti
F	[N]	vnější zatížení ovládacího panelu
F ₁	[N]	síla v horním ložisku
F ₂	[N]	síla v dolním ložisku
h	[m]	výška zapuštění vodící tyče do nosné desky
h _{p1}	[m]	maximální prostor maže definovaný od těla 1
h _{p2}	[m]	maximální prostor maže definovaný od těla 2
l	[1]	počet kusů šroubů
J _z	[mm ⁴]	kvadratický moment průřezu
k	[1]	bezpečnost
k _p	[1]	koeficient výšky lokte postavy
k _{p1}	[1]	koeficient výšky lokte postavy 1
k _{p2}	[1]	koeficient výšky lokte postavy 2
l ₁	[m]	poloha ložiska na vodící tyči 1
l ₂	[m]	poloha ložiska na vodící tyči 2



Symbol	Jednotka	Název
l_3	[m]	poloha ložiska na vodící tyči 3
l_p	[m]	délka pracovního prostoru paže do výšky
$m_{o(x)}^{(fL)}$	[Nm]	ohybový moment od jednotkové síly v místě L
$m_{o(x)}^{(mL)}$	[Nm]	ohybový moment od jednotkového momentu v místě L
$M_{o(x)}^{III}$	[Nm]	ohybový moment v poli III
$M_{o(x)}^{II}$	[Nm]	ohybový moment v poli II
$M_{o(x)}^I$	[Nm]	ohybový moment v poli I
M_K	[Nm]	reakční moment v bodu K
M_L	[Nm]	reakční moment v bodu L
M_o	[Nm]	ohybový moment
m_p	[m]	prostor pod obrazovkou na ovládacím panelu
P	[m]	rozteč závitu
p	[m]	substituce
p'	[m]	vypočtená střední hodnota výšky ovládacího panelu
p'_{max}	[m]	vypočtená maximální výška ovládacího panelu
p'_{min}	[m]	vypočtená minimální výška ovládacího panelu
$\rho_{D\ ocel}$	[Mpa]	dovolený tlak v oceli
ρ_{Dz}	[Mpa]	dovolený tlak v závitu
p_p	[m]	celková výška ovládacího panelu
q	[m]	substituce
R_e	[Nmm ⁻²]	mez kluzu materiálu
R_K	[N]	reakční síla v bodu K
R_L	[N]	reakční síla v bodu L
S	[m ²]	plocha vodící tyče
S_2	[m ²]	plocha závitu 2
S_3	[m ²]	plocha závitu 3
$v''_{(x)}$	[m ⁻¹]	druhá derivace průhybu vodící tyče
$v''^I_{(x)}$	[m ⁻¹]	druhá derivace průhybu vodící tyče v poli I
$v''^{II}_{(x)}$	[m ⁻¹]	druhá derivace průhybu vodící tyče v poli II
$v''^{III}_{(x)}$	[m ⁻¹]	druhá derivace průhybu vodící tyče v poli III
$v^I_{(x)}$	[rad]	první derivace průhybu vodící tyče v poli I
$v^{II}_{(x)}$	[rad]	první derivace průhybu vodící tyče v poli II
$v^{III}_{(x)}$	[rad]	první derivace průhybu vodící tyče v poli III
v'_{loket}	[m]	kontrolní výpočet výšky lokte postavy měřené od země
v_1	[m]	výška naklonění ovládacího panelu v bodu 1



Symbol	Jednotka	Název
v_2	[m]	výška naklopení ovládacího panelu v bodu 2
$v_{(x)}^I$	[m]	průhyb vodící tyče v poli I
$v_{(x)}^{II}$	[m]	průhyb vodící tyče v poli II
$v_{(x)}^{III}$	[m]	průhyb vodící tyče v poli III
v_L	[m]	průhyb vodící tyče v bodu L
v_{loket}	[m]	výška lokte postavy měřená od země
v_{lokte1}	[m]	výška lokte postavy měřená od země 1
v_{lokte2}	[m]	výška lokte postavy měřená od země 2
v_{max}	[m]	maximální výška postavy
v_{min}	[m]	minimální výška postavy
v_{Oloket}	[m]	osobní výška lokte postavy měřená od země
v_{op}	[m]	osobní výška postavy
v_p	[m]	výška postavy
v_{p1}	[m]	výška postavy 1
v_{p2}	[m]	výška postavy 2
$v_{panel\ max}$	[m]	maximální výška ovládacího panelu
$v_{panel\ min}$	[m]	minimální výška ovládacího panelu
v_{panel}	[m]	výška ovládacího panelu
W_o	[mm ³]	modul průřezu v ohybu
x	[m]	poloha souřadnice pro výpočet vodící tyče
x_p	[m]	prostor pod klávesnicí na ovládacím panelu
α	[°]	mezní úhel, který vymezuje dolní polohu svislé obrazovky na panelu
β	[°]	mezní úhel, který vymezuje horní polohu svislé obrazovky na panelu
γ	[°]	mezní úhel, pod kterým lze sledovat horní obrazovku
δ	[°]	mezní úhel, pod kterým lze sledovat dolní obrazovku
Δv_{panelu}	[m]	rozdíl výšky panelu
π	[1]	Ludolfovo číslo
σ_o	[Nmm ⁻²]	ohybové napětí
$\sigma_{o\ max}$	[Nmm ⁻²]	maximální ohybové napětí
τ	[Nmm ⁻²]	smykové napětí
$\tau_{D\ Al}$	[Nmm ⁻²]	dovolené smykové napětí pro hliník
$\tau_{D\ ocel}$	[Nmm ⁻²]	dovolené smykové napětí pro ocel
φ_L	[rad]	natočení vodící tyče v bodě L



1. Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá rozbohem jednotlivých typů ovládacích panelů, průzkumem konstrukčních návrhů a vlastním návrhem vybrané konstrukce ovládacího panelu.

V první kapitole je popsán CNC řídicí systém a představen ovládací panel, k čemu slouží a z jakých částí se skládá.

Druhá kapitola se zabývá rešerší ovládacích panelů. Jsou zde shrnuty jednotlivé typy panelů, které se vyskytují na českém i zahraničním trhu, jejich základní náležitosti a nedostatky, které by měl ovládací panel splňovat.

Třetí kapitola je věnována ergonomii ovládacího panelu a předběžným rozměrovým výpočtům pro návrh ovládacího panelu a dále typům řídicích systémů. Především jejich specifikacím.

Ve čtvrté kapitole jsou předvedeny čtyři koncepční návrhy ovládacích panelů, jejich popis, výhody a nevýhody.

V páté kapitole je vlastní návrh vybrané konstrukce ovládacího panelu. Jsou zde popsány jednotlivé části ovládacího panelu doprovázeny názornými obrázky.

V šesté kapitole jsou provedeny návrhové a kontrolní výpočty navrženého panelu vybraných součástí.

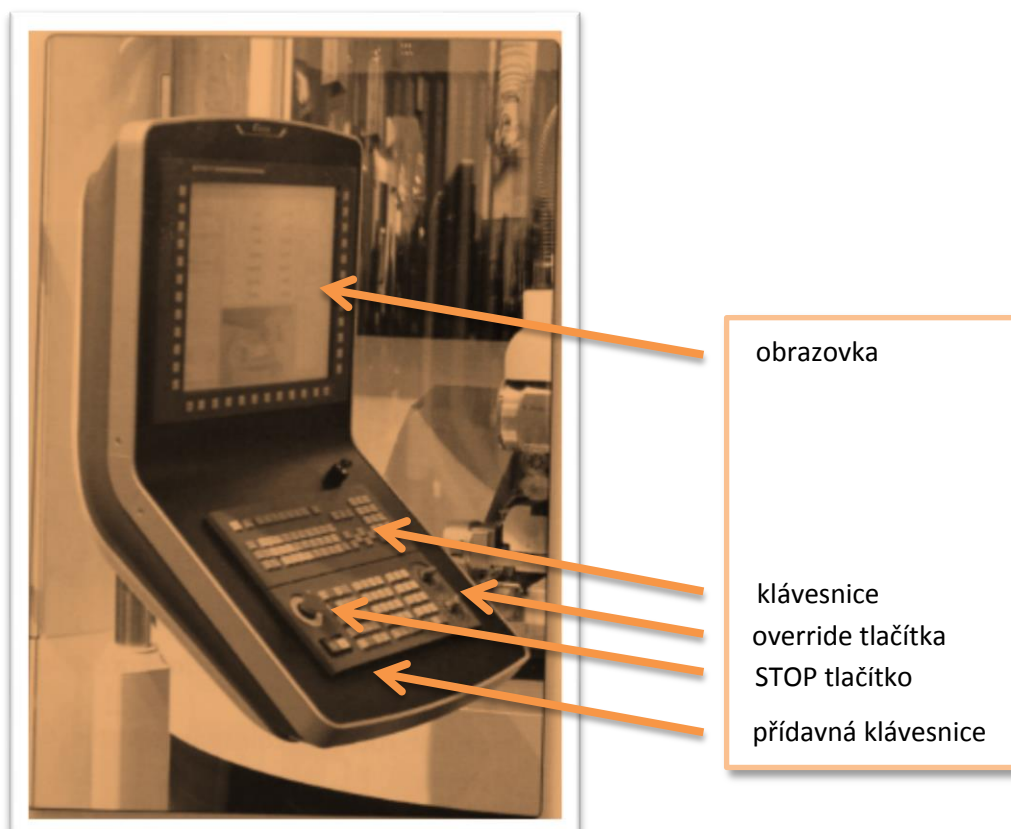
Poslední, sedmá kapitola se týká rozboru finančních nákladů na výrobu ovládacího panelu.

2. CNC řídicí systém stroje

Obráběcí stroje lze rozdělit na konvenční, NC řízené a CNC řízené. Konvenční stroje jsou historicky nejstarší, ručně ovládané avšak do dnes velmi rozšířené a používané. NC stroje jsou numericky řízené prostřednictvím děrných pásek nebo děrných štítků. Informace z děrných štítků či pásek jsou převedeny na elektrické impulzy, které následně ovládají jednotlivé pohony stroje. Tato metoda byla postupem času nahrazena počítačovým řízením, nebo-li zkratka z anglického jazyka CNC „Computer Numerical Control“.

Pomocí CNC řídicího systému probíhá interpolace NC kódu s žádanou dráhou nástroje, vygenerovanou v CAM programu. Tento způsob obrábění je velmi produktivní. Obráběcí procesy jsou přesnější a rychlejší, než u NC strojů či strojů konvenčních.

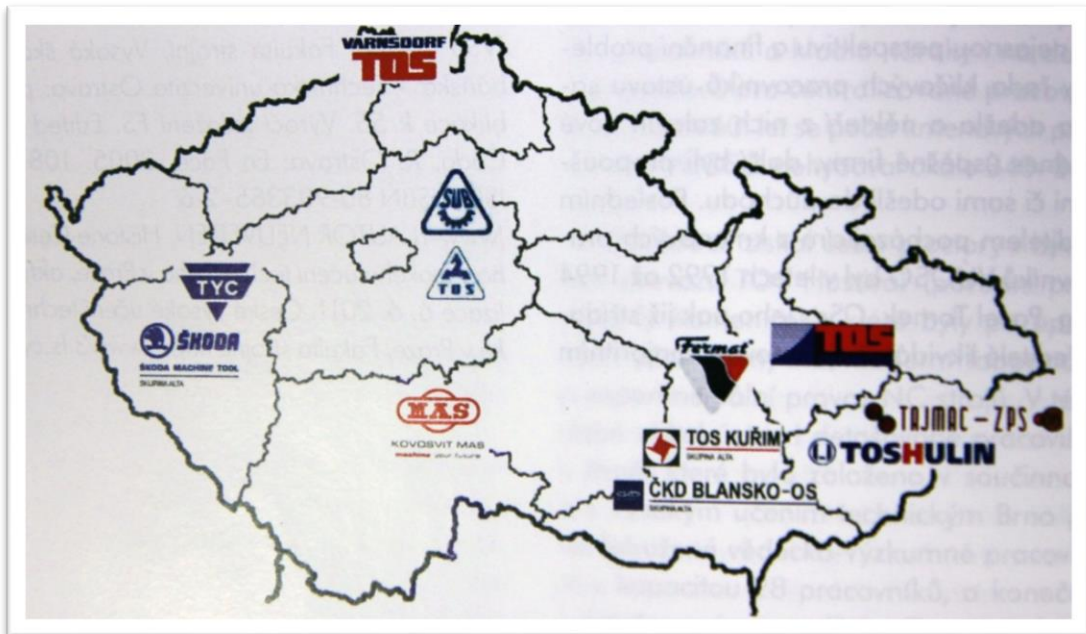
Řídicí systém je ovládán skrze ovládací panel, ve kterém se nachází obrazovka a klávesnice, spolu s dalšími ovládacími prvky, viz Obr. 1. Ovládací panel slouží jako komunikace mezi obsluhou a obráběcím strojem, nejčastěji je pevně spojen se strojem tak, aby se na něm pohodlně pracovalo.



Obr. 1 – ovládací panel (2)

3. Rešerše ovládacích panelů

Průzkum ovládacích panelů byl proveden především u tradičních českých výrobců CNC strojů. Někteří z nich jsou zakresleni v mapě na Obr. 2. Jako zdroj informací trendů světových výrobců byla použita fotodokumentace z výstavy Emmo Hannover 2013 v Miláně, viz Obr. 3.



Obr. 2 – mapa českých firem CNC strojů (2)

Tato kapitola je zaměřena především na způsoby a možnosti, kterými jsou panely upevňovány ke strojům. Dále na to, jaké tvary panelů jsou na trhu k vidění, jaké jsou jejich technické možnosti a jaké příslušenství výrobci ke strojům, respektive ovládacím panelům nabízejí.

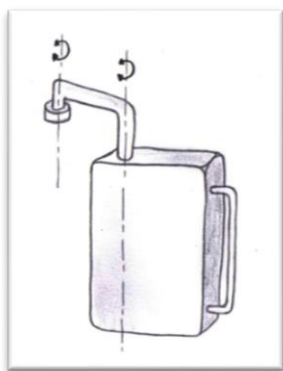
Zkoumání nabízených variant panelů nebylo omezeno pouze knižními a internetovými zdroji, ale bylo využito také možnosti osobních konzultací autora s operátory strojů a pracovníky laboratoří Ústavu výrobních strojů. Tyto konzultace přinesly zkušenosti a cenné rady od lidí, kteří se stroji běžně pracují a napomohly k lepší orientaci v dané problematice.

V Tab. 1 jsou zpracovaná data ovládacích panelů, které nabízí čeští výrobci obráběcích strojů. Ovládací panely jsou rozděleny do několika skupin dle typu uložení a následně přiřazeny k jednotlivým typům obráběcích strojů. Závěr z této tabulky je důležitý pro prvotní návrh navrhovaného univerzálního panelu pro řídicí systémy Sinumerik, Fanuc a Heidenhain.

3.1. Typy upevnění ovládacích panelů

Na trhu se vyskytuje celkem šest typů uložení ovládacích panelů. Těchto šest způsobů a četnost jejich výskytů je přehledně zpracováno v Tab. 1.

- Uložení panelu na horním rameni

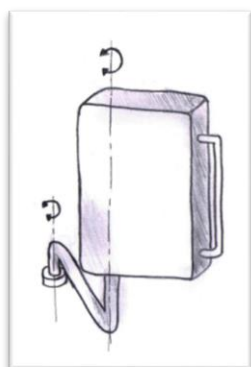


Obr. 3 - ovládací panel na horním rameni



Obr. 4 - ovládací panel na horním rameni

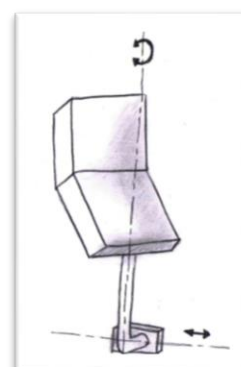
- Uložení panelu na dolním rameni



Obr. 5 - ovládací panel na dolním rameni

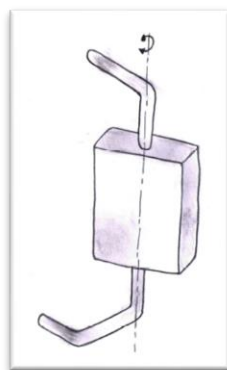


Obr. 6 - ovládací panel na dolním rameni



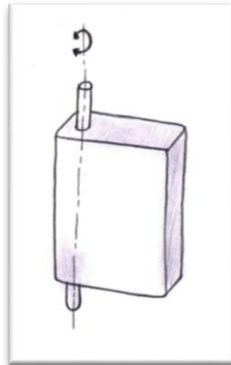
Obr. 7 - ovládací panel na dolním rameni

- Uložení panelu na horním a dolním rameni



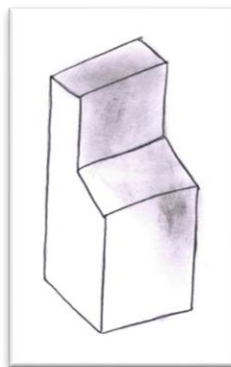
Obr. 8 - ovládací panel na dolním a horním rameni

- **Uložení panelu na pantech**



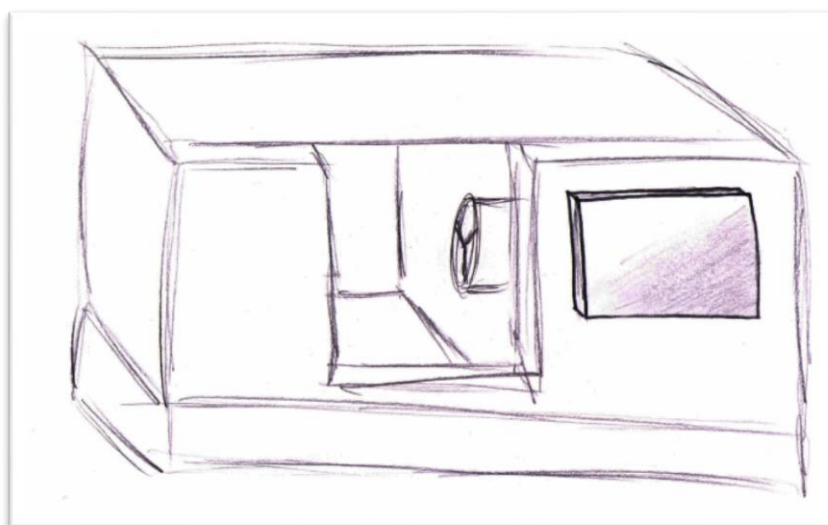
Obr. 9 - ovládací panel
uložen na pantech

- **Uložení panelu do samostatného stojanu**



Obr. 10 - ovládací panel
uložen ve stojanu

- **Uložení panelu přímo na stroji**



Obr. 11 - ovládací panel vetknutý ve stroji



Tab. 1 - přehled strojů a ovládacích panelů na českém trhu

Obráběcí stroje	Typy uložení ovládacích panelů českých firem CNC strojů																			
	horní rameno			dolní rameno				horní a dolní rameno			panty		stojan		ve tknut					
	vetknutý	lomený	hklápný	vetknutý	lomený	hklápný	posuvný	lomený	hklápný	vetknutý	posuvný	nepojízdný	pojízdný	lomený	hklápný					
	rovný	pevný	rovný	rovný	pevný	hklápný	rovný	pevný	rovný	rovný	pevný	pevný	hklápný	pevný	pevný					
Obráběcí centra	4																			
	vertikální obráběcí centra																			
	horizontální obráběcí centra															4				
	portálová obráběcí centra				2															
	multifunkční/víceosá obr. centra				2															
dlouhotočné CNC automaty															7					
Soustruhy	1			1																
	vertikální soustruhy											1		1						
	horizontální soustruhy											2	7							
	vícevětvenový soustruhy			4	5															
Frézky																				
	vertikální frézky																			
	horizontální frézky			4																
	portálové frézky																			
	pěti-osé frézky				2															
Vyvrtávačky	2			1																
	stolové vyvrtávačky																			
	vodorovné vyvrtávačky			2			1													
Brusky																				
	brusky										3									
Dělení materiálu nekonvenční metodou	2	2		6	1															
	pálicí stroje													2	3					
	řezání vodním paprskem													4	2					
Celkový počet typů uložení																				
			13	14	2	3	18	1	4	0	0	0	3	12	6	1	6	0	11	
			29			26			3			12			13			11		
Zastoupení tvaru panelů																				
										rovný panel					lomený panel					
										39					55					
Celkový počet																				



Obr. 12 – vybrané ovládací panely na veletrhu EMO Hannover 2013 (2)



3.2. Shrnutí

Z Tab. 1 je zřejmé, že nejčastějším způsobem uložení panelu ke stroji je pomocí ramenového systému zespoda či z vrchu panelu. Je tedy dobré tento způsob uložení dodržet při návrhu univerzálního panelu. Dále se na trhu vyskytuje větší počet panelů lomených.

Dle vlastního průzkumu mezi operátory strojů laboratoří Ústavu výrobních strojů by měl CNC panel splňovat tyto náležitosti:

- Výšková nastavitelnost panelu
- Držák na ruční ovládání posuvu vřetena
- Držák na pistoli na vzduch
- Držák výkresů
- Vhodně vyřešen odkládací prostor
- Panel umístit co nejbližší k vřetenu
- Dlouhé rameno nevhodné z hlediska tuhosti celé soustavy a špatné manipulace

Na veletrhu EMO Hannover 2013 v Miláně bylo vystaveno několik nových modelů ovládacích panelů. Některé z nich jsou na Obr. 12. Tyto panely jsou nejen designově zajímavé, ale jsou navrženy také pro maximální pohodlí člověka. Jejich hlavní výhodou je výšková nastavitelnost. Na vystavených panelech byly zřídka vidět například držáky výkresů nebo držák na pistoli na vzduch, pravděpodobně proto, že výrobce kladl důraz především na estetiku a vzhled.

Ovládací panely českých výrobců se od ovládacích panelů zahraničních výrobců liší především v designu. Design panelu je pevně spjat s CNC řídicím systémem. Pokud dáme do panelu tenčí obrazovku, může být samotný panel tenčí a tvarově zajímavější. Dalším pokrokem jsou čím dál tím častější dotykové obrazovky, což nám ušetří prostor pro klávesnici. Druhou hlavní odlišností světových panelů od českých je častější výskyt panelů s výškovou nastavitelností.

Současným trendem začíná být přidávání druhé obrazovky na panely. Na této obrazovce se sleduje přímý proces obrábění. Dnešní panely by tedy měly mít možnost přidání druhé obrazovky.

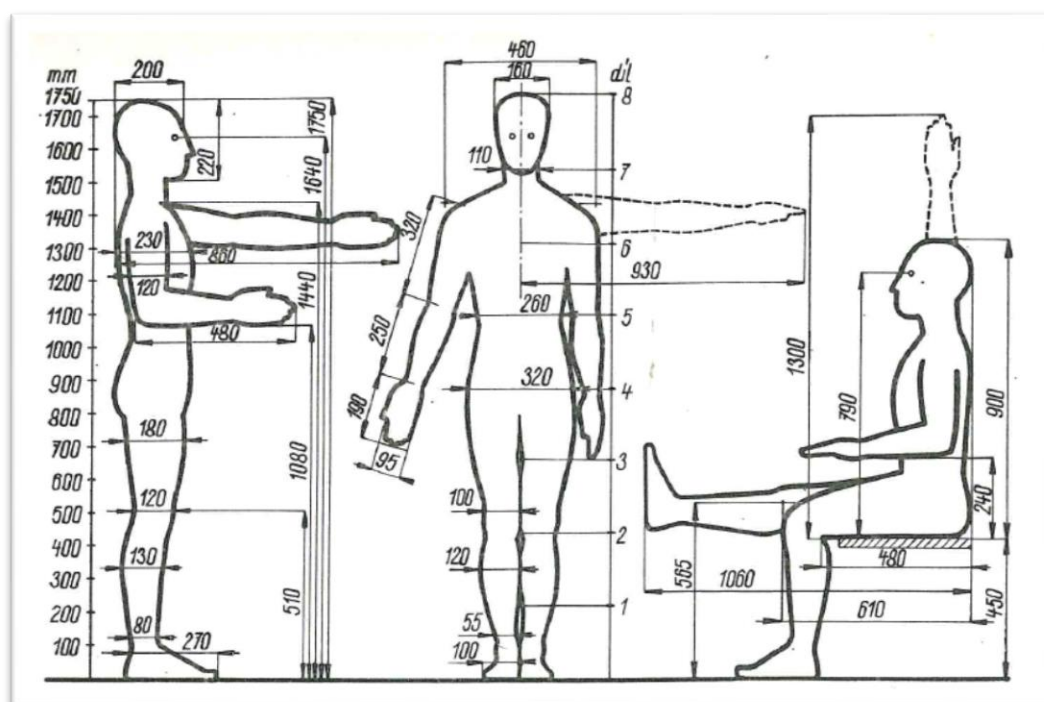
4. Požadavky na uspořádání ovládacího panelu

4.1. Ergonomie ovládacího panelu

Ergonomii ovládacích panelů popisuje norma ČSN EN ISO 6385.

„Norma obsahuje ISO 6385:1981, která byla převzata beze změn do ENV 26385:1990. Stanoví základní ergonomické zásady pro řešení (navrhování) pracovních systémů. Ergonomické zásady obsažené v této normě se týkají řešení (navrhování) optimálních pracovních podmínek z hlediska pracovní pohody, bezpečnosti a zdraví člověka při práci s ohledem na výrobní a ekonomickou efektivitu práce.“¹

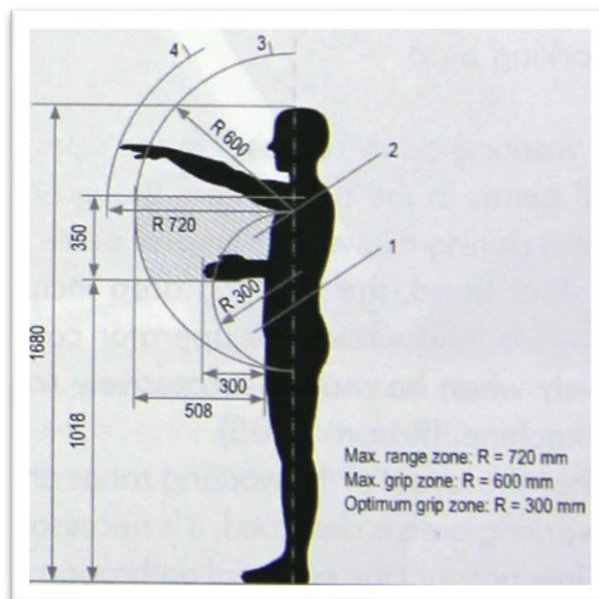
Cílem této kapitoly je analýza rozměrových požadavků pro vlastní návrh ovládacího panelu, aby splňoval hlavní požadavky a zásady ergonomie a byl uživatelsky pohodlný.



Obr. 13 - ergonomie mužské postavy (4)

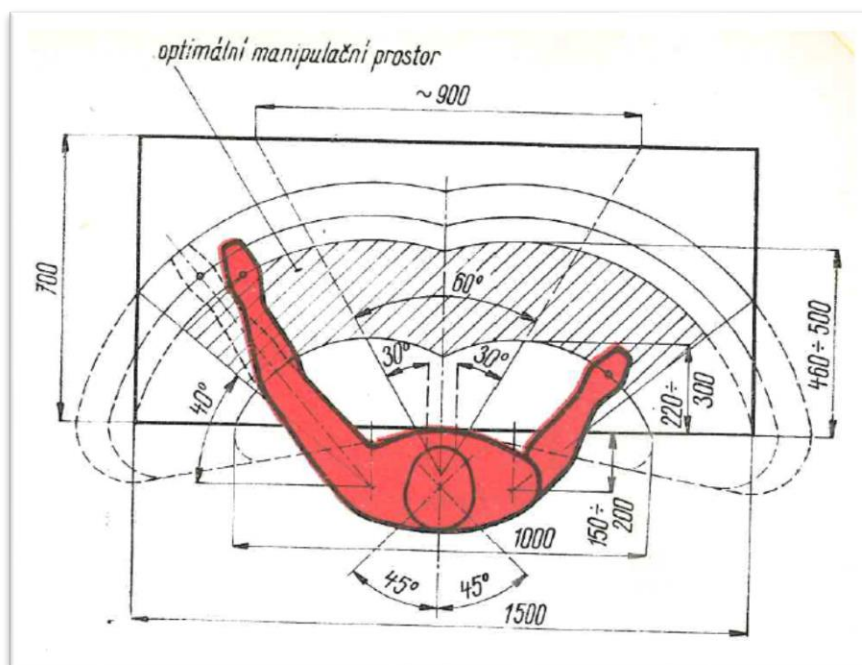
- z Obr. 13 použita výška postavy a výška lokte měřená od země:
 - $v_{p1} = 1750$ mm
 - $v_{lokte1} = 1080$ mm

¹ ČSN ISO 6385 (833510) - Technické normy ČSN. Normy ČSN - Bezpečnostní tabulky [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: http://www.technicke-normy-csn.cz/833510-csn-iso-6385_4_15139.html



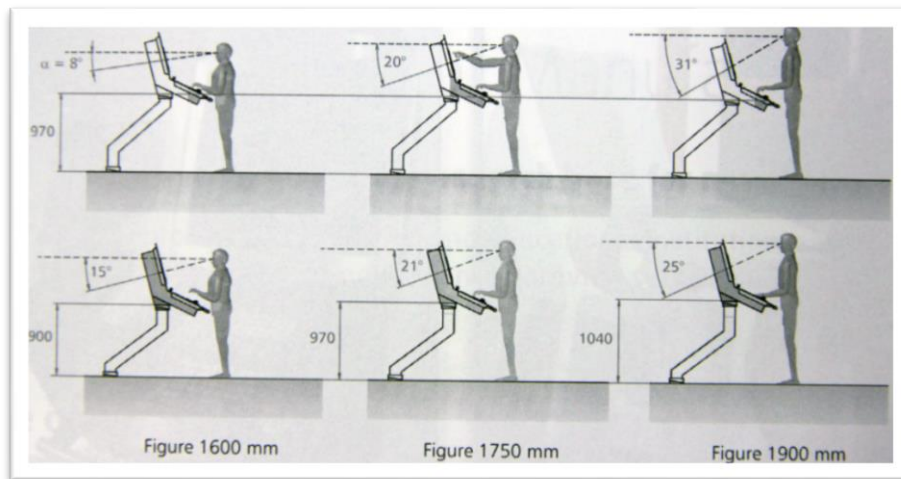
Obr. 14 - ergonomie mužské postavy (2)

- z Obr. 14 použita výška postavy, výška lokte měřená od země a pracovní prostor paže (do výšky):
 - $v_{p2} = 1680$ mm
 - $v_{lokte2} = 1018$ mm
 - $l_p = 350$ mm



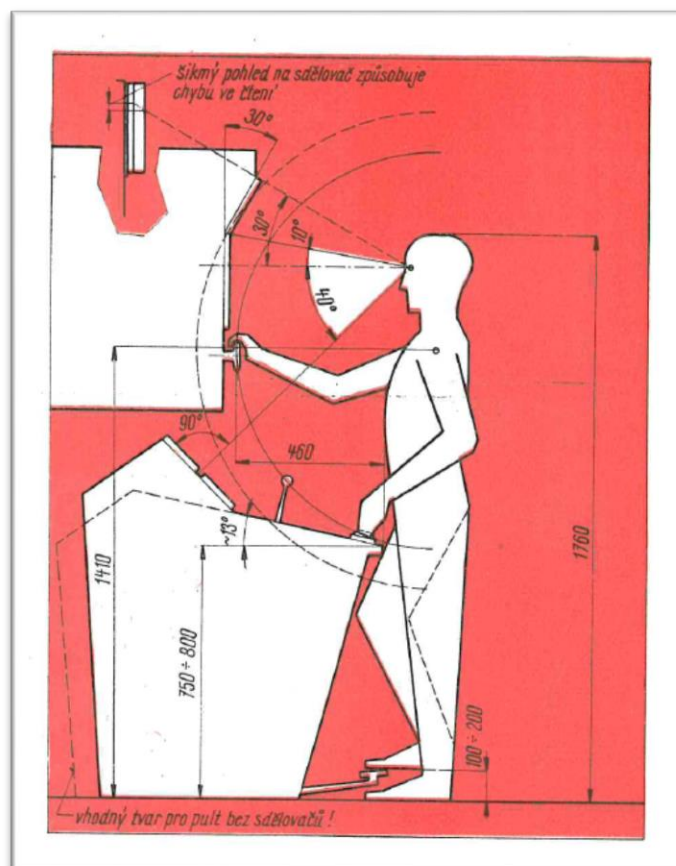
Obr. 15 - ergonomie mužské postavy (4)

- z Obr. 15 použit maximální pracovní prostor paže definovaný od vzdálenosti těla:
 - $h_{p1} \in <460; 500>$ mm



Obr. 16 - ergonomie mužské postavy (2)

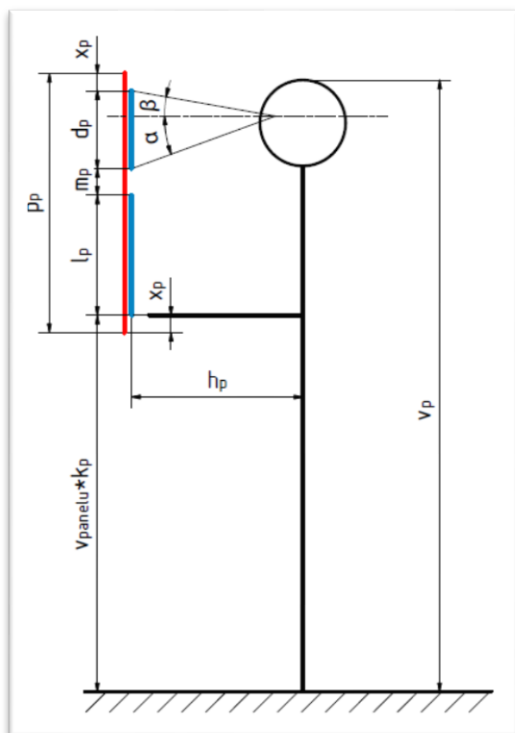
- z Obr. 16 použit zorný úhel očí:
 - $\alpha = 20^\circ$ - mezní úhel, který vymezuje dolní polohu svislé obrazovky na panelu



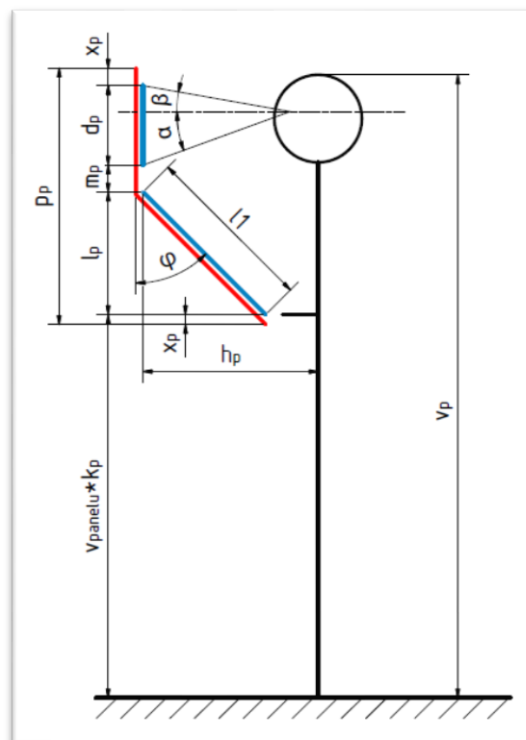
Obr. 17 - ergonomie mužské postavy (4)

- z Obr. 17 použit pracovní prostor paže definovaný od těla a zorný úhel očí:
 - $h_{p2} = 460$ mm
 - $\beta = 10^\circ$ - mezní úhel, který vymezuje horní polohu svislé obrazovky na panelu
 - $\gamma = 30^\circ$ - mezní úhel, pod kterým lze sledovat horní obrazovku v případě, že sama obrazovka bude natočena o stejný úhel γ

- $\delta = 40^\circ$ - mezní úhel, pod kterým lze sledovat dolní obrazovku v případě, že sama obrazovka bude natočena o stejný úhel δ



Obr. 18 - ergonomie ovládacího panelu - panel rovný



Obr. 19 - ergonomie ovládacího panelu - panel lomený

4.1.1. Návrhové výpočty

Návrhové výpočty jsou provedeny pro určení přibližných rozměrů pro návrh ovládacího panelu dle Obr. 18 a Obr. 19. Pro tyto výpočty byly použity rozměry dané ergonomií mužské postavy.

- **Výpočet polohy ovládacího panelu ve svislém směru:**

$$k_{p1} = \frac{v_{loket1}}{v_{p1}} = \frac{1080}{1750} = 0,617 \quad 4.1.1. (1)$$

$$k_{p2} = \frac{v_{loket2}}{v_{p2}} = \frac{1018}{1680} = 0,606 \quad 4.1.1. (2)$$

$$k_p = \frac{k_{p1} + k_{p2}}{2} = \frac{0,617 + 0,606}{2} = 0,6115 \quad 4.1.1. (3)$$

- kde k_p je koeficient přepočtu výšky lokte vztažený k výšce mužské postavy.



- **Kontrola:**

- osobní hodnoty: $v_{op} = 1700 \text{ mm}$
 $v_{oloket} = 1040 \text{ mm}$

$$v'_{loket} = v_{op} \cdot k_p = 1700 \cdot 0,6115 = 1039,6 \text{ mm} \quad 4.1.1. (4)$$

- **Shrnutí:**

- Vypočtená hodnota v'_{loket} se liší od změřené výšky lokte v_{oloket} o 0,4 mm, což je zanedbatelná hodnota. Koeficient $k_p = 0,6115$ lze dále používat ve výpočtech pro polohu ovládacího panelu ve svislém směru.

- **Vstupní hodnoty:** $v_{min} = 1600 \text{ mm}$
 $v_{max} = 1900 \text{ mm}$
 $k_p = 0,6115$

$$v_{panel} = v_p \cdot k_p \quad 4.1.1. (5)$$

$$v_{panel_{min}} = v_{min} \cdot k_p = 1600 \cdot 0,6115 \cong 980 \text{ mm} \quad 4.1.1. (6)$$

$$v_{panel_{max}} = v_{max} \cdot k_p = 1900 \cdot 0,6115 \cong 1160 \text{ mm} \quad 4.1.1. (7)$$

$$\Delta v_{panelu} = v_{panel_{max}} - v_{panel_{min}} = 1160 - 980 = 180 \text{ mm} \quad 4.1.1. (8)$$

- **Shrnutí:**

- Změna výšky lokte od země není úměrná změně výšky postavy. Z tohoto důvodu stačí, když bude panel výškově nastavitelný o $\Delta v_{panelu} = 180 \text{ mm}$.

- **Výpočet umístění obrazovky na panelu:**

- **Vstupní hodnoty:** $\alpha = 20^\circ$
 $\beta = 10^\circ$
 $h_p \in \langle 460; 500 \rangle \text{ mm}$

$$d_p = h_p \cdot \operatorname{tg} \alpha + h_p \cdot \operatorname{tg} \beta = h_p \cdot (\operatorname{tg} \alpha + \operatorname{tg} \beta) = h_p \cdot (\operatorname{tg} 20^\circ + \operatorname{tg} 10^\circ) \quad 4.1.1. (9)$$

$$d_p \cong \frac{h_p}{2} \cong 250 \text{ mm}$$

- **Shrnutí:**

- Display by neměl být vyšší, než 250 mm.

- **Výpočet celkové výšky panelu:**

- **Vstupní hodnoty:** $v_{min} = 1600 \text{ mm}$
 $v_{max} = 1900 \text{ mm}$
 $k_p = 0,6115$
 $x_p = 10 \text{ mm}$

$$p' = v_p - v_p \cdot k_p = v_p \cdot (1 - k_p) \quad 4.1.1. (10)$$

$$p'_{min} = v_{min} \cdot (1 - k_p) = 1600 \cdot (1 - 0,6115) = 620 \text{ mm} \quad 4.1.1. (11)$$

$$p'_{max} = v_{max} \cdot (1 - k_p) = 1900 \cdot (1 - 0,6115) = 740 \text{ mm} \quad 4.1.1. (12)$$

$$p' = \frac{p'_{min} + p'_{max}}{2} = \frac{620 + 740}{2} = 680 \text{ mm} \quad 4.1.1. (13)$$

$$p_p = p' + 2 \cdot x_p = 680 + 2 \cdot 10 = 700 \text{ mm} \quad 4.1.1. (14)$$

- **Shrnutí:**

- Celková výška panelu by neměla přesáhnout 700 mm.

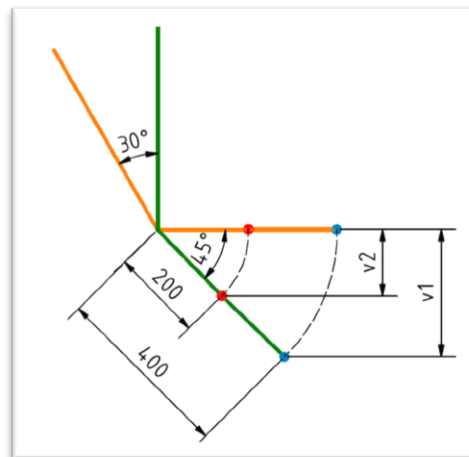
- **Výpočet hodnoty m :**

- **Vstupní hodnoty:**
 $d_p = 250 \text{ mm}$
 $l_p = 350 \text{ mm}$
 $p' = 680 \text{ mm}$

$$m_p = p' - (d_p + l_p) = 680 - (250 + 350) = 80 \text{ mm} \quad 4.1.1. (15)$$

4.1.2. Řešení výškového rozdílu ovládacího panelu

Konstruktéři ovládacích panelů řeší tento problém dvěma způsoby. Jedním řešením je výškově nastavitelný panel dle potřeby pracovníka. Druhý způsob konstrukce panelu řeší kompenzaci rozdílných postav pracovníků pomocí vzájemného naklápění monitoru a klávesnice, viz Obr. 20.



Obr. 20 - naklápěcí panel

- **Výpočet výškové kompenzace naklápěním klávesnice:**

$$v_1 = \sin 45^\circ \cdot 400 \cong 280 \text{ mm} \quad 4.1.2 (16)$$

$$v_2 = \sin 45^\circ \cdot 200 \cong 140 \text{ mm} \quad 4.1.2 (17)$$

$$\Delta v_{panelu} \leq \min(v_1; v_2) \Leftrightarrow 180 \leq 140 \quad 4.1.2 (18)$$

4.1.3. Shrnutí

Z návrhových výpočtů vyplývá, že by celková výška panelu neměla přesáhnout 700 mm a zároveň, že je dostačující, aby změna výšky panelu pro osoby s výškou v rozmezí 160 – 190 cm byla jen 180 mm. Dále lze také vypočítat vhodnou polohu panelu ve svislém směru při montáži ke stroji.

Z výpočtu výškové kompenzace pohybů pracovních bodů na Obr. 20 při možnosti naklápění klávesnice o úhel 45° je zřejmé, že je samotné naklápění nedostatečné. Krajní bod se naklopením posune o výšku v_1 , která je dostačující, ale bod, který leží v polovině prostoru panelu, pro klávesnici nevyhověl předchozím požadavkům na minimální výškový posun Δv_{panelu} . Z tohoto důvodu samotné naklápění pro účel výškové kompenzace není vhodné.

4.2. Typy řídicích systémů

Při návrhu ovládacího panelu je důležité se zaměřit na adaptabilitu mezi třemi řídicími systémy Sinumerik, Fanuc a Heidenhain. Každý systém má odlišný způsob montáže komponent na panel a je potřeba tomu návrh panelu uzpůsobit. Zároveň se vyrábí různá provedení jednotlivých systémů a každý má jiné rozměry, se kterými je také třeba počítat.



Obr. 21 – CNC řídicí systém
FANUC (6)



Obr. 22 – CNC řídicí systém
SINUMERIK (35)



Obr. 23 – CNC řídicí systém
HEIDENHAIN (23)

4.2.1. Rozměry řídicích systémů

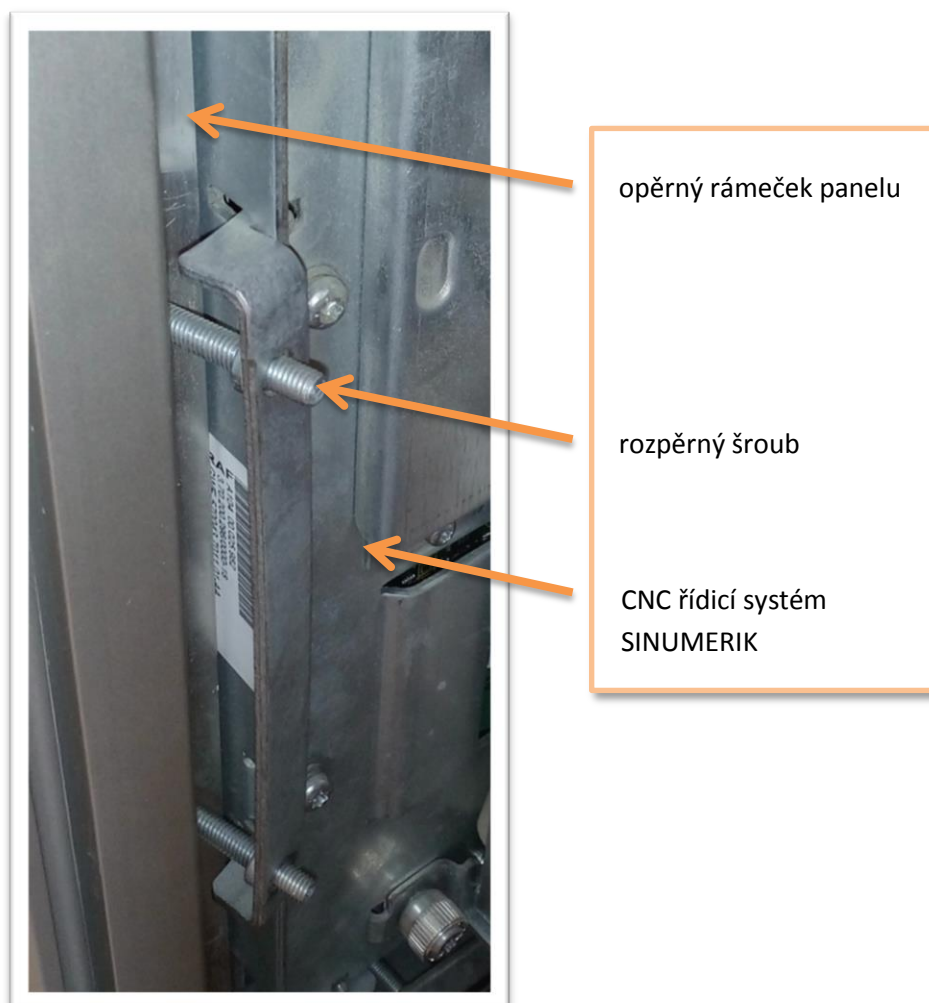
Rozměry jednotlivých řídicích systémů jsou uvedeny v Tab. 2. Všechny rozměry jsou měřeny na virtuálních 3D modelech, které byly firmami poskytnuty pro účely této práce.

Tab. 2 – rozměry řídicích systémů

ŘÍDICÍ SYSTÉMY		OBRAZOVKY			KLÁVESNICE			PŘÍDAVNÉ KLÁVESNICE		
		Šířka [mm]	Výška [mm]	Hloubka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Hloubka [mm]	Šířka [mm]	Výška [mm]	Hloubka [mm]
FANUC	Fanuc Color LCD Unit 10.4 inch	290	220	60	400	145	13	400	155	80
	Fanuc 15 inch 2 slots	400	320	124						
	Fanuc 19 inch 2 slots	500	380	133						
SINUMERIK	Sinumerik OP 15	483	310	88	483	133	28	483	153	65
	Sinumerik OP 19	483	399	81						
HEIDENHAIN	Heidnhain	400	350	86	400	370	50			

4.2.2. Montáž řídicích systémů

Systémy od výrobců Sinumerik a Fanuc jsou k ovládacímu panelu připevňovány pomocí rozpěrných šroubů, viz Obr. 24. Řídicí systémy od firmy Heidenhain jsou na panel montovány z čelní strany panelu pomocí šroubů zajištěných maticí.



Obr. 24 – montáž CNC řídicího systému SINUMERIK

5. Návrh konstrukčního řešení ovládacího panelu

5.1. Návrh konstrukce

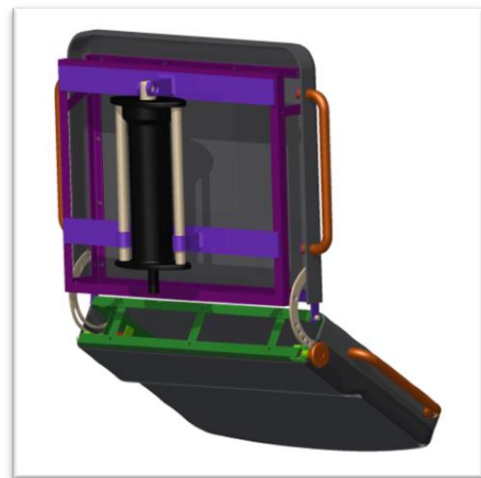
Konstrukční návrhy nosného rámu ovládacího panelu byly vytvořeny vždy pro zcela odlišný typ koncepce řešení panelu. Jednotlivé studie možných principů jsou znázorněny a popsány v kapitolách 5.1.1. – 5.1.4.

5.1.1. Konstrukce A

Konstrukce A je navržena z železných L profilů, které jsou svařené. Tento rám je zakryt plastovými výlisky, viz Obr. 25 a Obr. 26. Kombinace svařeného rámu a plastových výlisků není vhodná. Panel by musel být vyráběn velkosériově, aby se zaplatila forma na plastové dílce, ale rysem svařované konstrukce je kusová výroba. Panel není univerzální, není možné vyrábět více forem na výlisky.



Obr. 25 – konstrukce A1



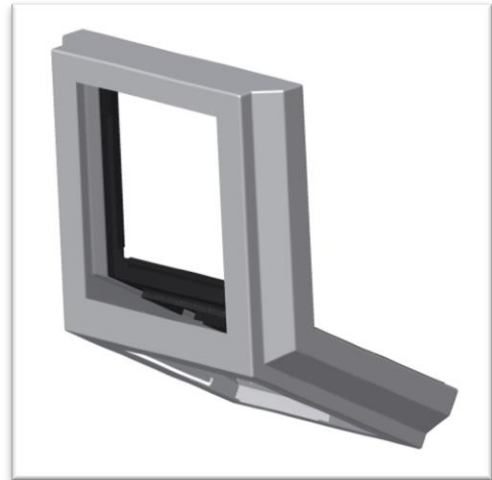
Obr. 26 – konstrukce A2

5.1.2. Konstrukce B

Konstrukce B je celá navržena z ohýbaných plechů, viz Obr. 27 a Obr. 28. Tento model není omezený počtem vyrobených kusů. Je cenově zajímavý a byla by možnost vyrábět panely různé velikosti. Z hlediska tuhosti rámu by musela být zvolená tloušťka plechu adekvátní rozměrům panelu. Možným řešením tohoto problému by byla žebra, která by rám zpevnila a tím by tloušťka plechu mohla být menší, zároveň by se snížila celková hmotnost panelu a finanční náklady by také klesly.



Obr. 27 – konstrukce B1



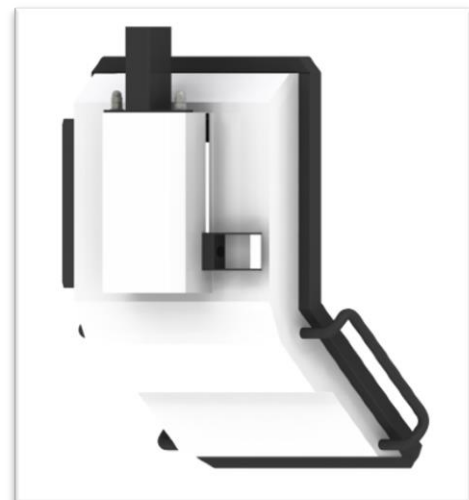
Obr. 28 – konstrukce B2

5.1.3. Konstrukce C

Ovládací panel na Obr. 29 a Obr. 30 je kombinací konstrukce A a B. Horní rámeček panelu je vyroben z jeklů, které jsou svařené. Zbytek rámu je tvořen ohýbanými plechy. Při takto zvolené konstrukci může být použit tenčí plech, tedy panel bude lehčí a levnější.



Obr. 29 – konstrukce C1



Obr. 30 – konstrukce C2

5.1.4. Konstrukce D

Konstrukce D se skládá z tažených hliníkových profilů a ohýbaných plechů, viz Obr. 31 a Obr. 32. Toto řešení umožňuje širokou škálu možných velikostí panelu. Nabízí možnost lehčí konstrukce oproti předchozím návrhům. Kvůli výrobě protahovacího trnu je nutné panel vyrábět velkosériově, samotné náklady na výrobu profilu jsou ale nízké. Dále je panel designově zajímavý z hlediska oblých tvarů hliníkových profilů.



Obr. 31 – konstrukce D1



Obr. 32 – konstrukce D2

5.2. Návrh řešení svislého zdvihu ovládacího panelu

5.2.1. Lineární vedení

Při svislém pohybu panel musí mít lineární vedení, které zajistí správnou funkčnost všech pohonů určených k polohování panelu. Dostačující vedení zajistí vodící tyče s kluznými ložisky. Takové řešení je cenově výhodné. Další alternativou jsou kuličková a válečková vedení v pouzdře a profilová kolejnicová vedení.

5.2.2. Pohonné mechanismy

Panel může být zvedán pomocí:

- Krokového motoru
- Hydraulického pístu
- Pneumatického pístu
- Ručně

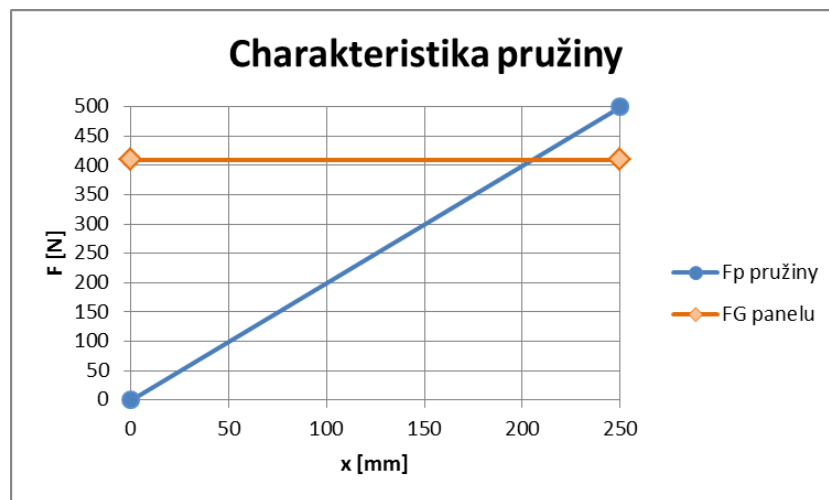
První tři varianty pohonů jsou nezbytné pro velké a těžké panely, kde není možná ruční manipulace. Pro lehčí panely je takové řešení zbytečně drahé, ačkoliv je uživatelsky příjemné.

5.2.3. Kompenzace vlastní tíhy panelu

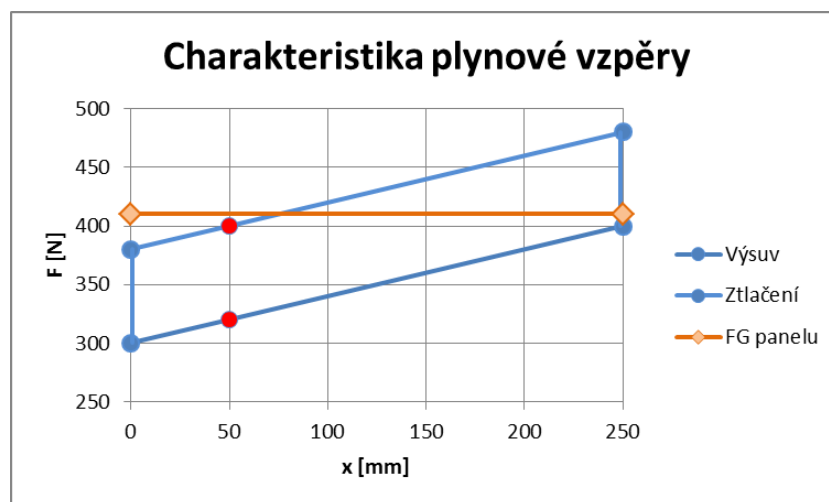
Při manuálním zvedání ovládacího panelu je nutno kompenzovat vlastní tíhu panelu pro ulehčení práce obsluhy. Kompenzaci je možno zajistit pružinou nebo plynovou vzpěrou.

V Graf 1 a Graf 2 jsou znázorněny charakteristiky těchto dvou součástí. Z grafů je vidět nedostatek funkce pružiny. Zatímco plynová vzpěra kompenzuje vlastní tíhu panelu v každé poloze, pružina plní svou funkci jen v malém rozsahu. To je také dané tím, že charakteristika plynové vzpěry má výrazně menší směrnicí přímky, než charakteristika pružiny. Červené body v Graf 2 značí začátek pracovního rozsahu plynové vzpěry. Vzpěra je navržena tak, aby měla větší zdvih, než panel. Tím se zlepší činnost vzpěry.

Graf 1 – příklad charakteristiky pružiny



Graf 2 – příklad charakteristiky plynové vzpěry



5.2.4. Aretace panelu

V případě ručního zvedání panelu je potřeba zajistit danou výšku panelu. Aretace může být řešena brzdou nebo aretačním čepem. Výhoda brzdy je v nastavení polohy panelu v libovolné výšce. U zasouvání čepu jsme limitováni konstrukčně danými polohami. Nevýhodou brzdy je její cena.

6. Návrh konstrukce vybrané varianty

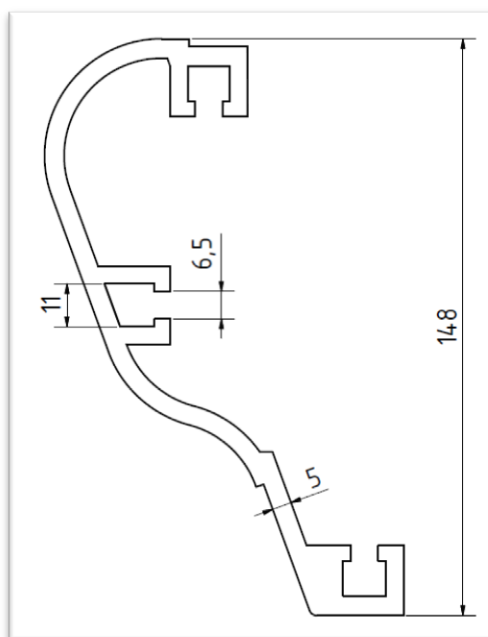
Předpoklady pro návrh ovládacího panelu:

- Uložení panelu ke stroji pomocí nosných ramen s možností záměny horního nebo dolního ramene dle daných možností obráběcího stroje a přání zákazníka.
- Tvar panelu bude lomený, pevný s výškovou kompenzací, která bude zajištěna svislým posuvem panelu.
- Panel navržen s možností zabudování tří řídicích systémů Sinumerik, Fanuc a Heidenhain. Musí být možná změna rozměrů panelu.
- V prvním roce výroby prodej 100 kusů panelů.
- Designově zajímavý.
- Cenově dostupný.

Požadavkům na návrh ovládacího panelu nejvíce vyhovuje konstrukce D, která je řešena pomocí hliníkových profilů. Tato konstrukce zatím není na trhu běžně k vidění a skýtá mnoho výhod, proto byla zvolena pro návrh konstrukčního řešení.

6.1. Koncepce stavby skříně panelu z tažených Al profilů

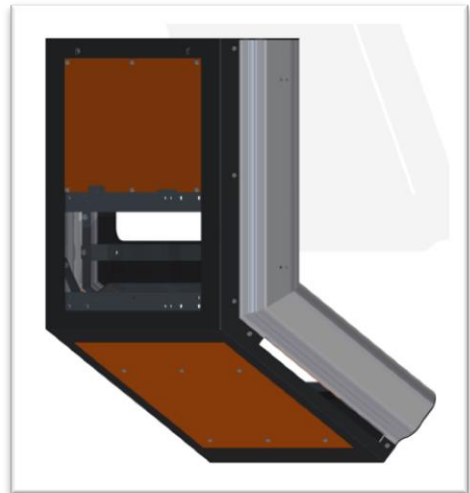
Rám bude vyroben z tažených hliníkových profilů, viz Konstrukce D. Profil bočnice je zobrazen na Obr. 33. Hliníkový profil tvoří celkovou hloubku panelu. Na Obr. 33 jsou vidět tři drážky, které jsou připraveny pro čtvercové matice M6 pro následnou montáž. Jednotlivé dílce jsou sešroubovány pásovou ocelí, viz Obr. 34. Čela panelu, přední a zadní část jsou zakryty jednotlivými plechy. Panel má ze zadní části montážní a servisní otvory připevněné šrouby k rámu, viz Obr. 35 – barevně zvýrazněno.



Obr. 33 – hliníkový profil



Obr. 34 – rámová konstrukce1



Obr. 35 – rámová konstrukce2

6.2. Nosná skříň

Na Obr. 36 je vidět návrh nosné skříňe, ke které je panel přišroubován. Skříň je tvořena z nosných hliníkových desek sešroubovaných vodícími tyčemi. Panel se bude z cenových důvodů zvedat ručně, součástí skříňe jsou tudíž také plynové vzpěry pro nadlehčení panelu a aretační hranol k zajištění dané polohy panelu. Na rám panelu se přišroubovují kluzná ložiska, která jsou také vidět na Obr. 36. Smontovaný rám se skříní je vidět na Obr. 37 s barevně zvýrazněnými připojovacími součástmi.



Obr. 36 – nosná skříň1



Obr. 37 – nosná skříň2

6.3. Výšková kompenzace

Z Obr. 36 a Obr. 37 je vidět řešení výškového posunu panelu pomocí kluzných ložisek. Polohu panelu zajišťuje aretační čep, který je z konstrukčních důvodů ovládaný přes lanko. Jezdec, který tahá za lanko je umístěn na pravém boku panelu, viz Obr. 38 a Obr. 39. Čep je veden v jeklu, ve kterém je tlačná pružina zajišťující zapadnutí čepu do aretačního hranolu ve skříni.

Kabely, které vedou z panelu přes nosnou skříň do ramene a dále ke stroji, jsou vedeny v energetickém řetězu, aby se omezilo jejich lámání a prodloužila se jejich životnost při častém používání výškové nastavitelnosti panelu. Energetický řetěz namontovaný v panelu je zobrazen na Obr. 38 a Obr. 39. Energetický řetěz je na obrázcích přišroubovaný ve dvou polohách. Obr. 38 odpovídá situaci, kdy je panel zavěšen na horním rameni. Obr. 39 znázorňuje panel připravený pro připevnění ramena ze spodu panelu.



Obr. 38 – energetický řetěz – horní rameno



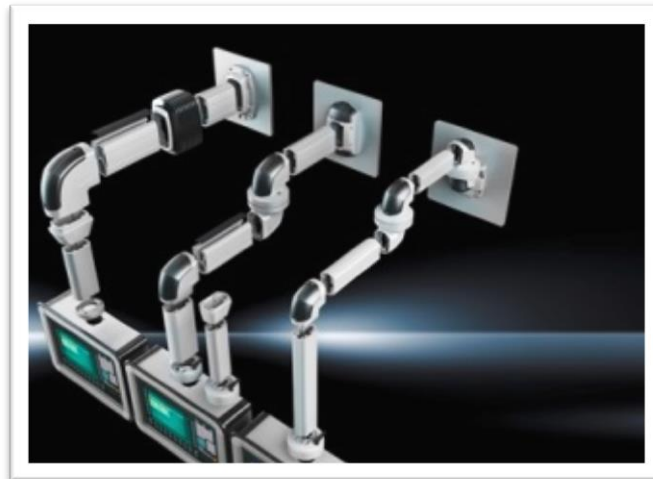
Obr. 39 – energetický řetěz – dolní rameno

6.4. Nosné rameno

Ovládací panel je možné zavěsit na horní nebo dolní závěs ramena pouhým prohozením nosných hliníkových desek a otočením energetického řetězu, viz Obr. 38 a Obr. 39.

Nosné rameno použijí od firmy RITTAL, která se zabývá mimo jiné výrobou rozvaděčových skříní, komponenty pro rozvod proudu aj. Nosné rameno bude navrženo až podle možností stroje a požadavků zákazníků. Nosná skříň panelu je uzpůsobena připojovacím rozměrům ramene Rittal CP 60 nebo CP 120.

Označení ramen: Rittal CP 60/120/180



Obr. 40 – rameno Rittal CP 60/120/180 (36)

6.5. Doplnky

Ovládací panel je opatřen držákem výkresů formátu A4 a A3 včetně držáku na tužku. Z druhé strany je kovový držák na ruční ovládání včetně háčku na vzduchovou pistoli. V dolní části panelu je výsuvná polička opatřená protiskluzovou podložkou. Na panel je možné připevnit přídatnou obrazovku v horní části panelu, pokud si to zákazník bude přát. Doplnky jsou zobrazeny na Obr. 41.



Obr. 41 – doplňky ovládacího panelu

6.6. Komplexní návrh ovládacího panelu



Obr. 42 – komplexní návrh ovládacího panelu1



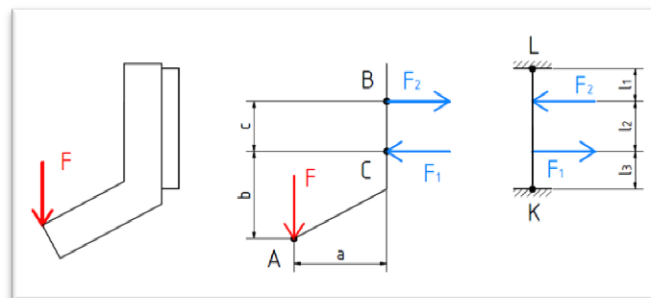
Obr. 43 - komplexní návrh ovládacího panelu2

7. Výpočtová část

Výpočtová část obsahuje návrhové a kontrolní výpočty vybraných součástí panelu.

7.1. Návrh průřezu vodících tyčí

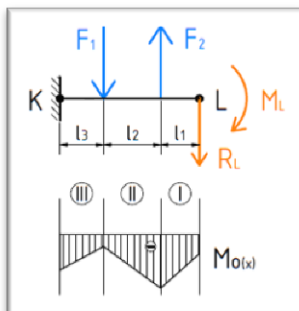
- Panel předpokládáme zatížený vnější silou F
- Vlastní tíhu panelu pro výpočet zanedbáme
- Na Obr. 44 je schematiky znázorněn ovládací panel a převeden na výpočtový model



Obr. 44 – schéma výpočtu vodících tyčí

Dáno: $F = 1\,500\text{ N}$
 $a = 480\text{ mm}$
 $b = 160\text{ mm}$
 $c = 193\text{ mm}$

- rozměry l_1, l_2, l_3 jsou závislé na poloze kluzných ložisek – výpočet proveden pro horní, dolní střední polohu panelu



Obr. 45 – schéma k rovnicím 7.1. (25 – 27)

$$\sum M_A: F_1 \cdot b - F_2 \cdot (b + c) = 0 \quad 7.1. (19)$$

$$\sum M_B: F \cdot a - F_1 \cdot c = 0 \quad 7.1. (20)$$

$$F_1 = \frac{F \cdot a}{2 \cdot c} \quad 7.1. (21)$$

$$F_2 = \frac{F \cdot a \cdot b}{2 \cdot c \cdot (b + c)} \quad 7.1. (22)$$

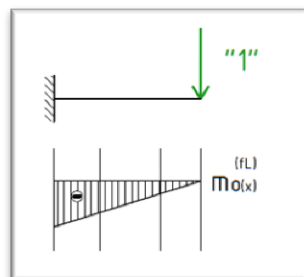
$$v_L = 0 \quad 7.1. (23)$$

$$\varphi_L = 0 \quad 7.1. (24)$$

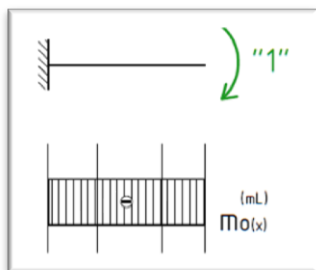
$$M_{0(x)}^I = -M_L - R_L \cdot x \quad 7.1. (25)$$

$$M_{0(x)}^{II} = -M_L - R_L \cdot x + F_2 \cdot (x - l_1) \quad 7.1. (26)$$

$$M_{0(x)}^{III} = -M_L - R_L \cdot x + F_2 \cdot (x - l_1) - F_1 \cdot (x - l_1 - l_2) \quad 7.1. (27)$$



Obr. 46 – schéma k rovnici 7.1. (28)



Obr. 47 – schéma k rovnici 7.1. (29)

$$m_{0(x)}^{(f_L)} = -"1" \cdot x \quad 7.1. (28)$$

$$m_{0(x)}^{(m_L)} = -"1" \quad 7.1. (29)$$

- dosazení do Mohrova integrálu:

$$\begin{aligned} & \int_0^{l_1} [-M_L - R_L \cdot x] \cdot [-x] dx + \int_{l_1}^{l_1+l_2} [-M_L - R_L \cdot x + F_2 \cdot (x - l_1)] \cdot [-x] dx \\ & + \int_{l_1+l_2}^{l_1+l_2+l_3} [-M_L - R_L \cdot x + F_2 \cdot (x - l_1) - F_1 \cdot (x - l_1 - l_2)] \cdot [-x] dx \\ & = 0 \end{aligned} \quad 7.1. (30)$$

$$\begin{aligned} & \int_0^{l_1} [-M_L - R_L \cdot x] \cdot [-1] dx + \int_{l_1}^{l_1+l_2} [-M_L - R_L \cdot x + F_2 \cdot (x - l_1)] \cdot [-1] dx \\ & + \int_{l_1+l_2}^{l_1+l_2+l_3} [-M_L - R_L \cdot x + F_2 \cdot (x - l_1) - F_1 \cdot (x - l_1 - l_2)] \cdot [-1] dx \\ & = 0 \end{aligned} \quad 7.1. (31)$$

$$\begin{aligned} & \left[M_L \cdot \frac{x^2}{2} + R_L \cdot \frac{x^3}{3} \right]_0^{l_1} + \left[M_L \cdot \frac{x^2}{2} + R_L \cdot \frac{x^3}{3} - F_2 \cdot \frac{x^3}{3} + F_2 \cdot l_1 \cdot \frac{x^2}{2} \right]_{l_1}^{l_1+l_2} \\ & + \left[M_L \cdot \frac{x^2}{2} + R_L \cdot \frac{x^3}{3} - F_2 \cdot \frac{x^3}{3} + F_2 \cdot l_1 \cdot \frac{x^2}{2} + F_1 \cdot \frac{x^3}{3} - F_1 \cdot l_1 \cdot \frac{x^2}{2} - F_1 \right. \\ & \left. \cdot l_2 \cdot \frac{x^2}{2} \right]_{l_1+l_2}^{l_1+l_2+l_3} = 0 \end{aligned} \quad 7.1. (32)$$

$$\begin{aligned} & \left[M_L \cdot x + R_L \cdot \frac{x^2}{2} \right]_0^{l_1} + \left[M_L \cdot x + R_L \cdot \frac{x^2}{2} - F_2 \cdot \frac{x^2}{2} + F_2 \cdot l_1 \cdot x \right]_{l_1}^{l_1+l_2} \\ & + \left[M_L \cdot x + R_L \cdot \frac{x^2}{2} - F_2 \cdot \frac{x^2}{2} + F_2 \cdot l_1 \cdot x + F_1 \cdot \frac{x^2}{2} - F_1 \cdot l_1 \cdot x - F_1 \cdot l_2 \right. \\ & \left. \cdot x \right]_{l_1+l_2}^{l_1+l_2+l_3} = 0 \end{aligned} \quad 7.1. (33)$$

$$\begin{aligned} & M_L \cdot \frac{(l_1 + l_2 + l_3)^2}{2} + R_L \cdot \frac{(l_1 + l_2 + l_3)^3}{3} \\ & + \left[F_2 \cdot \frac{l_1^3}{3} - F_2 \cdot \frac{l_1^3}{2} - F_2 \cdot \frac{(l_1 + l_2 + l_3)^3}{3} + F_2 \cdot l_1 \cdot \frac{(l_1 + l_2 + l_3)^2}{2} \right] + F_1 \\ & \cdot \left[\frac{(l_1 + l_2 + l_3)^3}{3} - \frac{(l_1 + l_2)^3}{3} - l_1 \cdot \frac{(l_1 + l_2 + l_3)^2}{2} + l_1 \cdot \frac{(l_1 + l_2)^2}{2} - l_2 \right. \\ & \left. \cdot \frac{(l_1 + l_2 + l_3)^2}{2} + l_2 \cdot \frac{(l_1 + l_2)^2}{2} \right] = 0 \end{aligned} \quad 7.1. (34)$$

$$\begin{aligned} & M_L \cdot (l_1 + l_2 + l_3) + R_L \cdot \frac{(l_1 + l_2 + l_3)^2}{2} + F_2 \\ & \cdot \left[\frac{l_1^2}{2} - l_1^2 - \frac{(l_1 + l_2 + l_3)^2}{2} + l_1 \cdot (l_1 + l_2 + l_3) \right] + F_1 \\ & \cdot \left[\frac{(l_1 + l_2 + l_3)^2}{2} - \frac{(l_1 + l_2)^2}{2} - l_1 \cdot (l_1 + l_2 + l_3) + l_1 \cdot (l_1 + l_2) - l_2 \right. \\ & \left. \cdot (l_1 + l_2 + l_3) + l_2 \cdot (l_1 + l_2) \right] = 0 \end{aligned} \quad 7.1. (35)$$

- **substituce:**

$$l_1 + l_2 + l_3 = p \quad 7.1. (36)$$

$$l_1 + l_2 = q \quad 7.1. (37)$$

$$M_L \cdot \frac{p^2}{2} + R_L \cdot \frac{p^3}{3} + F_2 \cdot \left(-\frac{l_1^3}{6} - \frac{p^3}{3} + l_1 \cdot \frac{p^2}{2} \right) + F_1 \cdot \left(\frac{p^3}{3} - \frac{q^3}{3} - l_1 \cdot \frac{p^2}{2} + l_1 \cdot \frac{q^2}{2} - l_2 \cdot \frac{p^2}{2} + l_2 \cdot \frac{q^2}{2} \right) = 0 \quad 7.1. (38)$$

$$M_L \cdot p + R_L \cdot \frac{p^2}{2} + F_2 \cdot \left(-\frac{l_1^2}{2} - \frac{p^2}{2} + l_1 \cdot p \right) + F_1 \cdot \left(\frac{p^2}{2} - \frac{q^2}{2} - l_1 \cdot p + l_1 \cdot q - l_2 \cdot p + l_2 \cdot q \right) = 0 \quad 7.1. (39)$$

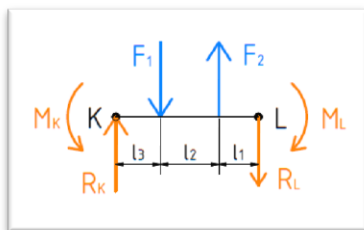
$$M_L = F_1 \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{q^3}{p^2} - \frac{2}{3} \cdot p + l_1 - l_1 \cdot \frac{q^2}{p^2} + l_2 - l_2 \cdot \frac{q^2}{p^2} \right) + F_2 \cdot \left(\frac{l_1^3}{3 \cdot p^2} + \frac{2}{3} \cdot p - l_1 \right) - \frac{2}{3} \cdot R_L \cdot p \quad 7.1. (40)$$

$$F_1 \cdot p \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{q^3}{p^2} - \frac{2}{3} \cdot p + l_1 - l_1 \cdot \frac{q^2}{p^2} + l_2 - l_2 \cdot \frac{q^2}{p^2} \right) + F_2 \cdot p \cdot \left(\frac{l_1^3}{3 \cdot p^2} + \frac{2}{3} \cdot p - l_1 \right) - \frac{2}{3} \cdot R_L \cdot p^2 + R_L \cdot \frac{p^2}{2} + F_2 \cdot \left(-\frac{l_1^2}{2} - \frac{p^2}{2} + l_1 \cdot p \right) + F_1 \cdot \left(\frac{p^2}{2} - \frac{q^2}{2} - l_1 \cdot p + l_1 \cdot q - l_2 \cdot p + l_2 \cdot q \right) = 0 \quad 7.1. (41)$$

$$R_L = F_1 \cdot \frac{6}{p} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot \frac{q^3}{p^2} - \frac{2}{3} \cdot p + l_1 - l_1 \cdot \frac{q^2}{p^2} + l_2 - l_2 \cdot \frac{q^2}{p^2} \right) + F_2 \cdot \frac{6}{p} \cdot \left(\frac{l_1^3}{3 \cdot p^2} + \frac{2}{3} \cdot p - l_1 \right) + F_2 \cdot \frac{6}{p^2} \cdot \left(-\frac{l_1^2}{2} - \frac{p^2}{2} + l_1 \cdot p \right) + F_1 \cdot \frac{6}{p^2} \cdot \left(\frac{p^2}{2} - \frac{q^2}{2} - l_1 \cdot p + l_1 \cdot q - l_2 \cdot p + l_2 \cdot q \right) \quad 7.1. (42)$$

- výpočet číselných hodnot R_L a M_L proveden v MATLABu, viz Tab. 3

- **dopočítání reakcí ve vetknutí v bodě K:**



$$\Sigma y: R_K = F_1 + R_L - F_2 \quad 7.1. (43)$$

$$\Sigma M_K = F_1 \cdot l_3 - F_2 \cdot (l_2 + l_3) + R_L \cdot (l_1 + l_2 + l_3) + M_L \quad 7.1. (44)$$

Obr. 48 – reakce ve vodící tyči

- výpočet číselných hodnot R_K a M_K proveden v MATLABu, viz Tab. 3

Tab. 3 – reakce ve vetknutí

Velikost síly v ložiskách	F ₁ [N]	1865		
	F ₂ [N]	845		
	Reakce	horní poloha panelu	dolní poloha panelu	střední poloha panelu
Vetknutí v bodě L	R _L [N]	-122	381	285
	M _L [Nm]	84	-44	-5
Vetknutí v bodě K	R _K [N]	897	1401	1305
	M _K [Nm]	105	7	103

7.1.1. Ohybové napětí

- Modul průřezu v ohybu:

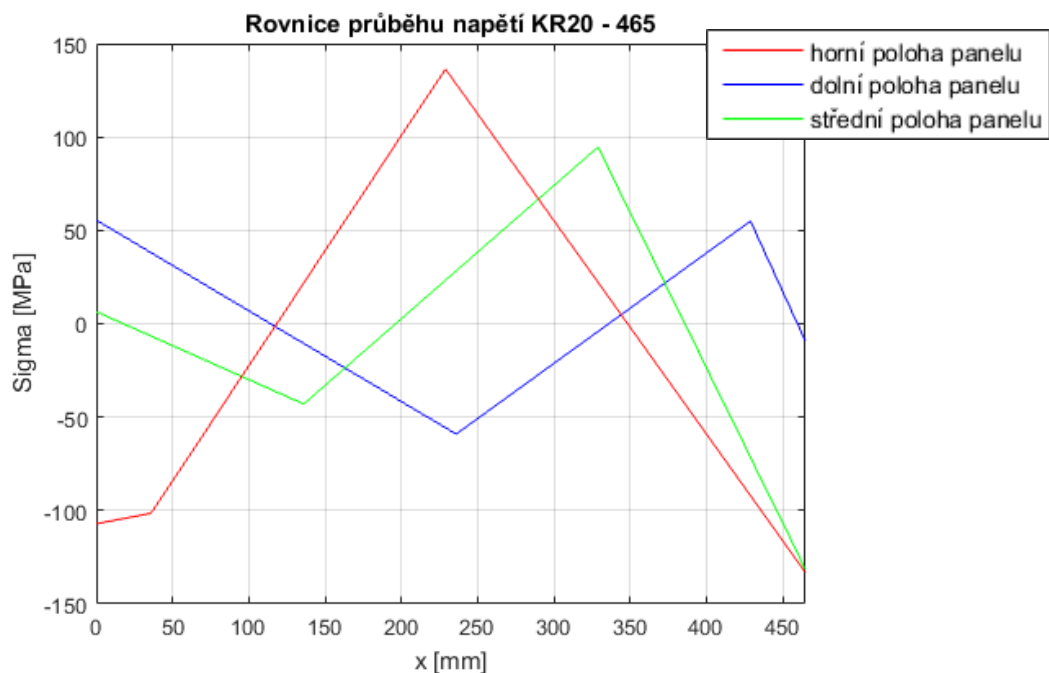
$$W_o = \frac{\pi \cdot d_t^3}{32} \quad 7.1.1. (45)$$

- Ohybové napětí:

$$\sigma_o = \frac{M_o}{W_o} \quad 7.1.1. (46)$$

- Ohybové momenty pro dané pole jsou vypočítány v rovnicích 7.1. (25), 7.1. (26), 7.1. (27)
- Průřez vodící tyče d_t volím: $d_t = 20 \text{ mm}$
- Výpočet ohybového napětí σ_o byl proveden v MATLABu, viz Graf 3

Graf 3 – průběh ohybového napětí





- **Kontrola namáhání tyčí:**

- Maximální ohybové napětí, viz Graf 3: $\sigma_{o_{max}} = 140 \text{ MPa}$
- Mez kluzu materiálu: $R_e = 360 \text{ MPa}$

$$\sigma_{o_{max}} \leq \sigma_D = \frac{R_e}{k} \quad 7.1.1. (47)$$

$$k = \frac{R_e}{\sigma_{o_{max}}} = \frac{360}{140} = 2,57 \quad 7.1.1. (48)$$

- **Shrnutí:**

- Bezpečnost k by mohla být i menší, ale zvolený průměr tyče $d_t = 20 \text{ mm}$ takto vyhovuje a může být využit k dalším výpočtům.

7.1.2. Průhyb vodících tyčí

- Průhyb je počítán podle Bernoulliho diferenciální rovnice průhybové čáry, viz rovnice 7.1.2. (50)

- **Kvadratický moment průřezu:**

$$J_z = \frac{\pi \cdot d_t^4}{64} \quad 7.1.2. (49)$$

$$v''(x) = -\frac{M_{Q(x)}}{E \cdot J_z} \quad 7.1.2. (50)$$

I) $x \in \langle 0; l_1 \rangle$

$$E \cdot J_z \cdot v''(x) = M_L + R_L \cdot x \quad 7.1.2. (51)$$

$$E \cdot J_z \cdot v'(x) = M_L \cdot x + R_L \cdot \frac{x^2}{2} + C1 \quad 7.1.2. (52)$$

$$E \cdot J_z \cdot v(x) = M_L \cdot \frac{x^2}{2} + R_L \cdot \frac{x^3}{6} + C1 \cdot x + C2 \quad 7.1.2. (53)$$

II) $x \in \langle l_1; l_1 + l_2 \rangle$

$$E \cdot J_z \cdot v'''(x) = M_L + R_L \cdot x - F_2 \cdot (x - l_1) \quad 7.1.2. (54)$$

$$E \cdot J_z \cdot v''(x) = M_L \cdot x + R_L \cdot \frac{x^2}{2} - F_2 \cdot \left(\frac{x^2}{2} - l_1 \cdot x \right) + C3 \quad 7.1.2. (55)$$

$$E \cdot J_z \cdot v'(x) = M_L \cdot \frac{x^2}{2} + R_L \cdot \frac{x^3}{6} - F_2 \cdot \left(\frac{x^3}{6} - l_1 \cdot \frac{x^2}{2} \right) + C3 \cdot x + C4 \quad 7.1.2. (56)$$

$$\text{III) } x \in < l_1 + l_2 ; l_1 + l_2 + l_3 >$$

$$E \cdot J_z \cdot v_{(x)}'''' = M_L + R_L \cdot x - F_2 \cdot (x - l_1) + F_1 \cdot (x - l_1 - l_2) \quad 7.1.2. (57)$$

$$E \cdot J_z \cdot v_{(x)}'''' = M_L \cdot x + R_L \cdot \frac{x^2}{2} - F_2 \cdot \left(\frac{x^2}{2} - l_1 \cdot x \right) + F_1 \cdot \left(\frac{x^2}{2} - l_1 \cdot x - l_2 \cdot x \right) + C5 \quad 7.1.2. (58)$$

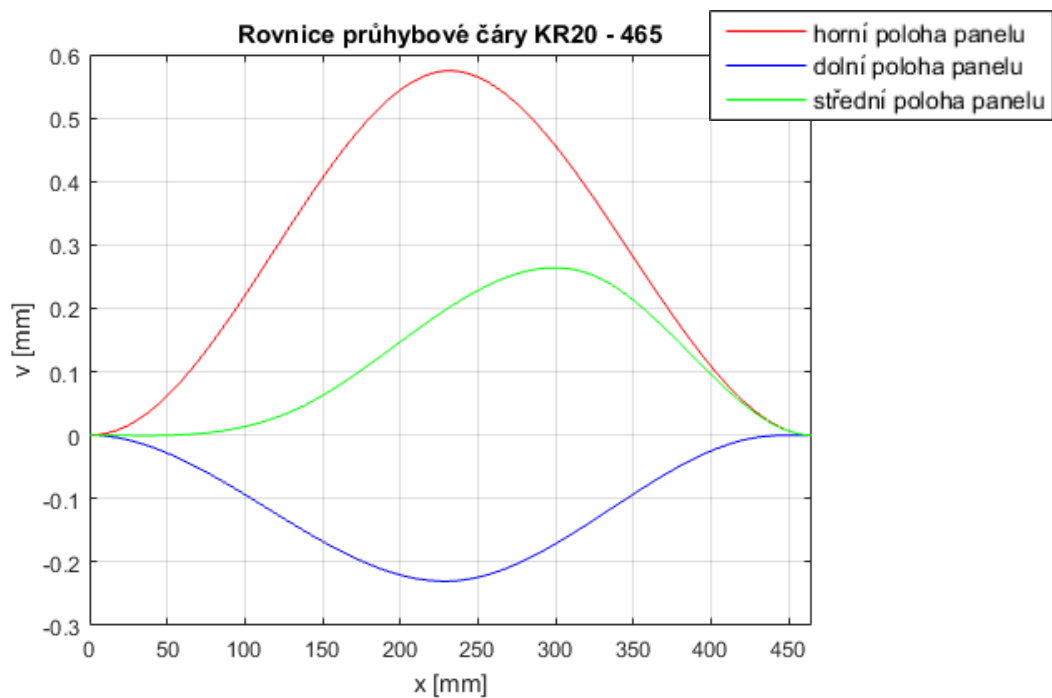
$$E \cdot J_z \cdot v_{(x)}'''' = M_L \cdot \frac{x^2}{2} + R_L \cdot \frac{x^3}{6} - F_2 \cdot \left(\frac{x^3}{6} - l_1 \cdot \frac{x^2}{2} \right) + F_1 \cdot \left(\frac{x^3}{6} - l_1 \cdot \frac{x^2}{2} - l_2 \cdot \frac{x^2}{2} \right) + C5 \cdot x + C6 \quad 7.1.2. (59)$$

Tab. 4 – okrajové podmínky

1) $x = l_1$	->	$v_{(x)}^I = v_{(x)}^{II}$
2) $x = l_1$	->	$v_{(x)}^{II} = v_{(x)}^{III}$
3) $x = l_1 + l_2$	->	$v_{(x)}^{II} = v_{(x)}^{III}$
4) $x = l_1 + l_2$	->	$v_{(x)}^{III} = v_{(x)}^{IV}$
5) $x = l_1 + l_2 + l_3$	->	$v_{(x)}^{III} = 0$
6) $x = l_1 + l_2 + l_3$	->	$v_{(x)}^{IV} = 0$

- Konstanty C1 – C6 dopočítány v MATLABu
- Průhyb vodících tyčí spočítán v MATLABu, viz Graf 4

Graf 4 – průhyb vodící tyče



- **Shrnutí:**
 - Maximální průhyb vodících tyčí $d_t = 20 \text{ mm}$ je 0,6 mm. Tento průhyb je přípustný.

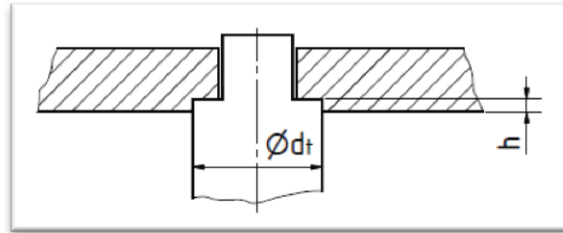
7.1.3. Kontrola uložení

Dáno: $R_{\max} = R_K = 1\,401\text{ N}$

$d_t = 20\text{ mm}$

$h = 2\text{ mm}$

$\tau_{D\text{ Al}} = 150\text{ MPa}$



Obr. 49 – skica uložení vodící tyče

- Výpočet na smyk:

$$\tau = \frac{F}{S} = \frac{R_K}{\frac{\pi \cdot d_t^2}{4}} = \frac{4 \cdot 1401}{\pi \cdot 20^2} = 4,5\text{ MPa} \quad 7.1.3. (60)$$

$$\tau \leq \tau_{D\text{ Al}} \Leftrightarrow 4,5 \leq 150\text{ MPa} \quad 7.1.3. (61)$$

7.1.4. Shrnutí

Navržená vodící tyč vyhovuje pro všechny výpočty, volím $d_t = 20\text{ mm}$.

7.2. Návrh aretačního čepu

Dáno: $F = 1\,500\text{ N}$

$d = 18\text{ mm}$

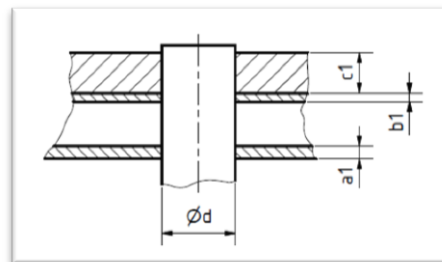
$\tau_{D\text{ ocel}} = 70\text{ MPa}$

$p_{D\text{ ocel}} = 110\text{ MPa}$

$a_1 = 3\text{ mm}$

$b_1 = 2\text{ mm}$

$c_1 = 10\text{ mm}$



Obr. 50 – skica aretačního čepu

- Výpočet na smyk:

$$\tau = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{4 \cdot 1500}{\pi \cdot 18^2} = 5,9\text{ MPa} \quad 7.2. (62)$$

$$\tau \leq \tau_D \Leftrightarrow 5,9 \leq 70\text{ MPa} \quad 7.2. (63)$$

- Výpočet na otláčení:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{F}{d \cdot (a_1 + b_1)} = \frac{1500}{18 \cdot (3 + 2)} = 16,7\text{ MPa} \quad 7.2. (64)$$

$$p \leq p_D \Leftrightarrow 16,7 \leq 110\text{ MPa} \quad 7.2. (65)$$

7.2.1. Shrnutí

Navržený aretační čep vyhovuje pro všechny výpočty, volím $d = 18\text{ mm}$.



7.3. Kontrola přípojovacích šroubů nosného ramene

Dáno: šroub M10

$$i = 4$$

$$F = 1\,500 \text{ N}$$

$$\sigma_D = 0,7R_e = 0,7 \cdot 630 = 441 \text{ MPa}$$

$$p_{Dz} = 200 \text{ MPa}$$

- **Kontrola průměru šroubů:**

$$\sigma = \frac{F}{S_3 \cdot i} \leq \sigma_D \quad 7.3. (66)$$

$$\sigma = \frac{F}{S_3 \cdot i} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_3^2 \cdot i} = \frac{4 \cdot 1500}{\pi \cdot 8,16^2 \cdot 4} = 7,2 \leq 441 \text{ MPa} \quad 7.3. (67)$$

- **Výpočet tlaku v závitech:**

$$p_z = \frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot H_1 \cdot z_T \cdot i} = \frac{F}{\pi \cdot d_2 \cdot \frac{d - D_1}{2} \cdot \frac{m}{P} \cdot i} = \frac{1500}{\pi \cdot 9,026 \cdot \frac{10 - 8,376}{2} \cdot \frac{8,4}{1,5} \cdot 4} = 2,9 \text{ MPa} \quad 7.3. (68)$$

$$p_z \leq p_{Dz} \Leftrightarrow 2,9 \leq 200 \text{ MPa} \quad 7.3. (69)$$

7.3.1. Shrnutí

Šrouby dané přípojovacími rozměry ramene Rittal CP 120 vyhovují pro statické zatížení silou F.



8. Analýza výrobních nákladů

Tab. 5 – rozpočet materiálu

- V Tab. 5 je soupis materiálu pro výrobu 100 kusů panelů včetně finančních nákladů pro každou položku

- V Tab. 6 je vypočtená celková plocha lakovaného materiálu

	Součást	Počet kusů pro 100 panelů	Cena celkem [Kč]
1	HLINÍKOVÝ PROFIL - 198000	1	120 000
2	P 10 - 345x75 ČSN 42 5301.12	100	12 300
3	P 3 - 2500x1250 ČSN 42 5301.12	7	10 080
4	P 2 - 2500x1250 ČSN 42 5301.12	50	52 250
5	P 1 - 2500x1250 ČSN 42 5301.12	9	5 670
6	P 1 - 2500x1250 ČSN 42 5301.12	10	6 300
7	KR 30 - 6200 ČSN 42 5510.10	1	775
8	KR 6 - 82000 ČSN 42 5510	1	492
9	KR 3 - 4000 ČSN 42 5510	1	8
10	4HR 16 - 24000 ČSN 42 7520.12	1	2 880
11	4HR 15 - 2000 ČSN 42 7520.12	1	86
12	OBD 15x10 - 2000 ČSN 42 5522.11	1	78
13	TR KR 5x1 - 1200 ČSN 426711.01	1	22
14	TR 4HR 30x2 - 4500 ČSN 42 6720.31	1	176
15	TR 4HR 20x2 - 64000 ČSN 42 6720.31	1	1 408
16	TR 4HR 10x1 - 84000 ČSN 42 6720.31	1	1 554
17	TR OBD 30x10x2 - 33000 ČSN 42 5722.01	1	1 221
18	TR OBD 30x10x1 - 33000 ČSN 42 5722.01	1	1 090
19	L 60x40x5 - 3000 ČSN 42 5545	1	300
20	L 45x30x4 - 5000 ČSN 42 5545	1	295
21	L 25x3 - 5000 ČSN 42 5541	1	145
22	L 25x2 - 20000 ČSN 42 5541	1	560
23	L 25x20x2 - 35000 ČSN 42 5545	1	1 085
24	PLO 50x5 - 162000 ČSN 42 7524.2	1	7 128
25	PLO 30x3 - 344000 ČSN 42 7524.2	1	12 728
26	PLO 30x2 - 18000 ČSN 42 7524.2	1	432
27	PLO 20x3 - 128000 ČSN 42 7524.2	1	3 200
28	PLO 20x2 - 54000 ČSN 42 5541	1	918
29	ŠROUB S VÁLCOVOU HLAVOU S VNITŘ. ŠESTIHRANEM ISO 4762 - M8x80 - 8.8	800	2 944
30	ŠROUB S VÁLCOVOU HLAVOU S VNITŘ. ŠESTIHRANEM DIN 7984 - M8x20 - 8.8	200	368
31	ŠROUB S VÁLCOVOU HLAVOU S VNITŘ. ŠESTIHRANEM DIN 7984 - M8x18 - 8.8	800	1 520
32	ŠROUB S VÁLCOVOU HLAVOU S VNITŘ. ŠESTIHRANEM DIN 7984 - M6x20 - 8.8	400	376
33	ŠROUB S VÁLCOVOU HLAVOU S VNITŘ. ŠESTIHRANEM DIN 7984 - M6x16 - 8.8	4000	3 880
34	ŠROUB S VÁLCOVOU HLAVOU S VNITŘ. ŠESTIHRANEM DIN 7984 - M6x14 - 8.8	200	212
35	ŠROUB S VÁLCOVOU HLAVOU S VNITŘ. ŠESTIHRANEM DIN 7984 - M6x12 - 8.8	300	264
36	ŠROUB S VÁLCOVOU HLAVOU S VNITŘ. ŠESTIHRANEM DIN 7984 - M5x12 - 8.8	3200	1 856
37	ŠROUB S VÁLCOVOU HLAVOU S VNITŘ. ŠESTIHRANEM DIN 7984 - M5x10 - 8.8	400	176
38	ŠROUB S VÁLCOVOU HLAVOU S VNITŘ. ŠESTIHRANEM ISO 4762 - M3x25 - 8.8	200	92
39	ŠROUB S KUŽELOVOU HLAVOU S VNITŘ. ŠESTIHRANEM DIN 7991 - M6x20 - 10,9	400	308
40	ŠROUB S KUŽELOVOU HLAVOU S VNITŘ. ŠESTIHRANEM DIN 7991 - M6x16 - 10,9	200	146
41	ŠESTIHRANNÁ MATICE ISO 4032 - M12 - 8	400	1 308
42	ŠESTIHRANNÁ MATICE ISO 4032 - M8 - 8	2400	2 328
43	ŠESTIHRANNÁ MATICE ISO 4032 - M5 - 8	2500	475
44	ŠESTIHRANNÁ MATICE DIN 1587 - M12 - 8	400	1 016
45	ŠESTIHRANNÁ MATICE DIN 1587 - M5 - 8	500	200
46	MATICE ČTYŘHRANNÁ VYSOKÁ DIN 557 - M6	4700	1 880
47	ZÁVTOVÉ OČKO M5	100	420
48	NÝT S PŮLKULOVOU HLAVOU ČSN 02 2301.1 - 4x10	2300	552
49	NÝTOVACÍ MATICE M5	1200	876
50	VODÍČÍ TYČ	200	34 800
51	KLUZNÉ LOŽISKO	400	45 980
52	PLYNOVÁ VZPĚRA	200	134 460
53	ENERGETICKÝ ŘETĚZ	100	112 741
54	TLAČNÁ PRUŽINA	100	3 700
55	OCELOVÉ LANKO	100	1 150
56	KONCOVKA OCELOVÉHO LANKA 01	100	400
57	KONCOVKA OCELOVÉHO LANKA 02	100	400
58	PANTY	200	3 000
59	PLASTOVÁ ZÁSLEPKA 30x10	200	484
60	PLASTOVÁ ZÁSLEPKA 10x10	400	268
61	GUMOVÝ DORAZ	600	300
62	MAGNET 7x7x10	400	2 000
63	DRŽÁK VÝKRESŮ	200	7 200
64	DRŽÁK TUŽKY	100	4 900
65	PROTISKLUZOVÁ DESKA 387x330x1	100	15 000
Celková cena materiálu pro 100 kusů panelů			631 161
Celková cena materiálu za 1 panel			6 312



- **Výpočet ceny za lakování:**
 - Součásti v Tab. 6 budou povrchově upraveny černou práškovou barvou
 - Cena povrchové úpravy za 1m² – 250 Kč
 - Celková cena přibližně: **1 200 Kč**

- **Výpočet ceny za řezání plechu laserem:**
 - V Tab. 7 je spočítaná délka řezu laserem
 - Cena řezu za 1m:
 - P 3 – 22 Kč
 - P 2 – 20 Kč
 - P 1 – 12 Kč
 - Celková cena přibližně: **500 Kč**

Tab. 6 – lakovaná plocha materiálu

	Součást	Plocha [mm ²]
3	P 3 - 2500x1250 ČSN 42 5301.12	437500
4	P 2 - 2500x1250 ČSN 42 5301.12	312500
5	P 1 - 2500x1250 ČSN 42 5301.12	562500
15	TR 4HR 20x2 – 64000 ČSN 42 6720.31	51200
16	TR 4HR 10x1 – 84000 ČSN 42 6720.31	33600
17	TR OBD 30x10x2 – 33000 ČSN 42 5722.01	26400
18	TR OBD 30x10x1 – 33000 ČSN 42 5722.01	26400
19	L 60x40x5 – 3000 ČSN 42 5545	6000
20	L 45x30x4 – 5000 ČSN 42 5545	7500
21	L 25x3 – 5000 ČSN 42 5541	5000
22	L 25x2 – 20000 ČSN 42 5541	20000
23	L 25x20x2 – 35000 ČSN 42 5545	31500
24	PLO 50x5 – 162000 ČSN 42 7524.2	162000
25	PLO 30x3 – 344000 ČSN 42 7524.2	206400
26	PLO 30x2 – 18000 ČSN 42 7524.2	10800
27	PLO 20x3 – 128000 ČSN 42 7524.2	51200
28	PLO 20x2 – 54000 ČSN 42 5541	21600
Celková plocha		4784600

Tab. 7 – délka řezu laserem

	Součást	délka řezu [m]
3	P 3 - 2500x1250 ČSN 42 5301.12	2,9
4	P 2 - 2500x1250 ČSN 42 5301.12	17
5	P 1 - 2500x1250 ČSN 42 5301.12	2,7
Celková plocha		22,6

8.1. Shrnutí

- Cena za materiál: 6 312 Kč
- Cena za lakování: 1 200 Kč
- Cena za řezání laserem: 500 Kč
- Odhadovaná cena za vrtání, soustružení a frézování: 4 000 Kč
- Odhadovaná cena práce na montáži: 2 000 Kč

- Odhadovaná cena výroby jednoho panelu: 14 000 Kč

- Odhadovaná prodejní cena ovládacího panelu: **17 000 Kč**



9. Závěr

Cílem práce bylo provést rešerši v oblasti CNC řídicích panelů, analyzovat typy a provedení panelů, způsoby uložení ke strojům, používané konstrukční materiály a technologie výroby. Následně pro vlastní návrh panelu vybrat nejvhodnější konstrukční řešení, které bude vyhovovat veškerým požadavkům na ovládací panely.

Z rešerše ovládacích panelů vyplynulo, že panely jsou nejčastěji ke strojům připevňovány pomocí nosných ramen, které jsou k panelům montovány zespodu nebo seshora. Tento způsob uložení jsem při svém návrhu musel dodržet, abych zajistil možnost výroby ovládacích panelů pro veškeré typy obráběcích strojů.

Jedna z kapitol je věnována ergonomii ovládacího panelu a předběžným výpočtům základních rozměrů pro vlastní návrh ovládacího panelu. Při návrhu jsem dbal na to, aby byl panel uživatelsky příjemný a dobře se na něm pracovalo. Toho jsem dosáhl prostřednictvím možnosti výškové nastavitelnosti ovládacího panelu dle potřeb každého operátora pracujícího s CNC obráběcím strojem. Na základě předběžných výpočtů jsem došel k závěru, že jedině svislý posuv panelu zajistí správné držení těla při práci na ovládacím panelu.

Ovládací panel by mělo být možno přizpůsobit třem řídicím systémům Sinumerik, Fanuc a Heidenhain. Aby toto bylo možné a ovládací panel byl univerzální, musela tomu být uzpůsobena vlastní koncepce návrhu. Tím je především myšleno, že koncepce stavby skříně musí být taková, aby byla možná změna základních rozměrů panelu.

Práce obsahuje čtyři koncepční návrhy ovládacích panelů odlišné konstrukce. Každá z těchto konstrukcí má své výhody a nevýhody, na které je třeba brát zřetel při návrhu.

Pro vlastní návrh jsem zvolil konstrukci z tažených Al profilů, které se zatím tak často na trhu nevyskytují. Toto řešení umožňuje snadnou změnu rozměrů, nabízí zajímavý design, je finančně výhodné a splňuje veškeré požadavky na ovládací panel. Provedeny jsou návrhové a kontrolní výpočty vybraných součástí. Součástí práce je detailní 3D model včetně výkresové dokumentace.



10. Seznamy

10.1. Zdroje

- [1] MAREK, Jiří. *Design of CNC machine tools*. Prague: MM publishing, 2015. MM speciál. ISBN 978-80-260-8637-6.
- [2] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.
- [3] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
- [4] JOHÁNEK, Tomáš. *Technická estetika a kultura strojírenských výrobků*. 2., uprav. a rozšíř. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1971.
- [5] ALFUN - Home [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://www.alfun.cz/>
- [6] *Flexibilní CNC systémy a řešení FANUC - Fanuc* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://www.fanuc.eu/cz/cs/cnc>
- [7] *Hliníkové profily, hliníkové plechy e-shop* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://www.ehlinik.cz/index.php>
- [8] *Home - CZ.TECH - CNC stroje Čelákovice* [online]. [cit. 2016-07-11]. Dostupné z: <http://www.cztech.cz/index.php/cz/>
- [9] *Home: Softeare - HEIDENHAIN* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: http://www.heidenhain.cz/cs_CZ/software/
- [10] *Horizontální vyvrtávačky | Fermat machinery* [online]. [cit. 2016-07-11]. Dostupné z: [view-source:http://www.fermatmachinery.com/uvod](http://www.fermatmachinery.com/uvod)
- [11] *Hutní materiál, Kondor* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://www.kondor.cz/>
- [12] *KOVOSVIT MAS | KOVOSVIT MAS, a. s.* [online]. [cit. 2016-07-11]. Dostupné z: <http://www.kovosvit.cz/>
- [13] *Plynové Vzpěry, Plynové Pružiny | Setro* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://plynovevzpery.sk/cz/>
- [14] *PTV - řezání vodním paprskem* [online]. [cit. 2016-07-11]. Dostupné z: <http://www.ptv.cz/>
- [15] *RETOS | Horizontální vyvrtávačky | Nové stroje* [online]. [cit. 2016-07-11]. Dostupné z: TOS Olomouc s.r.o.: TOS OLOMOUC, s.r.o. [online]. [cit. 2016-07-11]. Dostupné z: <http://www.tos-olomouc.cz/cz/>
- [16] *Řídicí systémy SINUMERIK* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://www1.siemens.cz/ad/current/index.php?ctxnh=3c76394997&ctxp=home>
- [17] *Skupina TAJMAC | TAJMAC-ZPS, a.s.* [online]. [cit. 2016-07-11]. Dostupné z: <http://www.tajmac-zps.cz/cs/tajmac-group>
- [18] *Spojovací materiál - Spojovaci-material.net* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://www.spojovaci-material.net/sp/>
- [19] *ŠKODA MACHINE TOOL* [online]. [cit. 2016-07-11]. Dostupné z: <http://www.alta.cz/vyroba-a-obchod/strojirenske-celky/obrabeci-stroje-z-vlastnich-zavodu/skoda-machine-tool/>



- [20] TDZ Turn s.r.o. - Společnost TDZ Turn [online]. [cit. 2016-07-11]. Dostupné z: <http://www.tdz-turn.com/cz/>
- [21] TOS Olomouc s.r.o.: TOS OLOMOUC, s.r.o. [online]. [cit. 2016-07-11]. Dostupné z: <http://www.tos-olomouc.cz/cz/>
- [22] Výrobce svislých soustruhů a obráběcích center [online]. [cit. 2016-07-11]. Dostupné z: <http://www.toshulin.cz/default.asp?l=CZ>.
- [23] Computer Numeric Control: FANUC FA Americas 30i-B/31i-B5 CNCs. *Control Design: Industrial Automation Engineering Factory Systems* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://www.camscardiff Ltd.co.uk/millingmachinecontrols.php>
- [24] Igus - Série 2700. *Igus.cz - distributor Hennlich s.r.o. pro Českou republiku* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: http://www.igus.cz/iPro/iPro_01_0025_0011_CZcs.htm?c=CZ&l=cs
- [25] Klip kanc.145mm pruž.HGA0130 stř.Sak - Kancelářské klipy | Papír plus, s.r.o. *Velkoobchodní prodej papíru a kancelářských potřeb | Papír plus, s.r.o.* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://www.papirplus.cz/klip-kanc-145mm-pruz-hga0130-str-sak-ean71084Zn1ak00-skup2Zn1ak14.php>
- [26] Ložiskové domečky : Produkty: HENNLICH. *HOME: HENNLICH* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/kluzna-pouzdra-a-vedeni-kloubova-loziska-loziskove-domecky-668.html>
- [27] Neodymové magnety - kvádry. I pro magnetický držák - Unimagnet. *Neodymové magnety - Unimagnet* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <https://www.unimagnet.cz/8-kvadry>
- [28] Nýtovací matice a šrouby RIVKLE® – Böllhoff. *Böllhoff Česká Republika* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: http://www.boellhoff.cz/cs/cz/spojovaci_prvky/specialni_spojovaci_prvky/nytovaci_tehnika/rivkle.php
- [29] Obdélníková záslepka 30x10 | Záslepky.cz - dodavatel záslepek do jeleků, plastových nožiček, ovládacích elementů a dalších plastových součástí. *Záslepky.cz* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <https://www.zaslepky.cz/produkt/obdelnikova-zaslepka-30x10/>
- [30] Plastové součástky kovové součástky. *Plastové součástky kovové součástky* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://www.plastovesoucastky.cz/index.php?hash=9ee6b824a3fe69d7ec21cc18bc7624dd&grpid=162>
- [31] Protiskluzová podložka na stůl | Eshop Rohože. *Rohože, kusové koberce, podlahoviny | Specializovaný eshop* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://www.eshop-rohoze.cz/protiskluzove-prostredky/protiskluzove-pasky-pasy-podlozky/protiskluzova-podlozka-na-stul/variant.html>
- [32] RZ1.CZ - rally shop. Držák tužky, jednoduchý. *RZ1.CZ - rally shop* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://www.rz1.cz/p/552/drzak-tuzky-jednoduchy>
- [33] Řezání plechů. *Pálení plechů, výpalky z plechů* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://www.ikovtrade.cz/rezani-plechu.php>
- [34] Řídicí systémy CNC strojů. Poznejte jejich historii! | *FactoryAutomation.cz*. *FactoryAutomation.cz | Časopis o automatizaci a robotice* [online]. [cit. 2016-07-14].



- Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/ridici-systemy-cnc-stroju-poznejte-jejich-historii/>
- [35] Siemens Sinumerik - 50 years of innovative solutions. *ELECTROPORTAL* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://www.elfocus.com/en/articles/article17.html>
- [36] Systém nosných ramen Rittal CP 60/120/180. *Novinky – elektrotechnika elektronika energetika průmyslová automatizace* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/prumyslova-automatizace/36.php>
- [37] Systémy nosných ramen. *Rittal GmbH & Co. KG* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://www.rittal.com/cz-cs/product/list.action;jsessionid=D523D9BB636F54274A5DA166E4E6B7F2?c=/Rozv%C3%A1d%C4%9B%C4%8De/Ovl%C3%A1dac%C3%AD%20sk%C5%99%C3%ADn%C4%9B%C2%A0/%20nosn%C3%A1%20ramena%C2%A0/%20stojany/Syst%C3%A9my%20nosn%C3%BDch%20ramen&categoryPath=/PG0001/P0002SCHRANK1/P007661SCHRANK1/P00058SCHRANK1>
- [38] Tabulka slitin | Strojmetal Aluminium Forging, s.r.o. *Strojmetal Aluminium Forging, s.r.o. | Strojmetal Aluminium Forging, s.r.o.* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://www.strojmetal.cz/tabulka-slitin>
- [39] Technology-support, trvala podpora vasich provozu - CNC řídicí systém je srdce i mozek CNC obráběcího stroje (1). *Technology-support, trvala podpora vasich provozu - produkty a služby* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <https://www.t-support.cz/kat/cnc-ridici-system-je-srdce-i-mozek-cnc-obrabeciho-stroje-1>
- [40] Tlačné pružiny z pružinové oceli : Produkty: HENNLICH. *HOME: HENNLICH* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: [https://www.hennlich.cz/produkty/pruziny-tlacne-pruziny-162/tlacne-pruziny-z-pruzinove-oceli.html?tx_commerce_pi1\[showUid\]=259&tx_commerce_pi1\[search\]=1&tx_commerce_pi1\[DF-D+DRAHTSTAERKE\]\[range\]\[start\]=&tx_commerce_pi1\[DF-D+DRAHTSTAERKE\]\[range\]\[end\]=&tx_commerce_pi1\[DF-DA+AUSSEN+DURCHM\]\[range\]\[start\]=22&tx_commerce_pi1\[DF-DA+AUSSEN+DURCHM\]\[range\]\[end\]=25&tx_commerce_pi1\[DF-DI+INNEN+DURCHM\]\[range\]\[start\]=19&tx_commerce_pi1\[DF-DI+INNEN+DURCHM\]\[range\]\[end\]=20&tx_commerce_pi1\[DF-LO+LAENGE\]\[range\]\[st](https://www.hennlich.cz/produkty/pruziny-tlacne-pruziny-162/tlacne-pruziny-z-pruzinove-oceli.html?tx_commerce_pi1[showUid]=259&tx_commerce_pi1[search]=1&tx_commerce_pi1[DF-D+DRAHTSTAERKE][range][start]=&tx_commerce_pi1[DF-D+DRAHTSTAERKE][range][end]=&tx_commerce_pi1[DF-DA+AUSSEN+DURCHM][range][start]=22&tx_commerce_pi1[DF-DA+AUSSEN+DURCHM][range][end]=25&tx_commerce_pi1[DF-DI+INNEN+DURCHM][range][start]=19&tx_commerce_pi1[DF-DI+INNEN+DURCHM][range][end]=20&tx_commerce_pi1[DF-LO+LAENGE][range][st)
- [41] Vodící tyče plné OCEL | ARKOV. *ARKOV | Široký sortiment strojních součástí na jedné adrese za skvělé ceny* [online]. [cit. 2016-07-14]. Dostupné z: <http://zbozi.arkov.cz/c/1102-vodici-tyce-plne-ocel.html#!&category=1102&manufacturers=&list=itemRowPicture&page=1>



10.2. Seznam obrázků

Obr. 1 – ovládací panel (2)	14
Obr. 2 – mapa českých firem CNC strojů (2)	15
Obr. 3 - ovládací panel na horním rameni	16
Obr. 4 - ovládací panel na horním rameni	16
Obr. 5 - ovládací panel na dolním rameni.....	16
Obr. 6 - ovládací panel na dolním rameni.....	16
Obr. 7 - ovládací panel na dolním rameni.....	16
Obr. 8 - ovládací panel na dolním a horním rameni	16
Obr. 9 - ovládací panel uložen na pantech.....	17
Obr. 10 - ovládací panel uložen ve stojanu	17
Obr. 11 - ovládací panel vetknutý ve stroji	17
Obr. 12 – vybrané ovládací panely na veletrhu EMO Hannover 2013 (2)	19
Obr. 13 - ergonomie mužské postavy (4)	21
Obr. 14 - ergonomie mužské postavy (2)	22
Obr. 15 - ergonomie mužské postavy (4)	22
Obr. 16 - ergonomie mužské postavy (2)	23
Obr. 17 - ergonomie mužské postavy (4)	23
Obr. 18 - ergonomie ovládacího panelu - panel rovný	24
Obr. 19 - ergonomie ovládacího panelu - panel lomený	24
Obr. 20 - naklápěcí panel	26
Obr. 21 – CNC řídicí systém FANUC (6)	27
Obr. 22 – CNC řídicí systém SINUMERIK (35).....	27
Obr. 23 – CNC řídicí systém HEIDENHAIN (23).....	27
Obr. 24 – montáž CNC řídicího systému SINUMERIK.....	28
Obr. 25 – konstrukce A1.....	29
Obr. 26 – konstrukce A2.....	29
Obr. 27 – konstrukce B1.....	30
Obr. 28 – konstrukce B2.....	30
Obr. 29 – konstrukce C1.....	30
Obr. 30 – konstrukce C2.....	30
Obr. 31 – konstrukce D1	31
Obr. 32 – konstrukce D2	31
Obr. 33 – hliníkový profil.....	33
Obr. 34 – rámová konstrukce1.....	34
Obr. 35 – rámová konstrukce2.....	34
Obr. 36 – nosná skříň1	34
Obr. 37 – nosná skříň2	34
Obr. 38 – energetický řetěz – horní rameno.....	35
Obr. 39 – energetický řetěz – dolní rameno	35
Obr. 40 – rameno Rittal CP 60/120/180 (36)	36
Obr. 41 – doplňky ovládacího panelu	36
Obr. 42 – komplexní návrh ovládacího panelu1	37



Obr. 43 - komplexní návrh ovládacího panelu2	37
Obr. 44 – schéma výpočtu vodících tyčí.....	38
Obr. 45 – schéma k rovnicím 7.1. (25 – 27)	38
Obr. 46 – schéma k rovnici 7.1. (28)	38
Obr. 47 – schéma k rovnici 7.1. (29)	39
Obr. 48 – reakce ve vodící tyči	40
Obr. 49 – skica uložení vodící tyče	44
Obr. 50 – skica aretačního čepu.....	44

10.3. Seznam tabulek

Tab. 1 - přehled strojů a ovládacích panelů na českém trhu	18
Tab. 2 – rozměry řídicích systémů	28
Tab. 3 – reakce ve vetknutí	41
Tab. 4 – okrajové podmínky	43
Tab. 5 – rozpočet materiálu	46
Tab. 6 – lakovaná plocha materiálu	47
Tab. 7 – délka řezu laserem	47

10.4. Seznam grafů

Graf 1 – příklad charakteristiky pružiny	32
Graf 2 – příklad charakteristiky plynové vzpěry.....	32
Graf 3 – průběh ohybového napětí.....	41
Graf 4 – průhyb vodící tyče	43

10.5. Seznam rovnic

4.1.1. (1)	24
4.1.1. (2)	24
4.1.1. (3)	24
4.1.1. (4)	25
4.1.1. (5)	25
4.1.1. (6)	25
4.1.1. (7)	25
4.1.1. (8)	25
4.1.1. (9)	25



4.1.1. (10)	25
4.1.1. (11)	25
4.1.1. (12)	26
4.1.1. (13)	26
4.1.1. (14)	26
4.1.1. (15)	26
4.1.2 (16)	26
4.1.2 (17)	26
4.1.2 (18)	26
7.1. (19)	38
7.1. (20)	38
7.1. (21)	38
7.1. (22)	38
7.1. (23)	38
7.1. (24)	38
7.1. (25)	38
7.1. (26)	38
7.1. (27)	38
7.1. (28)	39
7.1. (29)	39
7.1. (30)	39
7.1. (31)	39
7.1. (32)	39
7.1. (33)	39
7.1. (34)	39
7.1. (35)	39
7.1. (36)	40
7.1. (37)	40
7.1. (38)	40
7.1. (39)	40
7.1. (40)	40
7.1. (41)	40
7.1. (42)	40
7.1. (43)	40
7.1. (44)	40
7.1.1. (45)	41
7.1.1. (46)	41
7.1.1. (47)	42
7.1.1. (48)	42
7.1.2. (49)	42
7.1.2. (50)	42
7.1.2. (51)	42
7.1.2. (52)	42
7.1.2. (53)	42



7.1.2. (54)	42
7.1.2. (55)	42
7.1.2. (56)	42
7.1.2. (57)	43
7.1.2. (58)	43
7.1.2. (59)	43
7.1.3. (60)	44
7.1.3. (61)	44
7.2. (62)	44
7.2. (63)	44
7.2. (64)	44
7.2. (65)	44
7.3. (66)	45
7.3. (67)	45
7.3. (68)	45
7.3. (69)	45

10.6. Seznam použitého softwaru

- Autodesk Inventor 2015
- MATLAB R2015b
- Microsoft Word 2010
- Microsoft Excel 2010

10.7. Seznam příloh

- Výkresová dokumentace
- Elektronické CD