

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ**

Ústav výrobních strojů a zařízení



Diplomová práce

Návrh robotického pracoviště

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Ptáček** Jméno: **Jan** Osobní číslo: **459605**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**
Studijní program: **Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní stroje a zařízení**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Návrh robotického pracoviště

Název diplomové práce anglicky:

Design of a Robotic Workplace

Pokyny pro vypracování:

Návrh robotizovaného pracoviště pro navjení kompozitních trubek pro firmu Compo Tech PLUS, spol. s r.o.; Osnova: Teoretická část práce bude obsahovat řešerši na témata vláknových kompozitů, popis technologie navjení kompozitních dílů a průmyslové roboty se sériovou kinematikou. Praktická část práce bude řešit: Manipulaci trnu osazeného jehličkami; připevnění vláknů k jehličkám a odříznutí vláknů od jehliček; odříznutí jehliček od navinutého dílce. Další specifikace práce a zásahy do současného stavu konstrukce navijecího stroje dle rozhodnutí Compo Tech PLUS, spol. s r.o. Celková snaha o minimalizaci zásahů do navijecího stroje (nebude se řešit automatizace koniku a automatické zavádění vláknů do navijecího stroje); Rozsah grafické části: 3D modely, výkres sestavy včetně kusovníku, výkresy vybraného uzlu a vybraných součástí; Rozsah textové části: 60 - 80 stran.

Seznam doporučené literatury:

MRÁZ, Petr a Jaroslav TALÁCKO. Konstrukce strojů s kompozitními materiály. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03540-9.; KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-2144-828-5.; SCHMID, Dietmar. Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku. Deváté. Praha: Europa - Sobotáles, 2005. ISBN 80-867-0610; Firemní literatura ABB Robotics, s.r.o.; Firemní literatura Compo Tech PLUS, s.r.o.; Výukové materiály Ústavu výrobních strojů a zařízení FS ČVUT v Praze.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc., ústav výrobních strojů a zařízení FS

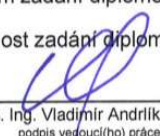
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

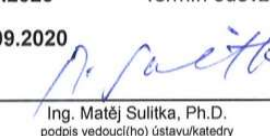
Ing. Vojtěch Chlubna, Ph.D., ROBOTUM

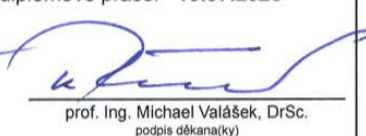
Datum zadání diplomové práce: **28.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **19.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce: **30.09.2020**


doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
podpis vedoucí(ho) práce

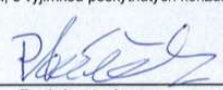

Ing. Matěj Sulitka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou 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 19.7.2020

.....

podpis

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Vladimíru Andrlíkovi, CSc., dále také konzultantům Ing. Vojtěchu Chlubnovi, Ph.D. z firmy Robotum s.r.o. za cenné rady z oblasti robotů a Ing. Ondřeji Uherovi, Ph.D. z firmy CompoTech Plus spol. s r.o. za cenné rady a podněty při řešení diplomové práce.

Chtěl bych také poděkovat svým rodičům a sestře za podporu a trpělivost, kterou měli během celé doby mého studia.

Anotace

Jméno autora :	Bc. Jan Ptáček
Název DP :	Návrh robotického pracoviště
Rozsah práce :	78 str., 93 obr., 11 tab.
Školní rok:	2019/2020
Škola:	ČVUT v Praze – Fakulta strojní
Ústav :	12135 Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí DP :	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Konzultanti :	Ing. Vojtěch Chlubna, Ph.D. , Robotum s.r.o.
Zadavatel tématu :	CompoTech Plus spol. s r.o.
Využití :	Automatizace části stávajícího pracoviště
Klíčová slova :	Smáčivé navíjení, průmyslový robot, kompozitní trubky, automatizace, end effector, ABB, Compo Tech PLUS
Anotace :	Diplomová práce řeší návrh a konstrukci vybraných celků robotického pracoviště pro výrobu navíjených kompozitních trubek dle zadaných podmínek. Bylo navrženo rozložení funkčních prvků v robotickém pracovišti pro výrobu navíjení kompozitních trubek smáčivým navíjením.

Annotation

Author :	Bc. Jan Ptáček
Title :	Design of a Robotic Workplace
Extent:	78 pg., 93 fig., 11 tab.
Academic year:	2019/2020
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department :	Department of Production Machines and Equipment
Supervisor :	doc. Ing. Vladimír Andrlík, CSc.
Consultant :	Ing. Vojtěch Chlubna, Ph.D., Robotum s.r.o.
Theme submitter :	CompoTech Plus spol. s r.o.
Key words :	wet winding, industrial robot, composite tubes, automatization, end effector, ABB, CompoTech PLUS
Annotation :	The diploma thesis deals with the design and construction of selected units of a robotic workplace for the production of wound composite pipes according to specified conditions. The layout of functional elements in a robotic workplace for the production of winding composite pipes by wet winding was proposed.

Obsah

Seznam použitých veličin	9
1. Úvod	11
2. Cíle práce	12
3. Kompozitní materiály a technologie navíjení	13
3.1. Kompozitní materiály	13
3.1.1. Matrice:	14
3.1.2. Vlákná	15
3.2. Navíjení (Filament winding)	16
3.2.1. Dělení navíjení dle impregnace vlákna	16
3.2.2. Návinové vzory	17
3.2.3. Navíjecí trny	18
4. Roboty	20
4.1. Průmyslové roboty	20
4.1.1. Kinematické řetězce robotů a manipulátorů se sériovou kinematikou:	21
4.1.2. Souřadné systémy robotů	22
4.1.3. Přímá a inverzní kinematika	24
4.1.4. Trajektorie a interpolace	24
4.2. End-effectory (koncové efekty)	25
4.2.1. Úchopné effectory	25
4.2.2. Technologické effectory	28
4.2.3. Kombinované a speciální effectory	28
4.3. Sensorika	29
4.3.1. Kapacitní senzory	30
4.3.2. Elektromechanické snímače	30
4.3.3. Světelné závory	30
4.4. Bezpečnost	30
4.4.1. Nebezpečí u robotických systému	31
4.4.2. Bezpečnostní normy	31
4.4.3. Rizika a jejich minimalizace	32
4.4.4. Bezpečnostní prvky	33
5. Vybrané pracoviště pro automatizaci	37
5.1. Současný stav	37
6. Použití robotů při navíjení kompozitních dílců – výběr varianty k řešení	39
A. Robot s navíjecí jednotkou jako end effectorem	39

B.	Robot s navíjecím trnem jako end effectorem	39
C.	Navíjecí stroj s manipulací trnu pomocí robotu.....	40
7.	Řešení	42
7.1.	Effector pro manipulaci trnu osazeného jehličkami	42
7.1.1.	Grippers	42
7.1.2.	Pohyblivá konzola.....	42
7.1.3.	Nosná struktura end effectoru.....	44
7.1.4.	Rozvod energií po effectoru.....	45
7.1.5.	Systém automatické výměny end effectorů	45
7.2.	Effector pro odstřížení vlákna	46
7.3.	End effector pro zavedení vlákna do jehliček	47
7.4.	Odříznutí jehliček	48
7.5.	Zásobníky end effectorů	49
7.6.	Operační zásobník trnů	50
7.7.	Robot.....	51
7.8.	Pneumatický obvod.....	52
7.9.	Potřebné úpravy navíjecího stroje pro potřeby robotizace pracoviště	53
7.10.	Layout pracoviště	54
8.	Výpočtová část	55
8.1.	Návrhové a kontrolní výpočty pro koncový efektor pro manipulaci s trnem osazeným jehličkami	55
8.1.1.	Kontrolní výpočty gripper Schunk	55
8.1.2.	Kontrola kuličkového šroubu, kontrola pohonu	59
8.2.	Kontrola zatížení robotu	61
8.3.	Požadavky na průtok vzduchu.....	63
9.	Popis cyklu navinutí kompozitní trubky v pracovišti.....	65
10.	Závěr	68
	Seznam zdrojů.....	69
	Seznam obrázků.....	75
	Seznam tabulek:	77
	Seznam použitých softwarů	77
	Seznam příloh	77

Seznam použitých veličin

Označení	Název	Jednotka
α	Úhel navíjení	°
β	Úhel sevření čelistí	°
γ	Součinitel délkové teplotní roztažnosti	K ⁻¹
μ	Součinitel dynamického tření	-
ρ	Hustota	g/cm ³
Φ	Úhel mezi rameny robotu	°
ω_M	Úhlová rychlost motoru	rad/s
$\omega_{Kš}$	Úhlová rychlost kuličkového šroubu	rad/s
a	Decelerace robotu při E-stop	m/s ²
$a_{konzola}$	Zrychlení posuvu konzoly	m/min ²
$a_{konzola, vypočtené}$	Vypočtené zrychlení posuvu konzoly	m/s ²
d_k	Nejmenší průměr kuličkového šroubu	mm
E	Modul pružnosti v tahu	GPa
E_K	Kinetická energie pohybové osy	J
E_L	Podélný modul pružnosti v tahu	GPa
E_T	Příčný modul pružnosti v tahu	GPa
F_{AX}	Axiální síla od zrychlení konzoly	N
F_K	Maximální teoretická dovolená axiální síla	N
F_{Kmax}	Maximální dovolená provozní axiální síla	N
F_U	Úchopná síla	N
$F_{U,max}$	Maximální potřebná úchopná síla	N
$F_{U,Schunk}$	Úchopná síla gripperu Schunk	N
g	Tíhové zrychlení	m/s ²
h	Stoupání kuličkového šroubu v SI jednotkách	m/rad
i	Převodový poměr	-
J_{a5}	Moment setrvačnosti působící na pátou osu robotu	kgm ²
J_{a6}	Moment setrvačnosti působící na šestou osu robotu	kgm ²
$J_{Kš}$	Moment setrvačnosti kuličkového šroubu	kgm ²
J_M	Moment setrvačnosti motoru	kgm ²
J_{ox}	Moment setrvačnosti kolem osy x v těžišti effectoru	kgm ²
J_{oy}	Moment setrvačnosti kolem osy y v těžišti effectoru	kgm ²
J_{oz}	Moment setrvačnosti kolem osy z v těžišti effectoru	kgm ²
J_p	Moment setrvačnosti převodovky	kgm ²
J_{RedM}	Moment setrvačnosti pohybové osy redukováný na motor	kgm ²
J_{Spoj}	Moment setrvačnosti hřídelové spojky	kgm ²
k	Součinitel bezpečnosti	-
k_d	Koeficient uložení kuličkového šroubu	-
k_k	Koeficient závislosti na uložení kuličkového šroubu	-
l_d	Vzdálenost mezi ložisky	mm
l_k	Nepodepřená délka hřídele	mm
m	Hmotnost trnu	kg
$m_{effector}$	Hmotnost zvoleného effectoru	kg
M_k	Kroutící moment motoru	Nm
$m_{Konzola}$	Hmotnost konzoly	kg
M_x	Klopný moment okolo osy x	Nm

M_y	Klopný moment okolo osy y	Nm
M_z	Klopný moment okolo osy z	Nm
$M_{xSchunk}$	Dovolený klopný moment okolo osy x gripperu	Nm
$M_{ySchunk}$	Dovolený klopný moment okolo osy y gripperu	Nm
$M_{zSchunk}$	Dovolený klopný moment okolo osy z gripperu	Nm
n_k	Kritické otáčky kuličkového šroubu	ot/min
n_{max}	Maximální otáčky kuličkového šroubu	ot/min
$n_{šroub}$	Otáčky kuličkového šroubu	ot/min
P	Stoupání kuličkového šroubu	mm/ot
Q_{Fipa}	Průtok stlačeného vzduchu pro gripper Fipa	l/min
Q_{Schunk}	Průtok stlačeného vzduchu pro gripper Schunk	l/min
Q_{Vessel}	Průtok stlačeného vzduchu pro nůžky Vessel	l/min
R_m	Mez pevnosti v tahu	[GPa]
t_{Fipa}	Zvolený čas pro zavření čelistí gripperu	s
t_{Schunk}	Zvolený čas pro otevření a zavření čelistí gripperu	s
t_{Vessel}	Zvolený čas pro otevření a zavření ostrí nůžek	s
$V_{konzola}$	Rychlost posuvu konzoly	m/min
V_{Fipa}	Objem stlačeného vzduchu potřebného pro zavření čelistí gripperu	l
V_{Schunk}	Objem stlačeného vzduchu potřebného pro otevření a zavření čelistí gripperu	l
V_{Vessel}	Objem stlačeného vzduchu potřebného pro otevření a zavření ostrí nůžek	l
x_T	Vzdálenost těžiště od TCP v ose x	mm
y_T	Vzdálenost těžiště od TCP v ose y	mm
z_T	Vzdálenost těžiště od TCP v ose z	mm

1. Úvod

V současné době panuje trend nahrazování lidské práce prací strojů nebo automatizovaných výrobních celků, ať už je to např. výkupní automat vratných lahví v supermarketu nebo průmyslový robot v lisovně výrobce automobilů.

Jde o plnohodnotnou náhradu člověka při vykonávání monotónních, namáhavých nebo nebezpečných pracovních úkolů.

V průmyslu je ideální náhradou člověka již zmiňovaný průmyslový robot, který na rozdíl od člověka nemá výkonnostní výkyvy při plnění pracovních úkolů, a proto je vhodný pro použití u prací, kde je požadována trvale vysoká spolehlivost a kvalita.

2. Cíle práce

Cílem této diplomové práce je návrh a konstrukce vybraných celků robotického pracoviště pro výrobu navíjených kompozitních trubek dle zadaných podmínek, dále rozložení funkčních prvků v robotickém pracovišti. Odstranění monotónní, ergonomicky náročné lidské práci v nečistém prostředí, je hlavní motivací pro tvorbu této práce.

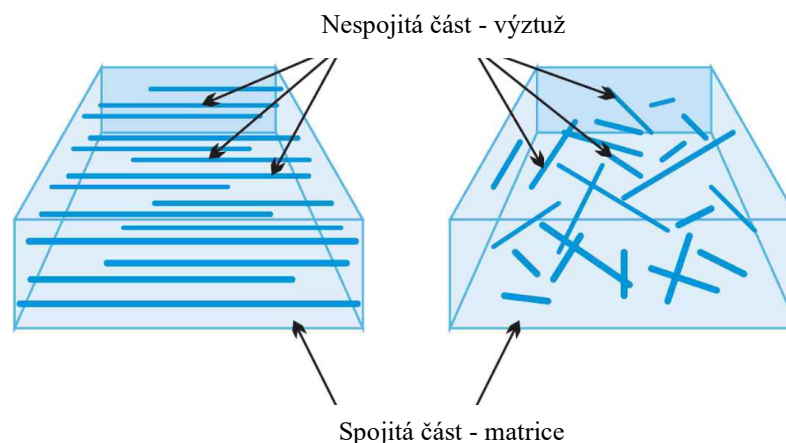
Cíle práce lze rozdělit do následující dílčích kroků:

- Návrh end effectoru pro manipulaci navíjecích trnů osazených jehličkami z operačního zásobníku trnů do navíjecího stroje a zpět do zásobníku.
- Návrh end effectoru pro připevnění vlákna k jehličkám jako první krok technologie navíjení.
- Návrh end effectoru pro odříznutí/odstříhnutí kompozitního vlákna od jehliček po skončení navíjení trubky.
- Návrh end effectoru pro odříznutí jehliček resp. tělesa jehliček od navinutého dílce.
- Výběr průmyslového robotu od firmy ABB.
- Výrobní takt není parametrem pro návrh robotického pracoviště.

3. Kompozitní materiály a technologie navíjení

3.1. Kompozitní materiály

Kompozitní materiály (kompozity) jsou heterogenní materiály, které jsou složeny z více složek v makroskopické škále za účelem vytvoření třetího materiálu. Je zde nespojitá složka nazvaná výztuž nebo pojivo, která je pevnější než spojitá složka nazvaná matrice. Obě složky jsou zobrazeny na Obr. 1. Aby tento proces smíšení dvou složek měl smysl, musí každá dílčí složka mít jinou funkci a fyzikální vlastnosti. Správně navržený kompozit kombinuje nejlepší fyzikální vlastnosti dílčích složek a dosahuje i lepších vlastností než tyto složky (synergie). Při specifikaci kompozitu je nutný nejenom přesný výčet vlastností materiálových složek, ale i jejich geometrické uspořádání. Geometrické uspořádání je specifikováno velikostí, tvarem, koncentrací a orientací.[1],[2],[3]

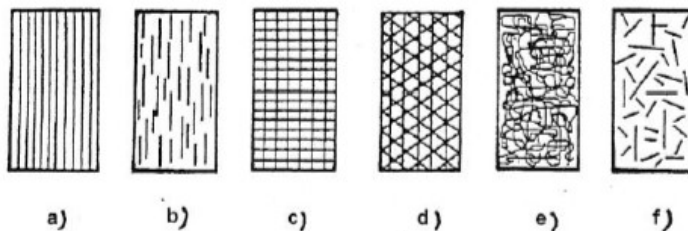


Obr. 1 Složení kompozitního materiálu [4]

Kompozitní materiály se dělí dle [1], [5]:

- Materiálu vyztužení
 - Kovové
 - W, Cr, Mo, Ti, Fe a jejich slitiny
 - Nekovové
 - anorganické – C, skla(E, S), keramické materiály(SiC, TiC, BN)
 - organické – polymery (aramidová vlákna – Kevlar, Terlon)
- Materiálu matrice
 - Kovy
 - Ag, Fe, Mg, Ti, Co a jejich slitiny
 - Nekovy
 - anorganické – C, skla(E,S)
 - organické – polymery (epoxydy, pryskyřice, polyamidy)
- Geometrické charakteristiky výztuže
 - Vlákňové
 - Částicové
 - Skeletové

Tato práce je kvůli svému zaměření soustředěna na vláknové kompozity. Typy vláknových kompozitů jsou zobrazeny na Obr. 2. [1]



Obr. 2 Typy vláknových kompozitů [1]

- Jednosměrná dlouhá vlákna
- Jednosměrná krátká vlákna
- Dvousměrná vyztužení
- Vícesměrné vyztužení
- Náhodná orientace vláken
- Náhodná orientace krátkých vláken

3.1.1. Matrice:

Matrice zaručuje spojitost kompozitu, integruje nespojitou složku (výztuž/plnivo) a utváří tvar součásti. Hlavními funkcemi matrice jsou:[1],[6]

- Spojení výztuže v celek
- Přenos namáhání do výztuže
- Ochrana výztuže před okolními vlivy
- Udává jakost funkční plochy
- Udává vzhled funkční plochy

Jako materiály matrice jsou primárně užívány polymery, dělí se na reaktoplasty (termosety) a termoplasty. Strojírenské aplikace vyžadují zachování tuhé fáze i při zvýšených teplotách a dobrou odolnost proti creepu, proto se převážně používají termosety (EP – epoxidová pryskyřice, fenolové pryskyřice, polyamidy). Epoxidové pryskyřice mají malé objemové smrštění po zatvrdnutí 0,75-5%. Akrylové a polyuretanové pryskyřice mají objemové smrštění větší než 10%. Polymery jsou srovnány v Tab. 1.[1],[6],[11]

	reaktoplasty		termoplasty	
	EP	PP	PPS	PEEK
pevnost v tahu	••	••	•••	••
E-modul v tahu	•••	•	••	••
tažnost	•	•••	•••	•••
rázová houževnatost	••	•••	•	••
•••-velmi vysoký, ••-vysoký, •-střední				

Tab. 1 Mechanické vlastnosti polymerních matic [6]

Termoplasty (PP-polypropylen, PPS-polyfenylensulfid, PEEK-polyetheretheeketon) jsou značně omezeny pracovní teplotou, termosety se vyznačují vysokou viskozitou (3-4x větší než u termosetů), způsobující horší zatékání do forem a nesmočení výztuže. K zamezení některých těchto vlivů se používají preimpregnovaná vlákna. Jejich velkou výhodou je vysoká tažnost. [1],[6]

3.1.2. Vlákna

Vlákna jsou výztuží/plnivem kompozitu a tvoří nosnou složku kompozitu. V aplikacích s kompozity je využíváno několik druhů vláken, lišící se hlavně v mechanických vlastnostech (samotné vlákno má např. rozdílné E_L – podélný modul v tahu a E_T – příčný modul v tahu, E_L má několikrát vyšší hodnotu než E_T). Nejpoužívanějšími vlákny jsou hlavně uhlíková, skleněná a aramidová vlákna. [1],[6]

- **Skleněná vlákna**

Mechanické vlastnosti těchto vláken závisí na jejich chemickém složení. Existuje několik druhů těchto vláken E, S, S-2, A, C, ve strojírenství se nejvíce prosadila vlákna E a S. E-vlákna jsou relativně levná, ale mají dostatečnou pevnost pro běžné strojírenské aplikace. S-vlákna mají vyšší pevnost v tahu než většina uhlíkových a aramidových vláken. Skleněná vlákna jsou odolná proti vlhkosti a oxidaci, neztrácí svoji pevnost ani ve vlhkých prostředích, nehoří na vzduchu, ale měknou při teplotě cca 850° C. Jejich nevýhodou je malý Youngův modul v tahu. [6], [12].

- **Uhlíková vlákna**

Nejrozšířenější vlákna pro dílce v náročných technických aplikacích jsou uhlíková vlákna. Dají se skombinovat se všemi typy matric. Jsou vyráběna ve dvou provedeních- Pitch typ (mezofázová smola) a PAN typ (polyakrylonitril). [6]

V nabídce výrobců jsou grafitizovaná HM a karbonizovaná HS uhlíková vlákna s rozdílnými mechanickými vlastnostmi: [6]

- Vysokopevnostní vlákna HS (High Strength)
- Vlákna se středním modulem IM (Intermediate Modulus)
- Vysokomodulová HM (High Modulus)
- Vlákna s vysokou tuhostí a pevností HMS (High Strain and Modulus)

- **Aramidová vlákna**

Hlavním představitelem aramidových vláken je Kevlar od firmy DuPont. Jedná se o organické vlákno kombinující vysokou pevnost v tahu, vysoký E-modul. V těchto parametrech předčí skleněná vlákna. Jejich nevýhodou je však náchylnost na vlhkost a tlakové namáhání. Kevlar je v prodeji ve dvou variantách - Kevlar 29 (low modulus) a Kevlar 49 (high modulus). [1], [6]. Srovnání kompozitních vláken je v Tab. 2.

	sklo		uhlík			aramid		ocel
	E	R/S	HS	IM	HM	LM	HM	12 050
hustota [g/cm ³]	2,6	2,5-2,53	1,78-1,83	1,73-1,8	1,79-1,91	1,39-1,44	1,45-1,47	7,8
E_L - podélný modul v tahu [GPa]	72-73	86-87	230-270	280-400	350-490	58-80	120-186	221*
pevnost v tahu [GPa]	3,4-3,5	4,4-4,6	3,9-7	3,4-5,9	2-3,2	2,8-3	2,8-3,4	0,59
součinitel délkové teplotní roztažnosti [1e-6 1/K]	5	4	x	-0,5 -1,3	-0,5 -1,3	-2 -6	-2 -6	11,6

Tab. 2 Srovnání vláken a oceli [6],[13] (*ocel je homogenní materiál a E je ve všech směrech stejné)

výrobní technologie	objemový podíl vláken v laminátu (obj. %)
pultruze	43-83
pletení	25-65
navíjení	45-65
lisování	30-50

Tab. 3 Výrobní technologie dle objemového podílu vláken [6]

Dosažitelný podíl objemových vláken v kompozitu je kruciólním kvalitativním měřítkem každé technologie. Únosnost laminátu je závislá na objemovém podílu vláken. Čím větší je objem, tím lépe (platí do 70%) [6]. V Tab. 3 jsou srovnány objemové podíly vláken v laminátu.

3.2. Navíjení (Filament winding)

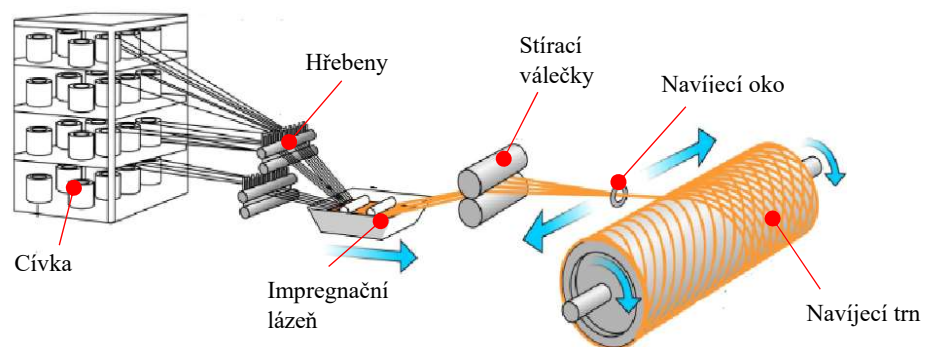
Dílec je vytvářen navíjením rovingu (pramen vláken) na separovaný tvarový trn. Suché vlákno je odvíjeno z cívky a prochází nádobou s pryskyřicovou lázní, kde je roving impregnován. Z lázně roving putuje k navíjecímu oku, pomocí něhož je pramen vláken navinut na trn. Po nanesení požadovaného počtu vrstev pramenů vláken na sebe je hotový kus postoupen k technologii polymerizace (vytvrzení pryskyřice) za zvýšené teploty a po vytvrzení k případnému odstranění trnu, pokud to konstrukce dílce umožňuje. Hlavní výhodou technologie navíjení tkví v možnosti navinutí rovingu v různých směrech (orientacích), což umožňuje výrobu dílců s různými mechanickými vlastnostmi. [6], [7]

3.2.1. Dělení navíjení dle impregnace vlákna

Existují dvě základní skupiny technologií navíjení dle impregnace vláken – smáčivé navíjení a prepregové navíjení.

- *Smáčivé navíjení (Wet winding)*

Principem této metody navíjení je průchod vláken impregnovací lázní s pryskyřicí a následné navinutí na tvarový trn. Smáčivé navíjení je více používána metoda díky levnému vstupnímu materiálu a možnosti úpravy úhlů navíjení resp. mechanických vlastností navíjeného dílce [8],[9]. Technologie je zobrazena na Obr. 3.



Obr. 3 Smáčivé navíjení [45]

- *Prepregové navíjení (Prepreg winding)*

V této metodě se využívá již naimpregnovaných (prepregovaných) vláken, která odvíjením z cívky putují přímo k navíjecímu oku a posléze k trnu. Výhodou této metody je přesná šířka navíjených vláken a přesný obsah pryskyřice (pojiva) v hotovém dílci, což zajišťuje opakovatelnost při výrobě dílu v sérii. Nevýhodou této metody je cena prepregu a nižší možnost variace poměru pojivo/plnivo v návrhu dílců. [8],[9]

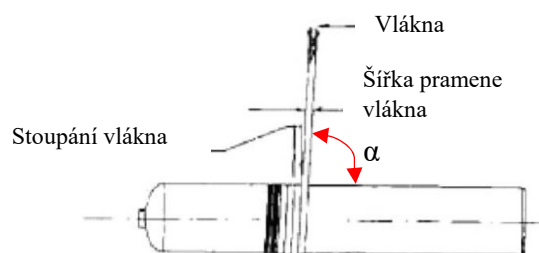
3.2.2. Návinové vzory

Mechanické vlastnosti mohou být značně ovlivněny návinovými vzory – ten udává úhel navíjení α . Existují tři základní druhy návinových vzorů – obvodové navíjení, šroubovicové navíjení a polární navíjení. Krom těchto tří vzorů bude zmíněn ještě jeden speciální vzor, používaný na později zmiňovaném pracovišti [8],[9].

„Úhel navíjení α je úhel mezi tečnou návinové křivky (v daném bodě) a tečnou k průsečnici povrchu jádra s rovinou, procházející zmíněným bodem a osou rotace jádra.“ [6]

- Obvodové navíjení

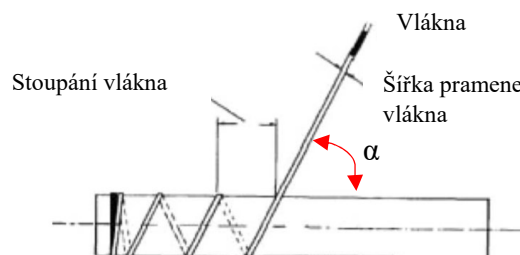
Při obvodovém navíjení je na jednu otáčku trnu navinuta jedna šířka pramene vláken, jak je ukázáno na Obr. 4. Úhel navíjení je roven 90° nebo se mu limitně blíží. [8],[9]



Obr. 4 Obvodové navíjení [9]

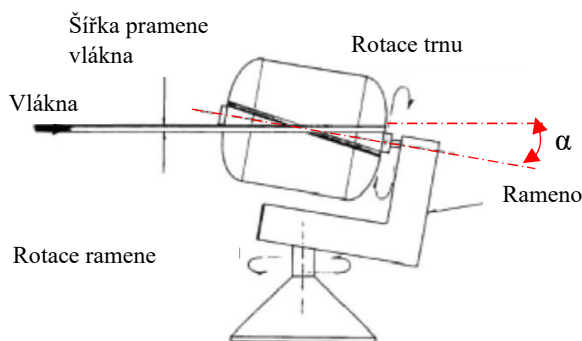
- Šroubovicové navíjení

Probíhá při konstantních otáčkách trnu a úhel návinu je určen rychlostí pohybové jednotky, která zajišťuje pohyb navíjecího oka. Požadovaný úhel navíjení je dosažen součinností rotace trnu a podélného pohybu navíjecího oka, respektive pohybové jednotky, jak je vidět na Obr. 5. Úhel navíjení se pohybuje v rozmezí od 5° do 80° . [8],[9],[10]



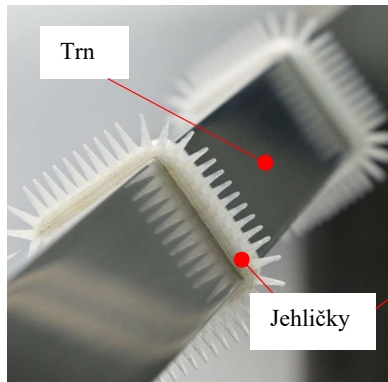
Obr. 5 Šroubovicové navíjení [9]

- **Polární navíjení**
Vlákna jsou navíjena podél osy rotace trnu, tato metoda je náročná na konstrukční uspořádání stroje a vyžaduje stroj s více stupni volnosti než dvě předešlé metody. Při polárním navíjení se úhel navíjení pohybuje od 0° do 5° . Trn nelze odstranit bez poškození hotového dílce, proto zůstává součástí navinuté struktury. Metoda je zobrazena na Obr. 6.[8],[9],[10]

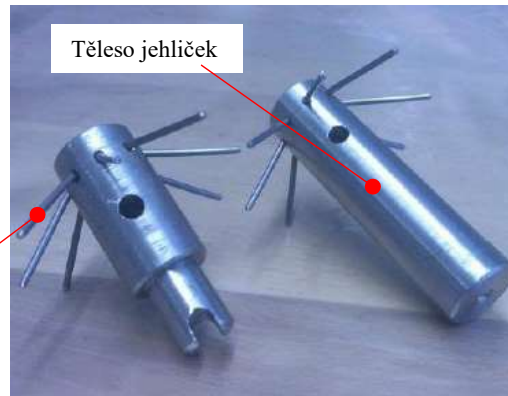


Obr. 6 Polární navíjení [9]

- **Axiální navíjení – Pin supported winding**
Tato speciální metoda navíjení je využívána díky možnosti vpravení většího objemového podílu vláken do dílce, to znamená, že do stejného objemu s použitím této metody dostaneme do dílce více vláken. Axiálně navinutá vlákna jsou na konci trnu provlečena do přípravku složených z jehliček [14], [15]. Jehličky jsou reprezentovány Obr. 7 a Obr. 8.



Obr. 7 Jehličky s trnem nekruhového průřezu [17]



Obr. 8 Jehličky [18]

3.2.3. Navíjecí trny

Konečný tvar výrobku je dán volbou velikosti a geometrií trnu. Jako výchozí materiál pro výrobu trnů, které jsou opětovně užívány pro výrobu, je využívána ocel nebo dural. Pro snadné odstranění (vytržení) trnu je při jejich výrobě věnována velká pozornost dokončovacím operacím při jejich výrobě. Trny jsou broušené a leštěné, s drsností povrchu maximálně Ra 0,4. Rozebíratelné (split) trny jsou používány u tvarově náročných dílců jako puškohledy, kde je trn po navinutí vyjmut polárním otvorem. Separování trnu musí vždy předcházet technologii navíjení. Jako separátor slouží tenký

film z PVA nebo separátor na bázi fluorcarbonové disperze [6]. Trny jsou prezentovány na předchozím Obr. 7 a na Obr. 9.



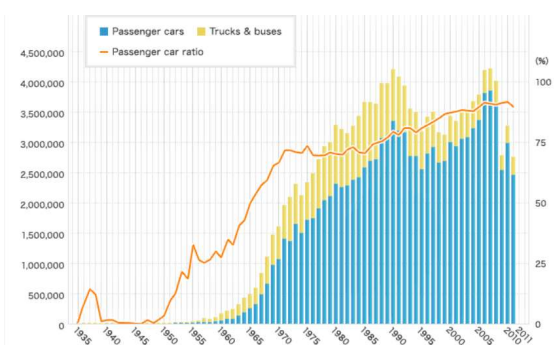
Obr. 9 Trn s jehličkami [16]

4. Roboty

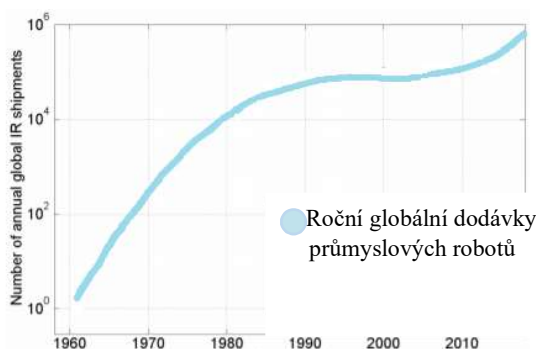
Při návrhu robotizovaného pracoviště je nutné se seznámit s technologií výroby, využívanými pracovními postupy výroby a výrobním zařízením pracoviště. Robotizovaná pracoviště jsou vytvářena za účelem vyšší produktivity práce, optimalizace výroby a šetření lidské práce [19].

4.1. Průmyslové roboty

Se stále větší poptávkou po spotřebním zbožím (automobily, počítače atd.) je také nutné navýšit výrobní kapacity (nabídku) tohoto zboží. Avšak lidské zdroje nejsou schopné naplnit tyto výrobní kapacity, proto se začalo již v 60. letech 20. století na popud automobilového průmyslu s vývojem automatizace a robotů. Na Obr. 10 je zobrazena produkce společnosti Toyota v průběhu let 1935-2010. Od 70. let 20. století můžeme vidět boom v počtu vyrobených kusů kolových vozidel, který je spjatý s boomem ve vývoji a použití průmyslové robotiky a automatizace zobrazeném na Obr. 11. V 21. století je tento obor považován za jeden z nejrychleji se rozvíjejících technických oborů. Hlavní výhodou průmyslových robotů je schopnost změny end-effectoru v závislosti na jejich použití ve výrobním procesu (manipulace, výrobní nástroj atd.) a pružnost jejich použití díky možnosti rychlé změny řídicího programu.



Obr. 10 Objemová produkce kolových vozidel společnosti Toyota [20]



Obr. 11 Roční globální dodávky průmyslových robotů [21]

Průmyslový robot dle prof. P. N. Beljanina:

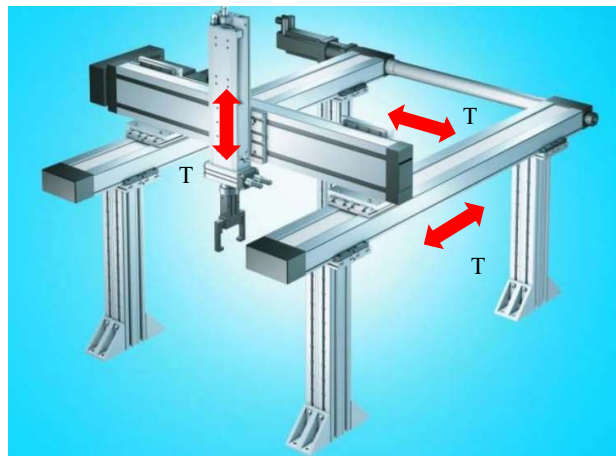
„Průmyslový robot je autonomně fungující stroj-automat, který je určen k reprodukci některých pohybových a duševních funkcí člověka při provádění pomocných a základních výrobních operací bez bezprostřední účasti člověka, a který je k tomu účelu vybaven některými jeho schopnostmi (sluchem, zrakem, hmatem, pamětí atd.), schopností samovýuky, samoorganizace a adaptace, tj. přizpůsobivosti k danému prostředí.“ [19]

4.1.1. Kinematické řetězce robotů a manipulátorů se sériovou kinematikou:

Existuje několik základních uspořádání kinematických dvojic a od nich odvozených konstrukčních uspořádání PRaM (průmyslových manipulátorů a manipulátorů) [19],[22],[23]:

- TTT – kartézská struktura

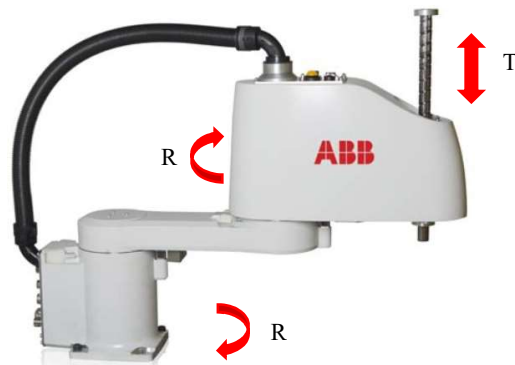
Tato kinematická struktura je vytvořena z tří na sebe kolmých translačních os, které svými pohyby vytváří čtyřboký hranolový pracovní prostor. Rozměry hranolu jsou určeny rozsahy pojezdů pohybových os XYZ. Struktura je také často nazývána portálová. Manipulovanému objektu není změněna orientace v prostoru [19],[22],[23]. TTT struktura je zobrazena na Obr. 12.



Obr. 12 TTT struktura [24]

- RTT – cylindrická struktura

Z jedné rotační a dvou translačních os je složena tato kinematická struktura, jejíž pracovní prostor má tvar válcového prstence. Manipulovanému objektu je změněna orientace v prostoru. Pro tuto strukturu existuje variace v podobě RRT s otočným ramenem v horizontálním směru, která mění svůj sférický pracovní prostor na cylindrický pracovní prostor, známý především pod názvem SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm). Velkou výhodou konstrukčního uspořádání SCARA je možnost velkého namáhání v axiálním směru translační osy, namáhání se nepřenáší kloubovými vazbami. [19],[22],[23]. SCARA je zobrazen na Obr. 13



Obr. 13 SCARA ABB [25]

- RRT – sférická struktura

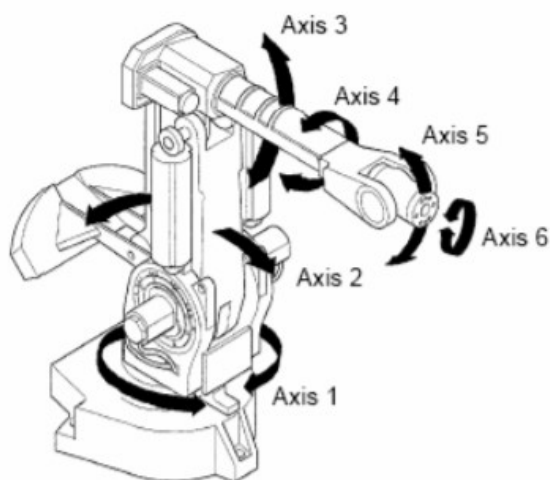
Vytvořené z dvou rotačních a jedné translační osy, tvoří tato struktura pracovní prostor ve tvaru kulového vrchlíku. Při přemísťování manipulovaného objektu dochází ke změně jeho orientace v prostoru [19],[22],[23].

- RRR – angulární struktura

Kulový vrchlík je pracovní prostor této struktury, je tvořen pohyby tří rotačních os. U manipulovaného objektu dochází k změně jeho orientace v prostoru. V současnosti se jedná o nejrozšířenější kinematickou strukturu v PRaM [19],[22],[23]. Na Obr. 14 a Obr. 15 jsou typičtí představitelé této kinematické struktury se šesti stupni volnosti. Výhodou této struktury je možnost rozšíření o další pohybové osy.



Obr. 14 Angulární robot ABB IRB 1600 [26]



Obr. 15 Angulární robot ABB IRB 6400 s 6 stupni volnosti [27]

4.1.2. Souřadné systémy robotů

Pro strojírenskou výrobu je esenciální přesná výroba, resp. v našem případě přesné polohování. Díky přesné znalosti kinematiky modelu robotu, kterou má řídicí systém, je schopen řídicí systém zajistit dodržení zadaných parametrů trajektorie [19],[22].

Podobně jako při NC programování a obrábění nás u robotů zajímá poloha nástroje – Tool Centre Point (TCP) a jeho umístění vůči základně (base), na které je robot situován. Šest parametrů X, Y, Z, A, B, C slouží k číselnému určení vzájemné polohy a orientace těchto dvou systémů v kartézské soustavě souřadnic. Avšak tyto parametry jsou závislé na poloze robotických ramen vůči sobě ($\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$) z čehož vyplývá že poloha ramen a poloha souřadného systému TCP k základně je matematicky popsána [19].

- Souřadný systém osový (joint frame)

Jednotlivá ramena robotu svírají vůči sobě určité úhly ($\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$). Počet kloubů určuje počet úhlů [19].

$$TCP = f(\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_N) \quad (4.1)$$

- Souřadný systém robotu (base frame)

Počáteční souřadnice jsou v základně robotu a jejich umístění je neměnné. Kolmo od základny je umístěna osa Z tak, aby směřovala do prostoru. Osa Z je osou rotace první rotační osy robotu, jak je zobrazeno na Obr. 15 – Axis 1. Umístění TCP k tomuto souřadnicovému systému je klíčové pro praxi. Horizontální ustavení robotu umožňuje base frame systém převést do systému world frame dvěma translacemi (transformacemi) a rotací kolem osy Z. Problém nastává ve chvíli, když je zde snaha ustavit robot vůči world frame systému. Roboty nemají většinou k dispozici externí referenční plochy od nichž by bylo možné určit polohu počátku souřadného systému robotu [19],[22]. Souřadné systémy robotu jsou zobrazeny na Obr. 16.

$$TCP = f(X, Y, Z, \alpha, \beta, \gamma) \quad (4.2)$$

- Souřadný systém nástroje (tool frame)

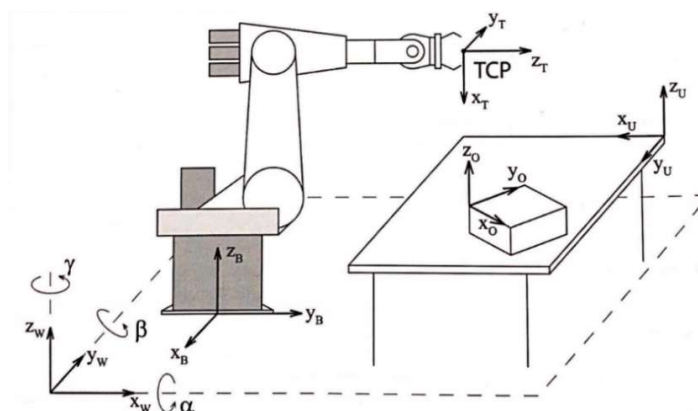
Definici tohoto systému má plně v rukou uživatel/programátor robotu. Počátek tohoto systému je umístěn v bodě TCP a osy jsou orientovány tak, aby byly směřovány do prostoru. Rychlost pohybu robotu je rychlostí bodu TCP a trajektorie TCP je nazývána dráhou pohybu ramene robotu. V případě, že na robotu není upnut end-effector, je počáteční poloha tohoto systému ve středu montážní příruby[19],[22].

- Souřadný systém uživatelský (user frame)

Určuje polohu počátku operace, ve které interaguje robot s jiným tělesem. Pokud se těleso interagující s robotem nepohybuje (paleta atd.), je zde pevná vazba toho systému na world frame systém (vzdálenosti a natočení těchto systémů jsou konstantní). Kdyby nastal druhý případ a interagující těleso se pohybovalo (různé dopravníky), tak by user frame systém musel být vybaven odměřováním pro zajištění koodinace pohybů robotu a tělesa [19],[22].

- Souřadný systém světový (world)

Je určen uživatelem/programátorem a většinou je umístěn do krajní polohy robotické buňky nebo na počáteční/koncovou polohu externího přídatného pojezdu [19],[22].



Obr. 16 Souřadné systémy robotu [19]

4.1.3. Přímá a inverzní kinematika

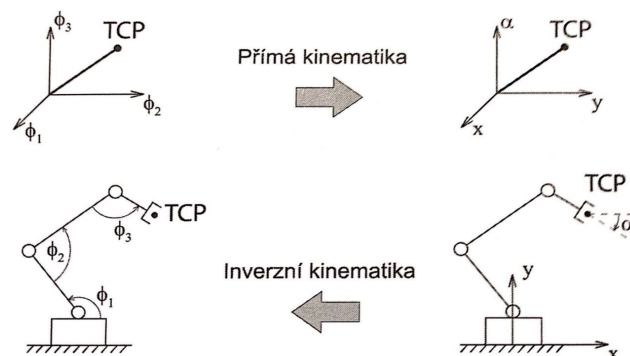
Pro popis a určení aktuální polohy TCP(robotu) slouží hodnoty natočení kloubů vůči sobě ($\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$). Použitím kartézský souřadnic (X, Y, α), jejíž počáteční poloha je v základně robotu, můžeme také určit polohu bodu TCP. Pro specifikaci umístění TCP je více souřadných systémů, jak je zobrazeno na Obr. 17. [19]

- Přímá kinematika

Přímá kinematika znamená, že souřadnicový systém osový je transformován do kartézského systému souřadnic. Tato úloha má z matematického hlediska právě jedno řešení [19].

- Inverzní kinematika

Při inverzní kinematice je převáděn systém kartézských souřadnic do systému osových souřadnic. Tato úloha z matematického hlediska trpí problémem nejednoznačnosti řešení. Pro jeden bod v prostoru je více hodnot úhlů natočení kloubových souřadnic. Pro praxi použitelné řešení inverzní kinematiky musí mít do řešení zahrnuté okrajové podmínky (maximální rozsah os atd.). Tyto podmínky se používají v uzavřeném tvaru řešení. Toto řešení dostává přednost před numerickým přístupem díky rychlosti zpracování v reálném čase [19]. Přímá i inverzní kinematika jsou zobrazeny na Obr. 17.



Obr. 17 Přímá a inverzní kinematika [19]

4.1.4. Trajektorie a interpolace

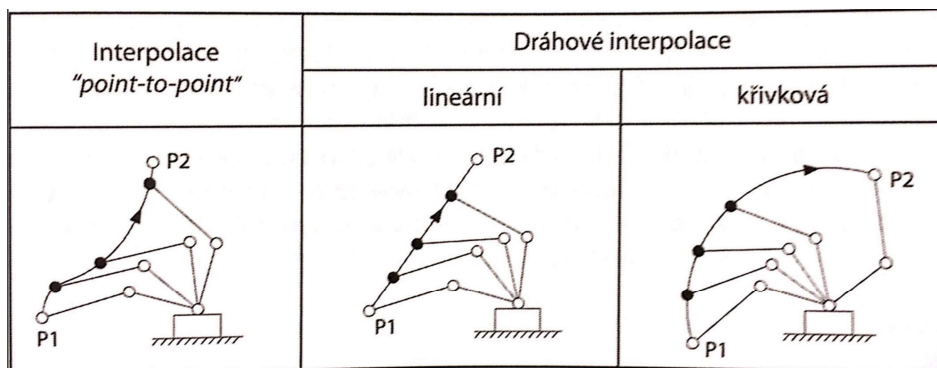
Pro vytvoření dráhy pohybu je stejně jako u NC strojů používána interpolace. Pohyb robotu z bodu A do bodu B je realizován po trajektorii vygenerované řídicím systémem robotu. Trajektorie je spojnice n-bodů v trojrozměrném euklidovském prostoru, každý bod na této trajektorii má přiřazený čas a rychlost, kterou TCP bude procházet v tomto bodě. Takt interpolace je obvykle roven hodnotě 20 ms. V robotice existují 2 druhy interpolací používaných v řídicích systémech robotů [19],[22]. Tyto interpolace jsou zobrazeny na Obr. 18.

- Point-to-point (PTP)

Tento způsob je aplikován programátory jako rychloposuv, kde nám nezáleží na dráze robotu (odjezd robotu do home pozice etc.). Pohyb je inicializován i zakončen v každé pohybové ose simultánně, díky adaptaci průběhu rychlostí pohonů vůči nejpomalejšímu pohonu [19],[22].

- Continuous path (CP)

Je užívána pro sledování předepsané dráhy. CP využívá lineární a kruhové interpolace. Během CP je potřeba neopominout možné singulární stavy robotu [19].



Obr. 18 Interpolace pohybu robotů [19]

4.2. End-effector (koncové efekty)

Je to koncový prvek kinematického řetězce robotu. Podobně jako ruka u člověka je end-effector výstupním orgánem robotu. Typ effectoru určuje jakou operaci (technologickou či manipulační) bude robot vykonávat. Druh effectoru je nejen specifikován operací jakou má provádět, ale i vlastnostmi (hmotnost, rozměr, tvar, povrch) objektu, s kterým má manipulovat či jinak pracovat [19],[28].

Effectory se z pohledu konstrukce dělí na [23],[28]:

- Úchopné
- Technologické (kontrolní a měřicí)
- Kombinované
- Speciální

Pro komplexní výrobní operace s potřebou pro manipulační i technologické operace je zde možnost automatické výměny end-effectoru [19].

Práce se bude v této podkapitole věnovat obzvláště úchopným hlavicím, kvůli specifikaci této práce.

4.2.1. Úchopné effectory

Hlavním úkolem těchto effectorů je uchopení a bezpečná manipulace s určitým objektem. Jsou konstruovány buď dodavatelem robotu dle požadavků zákazníka či samotným zákazníkem pro konkrétní dílce (rozměr, tvar, povrch atd.). Tyto effectory se dělí na [19],[23],[28]:

- Mechanické
- Magnetické
- Podtlakové

Každou skupinu z těchto tří lze rozdělit na aktivní a pasivní prvky. Aktivní prvky jsou zpětnovazebně řízené prvky řídicím systémem. Pasivní prvky jsou bez zpětnovazebného řízení, jsou schopny objekt uchopit, ale pro uvolnění je potřeba vnější impuls [19],[23],[28]. Detailní rozdělení je zobrazeno v Tab. 4.

Magnetické		Mechanické		Podtlakové	
pasivní	aktivní	pasivní	aktivní	pasivní	aktivní
permanentní magnety	elektromagnety	odpružené čelisti	pohyb čelistí pohonem	deformační přísavky	podtlakové komory s řízeným vyvozením podtlaku

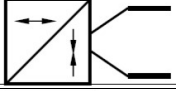
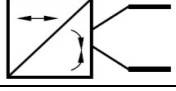
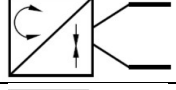

Tab. 4 Rozdělení úchopných effectorů [23]

- Pasivní mechanické úchopné prvky

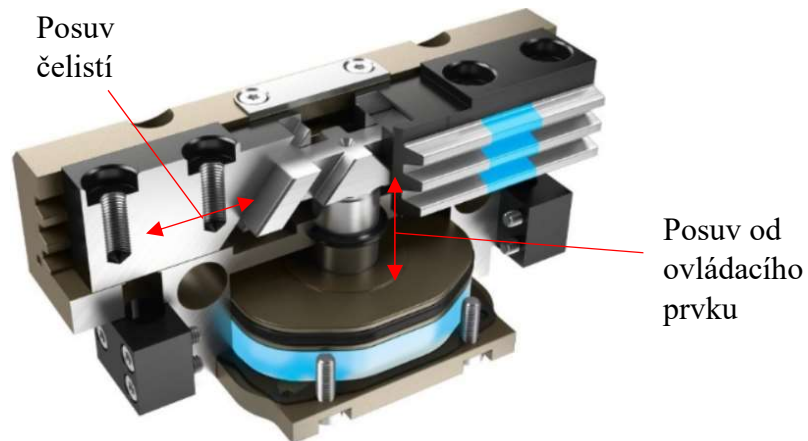
Z konstrukčního hlediska se jedná o jedny z nejjednodušších effectorů. Prvky effectoru jsou většinou háky, vidlice a pružné či odpružené čelisti. Pro odebrání tělesa z úchopného prvku je zapotřebí vnějšího zásahu (např. effectoru jiného robotu či manipulátoru) nebo integrace vyhazovače do effectoru. Čelisti jsou napolohovány na vnější plochu či vnitřní otvor dílce. Pohybem robotu/manipulátoru se dílec uchopí. Pro vyjmutí z čelistí se může využít již zmíněný vyhazovač. Princip s pružnými čelistmi si můžeme představit jako umístění lahve a držáků lahví na jízdním kole [19], [28].

- Aktivní mechanické úchopné prvky

U aktivních prvků je pohyb úchopných prvků poháněn různými druhy motorů, které mohou vykonávat buď translační nebo rotační pohyb. Bývají využívány lineární nebo rotační motory v pneumatické, hydraulické či elektrické variantě. Posuvný (rotační) pohyb z motoru je nutné transformovat na posuvný (rotační) pohyb úchopných prvků (čelistí), proto se mezi motory a čelisti umísťují různé druhy transformačních bloků [19], [28]. Typy transformačních bloků jsou seřazeny v Tab. 5. Transformace T1 je zobrazena na Obr. 19.

Ovládací pohyb	Pohyb čelistí	Transformace pohybu	Převod
posuvný	posuvný		T1
posuvný	rotační		T2
rotační	posuvný		T3
rotační	rotační		T4

Tab. 5 Transformační bloky [19],[28]



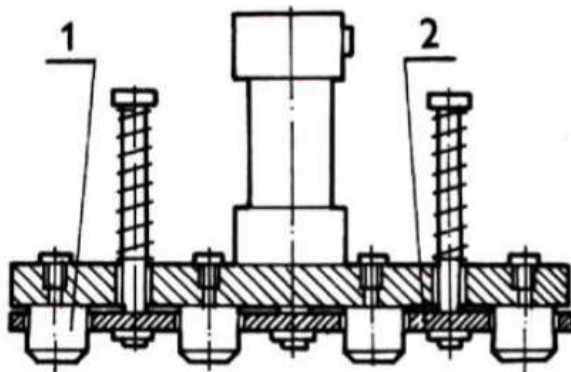
Obr. 19 Ukázka transformace T1 - Schunk PGN-P [29]

- Pasivní magnetické úchopné prvky

Jsou složeny z konstrukce do které jsou vloženy permanentní magnety a vyhazovače pro odložení manipulovaného objektu z effectoru. Počet a rozložení magnetů na konstrukci jsou adaptovány dle charakteru manipulovaného objektu (rozměr, hmotnost atd.) [19]. Pasivní prvek je zobrazen na Obr. 20.

- Aktivní magnetické úchopné prvky

V těchto prvcích je integrován elektromagnet. Elektrokonstrukce toho prvku je nutností, ale oproti pasivním magnetickým prvkům odpadá potřeba vyhazovače, resp. vnějšího zásahu pro uvolnění manipulovaného objektu. Pro uvolnění objektu se vypne přívod proudu v elektromagnetu. Problémem je zbytkový magnetismus na manipulovaném objektu. Tomuto problému se zabráňuje chvilkovou změnou polaritu v cívkách [19],[28]. Příklad toho prvku je ukázán na Obr. 21.



Obr. 20 Pasivní magnetický úchopný prvek 1). permanentní magnety 2).deska připevněná k vyhazovači [28]



Obr. 21 Aktivní magnetický úchopný prvek-šrotový elektromagnet [30]

- Pasivní podtlakové úchopné prvky

Používají se pružné přísavky. Ty se zdeformují pohybem robotu proti manipulovanému objektu, deformací vznikne pod přísavkou podtlak. Nosnost těchto prvků jde ruku v ruce s tuhostí přísavek, texturou a čistotou povrchu manipulovaného

objektu. Nejčastěji se používají na dílce deskového charakteru [19],[28]. Pasivní prvek je na Obr. 22.



*Obr. 22 Pasivní podtlakové úchopné prvky -
Přísavka SU 32 mm NBR [31]*



*Obr. 23 Aktivní podtlakové úchopné prvky – ZHP
s ejektorem [32]*

- **Aktivní podtlakové úchopné prvky**

Podobně jako pasivní prvky mají aktivní prvky přísavky, ve kterých je podtlak vyvolán ejektory či vývěvami. Ejektory dostávají v praxi přednost před vývěvami díky jejich příznivější ceně [19],[28]. Přísavka s ejektorem je zobrazena na Obr. 23.

4.2.2. Technologické effectory

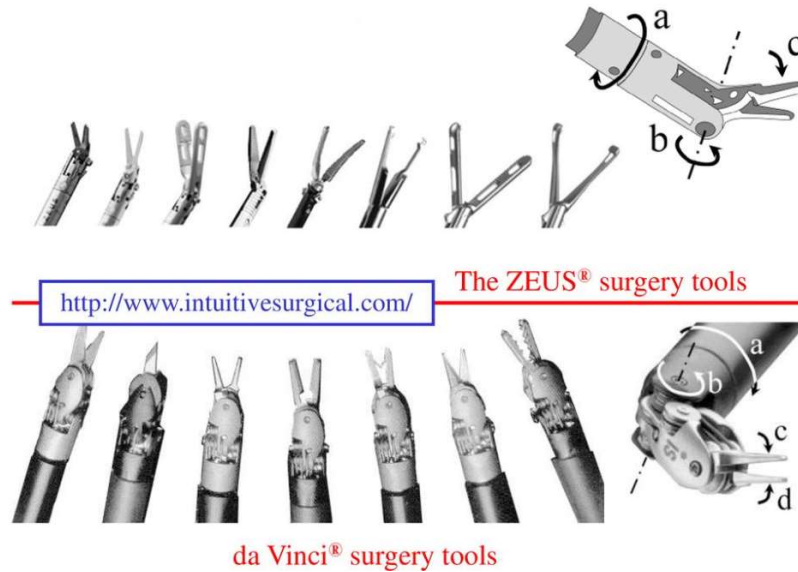
Jak již název napovídá, hlavice jsou určeny pro provedení technologických operací robotem. Nástroj či přístroj, který nese hlavice, je konstrukčně přizpůsoben dané technologii, kterou má vykonávat. Jedná se zvláště o technologie svařování, lepení a nanášení nátěrových hmot [19],[23]. Na Obr. 24 je ukázána technologická hlavice uzpůsobená na bodové svařování.



Obr. 24 Robot s technologickou hlavicí pro bodové svařování [33]

4.2.3. Kombinované a speciální effectory

U kombinovaných effectorů se jedná o složený effector z technologické hlavice a úchopného effectoru. Speciální effectory jsou effectory, které jsou schopné adaptovat se manipulovanému objektu nebo jsou jinak upravené pro své úkoly – effectory využívané v medicíně. Speciální effectory jsou vybaveny taktilními senzory, které jsou schopny naplnit specifické požadavky pro jejich ovládání [19],[23]. Effectory využívané v medicíně jsou zobrazeny na Obr. 25.



Obr. 25 Speciální hlavice - vytvořené pro chirurgické využití [34]

4.3. Senzorika

Oproti člověku, který má rozvinuté smysly a je schopen pocitově vnímat své okolí, je robot odkázan na senzory (zabudované nebo vnější), které mu podávají přesné informace o jeho okolí s větší přesností, než jsou schopny smysly informovat člověka [19].

Senzor je vstupem měřicího řetězce, který je v bezprostředním kontaktu s měřeným prostředím. Čidlo je název pro citlivou část senzoru. Informace o sledované veličině snímá senzor a následně ji přetváří obvykle na elektrický signál pro následující zpracování [19],[35].

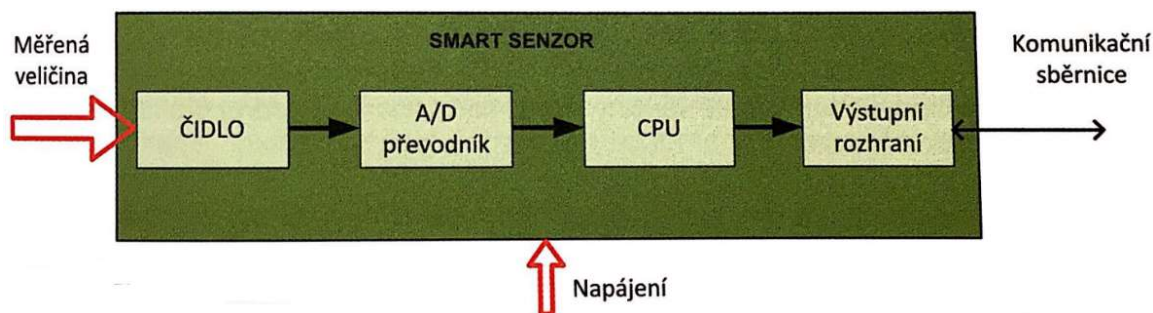
Dělení senzorů dle fyzikálních principů [35]:

- indukční
- kapacitní
- odporové
- piezoelektrické
- magnetické
- optoelektrické atd.

V této kapitole budou popsány vybrané typy senzorů

Senzor má tyto části [19],[35]:

- Input Dochází k vstupu sledované veličiny a její následné transformaci na elektrický signál.
- Vnitřní část Obsahuje převod A/D a D/A, komparátory a paměti
- Output Má na starost spojení senzoru se sběrníci



Obr. 26 Schéma smart senzoru [19]

4.3.1. Kapacitní senzory

Jsou to nekontaktní senzory, které zajišťují bezdotykové snímání měřené veličiny z objektu. Fungují na principu změny veličin, na kterých je kapacita závislá – permitivita dielektrika, vzdálenost elektrod, společná plocha elektrod. Lze je použít na kovová i nekovová tělesa. Problémem využití mohou být dielektrické vlastnosti nevodivých látek [19],[36].

4.3.2. Elektromechanické snímače

Představitelem tohoto snímače je koncový snímač, který má za úkol kontrolu přejezdu určitého bodu a rozepnutí přívodu energií k pohonům či přepnutí vstupního napětí [19]

4.3.3. Světelné závory

Principiálně pracují na zjištění narušení signálu (světelný paprsek) vyslaného z vysílače, signál byl přerušen sledovaným objektem. Závory se skládají z vysílače a přijímače. Vysílač je tvořen diodami-LED, laserovými. PIN fotodioda nebo fototranzistor zastává funkci přijímače [19].

4.4. Bezpečnost

Bezpečnostní opatření a prvky jsou v současnosti neodmyslitelnou součástí robotizovaných systémů. Požadavky na výrobky/zařízení, které jsou schopny ohrožovat zdraví člověka jsou popsány v ČR zákonem č. 22/1997 Sb [19].

Pro uvedení robotizovaného výrobního systému na trh v zemích EU musí zajistit dodavatel zařízení evropské označení CE – značka shody. Pro získání CE musí být splněny následující podmínky [19]:

- Splnění požadavků na ochranu zdraví a bezpečnosti
- Garantovat přístup k technické dokumentaci zařízení
- Zajištění informací pro koncového uživatele zařízení o dodávaném zařízení - návod k použití
- Podniknout kroky dle specifického postupu k posouzení shody
- Dodání prohlášení o shodě a doručení tohoto prohlášení k zařízení
- Označit strojní zařízení značkou CE

Prohlášení o shodě musí obsahovat [37]:

- Název společnosti výrobce/ dodavatele zařízení a její úplnou adresu
- Obchodní označení zařízení jeho model, typ a výrobní číslo
- Ustanovení o přijmutí plné zodpovědnosti za zařízení výrobcem/dodavatelem
- Aparát pro zpětnou výsledovatelnost zařízení
- Informace o oznámeném subjektu, který zajistil postup posouzení shody
- Specifikaci předpisů, dle níž bylo zařízení shledáno v souladu se shodou
- Datum vystavení prohlášení o shodě pro zařízení
- Nacionále osoby, která vypracovala zprávu prohlášení o shodě

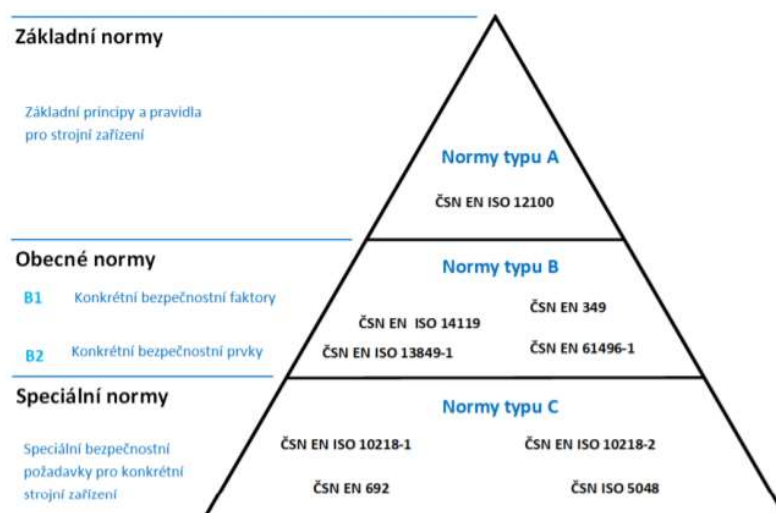
4.4.1. Nebezpečí u robotických systému

Existuje několik druhů nebezpečí (případný původce poškození), která se vyskytují ve výrobních systémech a mohou ohrozit výrobní zařízení a obsluhu těchto zařízení. Tato nebezpečí se snaží výrobci/dodavatelé odstranit či minimalizovat. Typy nebezpečí jsou následující [19]:

- Mechanické (stlačení, navnutí, bodnutí atd)
- Elektrické (kontakt s živými částmi zařízení)
- Tepelná (popáleniny)
- Nebezpečí vytvářené hlukem (poškození sluchu)
- Nebezpečí vytvářené vibracemi
- Nebezpečí vytvářené zářením (popálení)
- Nebezpečí vytvářené materiály a látkami (alergie)
- Ergonomická nebezpečí
- Nebezpečí spojená s prostředím robotu
- Kombinace nebezpečí

4.4.2. Bezpečnostní normy

Bezpečnostní normy pro strojní zařízení jsou rozděleny do několika navazujících skupin dle jejich určitosti. Rozdělení norem je na Obr. 27 [38].



Obr. 27 Rozdělení norem [38]

4.4.3. Rizika a jejich minimalizace

Riziko je v ČSN EN ISO 12 100 definováno jako „kombinace pravděpodobnosti výskytu škody a závažnosti této škody“. Škoda je poškození zdraví člověka nebo zařízení. Postupem při klasifikaci rizik u strojních zařízení ve všech fázích jeho života se zabývá norma ČSN EN ISO 12100. Život strojního zařízení se skládá z výroby zařízení, dopravy a montáže zařízení, zprovoznění zařízení, provozu zařízení a ukončení provozu zařízení a končí jeho likvidací [19]. Data pro zhodnocení rizik jsou následující [19],[38]:

- Definování funkčních hodnot systému (maximální rychlosti, výkony, technologie atd.)
- Prostorový layout pracoviště
- Přívod energií do systému
- Používané polotovary, vstupní a výstupní materiál a odpad
- Záznamy o údržbě a seřízení
- Záznamy o poškození zdraví

Tab. 6 Matice rizik [19]

Pravděpodobnost výskytu	Závažnost			
	Zanedbatelná	Okrajová	Kritická	Katastrofální
Velmi častá (>100/rok)				
Častá (>10/rok)				
Pravděpodobná (>1/rok)				
Občasná (>0,1/rok)				
Nepřítomná (>0,01/rok)				
Nemožná (>0,001/rok)				

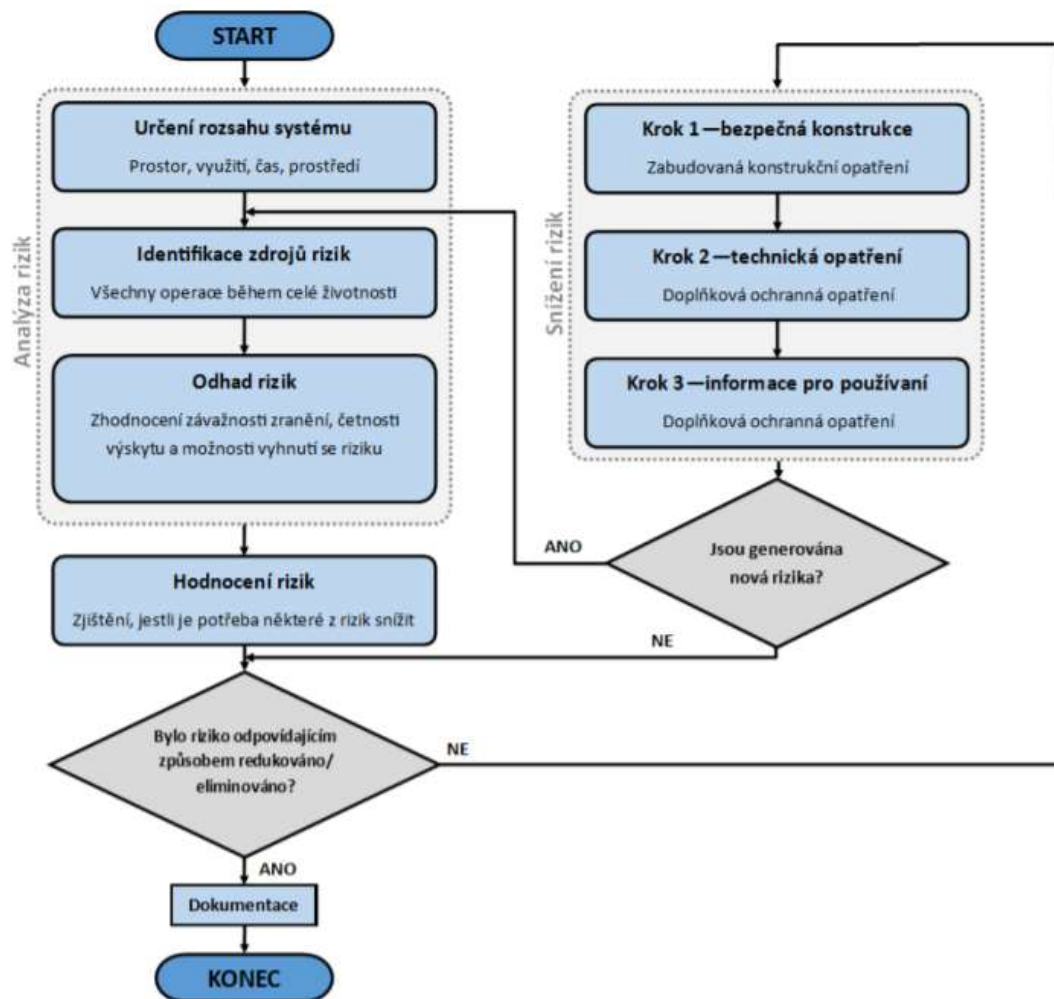
	nepřípustné
	nutné prověření pro další provoz
	nutná konzultace pro další provoz
	přípustné

Konstruktor nebo bezpečnostní technik zpravidla připravuje matici rizik viz. Tab. 6, ve které jsou v poměru závažnosti rizik s jejich pravděpodobností výskytu u strojního zařízení. Význam rizik je zobrazen v Tab. 7.

Význam rizika	Technické	Právní	Osobní
Zanedbatelná	výpadek výroby bez následků	bez následků	smrt, kóma
Okrajová	krátký výpadek výroby bez následků	bez následků	těžké zranění
Kritická	výpadek výroby >8 h	občansko-právní následky	lehké zranění
Katastrofální	výpadek výroby >48 h	trestně-právní následky	bez následků

Tab. 7 Význam rizik [19]

Pro minimalizaci rizik se využívá již zmíněná norma ČSN EN ISO 12100 a dle ní sestavený postupový diagram pro minimalizaci rizik [38]. Diagram je zobrazen na Obr. 28.

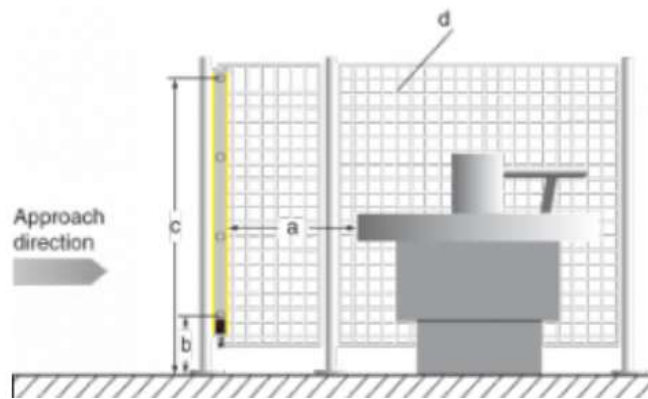


Obr. 28 Postupový diagram minimalizace rizik [38]

4.4.4. Bezpečnostní prvky

Bezpečnostní prvky jsou technická opatření (viz. Obr. 28), která jsou umístována do strojních zařízení za účelem snížení výskytu rizika.

- **Pevné ochranné prvky**
Jsou nejzákladnějším bezpečnostním opatřením strojních zařízení, fyzicky zabraňují obsluze (či nepovolané osobě) kontaktu s nebezpečným prostorem ve výrobním systému. Velikost a umístění pevných ochranných prvků je popsána v normě ČSN EN ISO 13857, kde jsou popsány velikosti rozměrů „a“ a „b“ záviselých na rozměru „a“ – vzdálenosti pevných ochranných prvků/světelných závor od obsluze nebezpečných míst v zařízení „d“ [39],[40]. Schéma použité v této normě je na Obr. 29.



Obr. 29 Vzdálenosti ochranných prvků v strojním zařízení dle ČSN EN ISO 13857 [39]

Jejich představitelem jsou stavebnicová oplocení, vstupní prostor do oploceného prostoru je zabezpečen dveřmi, které jsou vybaveny bezpečnostními dveřními snímači. Tyto snímače zajišťují bezpečnost obsluhy, při jejich sepnutí (otevření dveří) posílají signál řídicímu systému a dochází k zastavení strojního zařízení (robotů), strojní zařízení musí zůstat zastavené i při opětovném zavření dveří, z bezpečnostních důvodů musí dojít k resetu na panelu HMI [19],[41]. Na Obr. 30 je zobrazeno oplocení.



Obr. 30 Oplocené robotické pracoviště s detailem na bezpečnostní dveřní snímač [41]

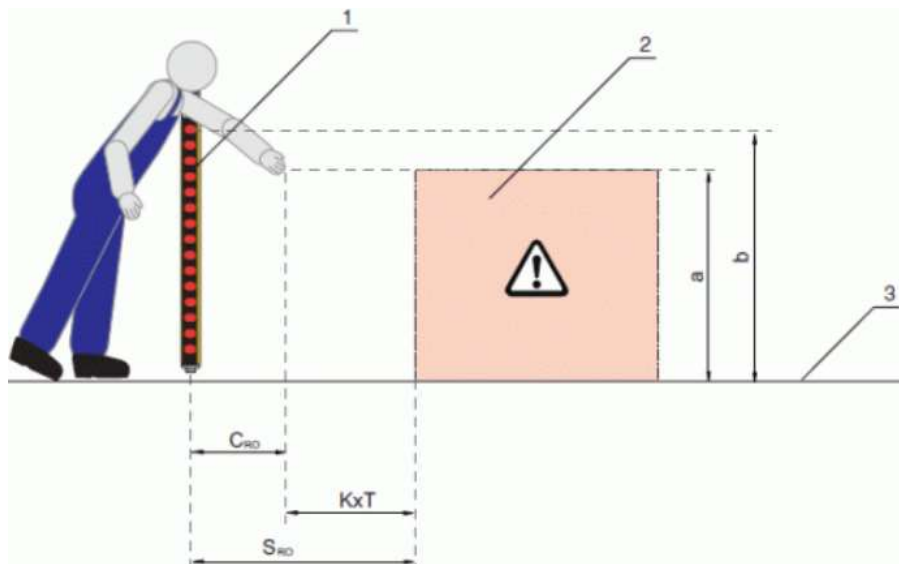
- Bezpečnostní světelné závory/závěsy

Použití tohoto bezpečnostního prvku je popsáno normou ČSN EN ISO 13855. Používají se na místa, kam musí mít přístup obsluha zařízení (např. pracovní prostor lisů viz. Obr. 31), ale kde by v určitém taktu výrobního procesu mohlo dojít ke kolizi zařízení s obsluhou. Při přerušení paprsků světelné závory posílá závora signál řídicímu systému, který musí učinit příslušná opatření – zastavení či zpomalení nebezpečných pohybů zařízení [19],[39].



Obr. 31 Lis opatřen bezpečnostní závorou [42]

Před jejich instalací je nutno provést výpočet bezpečných vzdáleností dle již zmíněné normy [19],[39]. Schéma pro vysvětlení výpočtu je zobrazeno na Obr. 32.



Obr. 32 Schéma pro výpočet bezpečné vzdálenosti světelných závor [39] 1-světelná závoř, 2-nebezpečná zóna, 3-podlaha

$$S = (KxT) + C \quad (4.3)$$

S – minimální povolená vzdálenost nebezpečného místa k světelné závoři

K – rychlost přiblížení lidské obsluhy (1600-2000 mm/s)

T – čas zastavení potencionálních nebezpečných pohybů

C – vzdálenost závislá na rozteči(rozlišením) paprsků světelné závoři (popsáno v normě)

- Zařízení nouzového zastavení

Funkce nouzového zastavení je nadřazená všem funkcím ve strojním zařízení. Nouzové zastavení může být provedeno tlačítkem viz. Obr. 33, lankem, pákou a šlapacím pedálem. Umístění tohoto prvku musí být přístupné a mělo by být umístováno k prostorům, kde je kontakt obsluhy se strojním zařízením nevyhnutelný, u ovládacích prvků zařízení a u vstupů a výstupů z výrobní linky. Vlastnosti, které musí splňovat zařízení nouzového zastavení, jsou popsány normou ČSN EN ISO 13850 [19],[43].



Obr. 33 Tlačítko nouzového zastavení [44]

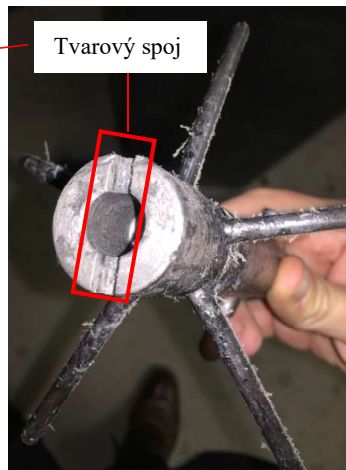
5. Vybrané pracoviště pro automatizaci

V této části bude věnována pozornost vybranému pracovišti, pro které má vzniknout návrh robotického pracoviště ve firmě Compo Tech PLUS, spol. s r.o. Na daném pracovišti se vyrábí kompozitní trubky technologií smáčivého navíjení.

5.1. Současný stav



Obr. 34 Konce navíjecích trnů

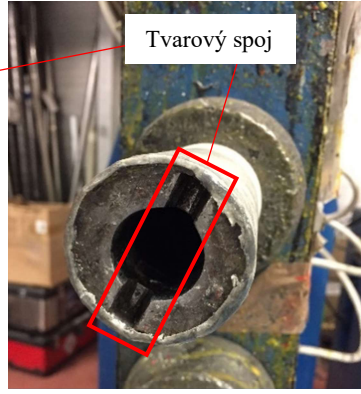


Obr. 35 Konce tělesa jehliček
spojující jehličky s trnem

Podle výrobku zvolí technolog trn, který bude délkou a vnitřním průměrem odpovídat hotovému výrobku. Konce trnu jsou osazeny příslušnými jehličkami pomocí tvarových spojů (zobrazeno na Obr. 34 a Obr. 35). Takto připravený trn je na jiném technologickém pracovišti omotan speciální folií, která zajišťuje pozdější separaci hotového výrobku a trnu. Osazený trn se umístí do zásobníku rozpracovaných výrobků, odkud ho obsluha umísťuje do vřetena navíjecího stroje a druhý konec trnu zajišťuje koníkem s otočným hrotem viz. Obr. 39. Přenos krouticího momentu z vřetene navíjecího stroje je zajištěn tvarovým spojením mezi vřetenem a tělesem jehliček (zobrazeno na Obr. 36 a Obr. 37). Je-li takto připravený trn ve stroji, pak dalším úkolem obsluhy je zaplést kompozitní vlákno do jehliček (Obr. 40). Po upevnění vlákna do jehliček zvolí obsluha navíjecího stroje příslušný program na PC s již připraveným programem od technologa. V programu je popsána rotace trnu a posuvu navíjecí jednotky, koordinace těchto pohybů zajišťuje úhel navíjení vlákna. Po dokončení návinu se zastaví rotace trnu a obsluha přeřezává/přestřihuje kompozitní vlákno mezi navíjecím okem a jehličkami. K odříznutí navinutého dílu od tělesa jehliček dochází buď ve stroji nebo v mezioperačním zásobníku navinutých výrobků. Po odříznutí navinuté vrstvy vlákna na rozhraní tělesa jehliček a trnu jsou jehličky, resp. těleso jehliček, odstraněno z trnu. Mezioperační zásobník navinutých výrobků (Obr. 38) slouží k odložení navinutých trubek ze stroje. Z tohoto zásobníku jsou navinuté trubky přesunuty do zásobníku, kde pryskyřice částečně polymerizuje a po dosažení specifické fáze polymerizace je na pracovišti technologické přípravy umístěna na navinutý výrobek speciální folie pro zajištění nejvyšší jakosti povrchu navinutého dílu. Z pracoviště technologické přípravy putuje díl opět do stejného zásobníku, kde probíhá jeho polymerizace do konce. Po skončení polymerizace je díl přesunut do trhací stolice, kde je z něj vytržen navíjecí trn.



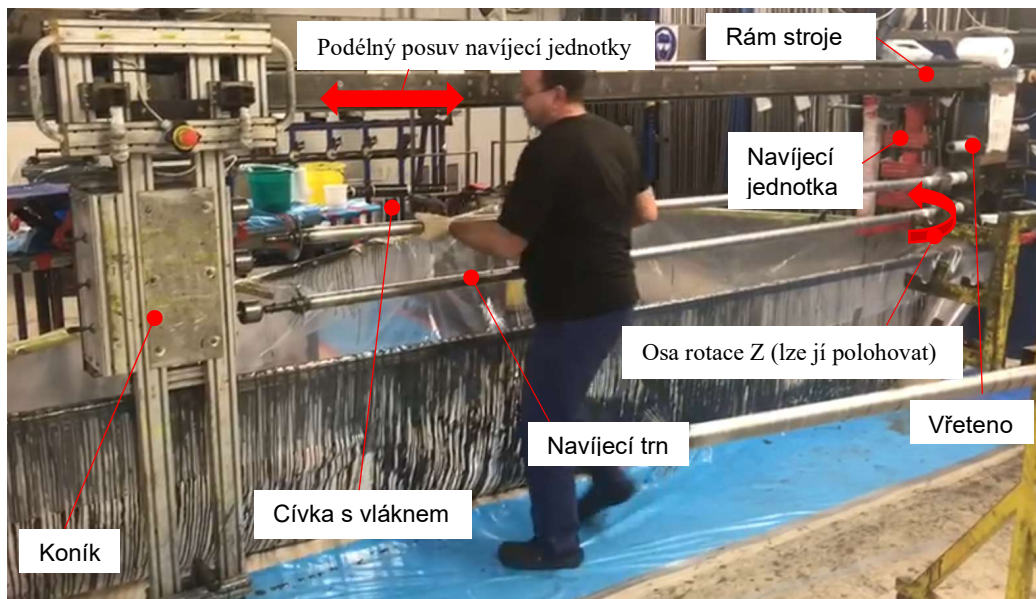
Obr. 36 Tělo jehliček spojující jehličky s vřetenem



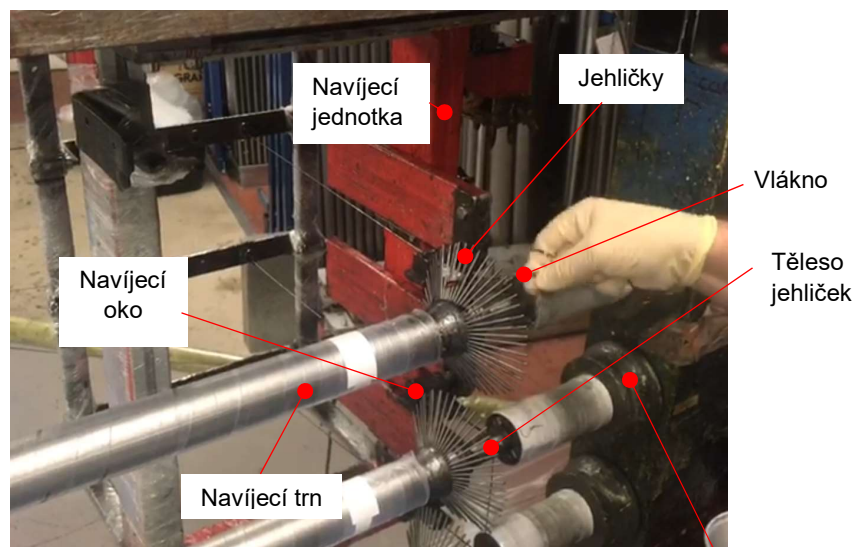
Obr. 37 Konec vřetene navíjecího stroje



Obr. 38 Mezioperační zásobník trnů



Obr. 39 Navíjecí stroj



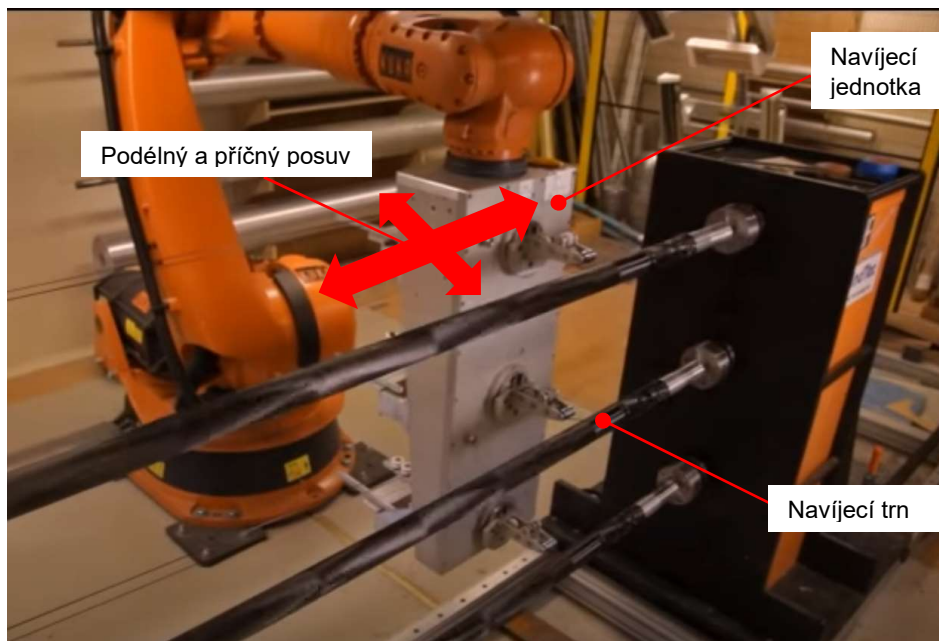
Obr. 40 Detail zavádění vlákna

6. Použití robotů při navíjení kompozitních dílců – výběr varianty k řešení

V kombinaci použití robotů při výrobě navíjených dílců existuje několik použití průmyslových robotů, v této kapitole jsou shrnuty. Z nich Ing. Ondřej Uher, Ph.D., ředitel pro VaV firmy CompoTech PLUS zvolil variantu pro další zpracování v této práci.

A. Robot s navíjecí jednotkou jako end effectorem

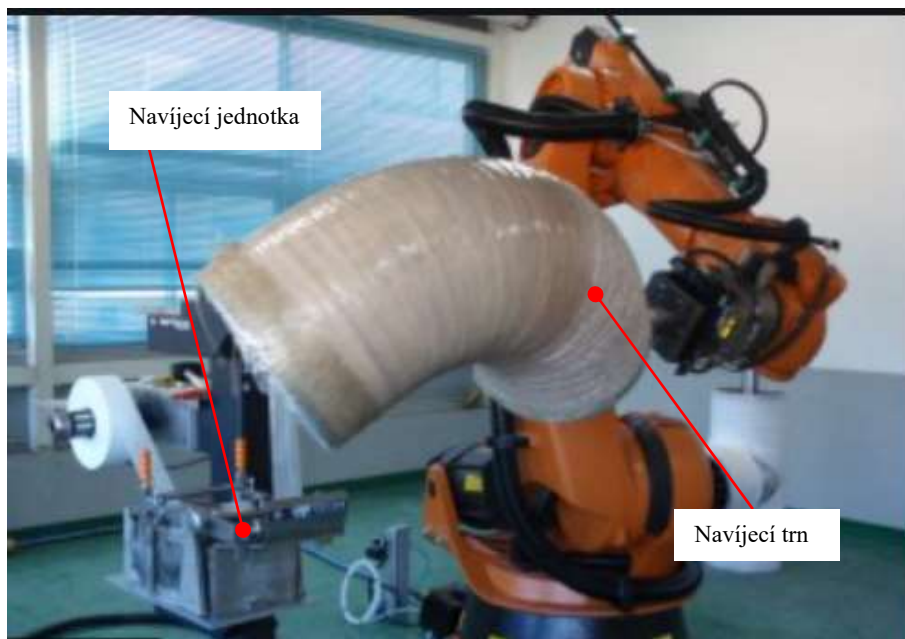
Tato varianta použití robotu je založená na kooperaci robotu s navíjecí jednotkou jako end effectorem a stroje s vřetenem osazeným sklíčidlem a koníkem s otočným hrotem či sklíčidlem. Robot svými pohyby, resp. pohyby end effectoru, zajišťuje podélný a příčný posuv navíjecí jednotky vůči ose rotace navíjecího trnu. Robot může být pevně umístěn u stroje nebo se může pohybovat v podélném směru podél stroje na přídavné pohybové ose. Vřeteno stroje zajišťuje rotaci a polohování navíjecího trnu. Operátor výroby zajišťuje upnutí trnu ve stroji a upevnění vlákna na navíjecím trnu. Po dokončení navíjení operátor výroby odstříhává vlákno od trnu a vyjímá navinutý dílec ze stroje. Toto použití je vhodné pro dlouhé dílce, další výhodou je možnost navíjet více dílců najednou. Jedná se o pouhou náhradu navíjecího stroje tj. nemá žádnou přidanou hodnotu [46],[47],[48]. Tuto metodu můžeme zaznamenat na Obr. 41.



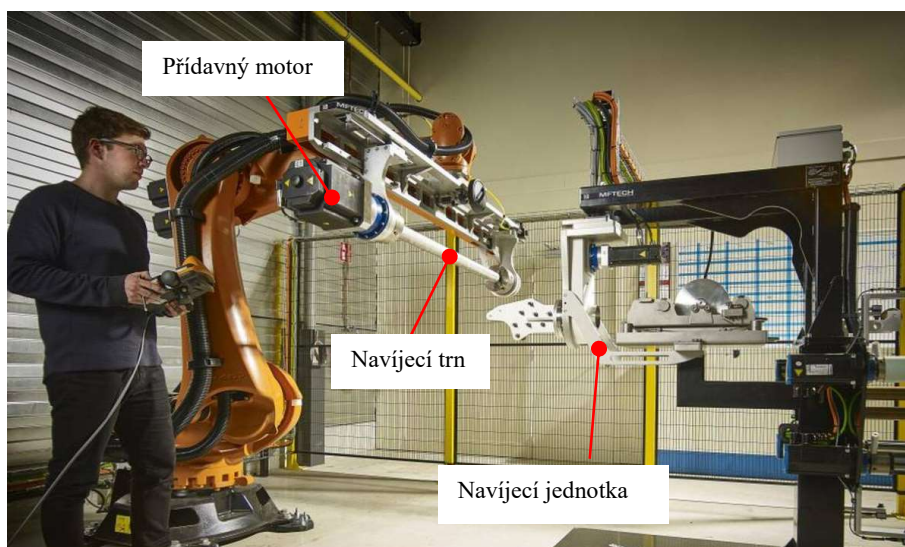
Obr. 41 Robot s navíjecí jednotkou jako end effectorem [46]

B. Robot s navíjecím trnem jako end effectorem

V tomto případě je na přírubu robotu umístěn speciální end effector v němž je upnut navíjecí trn. Trn je rotován buď šestou osou robotu (viz. Obr. 42) nebo je poháněn přídavným motorem (tato varianta může být délkově nastavitelná viz. Obr. 43), navíjecí jednotka je statická a upevněná k podlaze. Robot pohyby svých os vůči navíjecí jednotce tvoří návinový vzor dílce. Operátor výroby musí trn umístit do effectoru a na začátku navíjení upevnit vlákno na kraji trnu. Po dokončení navíjení operátor odstříhává vlákno od trnu a vyjímá navinutý dílec z effectoru. Metoda je vhodná pro výrobu tvarově složitých dílců, nevýhodou je, že nelze navíjet více dílců najednou [47].



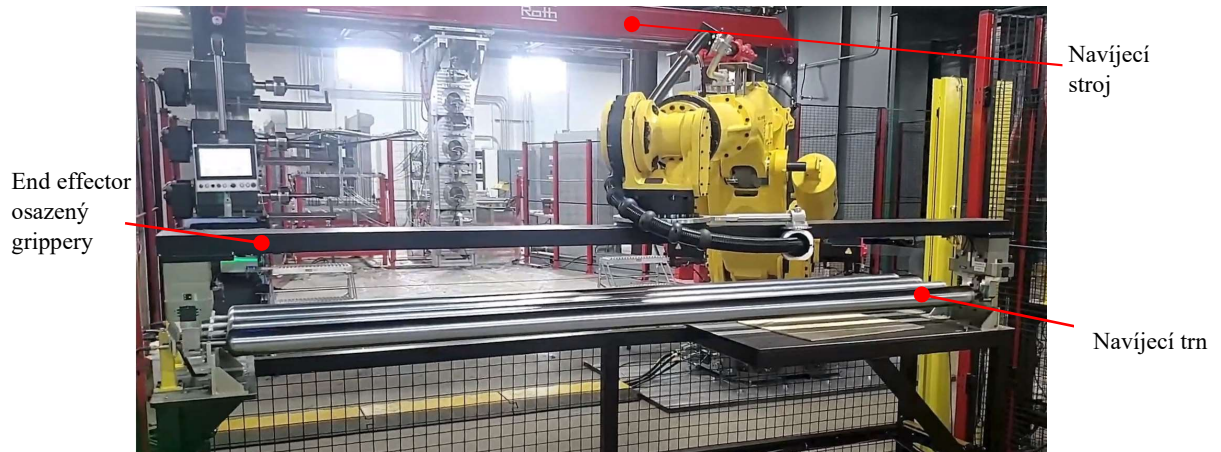
Obr. 42 Navíjecí trn rotován šestou osu robotu [49]



Obr. 43 Navíjecí trn poháněn přídavným motorem [50]

C. Navíjecí stroj s manipulací trnu pomocí robotu

Navíjecí stroj zde zajišťuje podélný a příčný posuv navíjecí jednotky vůči ose rotace navíjecího trnu. Robot je zde osazen end effectorem pro manipulaci trnu, tento effector může být délkově nastavitelný pro různé délky navíjecích trnů. Robot zajišťuje umístění navíjecího trnu do navíjecího stroje, operátor výroby upevňuje vlákno na trn. Po skončení navíjení odštíhne přívod vlákna na trn buď operátor nebo navíjecí stroj. Robot vyjímá navinutý dílec ze stroje. Výhodou této metody je možnost navíjet více dílců najednou, je vhodný pro dlouhé dílce. Nevýhodou je možnost použití jen pro tvarově jednoduché dílce [47],[51]. Varianta je reprezentována Obr. 44.

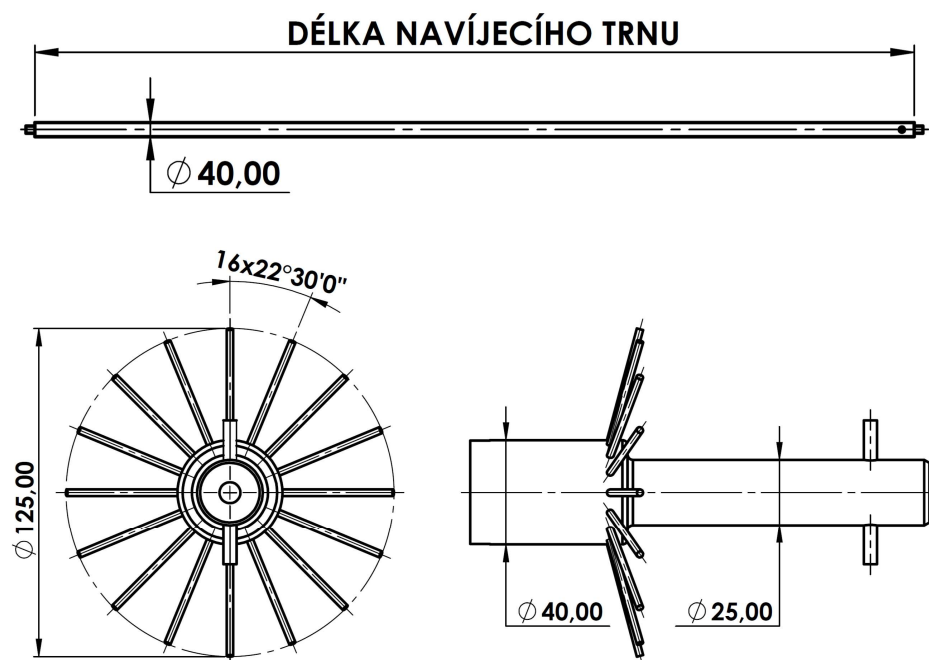


Obr. 44 Robot manipulující s navíjecím trnem do stroje [51]

Po odprezentování existujících variant použití robotů při navíjení kompozitních dílů ve firmě CompoTech se rozhodl Ing. Ondřej Uher, Ph.D. pro variantu C – Navíjecí stroj s manipulací trnu pomocí robotu k dalšímu rozpracování v této práci. Tuto variantu doplnil následujícími požadavky: připevnění vlákna k jehličkám, odříznutí/odstřížení vlákna od jehliček a odříznutí jehliček, resp. tělesa jehliček od navinutého dílce.

Vstupní parametry pro vybrané řešení:

- Délka navíjecího trnu: 800 - 2 500 mm
- Průměr navíjecího trnu 40 mm
- Hmotnost nejdelšího trnu osazeného jehličkami s návinem 29 kg
- Hmotnost nejkratšího trnu osazeného jehličkami s návinem 9 kg
- Průměr tělesa jehliček, za který bude s osazeným trnem manipulováno 25 mm
- Počet jehliček 16, rovnoměrně rozložených po obvodu tělesa jehliček
- Průměr hlavové kružnice jehliček 125 mm



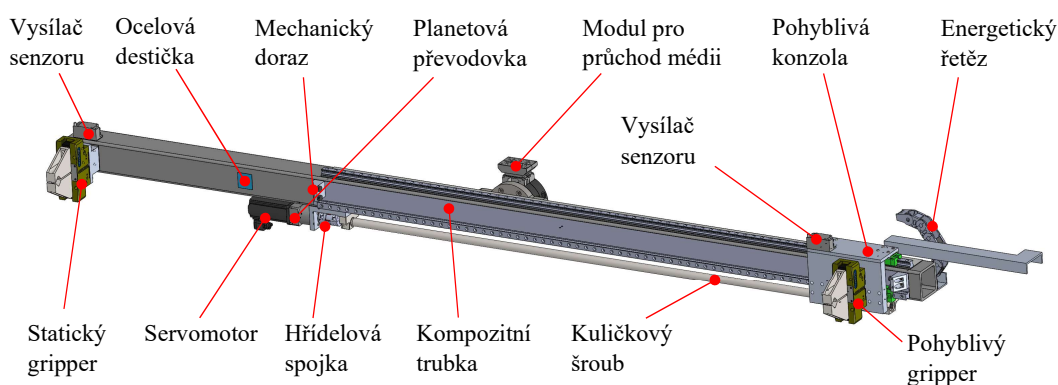
Obr. 45 Skica vstupních parametrů

7. Řešení

V této kapitole je popsáno konstrukční řešení vybraných celků robotického pracoviště pro výrobu kompozitních trubek smáčivým navíjením

7.1. Effector pro manipulaci trnu osazeného jehličkami

Tento effector zajišťuje manipulaci trnu osazeného jehličkami ze zásobníku trnů do stroje a po navinutí dílce opět pro manipulaci trnu ze stroje do zásobníku trnů. Osazené trny, s kterými má effector manipulovat, jsou různých délek - od 800 mm do 2500 mm, a proto lze nastavit na effectoru rozteč čelistí, gripperů, v rozmezí od 1000 mm do 2700 mm. Effector osazený grippery uchopuje osazený trn za tělesa jehliček, proto je nastavitelná rozteč čelistí (gripperů) větší než rozteč délek trnů, protože k délkám trnů musí být připočteny délky těles jehliček, kterými je trn na obou svých koncích osazen. Pro větší přehlednost popisu effectoru jsou dílčí uzly popsány samostatně v následujících podkapitolách. Sestava effectoru je zobrazena na Obr. 46. Detailně je effector zobrazen na výkresu sestavy DP-1778-000-000.



Obr. 46 Effector pro manipulaci trnu osazeného jehličkami

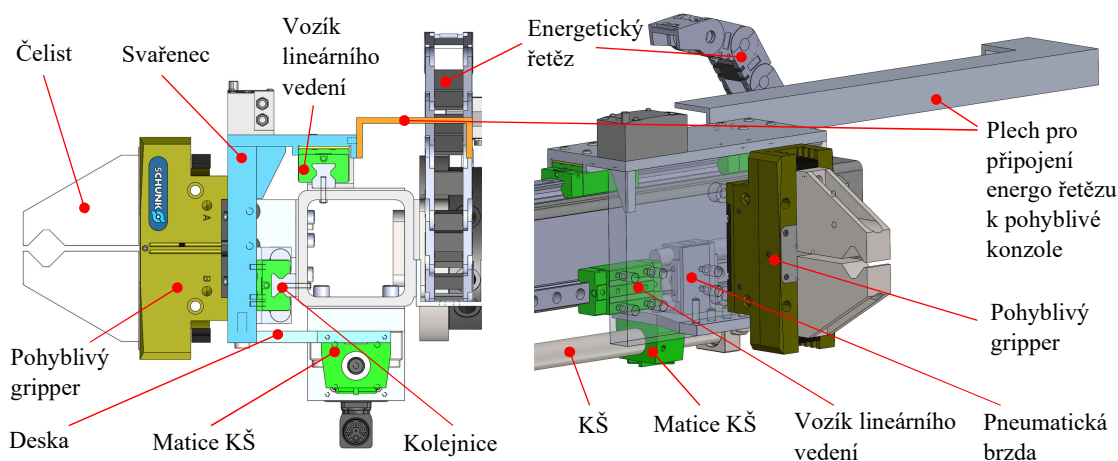
7.1.1. Grippery

Schunk PGN-plus-P 160-1-AS byl vybrán na základě jeho nosnosti 15 kg (maximální hmotnost trnu s jehličkami 29 kg) a zdvihu jeho čelisti 16 mm [64]. Jeden gripper je statický a druhý pro dosažení požadované rozteče je umístěn na pohyblivé konzole. Osazený trn uchopuje gripper ocelovými prizmatickými čelistmi za průměr tělesa jehliček ($\varnothing 25$ mm) upínaného do vřetene navíjecího stroje. Pro uchycení tělesa jehliček za již zmíněný průměr je effector vybaven dvěma paralelními grippery Schunk PGN-plus-P 160-1-AS se zdvihem jedné čelisti 16 mm s maximální úchopnou silou 3 500 N při 6 bar [64]. Úchopná síla se zmenšuje s délkou použitých čelistí – úchopná síla v tomto řešení je určena v kapitole Výpočtová část – Gripper Schunk. Grippery budou osazeny magnetickými snímači polohy RMS 22-S-M8, které indikují řídicímu systému, zda jsou čelisti otevřené/sevřené [65]. Snímače budou umístěny v drážkách tělesa gripperu. Kabely ze senzorů jsou dovedeny do vysílače Schunk RSS-T2, který bezdrátově vyšle signál k přijímači Schunk RSS-R1 připojenému k řídicímu systému.

7.1.2. Pohyblivá konzola

Gripper Schunk je umístěn na pohyblivé konzole, která zajišťuje přesné nastavení rozteče čelistí gripperů. Konzola byla navržena jako svařenec, ke kterému je přišroubována deska, na níž je připevněna matice kuličkového šroubu. Pro zajištění

přesné vzájemné polohy svařence a desky jsou použity nejen šrouby, ale i kolíky. Na konzolu jsou nainstalovány 4 vozíky válečkového lineárního vedení Hiwin RGH 20CA, které byly vybrány kvůli větším hodnotám statické i dynamické únosnosti než u varianty vozíčku s kuličkovým lineárním vedením. Vozíky se pohybují po kolejnicích Hiwin RGR 20R, které spolu svírají úhel 90°, pro zajištění vysoké momentové tuhosti lineárního vedení. Pro aretaci konzoly v požadované poloze je na jedné z kolejnic nainstalována pneumatická brzda Zimmer MBPS2012FS1 s brzdou silou 1 000 N, pro její odaretování na ní musí být přiveden tlak vzduchu. Této funkce lze využít i pro nouzové zastavení konzoly v případě výpadku přívodu energií nebo při nouzovém zastavení (Total Stop) [66]. Pohyblivá konzola je ukázána na Obr. 47 a Obr. 48.



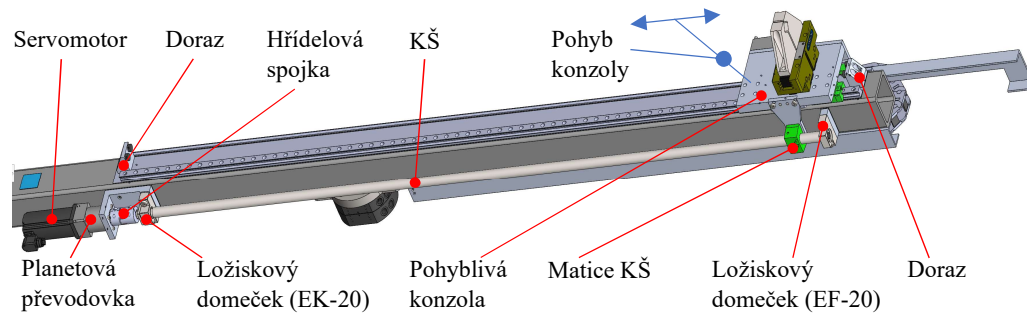
Obr. 47 Boční pohled na pohyblivou konzolu

Obr. 48 ISO pohled na pohyblivou konzolu

• Polohování konzoly

Konzola je polohována pomocí válcovaného kuličkového šroubu Hiwin o průměru 25 mm se stoupáním 5 mm/ot, posuvová rychlost konzoly je 2,2 m/min a zrychlení konzoly 2,2 m/min². Šroub je bez předepnutí a je uložen na motorové straně v ložiskovém domečku Hiwin EK-20 (pevné uložení) a na nepoháněné straně je uložen v ložiskovém domečku Hiwin EF-20 (volné uložení). Rotační pohyb kuličkového šroubu je transformován na translační pohyb konzoly maticí Hiwin SSV-R-25-5B1. Kuličkový šroub je poháněn synchronním servomotorem Festo EMMT-AS-60-S-LS-RMB, který je vybaven víceotáčkovým absolutním enkodérem a brzdou [62]. Pro zvýšení krouticího momentu motoru je motor osazen planetovou převodovkou Festo EMGA-60-P-G3-EAS-60 s převodovým poměrem 3 [63]. Kuličkový šroub je spojen s hřídelí převodovky pomocí bezvúlové hřídelové spojky TRASCO ES 19/24 GESM. Motor má jmenovitý krouticí moment 0,6 Nm, jmenovité otáčky 3000 ot/min a jmenovitý proud motoru je 1,4 A [62]. Pro motor byl vybrán ovladač Festo CMMT-AS-C2-3A-PN-S1, který je dimenzován na jmenovitý proud 2 A [67]. Kontrola kuličkového šroubu a návrh a kontrola pohonu byla provedena v kapitole Výpočtová část – Kontrola kuličkového šroubu, návrh a kontrola pohonu. Víceotáčkový absolutní enkodér motoru umožňuje řízení bez zreferování i po opětovném vypnutí/zapnutí systému, motor si pamatuje, kde je. Mechanické limitní snímače nejsou nutné, protože ovladač motoru si dokáže hlídat nastavené softwarové limity krajních poloh pohyblivé konzoly i dynamicky. Když se tedy pohybuje rychle pohyblivou konzolou k softwarovému limitu a dráha k nouzové deceleraci do zastavení je

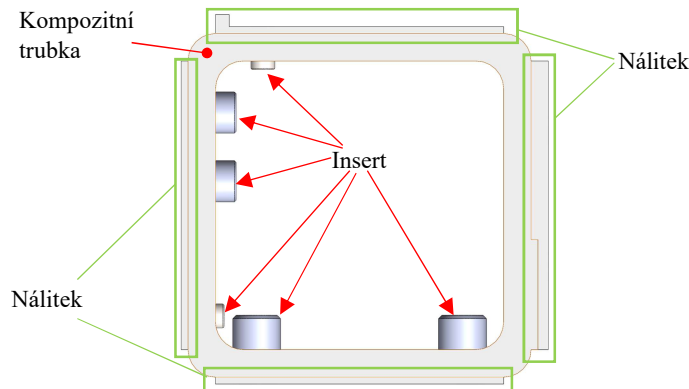
rovna vzdálenosti od softwarového limitu, je automaticky zařazeno bezpečnostní brždění motoru a tak motor, resp. pohyblivá konzola, softwarový limit nepřejede, zastaví na něm. Pohyb konzoly je v krajních polohách ošetřen pro případ selhání softwarových limitů mechanickými dorazy se silentbloky, které byly vybrány kvůli své úsporné prostorové zástavbě a lze je považovat za validní náhradu průmyslového dorazu (velký zástavbový prostor) díky nízké rychlosti (2,2 m/min), nízkému zrychlení ($2,2 \text{ m/min}^2$) a nízké hmotnosti (12 kg) pohyblivé konzoly. Při extrémní situaci, kdyby pohybová konzola narazila do dorazu při svém největším zrychlení, by vznikla zanedbatelná síla, která není schopná ukotvení dorazu k nosné struktuře dvěma šrouby M8 dovest do destruktivního stavu. Pohyblivá osa s pohyblivou konzolou je reprezentována Obr. 49.



Obr. 49 Pohybová osa na effectoru

7.1.3. Nosná struktura end effectoru

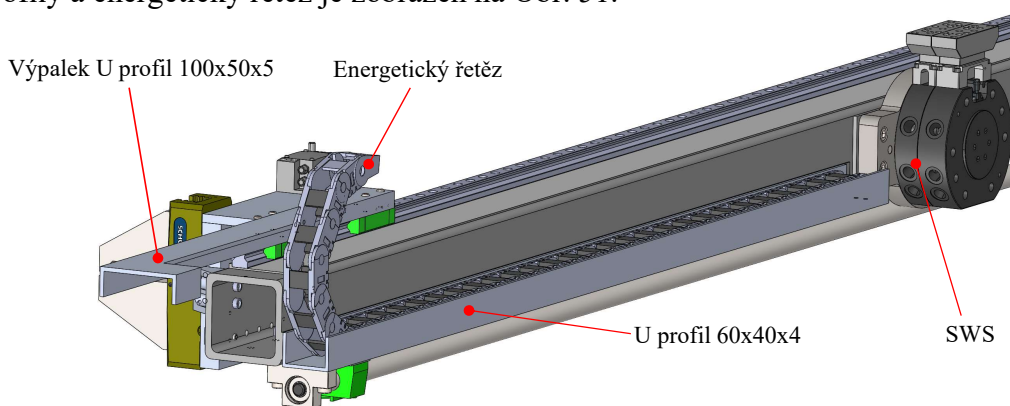
Struktura je tvořena čtvercovou kompozitní trubicou TR 4HR 100x8-3000, která je navinuta z ultra vysoko modulových vláken (modul pružnosti v tahu $E_L=760 \text{ GPa}$). Tato trubka byla pro mojí aplikaci vybrána firmou Compo Tech na základě jejich dlouholetého výzkumu a vývoje použití čtvercových kompozitních trubek jako nosných struktur pro end effectory robotů v lisovnách pro automotive průmysl. Pro šroubové spoje nosné struktury s komponenty (kolejnice lineárního vedení, dorazy atd.) jsou do kompozitní trubky vyvrtány díry pro závitové vložky (inserty) příslušných rozměrů, vložky jsou ve struktuře kompozitní trubky upevněny pomocí epoxidového lepidla. Na trubce jsou vytvořeny epoxidové nálitky, které tvoří dosedací plochy pro funkční součásti effectoru. Nosná struktura je zobrazena na Obr. 50.



Obr. 50 Boční pohled na nosnou strukturu

7.1.4. Rozvod energií po effectoru

Pro statické komponenty (gripper, servomotor) bude vedení energií upevněno na nosné struktuře a bude řešeno až při sestavování effectoru. Pro pohyblivé komponenty (gripper na pohyblivé konzole, pneumatická brzda) je důležité k nim přivést zdroj vzduchu ve formě pneumatických hadic, ale také umožnit pneumatickým hadicím se pohybovat společně s konzolou. Pro tuto potřebu byl vybrán energetický řetěz IGUS 2500.02.075 s poloměrem ohybu 75 mm [68], v řetězu budou vedeny 3 pneumatické hadice SMC TLM 1008 (2 hadice gripper, 1 hadice brzda) se světlostí 8 mm, které mají minimální poloměr ohybu 65 mm [69]. Řetěz je vhodný nejen z hlediska ohybového poloměru, ale také pro své malé zástavbové rozměry. Řetěz je veden v hliníkovém U profilu 60x40x4, který je připojen k nosné struktuře end effectoru. Pohyblivý konec řetězu bude připevněn k pohyblivé struktuře pomocí výpalku z hliníkového U profilu 100x50x5. U profily zamezují kroucení energetického řetězu při pohybech effectoru. Profily a energetický řetěz je zobrazen na Obr. 51.



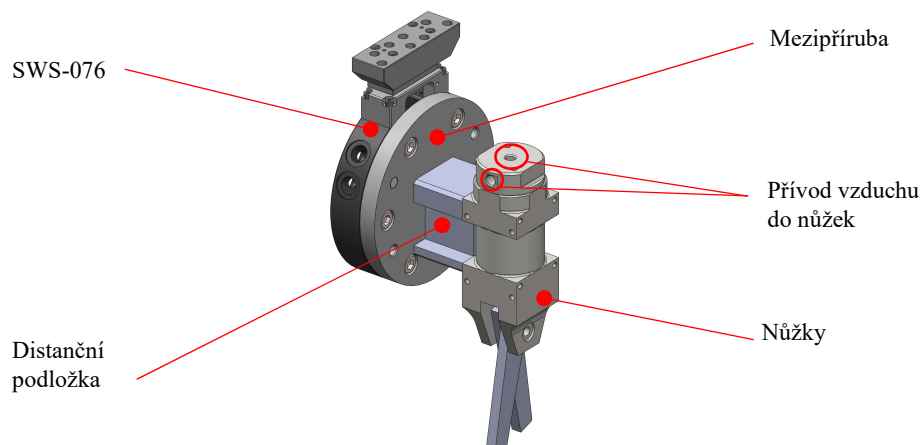
Obr. 51 Pohled na energetický řetěz

7.1.5. Systém automatické výměny end effectorů

Pro výměnu effectorů robotu byl vybrán systém společnosti Schunk SWS – 076 s integrovaným snímačem zámku (indikace řídicímu systému zda effector připojen/odpojen k robotu), skládá se ze dvou částí (přírub), kde SWK-076 je připevněna na přírubu robotu s pomocí adaptační desky Schunk ISO 9409-1-160-6-M10 a SWA-076, která je umístěná na straně effectoru. Systém výměny má maximální manipulační nosnost 100 kg (Effector pro manipulaci trnu osazeného jehličkami manipulující s nejdelším trnem osazeným jehličkami s návinem má hmotnost 90,6 kg) [70]. Na systém byl vybrán modul pro průchod medií (stlačeného vzduchu). Byl zvolen modul s 8 průchody pro připojení stlačeného vzduchu ze strany robotu na effector, v mém řešení potřebují effectory pro svou funkci 7 průchodů stlačeného vzduchu. Bohužel nebyl určen modul pro přívod elektrického napájení servomotoru Festo EMMT-AS-60-S-LS-RMB umístěného na effectoru pro manipulaci trnu. Při poptávce tohoto modulu na německé centrále Schunk, která má moduly pro přívod medií a energií v kompetenci, technici nebyli schopni reagovat na zadaný požadavek ani po 2 měsících urgování této záležitosti, vlivem Covid-19 mají v německé centrále Schunk zavedený Kurzarbeit a odpovědní technici jsou nadměru zaneprázdněni.

7.2. Effector pro odstřížení vlákna

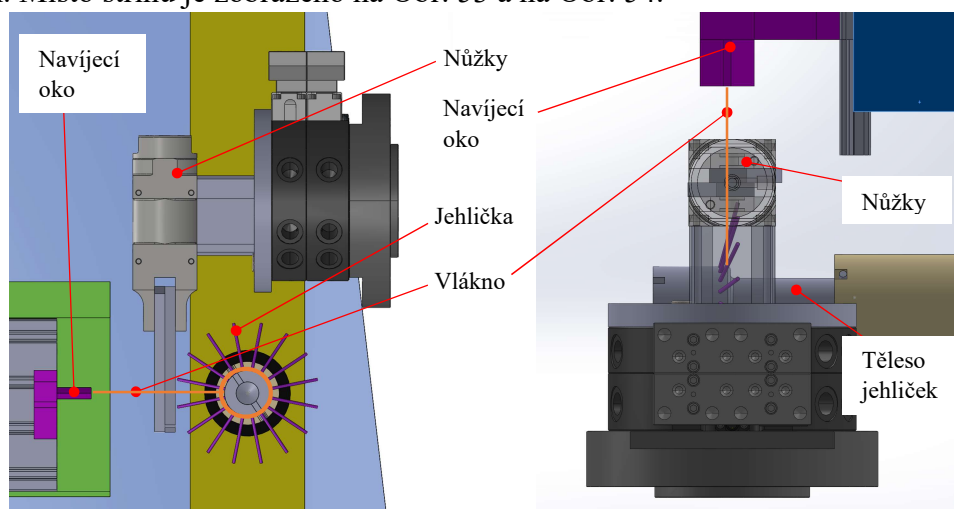
Pro odstřížení vlákna mezi jehličkami a navíjecím okem byly vybrány speciální pneumatické nůžky, které jsou určené pro stříhání kompozitního vlákna. Nůžky Vessel GT-HS30 (jedni z mála výrobců pneumatických nůžek pro stříhání vláken kompozitních materiálů) jsou osazeny mikrozoubkovaným ostrím. Nůžky jsou umístěné na distanční podložce, pro zajištění bezpečné vzdálenosti robotu vůči pracovnímu prostoru. S robotem jsou spojené pomocí systému automatické výměny end effectoru Schunk SWS-076. Konstruktivním principem se jedná o dvojčinný pneumatický motor, jejich pracovní tlak je 3 bar, kvůli pracovnímu tlaku nůžek musí být v pneumatické větvi umístěn redukční ventil, který zajistí snížení tlaku ze 6-ti barů na pracovní tlak 3 bary [71].



Obr. 52 ISO pohled na effector pro odstřížení vlákna

- **Místo stříhu:**

Během procesu navíjení vlákna na trn se vzdálenost navíjecího oka od osy rotace trnu rovná poloměru hlavové kružnice jehliček. Při stříhání vlákna se navíjecí oko příčným posuvem vzdálí od osy rotace trnu na vzdálenost větší, než je poloměr hlavové kružnice jehliček, aby vytvořilo prostor pro čelisti nůžek. Nůžky následně odstříhnou v prostoru mezi jehličkami a navíjecím okem přívod vlákna na navíjecí trn. Místo stříhu je zobrazeno na Obr. 53 a na Obr. 54.



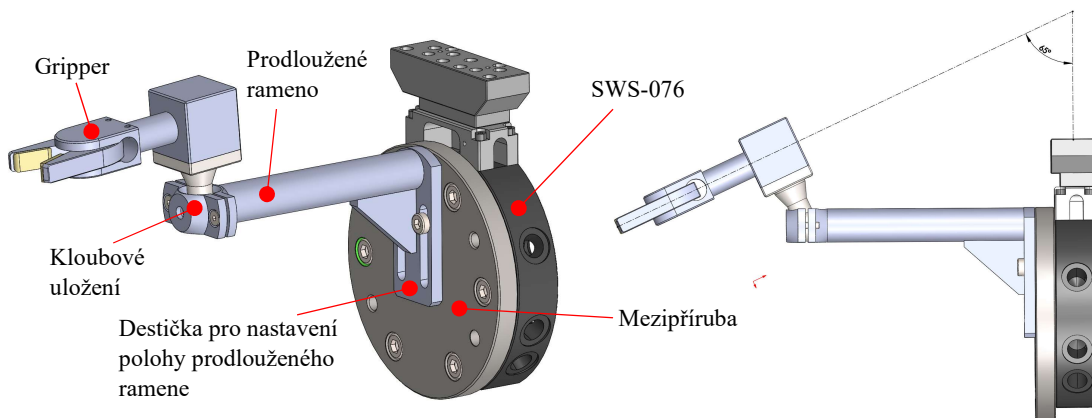
Obr. 53 Místo stříhu boční pohled

Obr. 54 Místo stříhu půdorys

7.3. End effector pro zavedení vlákna do jehliček

Prvotním parametrem pro návrh uchycení vlákna je malý operační prostor – úhlová rozteč jehliček $22,5^\circ$, do kterých je nutné zavést vlákna. Kvůli tomuto limitu, byl zvolen gripper Fipa GR.04 s uchopovací silou 95 N při pracovním tlaku 6 bar. Konstrukčně se jedná o jednočinný pneumatický válec. Rozevření čelistí je 25 mm, což je dostačující pro uchycení rovingu vlákna o maximální šířce 7 mm. Šířka čelistí gripperu je 12 mm [72].

Gripper je kloubově uložen na prodlouženém ramenu (zobrazeno na Obr. 55), aby při zavádění robotizovaného pracoviště měla obsluha možnost správného nastavení polohy gripperu bez nutnosti konstrukčních změn. Effektor je navržen tak, že je možnost natočit gripper vůči přírubě v rozmezí $+65^\circ$ až -65° viz. Obr. 56. Pro ještě větší možnost nastavení polohy gripperu je možné nastavit polohu prodlouženého ramene. Rameno je svařeno s destičkou, ve které jsou vyfrézovány drážky. V drážkách jsou šrouby, které spojují prodloužené rameno s mezipřírubou, která je spojena se systémem automatické výměny end effectoru Schunk SWS-076. Utažením šroubů v drážkách je vymezena poloha prodlouženého ramene.

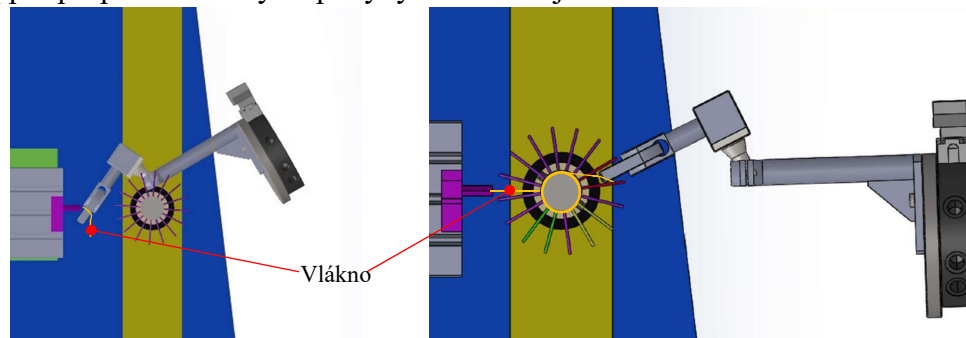


Obr. 55 Effector pro zavedení vlákna do jehliček

Obr. 56 Effector pro zavedení vlákna - natočení gripperu až o 65°

- **Místo uchopení vlákna a následné zavedení vlákna do jehliček:**

Navíjecí jednotka, jejíž součástí je navíjecí oko, najede v podélném posuvu na referenční snímač. Vlákno svým svěšením přesně vymezuje svoji polohu (svěšení je pro vlákno nejméně energeticky náročné). Robot napolohuje effector resp. gripper tak, že vlákno bude bez problémů uchopeno gripperem i bez sensoriky viz Obr. 57. Pomocí polohování vřetene, resp. osazeného trnu a pohybů robotu, gripper proplete střídavými pohyby vlákno do jehliček viz. Obr. 58.



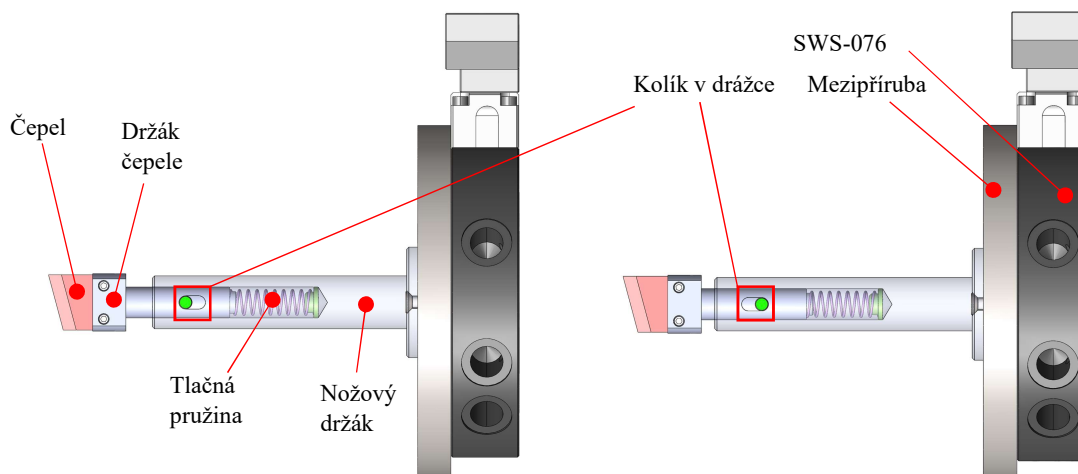
Obr. 57 Uchycení vlákna

Obr. 58 Propletení vlákna do jehliček

7.4. Odříznutí jehliček

Jehličky slouží jako technologický přípravek pro upevnění kompozitního vlákna na navíjecí trn. Po dokončení navinutí trubky jsou jehličky nepotřebné, je potřeba odříznout návín mezi tělesem jehliček a navinutým dílem. Pro tento účel byl navržen effector pro odříznutí jehliček od trnu. Principiálně se jedná o odpruženou čepel. Robot je kinematicky řízená struktura a pokud by čepel nebyla odpružená docházelo by k destrukci čepel a zanesení ostří, čímž by se snížila schopnost ostří řezat. Odpružená čepel je silově řízená a při jejím použití nebude docházet k zanesení ostří.

Pružina použita v tomto konstrukčním celku je zobrazena pro ilustraci funkce celku, vlivem pandemie Covid-19 nebylo možné navštívit CompoTech a provést měření rezných sil vyvolaných řezáním návínu. Jako čepel slouží nabroušená ocelová planžeta o tloušťce 2 mm se šikmým ostřím. Čepel je zaaretována v držáku čepel pomocí dvou stavěcích šroubů, které umožňují její rychlou výměnu. Držák čepel je axiálně zajištěn kolíkem v nožovém držáku a dosedá na tlačnou pružinu. Kolík je umístěn v drážce, ve které se pohybuje dle stlačení pružiny, poloha kolíku dle stlačení pružiny je ukázána na Obr. 59 a Obr. 60. Nožový držák je spojen s mezipřírubou, která je připevněna na systém automatické výměny end effectoru Schunk SWS-076.

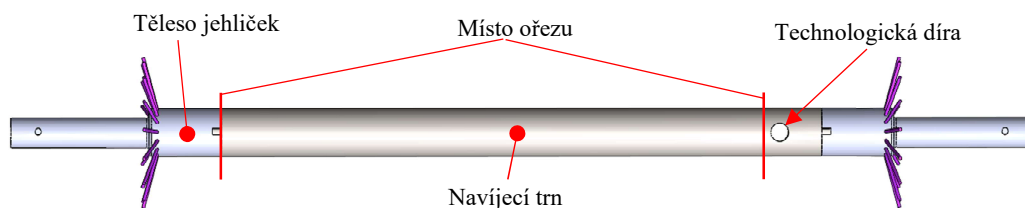


Obr. 59 Na čepel nepůsobí rezná síla, pružina je nestlačena

Obr. 60 Na čepel působí rezná síla, pružina je stlačena

- **Místo ořezu jehliček:**

Ořez jehliček probíhá na dvou místech, první místo je na rozhraní trnu a tělesa jehliček a druhé je dáno technologickou dírou na trnu, která je používána pro vytažení trnu z navinutého dílu. Pro lepší představu jsou místa ořezu zobrazena na Obr. 61.



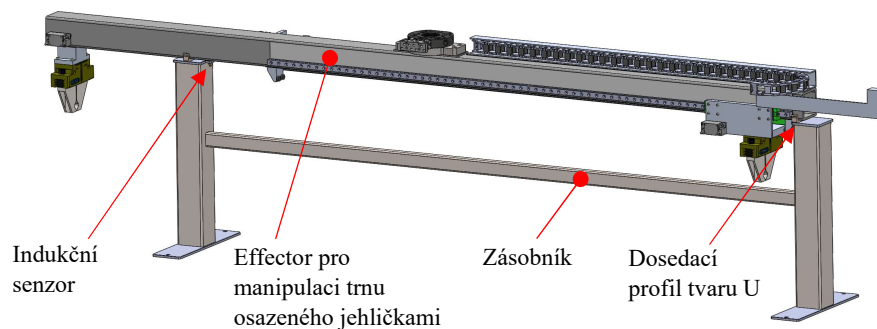
Obr. 61 Zobrazení místa ořezu tělesa jehliček od trnu

7.5. Zásobníky end effectorů

Během obsluhy navíjecího stroje mění robot své end effectory dle operace, kterou má provádět, k výkonu všech zadaných operací potřebuje čtyři effectory. Robot může být osazen pouze jedním effectorem, proto byly vytvořeny zásobníky pro zbývající. Zásobníky definují polohu effectoru v prostoru a tím robotu usnadňují jejich výměnu.

- **Zásobník effectoru pro manipulaci**

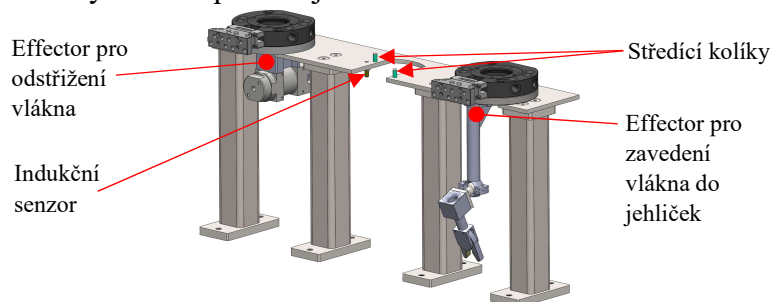
Jedná se o svařovanou konstrukci navrženou pro tento effector, dosedací profil tvaru U zajistí vymezení polohy effectoru. Konstrukce je osazena indukčním senzorem Steute EX IS M8B 1ABBAB N 1GD 2M pro detekci přítomnosti effectoru v zásobníku.



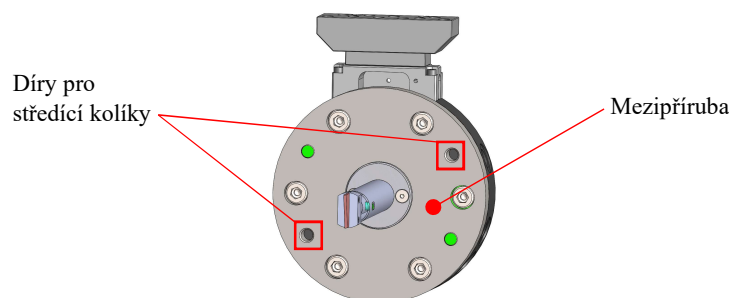
Obr. 62 Zásobník effectoru pro manipulaci

- **Zásobník malých effectorů**

Zásobník je navržen pro tři zbývající effectory, které jsou v porovnání s effectorem pro manipulaci osazeného trnu malých rozměrů. Každý slot pro effector je osazen indukčním senzorem Steute EX IS M8B 1ABBAB N 1GD 2M a dvěma středícími kolíky, které pomocí děr na mezipřírubách effectorů zajišťují vymezení polohy effectoru v zásobníku. Zásobník je zobrazen na Obr. 63, díry pro středící kolíky na mezipřírubě jsou na Obr. 64.



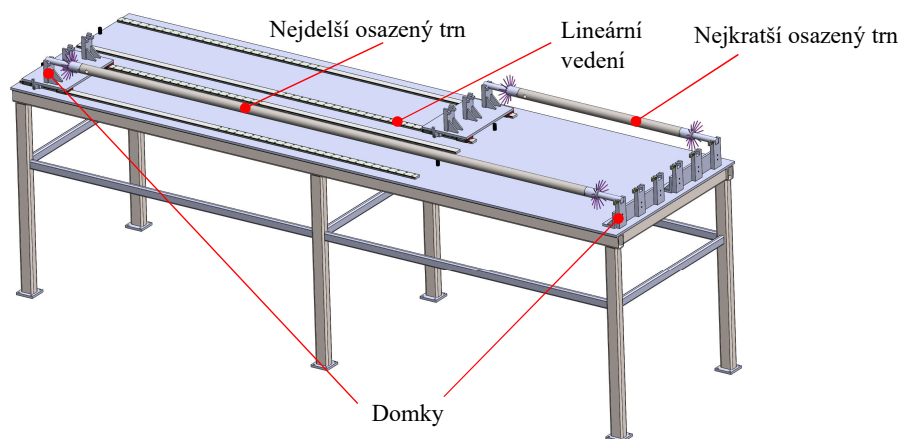
Obr. 63 Zásobník malých effectorů



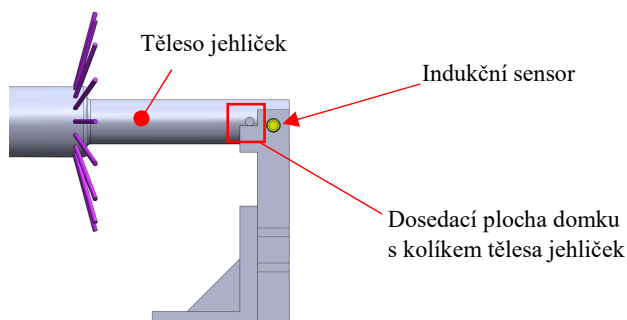
Obr. 64 Ukázka děr na mezipřírubě pro středící kolíky

7.6. Operační zásobník trnů

Pro potřebu zásobování robotizovaného pracoviště osazenými trny byl navržen operační zásobník trnů. Zásobník má 6 pozic pro trny, které jsou rozděleny po 3 pozicích do 2 skupin, každá skupina může mít svou rozteč dosedacích ploch. Osazené trny jsou uloženy na svých koncích v domcích. Tyto domky mají vytvořeny dosedací plochy, které zajišťují vymezení polohy trnu v dané pozici zásobníku pomocí kolíku umístěném na tělese jehliček viz. Obr. 66. Kolík slouží k přenosu kroutícího momentu z vřetene navíjecího stroje na osazený trn. Pro pokrytí délkového rozsahu osazených trnů je jeden z domků umístěn na pohyblivé konzole, která se pohybuje po dvou kolejnicích lineárního vedení Hiwin WER17R, na konzole jsou namontovány čtyři příslušné vozíky lineárního vedení Hiwin WEH17CA. Obsluha nastaví rozteč domků dle délky osazeného trnu a pohyblivou konzolu zaaretuje pomocí manuální brzdy lineárního vedení Zimmer HK1701B. Statický domek je osazen indukčním senzorem Steute EX IS M8B 1ABBAB N 1GD 2M pro detekci přítomnosti trnu v místě zásobníku. Robot pomocí effectoru uchopí trn v pozici zásobníku a přemístí ho do stroje a po navíjení ho robot vrátí do stejné pozice v zásobníku. Navržený zásobník tohoto konstrukčního provedení byl zvolen kvůli malým zástavbovým rozměrům. Karuselový zásobník s vertikální osou rotace by zabral velký zástavbový prostor. Po navinutí dílu a oříznutí tělesa jehliček je vhodné, aby obsluha z osazeného trnu odebrala jehličky co možná nejdříve. Čím dřív jsou tělesa jehliček odebrána z trnu, tím dřív z nich může obsluha odstranit ještě nezpolymerizovaný návin – lépe se jim čistí. Po odstranění jehliček jsou trny s návinem umístěny obsluhou do zásobníku, kde návin polymerizuje, jako zásobník bude použit dosud používaný zásobník. Zásobník je zobrazen na Obr. 65.



Obr. 65 Operační zásobník trnů



Obr. 66 Detail na dosedací plochu domku

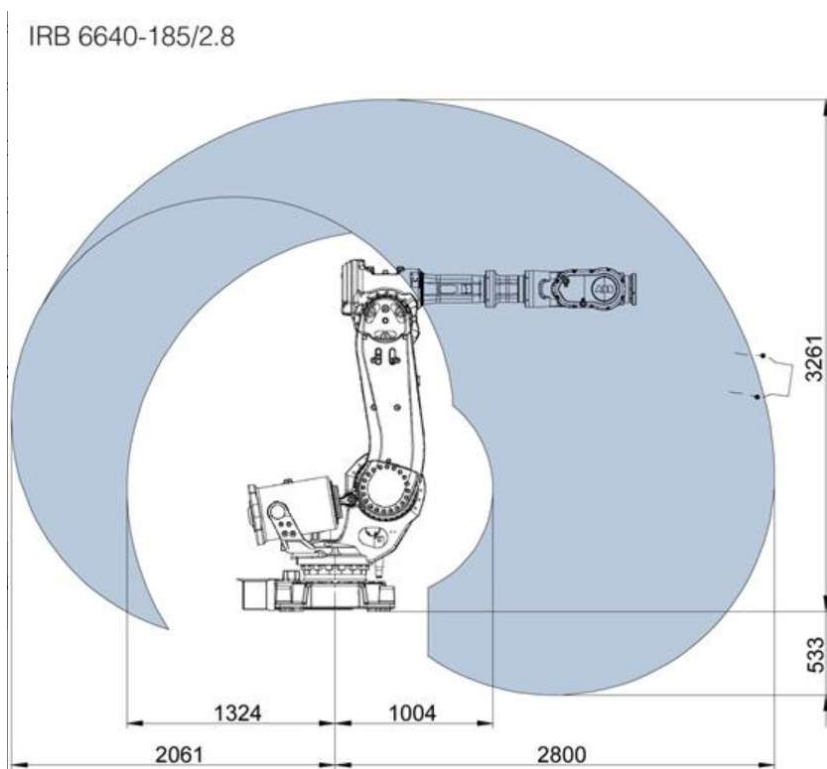
7.7. Robot

Jako prvotní ukazatelé pro výběr robotu byly použity maximální nosnost robotu a jeho maximální dosah. Při pracovním cyklu linky dochází ke čtyřem výměnám end effectoru robotu, pro referenci s maximální nosností robotu byl použit effector s největšími rozměry a největší hmotností. V tomto případě se jedná o manipulační end effector s hmotností 90,6 kg (tato hmotnost zahrnuje nejtěžší osazený trn i s návinem). Dosah robotu je dán rozložením pracoviště. Pro použití v řešení bylo uvažováno nad dvěma roboty porovnané v Tab. 8:

Parametr	Robot	
	IRB 6640 – 180/2.8	IRB 6620 – 150/2.2
Maximální nosnost [kg]	180	150
Maximální dosah [m]	2.8	2.2

Tab. 8 Porovnání robotů [52]

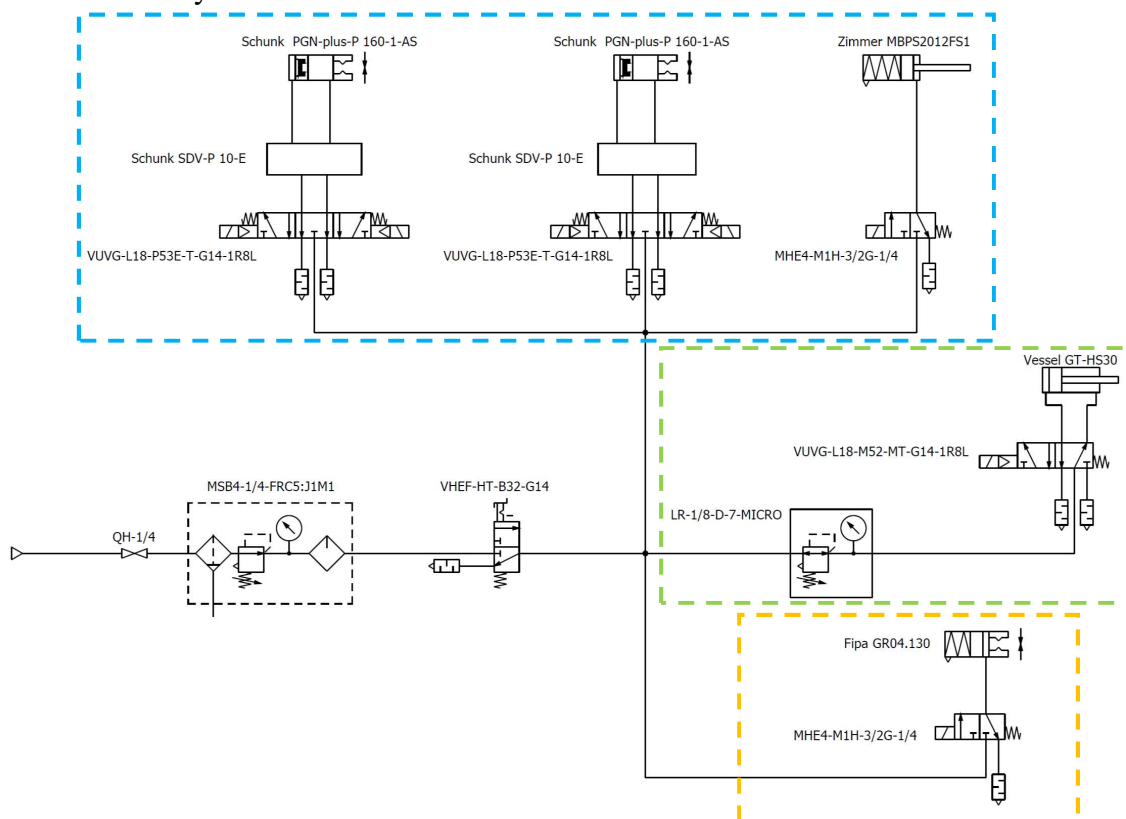
Zvolil jsem IRB 6640 – 180/2.8, kvůli většímu maximálnímu dosah, který je zobrazen na Obr. 67.



Obr. 67 Pracovní rozsah robotu IRB 6640 -180/2.8 [60]

7.8. Pneumatický obvod

Pro ovládání pneumatických prvků na end effectorech byl navržen pneumatický obvod zobrazený na Obr. 68.

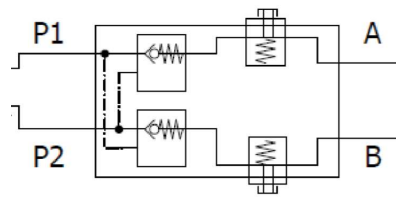


Obr. 68 Pneumatický obvod pro prvky na end effectorech

Stlačený vzduch je přiváděn z centrálního rozvodu ve firmě. Mezi zdrojem vzduchu a jednotkou úpravy stlačeného vzduchu je umístěn kulový ventil QH-1/4, který slouží jako hlavní uzavěr vzduchu pro tento obvod. Jednotka úpravy stlačeného vzduchu MSB4-1/4-FRC5:J1M1 se skládá z filtru s odlučovačem, redukčního ventilu s manometrem a maznice. Za jednotku úpravy stlačeného vzduchu byl umístěn mechanicky ovládaný 3/2 ventil VHEF-HT-B32-G14, který dává uživateli možnost odvětrání obvodu. Za tímto ventilem se obvod větví na tři části, kde každá část reprezentuje jeden ze tří effectorů, které ke své funkci potřebují přívod stlačeného vzduchu. Vždy je aktivní pouze jedna ze tří částí (pouze jedna část odebírá vzduch).

První část (zeleně ohraničena na Obr. 68) odpovídá prvkům end effectoru pro manipulaci osazených trnů. Část se dělí na tři podčásti (2xgripper Schunk a brzda lineárního vedení Zimmer). Vzduch je buď odebírán gripperem (2x127,8 l/min) nebo brzdou (80 l/min). Gripperem nesmí v případě výpadku přívodu vzduchu (resp. elektrické energie) otevřít své čelisti, proto jsou v obvodu umístěny pneumatické ventily Schunk SDV-P 10-E (schématická funkce ventilu zobrazena na Obr. 69), které jsou schopny zamezit odvětrání gripperů. Tento ventil přímo doporučuje Schunk pro gripper PGN-plus-P 160-1-AS. Pohyby čelistí gripperů jsou ovládány elektromagneticky ovládanými ventily 5/3 VUVG-L18-P53E-T-G14-1R8L s odvětranou střední polohou.

Brzda lineárního vedení je ovládána elektromagneticky řízeným ventilem 3/2 MHE4-M1H-3/2G-1/4, který je v základní poloze uzavřen.



Obr. 69 Schématické znázornění funkce ventilu Schunk SDV-P 10-E [59]

Druhá část obvodu (ohraňována modře na Obr. 68) je větví pneumatických nůžek s požadovaným průtokem 140,4 l/min. Tato větev je opatřena redukčním ventilem s manometrem LR-1/8-D-7-MICRO, protože pracovní tlak nůžek je 3 Bary. Otevření/zavření nůžek je řízeno elektromagneticky řízeným ventilem 5/2 VUVG-L18-M52-MT-G14-1R8L.

Třetí část obvodu (ohraňována oranžově na Obr. 68) řídí pneumatický gripper Fipa, který je používán pro upevnění vlákna k jehličkám. Gripper pro svoji funkci potřebuje průtok stlačeného vzduchu o velikosti 9 l/min. Otevření/ zavření čelistí gripperu je řízeno elektromagneticky řízeným ventilem 3/2 MHE4-M1H-3/2G-1/4, který je v základní poloze uzavřen.

Po konzultaci pneumatického obvodu s firmou Festo byly pro propojení všech prvků obvodu zvoleny hadice se světlostí 8 mm.

7.9. Potřebné úpravy navíjecího stroje pro potřeby robotizace pracoviště

Úpravy navíjecího stroje jsou v plné režii firmy CompoTech a nejsou součástí zadání ani řešení této práce. Pro potřeby stříhání vlákna a zavedení vlákna do jehliček bude zvětšena vertikální rozteč vřeten stroje ze 150 mm na 550 mm. Navíjecí jednotka bude osazena řízenými lineárními osami pro polohování příčného posuvu navíjecího oka k ose rotace trnu – již probíhá testování řízené lineární osy posuvu na jiném navíjecím stroji v CompoTech viz. Obr. 70. Bude vytvořen nový koník, jehož pohyb bude ovládán řídicím systémem stroje, zdvih pinoly bude též ovládán řídicím systémem.

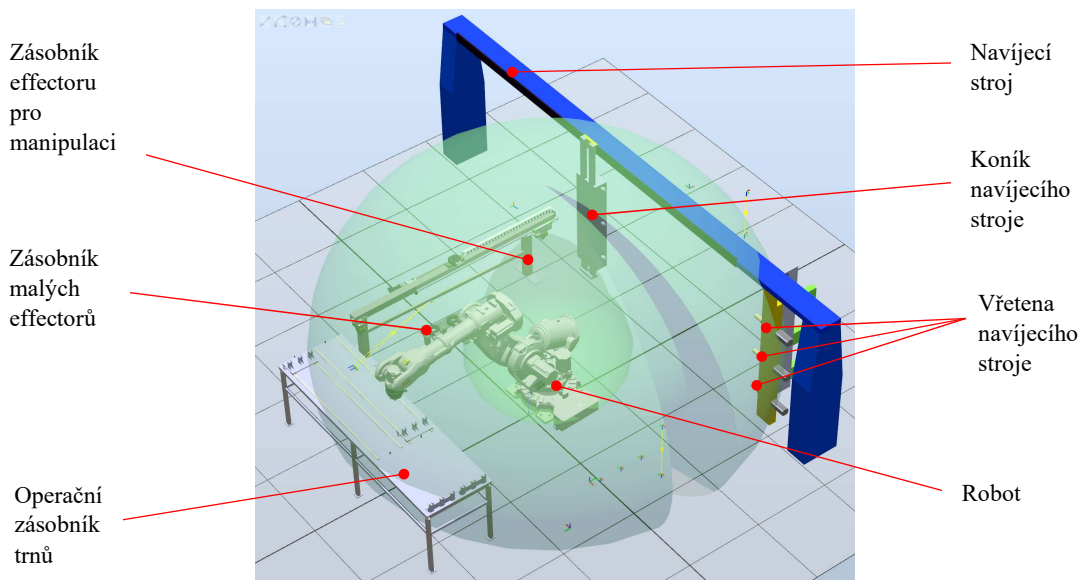


Posuv
lineární osy

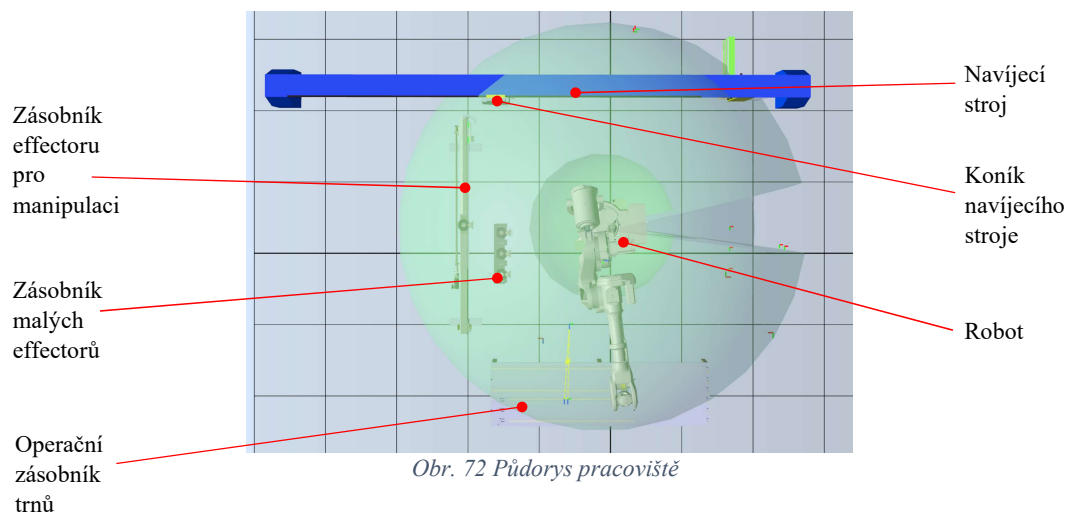
Obr. 70 Řízená lineární osa pro příčný posuv navíjecího oka - zdroj CompoTech

7.10. Layout pracoviště

Celé pracoviště včetně navíjecího stroje bude přesunuto ze současného prostoru ve výrobní hale firmy CompoTech do jiného zástavbového prostoru ve výrobní hale. Ve stávajícím prostoru, kde je umístěn navíjecí stroj by byly limitovány pohyby robotu, kvůli sníženému stropu (2,4 m). Pracoviště se skládá z navíjecího stroje, robotu ABB IRB 6640 – 185/2.8, zásobníku effectoru pro manipulaci, zásobníku malých effectorů a operačního zásobníku trnů. Operační zásobník trnů je umístěn tak, aby k němu měl operátor výroby přístup a mohl nastavovat požadovanou rozteč domků dle délky osazených trnů. Z bezpečnostního hlediska bude nejkritičtější místem pracoviště operační zásobník trnů, mohlo by zde dojít ke kolizi robotu a operátora výroby. Proto se bude muset bezpečnostní technik na toto místo soustředit při návrhu bezpečnostních prvků pracoviště. Pracoviště je zobrazeno v ISO pohledu na Obr. 71 a půdorysu na Obr. 72. Na obou obrázcích je zobrazen zeleně kulový vrchlík, který reprezentuje pracovní obálku zápěstí robotu. Jak je z obou obrázků patrné, je zvolené rozložení funkčních prvků na pracovišti správné, kulový vrchlík pokrývá všechny potřebné oblasti pracoviště využívané během výroby.



Obr. 71 ISO pohled na pracoviště



Obr. 72 Půdorys pracoviště

8. Výpočtová část

V této části jsou ukázány všechny kontrolní a návrhové výpočty provedené při návrhu zvoleného pracoviště pro robotizaci.

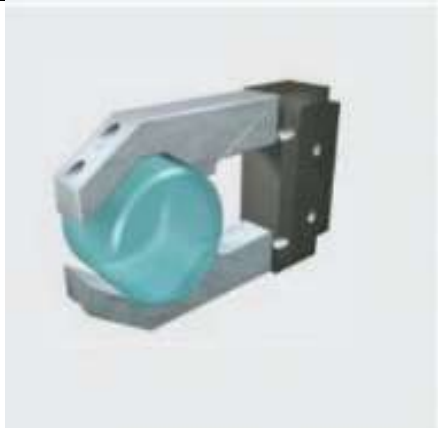




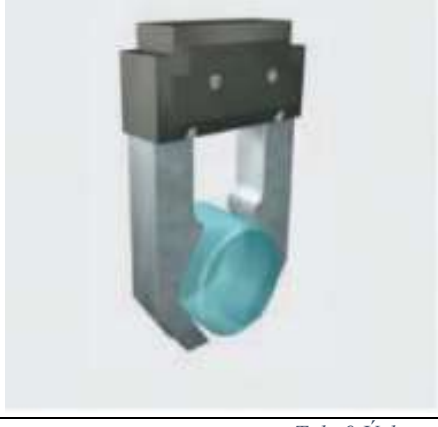




8.1. Návrhové a kontrolní výpočty pro koncový efektor pro manipulaci s trnem osazeným jehličkami

V této podkapitole jsou provedeny kontrolní výpočty součástí nezbytně nutných pro funkčnost tohoto effektoru.

8.1.1. Kontrolní výpočty gripper Schunk

- *Úchopná síla*

V této části dojde ke kontrole, zda-li má PGN-plus-P 160-1-AS dostatečnou úchopnou sílu pro manipulaci osazeného trnu sevřeného čelistmi při různých směrech pohybu při deceleraci robotu v nouzovém zastavení.

Var.	Úchop	Směr zrychlení	Potřebná úchopná síla	
A			$F_U = m(a_z + g) \frac{\tan \frac{\beta}{2}}{2} k$	(8.1)
B			$F_U = m \left(a_x + g \frac{\tan \frac{\beta}{2}}{2} \right) k$	(8.2)
C			$F_{U,z} = mg \frac{\tan \frac{\beta}{2}}{2} k$	(8.3)
D			$F_{U,y} = ma_y \frac{\sin \frac{\beta}{2}}{2\mu} k$	(8.4)
E			$F_U = m(a_z + g)k$	(8.5)
F			$F_U = m \left(g + a_x \frac{\tan \frac{\beta}{2}}{2} \right) k$	(8.6)
G			$F_{U,z} = mgk$	(8.7)
H			$F_{U,y} = ma \frac{\sin \frac{\beta}{2}}{2\mu} k$	(8.8)

Tab. 9 Úchopné síly dle katalogu Schunk [53]

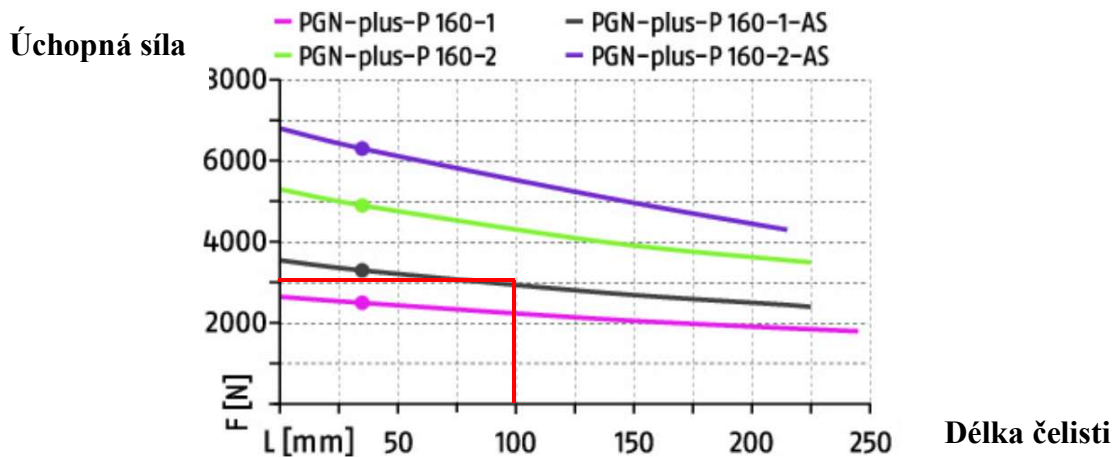
m	=	29 kg
a, a_x, a_y, a_z	=	40 m/s ² [54]
g	=	9,81 m/s ²
k	=	2
β	=	45°
μ	=	0,42[55]

<i>Hmotnost trnu</i>
<i>Decelerace robotu při E-stop</i>
<i>Tíhové zrychlení</i>
<i>Součinitel bezpečnost</i>
<i>Úhel sevření čelisti</i>
<i>Součinitel dynamického tření (ocel-ocel)</i>

Varianta	Úchopná síla [N]	Největší potřebná úchopná síla [N]
A	598,33	2888,98
B	2437,84	
C	117,84	
D	1109,78	
E	2888,98	
F	1049,47	
G	568,98	
H	1109,78	

Tab. 10 Výsledky výpočtů úchopných sil

Výsledky výpočtů z Tab. 9 jsou pro přehlednost uspořádány v Tab. 10, ze všech dílčích výsledků byla určena největší potřebná úchopná síla $F_{u,max} = 2\,888,98\text{ N}$ potřebná pro případ nouzového zastavení při variantě E.



Obr. 73 Závislost úchopné síly na délce čelisti pro PGN-plus P 160-1-AS [56]

Délka čelisti je 100 mm (dle výkresu DP-1778-004-001) a byla vyznačena do Obr. 73, odečtená úchopná síla $F_{u,Schunk}$ je rovna 3 000 N.

$$F_{u,max} < F_{u,Schunk} \quad (8.9)$$

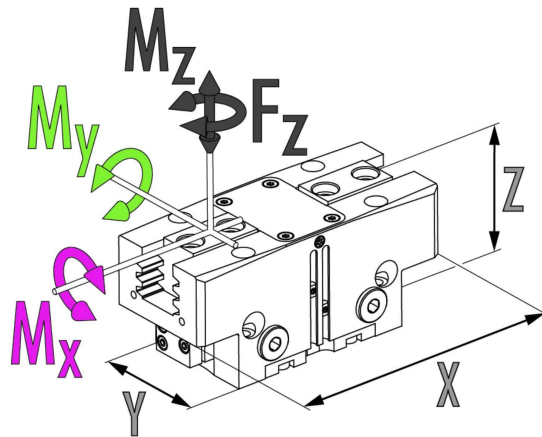
$$2\,888,98\text{ N} < 3\,000\text{ N} \quad (8.10)$$

Z hlediska úchopné síly zvolený gripper Schunk-plus-P 160-1-AS vyhovuje.

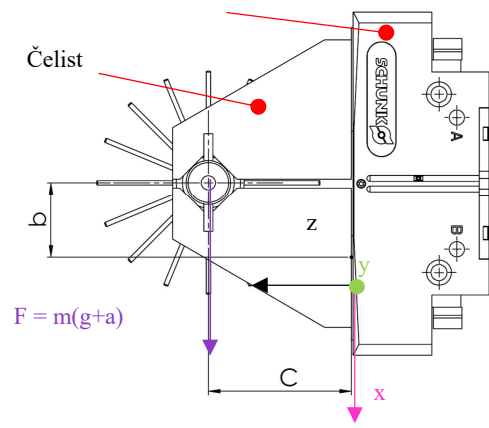
- **Momentové zatížení gripperu**

Grippy mají předepsané maximální dovolené klopné momenty, které na ně mohou působit. Momenty v jednotlivých osách jsou zobrazeny na Obr. 74. Vybraný Schunk-plus-P 160-1-AS má maximální dovolené momenty $M_{xSchunk} = 190\text{ Nm}$, $M_{ySchunk} = 180\text{ Nm}$, $M_{zSchunk} = 200\text{ Nm}$ [64]. Největší momentové zatížení působí na gripper při pohybu, kdy má stejný směr tíhové zrychlení s decelerací robotu. To nastává ve dvou případech, s čelistmi ve vodorovném a svislém směru. Příklad s vodorovnými čelistmi je vykreslen na Obr. 75 a na Obr. 76. Uložení jehliček na trnu je uložení s vůlí, to znamená, že si lze Obr. 76 zjednodušit na výpočtový model vykreslený na Obr. 77 tj., lze považovat spojení trn-těleso jehliček -gripper za kloubové uložení nosníku. Příklad s čelistmi ve svislém směru je zobrazen na Obr. 78.

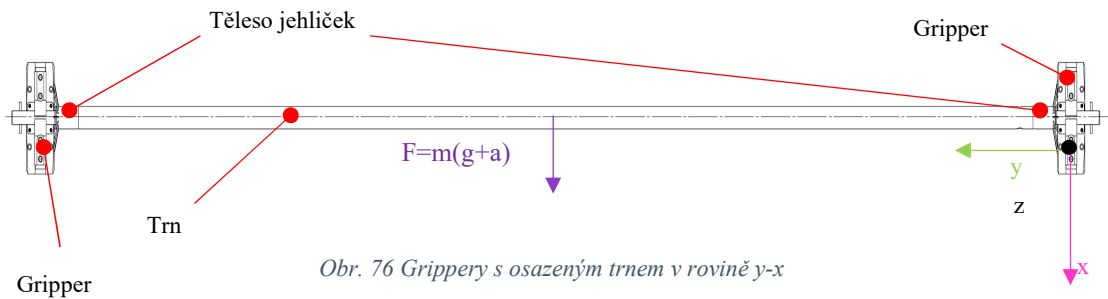
- Momenty gripperu s čelistmi ve vodorovném směru



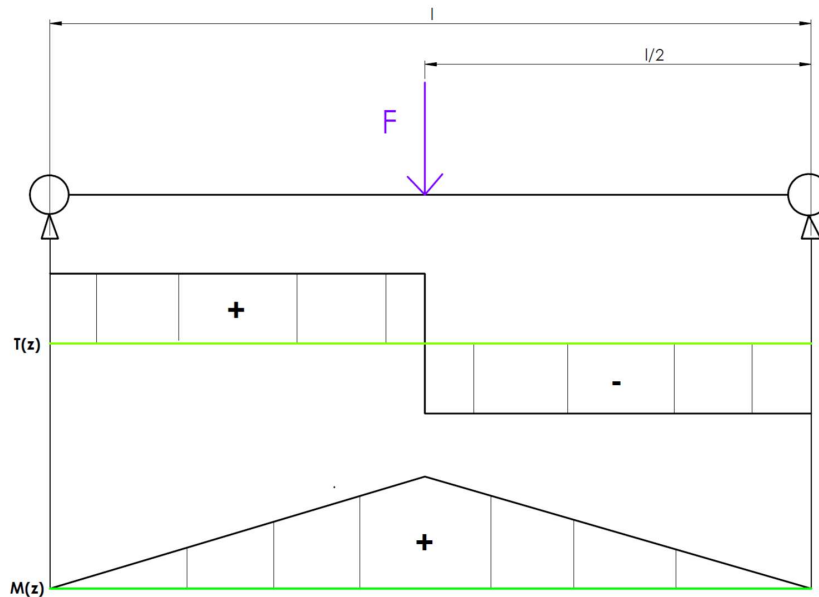
Obr. 74 Momenty na gripperu Schunk [57]



Obr. 75 Gripper v rovinně z-x vodorovném směru čelistí



Obr. 76 Gripper s osazeným trnem v rovině y-x



Obr. 77 Výpočtový model - 1x staticky neurčitý nosník

$$M_x = 0 \text{ Nm} \tag{8.11}$$

$$M_y = m(g + a)c = 115,56 \text{ Nm} \tag{8.12}$$

$$M_z = 0 \text{ Nm} \tag{8.13}$$

m	=	29 kg	<i>Hmotnost osazeného trnu</i>
g	=	9,81 m/s ²	<i>Tíhové zrychlení</i>
a	=	40 m/s ²	<i>Decelerace robotu při E-stop</i>
c	=	80 mm	<i>Rameno síly</i>

M_x je nulové, M_y dosahuje hodnoty 115,56 Nm a moment M_z je nulový v místech uložení, tj. v gripperu, dle zjednodušeného výpočtového modelu na Obr. 77.

$$M_x < M_{xSchunk} \quad (8.14)$$

$$0 < 190 \text{ Nm} \quad (8.15)$$

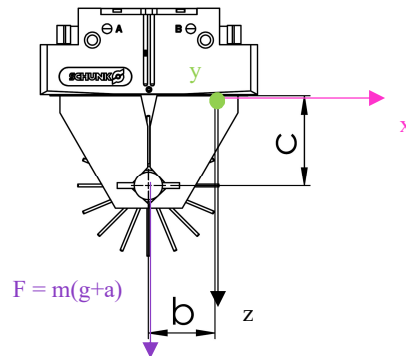
$$M_y < M_{ySchunk} \quad (8.16)$$

$$115,56 \text{ Nm} < 180 \text{ Nm} \quad (8.17)$$

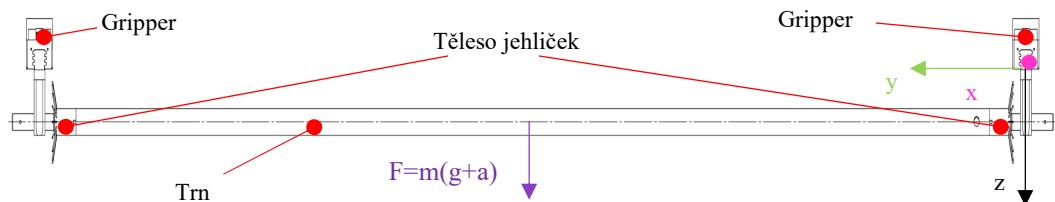
$$M_z < M_{zSchunk} \quad (8.18)$$

$$0 < 200 \text{ Nm} \quad (8.19)$$

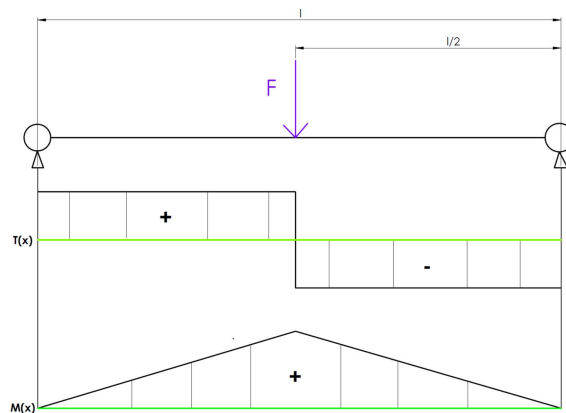
- Momenty gripperu s čelistmi ve svislém směru



Obr. 78 Gripper v rovině z-x svislém směru čelisti



Obr. 79 Gripper s osazeným trnem v rovině y-z



Obr. 80 Výpočtový model - 1x staticky neurčitý nosník

Obdobně jako u vodorovné polohy čelistí uvažují spojení trn-těleso jehliček -gripper za kloubové uložení, viz. Výpočtový model na Obr. 80.

$$M_x = 0 \text{ Nm} \quad (8.20)$$

$$M_y = m(g + a)b = 83,78 \text{ Nm} \quad (8.21)$$

$$M_z = 0 \text{ Nm} \quad (8.22)$$

m	=	29 kg	<i>Hmotnost osazeného trnu</i>
g	=	9,81 m/s ²	<i>Tíhové zrychlení</i>
a	=	40 m/s ²	<i>Decelerace robotu při E-stop</i>
b	=	58 mm	<i>Rameno síly</i>

M_x je nulové, M_y dosahuje hodnoty 83,78 Nm a moment M_z je nulový v místech uložení.

$$M_x < M_{xSchunk} \quad (8.23)$$

$$0 < 190 \text{ Nm} \quad (8.24)$$

$$M_y < M_{ySchunk} \quad (8.25)$$

$$83,78 \text{ Nm} < 180 \text{ Nm} \quad (8.26)$$

$$M_z < M_{zSchunk} \quad (8.27)$$

$$0 < 200 \text{ Nm} \quad (8.28)$$

Schunk-plus-P 160-1-AS vyhovuje z hlediska klopných momentů.

8.1.2. Kontrola kuličkového šroubu, kontrola pohonu

Pro kontrolu kuličkového šroubu je šroub kontrolován na maximální otáčky a na vzpěr dle katalogu výrobce šroubu Hiwin [58]. Šroub je uložen pevně u pohonu a volně na druhém konci. Šroub má průměr 25 mm a stoupání 5 mm/ot.

- Kontrola kritických otáček kuličkového šroubu

$$n_k = k_d \frac{d_k}{l_d^2} 10^8 = 1\,161,33 \text{ ot/min} \quad (8.29)$$

- Maximální otáčky kuličkového šroubu

$$n_{max} = 0,8n_k = 929,01 \text{ ot/min} \quad (8.30)$$

k_d	=	1,88 ^[58]	<i>Koeficient uložení KŠ</i>
d_k	=	22,3 mm ^[58]	<i>Průměr hřídele (nejmenší průměr KŠ)</i>
l_d	=	1900 mm	<i>Vzdálenost mezi ložisky</i>

- Maximální teoretická dovolená axiální síla

$$F_K = k_k \frac{d_k^4}{l_k^2} 10^5 = 15\,734,2 \text{ N} \quad (8.31)$$

- Maximální dovolená provozní axiální síla

$$F_{Kmax} = 0,5F_{Kmax} = 7\,867,1 \text{ N} \quad (8.32)$$

Pokud by došlo k přesáhnutí hodnoty F_{Kmax} došlo by ke vzpěru šroubu.

k_k	=	2,05 ^[58]	<i>Koeficient závislosti na uložení KŠ</i>
d_k	=	22,3 mm ^[58]	<i>Průměr hřídele (nejmenší průměr KŠ)</i>
l_k	=	1795 mm	<i>Nepodepřená délka hřídele</i>

Požadavky na pohon: byly zvoleny rychlost posuvu pohyblivé konzoly 2,2 m/min a zrychlení posuvu pohyblivé konzoly 2,2 m/min².

$v_{konzola}$	=	2,2 m/min	Rychlost posuvu konzoly
$a_{konzola}$	=	2,2 m/min ²	Zrychlení posuvu konzoly
P	=	5 mm/ot ^[58]	Stoupání kuličkového šroubu

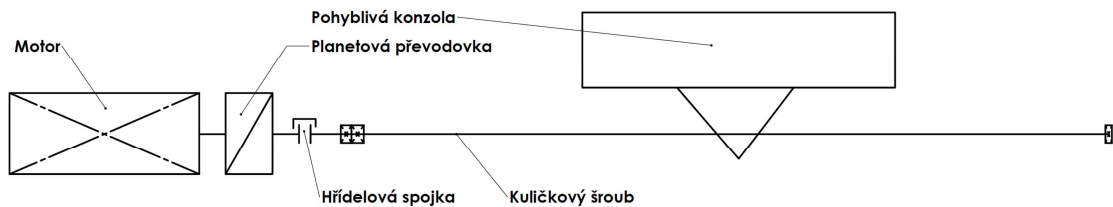
Dle požadované rychlosti byly určeny otáčky šroubu při dané rychlosti a následně byly porovnány s maximálními možnými otáčkami kuličkového šroubu z rovnice 8.30.

$$n_{\text{šroub}} = \frac{1000v_{\text{konzola}}}{P} = 440 \text{ ot/min} \quad (8.33)$$

$$n_{\text{šroub}} < n_{\text{max}} \quad (8.34)$$

$$440 \text{ ot/min} < 929,01 \text{ ot/min} \quad (8.35)$$

Při zvolené rychlosti pohyblivé konzoly 2,2 m/min kuličkový šroub nepřekročí své maximální otáčky.



Obr. 81 Schéma pohybové osy

J_M	=	0,0000257 kgm ^{2[62]}	Moment setrvačnosti motoru EMMT-AS-60-S-LS-RMB
J_P	=	0,0000135 kgm ^{2[63]}	Moment setrvačnosti převodovky EMGA-60-P-G3
J_{Spoj}	=	0,0000181 kgm ²	Moment setrvačnosti hřídelové spojky
$J_{Kš}$	=	0,00045 kgm ²	Moment setrvačnosti kuličkového šroubu
$m_{Konzola}$	=	12 kg	Hmotnost konzoly
P	=	5 mm/ot ^[58]	Stoupání kuličkového šroubu
i	=	3 ^[63]	Převodový poměr převodovky
M_K	=	0,6 Nm ^[62]	Krouticí moment motoru EMMT-AS-60-S-LS-RMB

Pro kontrolu vybraného pohonu byla použita energetická metoda, kde kinetická energie pohybové osy je vyjádřena rovnicí 8.36.

$$E_K = \frac{1}{2}J_M\omega_M^2 + \frac{1}{2}J_P\omega_P^2 + \frac{1}{2}J_{Spoj}\omega_{Kš}^2 + \frac{1}{2}J_{Kš}\omega_{Kš}^2 + \frac{1}{2}m_{Konzola}v_{Konzola}^2 \quad (8.36)$$

Z rovnice 8.36 bylo potřeba určit moment setrvačnosti redukováný na motor, proto bylo nutné všechny úhlové rychlosti převést na úhlovou rychlost motoru. K tomu byly použity následující vztahy:

- Stoupání kuličkového šroubu v SI jednotkách

$$h = P \frac{0,001}{2\pi} = 7,95 * 10^{-4} \text{ m/rad} \quad (8.37)$$

- Převodový poměr planetové převodovky

$$i = \frac{\omega_M}{\omega_{Kš}} \quad (8.38)$$

- Převod rychlosti konzoly na úhlovou rychlost kuličkového šroubu s pomocí stoupání kuličkového šroubu v SI jednotkách

$$\frac{1}{h} = \frac{\omega_M}{v_{Konzola}} \quad (8.39)$$

Pomocí rovnic 8.37 a 8.38 vyjádřím kinetickou energii pohybové osy, kde všechny rychlosti jsou převedeny na úhlovou rychlost motoru.

$$E_K = \frac{1}{2} \left(J_M + J_p + \frac{J_{Spoj}}{i^2} + \frac{J_{K\check{S}}}{i^2} + \frac{m_{Konzola} h^2}{i^2} \right) \omega_M^2 \quad (8.40)$$

Moment setrvačnosti pohybové osy redukovaný na motor vyjádříme z rovnice 8.40

$$J_{RedM} = J_M + J_p + \frac{J_{Spoj}}{i^2} + \frac{J_{K\check{S}}}{i^2} + \frac{m_{Konzola} h^2}{i^2} \quad (8.41)$$

Následuje výpočet zrychlení konzoly, jakým je schopen vybraný motor pohyblivou konzolu zrychlit. Krouticí moment vybraného motoru je uvažován poloviční, kvůli působení odporových sil (valivá vedení, ložiska, matice KŠ atd.).

$$a_{konzola, vypočtené} = h \frac{0,5M_K}{iJ_{RedM}} = 0,864 \text{ m/s}^2 \quad (8.42)$$

Porovnáme požadovanou hodnotu zrychlení a vypočtenou hodnotu zrychlení.

$$a_{Konzola} < a_{Konzola, vypočtené} \quad (8.43)$$

$$0,037 \text{ m/s}^2 < 0,864 \text{ m/s}^2 \quad (8.44)$$

Vybraný motor je schopen zrychlit konzolu dle zvolených požadavků.

Z vypočteného zrychlení konzoly byla určena maximální možná axiální síla od zrychlení konzoly a byla porovnána s maximální dovolenou provozní axiální silou z rovnice 8.32.

$$F_{AX} = m_{Konzola} a_{Konzola, vypočtené} = 10,37 \text{ N} \quad (8.45)$$

$$F_{AX} < F_{Kmax} \quad (8.46)$$

$$10,37 \text{ N} < 7\,861,1 \text{ N} \quad (8.47)$$

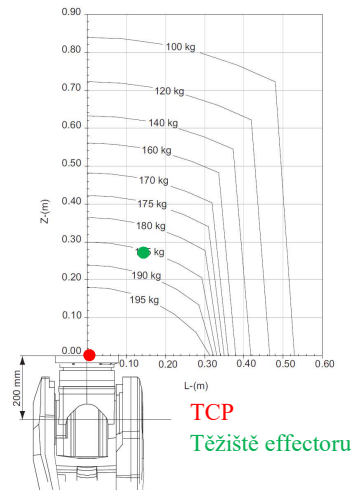
Při maximálním možném zrychlení konzoly nedojde ke vzpěru kuličkového šroubu.

8.2. Kontrola zatížení robotu

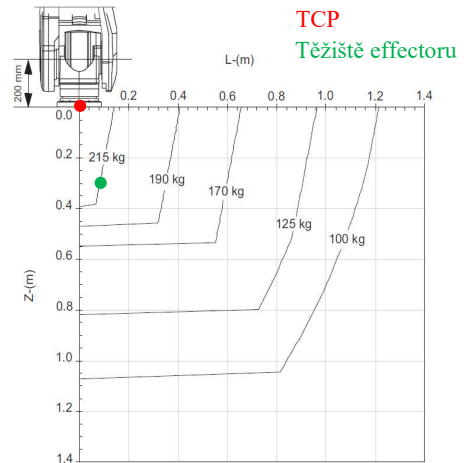
Pro správný výběr a funkci robotu se nelze spokojit pouze s parametry jeho nosnosti a pracovního dosahu. Je nutné porovnat momenty setrvačnosti od nástroje s maximálními dovolenými momenty setrvačnosti páté a šesté osy robotu (dány výrobcem) kvůli dynamickému zatížení robotu. Statické zatížení se kontroluje pomocí zátěžového diagramu z katalogu výrobce.

Výrobce robotu ABB ručí za správnou funkčnost robotu pouze při vyhovující poloze těžiště nástroje v zátěžovém diagramu a kontrole setrvačných momentů pro polohy šesté osy robotu ve vodorovné a svislé poloze. Referenčním zatížením robotu byl uvažován effector pro manipulaci trnu osazeného jehličkami, který nese největší trn i s návínem, jeho celková hmotnost je 93,7 kg. Zátěžové diagramy jsou na Obr. 82 a Obr. 83.

• Zátěžový diagram



Obr. 82 Zátěžový diagram IRB 6640 – 185/2.8 pro svislou polohu šesté osy robotu [61]



Obr. 83 Zátěžový diagram IRB 6640 – 185/2.8 pro vodorovnou polohu šesté osy robotu [61]

Pro práci se zátěžovým diagramem byla určena hodnota parametru L, která se vyjadřuje jako [61]:

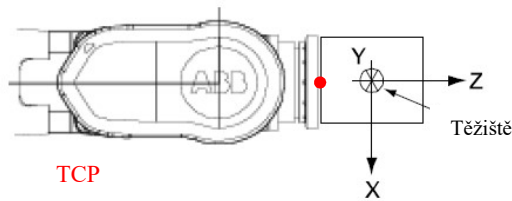
$$L = \sqrt{x_T^2 + y_T^2} \quad (8.48)$$

$$L = 136,13 \text{ mm} \quad (8.49)$$

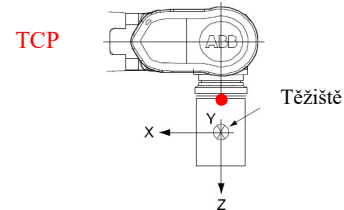
x_T	=	7,35 mm	Vzdálenost těžiště od TCP v ose x
y_T	=	135,93 mm	Vzdálenost těžiště od TCP v ose y
z_T	=	284,7 mm	Vzdálenost těžiště od TCP v ose z

Vzdálenost těžiště od TCP získána pomocí SolidWorks 2019.

• Kontrola momentů setrvačnosti působící na pátou a šestou osu robotu:



Obr. 84 Vodorovná poloha šesté osy robotu [61]



Obr. 85 Svislá poloha šesté osy robotu [61]

Setrvačné momenty pro vodorovnou polohu 6. osy jsou dány rovnicemi z [61]:

$$J_{a5} = m_{effector}((z + 0,2)^2 + L^2) + \max(J_{ox}; J_{oy}) \leq 250 \text{ kgm}^2 \quad (8.50)$$

$$J_{a6} = m_{effector}L^2 + J_{oz} \leq 185 \text{ kgm}^2 \quad (8.51)$$

Setrvačné momenty pro svislou polohu 6. osy jsou dány rovnicemi z [61]:

$$J_{a5} = m_{effector}((z + 0,2)^2 + L^2) + \max(J_{ox}; J_{oy}) \leq 275 \text{ kgm}^2 \quad (8.52)$$

$$J_{a6} = m_{effector}L^2 + J_{oz} \leq 250 \text{ kgm}^2 \quad (8.53)$$

$m_{effector}$	=	93,7 kg	<i>Hmotnost zvoleného effectoru</i>
J_{ox}	=	71,22 kgm ²	<i>Moment setrvačnosti kolem osy x v těžišti effectoru</i>
J_{oy}	=	2,05 kgm ²	<i>Moment setrvačnosti kolem osy y v těžišti effectoru</i>
J_{oz}	=	69,65 kgm ²	<i>Moment setrvačnosti kolem osy z v těžišti effectoru</i>

Momenty setrvačnosti kolem os x, y, z v těžišti a hmotnost effectoru byla získána pomocí programu SolidWorks 2019.

	J_{a5} [kgm ²]	J_{a6} [kgm ²]
Výsledné momenty setrvačnosti	105,97	73,38

Tab. 11 Výsledné momenty setrvačnosti působící effectorem na robota

Dle Tab. 11, Obr. 82 a Obr. 83 vybraný robot ABB IRB 6640 – 185/2.8 vyhovuje všem kontrolám požadovaných jeho výrobcem a není při používání nejtěžšího nástroje přetížen ani staticky ani dynamicky.

8.3. Požadavky na průtok vzduchu

Pro potřeby dimenzování částí pneumatického obvodu byly určeny požadavky na průtok vzduchu výkonových prvků.

- **Gripper Schunk**

Uchopuje a drží osazené trny při jejich manipulaci ze zásobníku do navíjecího stroje a po navinutí zpět do zásobníku. Při výpočtu bylo uvažováno s potřebou manipulace s 6 trny během krátkého časového taktu. Umístit 3 trny ze stroje do zásobníku a ze zásobníku 3 jiné trny do stroje, proto je potřebný průtok stlačeného vzduchu na otevření a zavření čelistí gripperu navýšen o šestnásobek.

$$Q_{Schunk} = \frac{6V_{Schunk}}{t_{Schunk}} = 127,8 \text{ l/min} \quad (8.54)$$

V_{Schunk}	=	0,355 l	<i>Objem stlačeného vzduchu potřebného pro otevření a zavření čelistí gripperu</i>
t_{Schunk}	=	1 s (0,0166 min)	<i>Zvolený čas pro otevření a zavření čelistí gripperu</i>

- **Brzda lineárního vedení Zimmer**

Potřebný průtok pro odaretování pneumatické brzdy byl zjištěn konzultací s jejím výrobcem, který udal 80 l/min jako požadovanou hodnotu průtoku stlačeného vzduchu.

- **Nůžky Vessel**

Pro potřeby stříhání kompozitního vlákna byla uvažována 3 otevření a zavření ostří nůžek v krátkém časovém intervalu, proto byl požadovaný průtok stlačeného vzduchu přenásoben třemi.

$$Q_{Vessel} = \frac{3V_{Vessel}}{t_{Vessel}} = 140,4 \text{ l/min} \quad (8.55)$$

$$V_{Vessel} = 1,17 \text{ l} \quad \text{Objem stlačeného vzduchu potřebného pro otevření a zavření ostří nůžek}$$

$$t_{Vessel} = 1,5 \text{ s (0,025 min)} \quad \text{Zvolený čas pro otevření a zavření ostří nůžek}$$

- **Gripper Fipa**

Pro gripper, který uchopuje vlákno a zavádí ho do jehliček, bylo uvažováno o 3 sevření čelistí (gripper je jednočinný pneumotor) v krátkém časovém intervalu.

$$Q_{Fipa} = \frac{3V_{Fipa}}{t_{Fipa}} = 9 \text{ l/min} \quad (8.56)$$

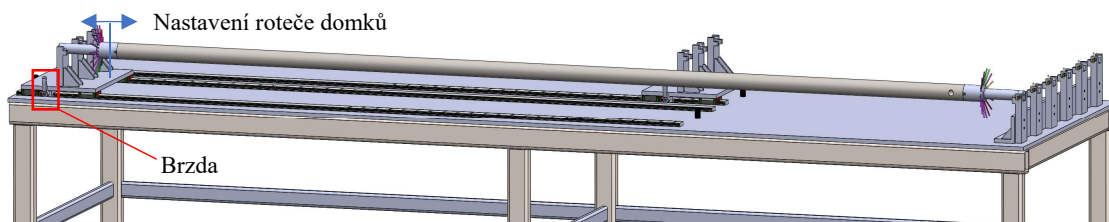
$$V_{Fipa} = 0,05 \text{ l} \quad \text{Objem stlačeného vzduchu potřebného pro zavření čelistí gripperu}$$

$$t_{Vessel} = 1 \text{ s (0,01667 min)} \quad \text{Zvolený čas pro zavření čelistí gripperu}$$

Průtoky stlačeného vzduchu pro výkonové pneumatické prvky byly určeny pro maximální možný takt výroby. Manipulace se šesti trny (3 ze stroje do zásobníku a 3 jiné ze zásobníku do stroje), vlákno je zaváděno do tří trnů a po dokončení navíjení trubky je vlákno ustříhnuto od tří trnů.

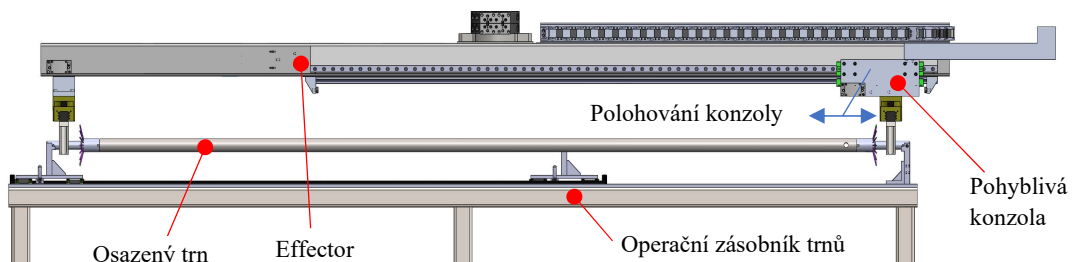
9. Popis cyklu navinutí kompozitní trubky v pracovišti

Operátor výroby v operačním zásobníku trnů nastaví rozteč domků v zásobníku dle délky osazeného trnu, který bude navíjen. Rozteč domků operátor nastaví pomocí domku, který je umístěn na lineárním vedení, jeho polohu zaaretuje pomocí brzdy umístěné na lineárním vedení viz Obr. 86. Do zásobníku je umístěn trn osazený jehličkami a operátor spouští výrobní program.

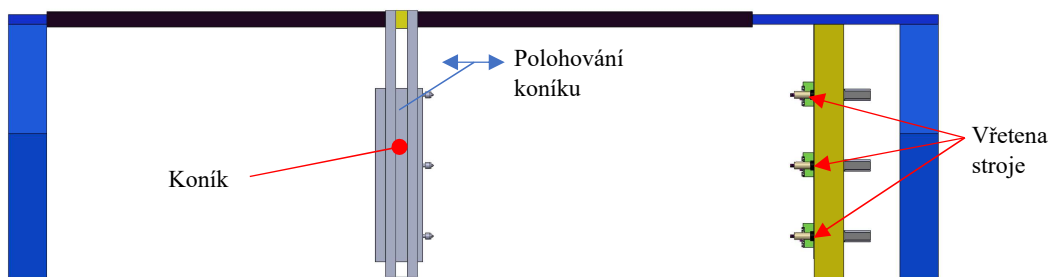


Obr. 86 Nastavení roztečí domků pro trny

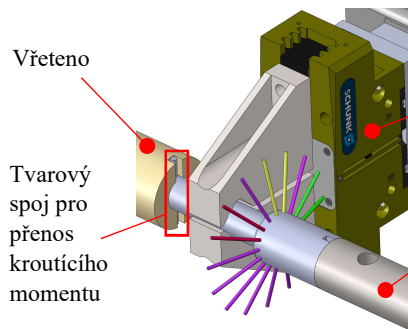
Robot se napoložuje k zásobníku effectoru pro manipulaci osazeného trnu. Pomocí systému automatické výměny end effectorů (dále jen SWS) si robot upne effector pro manipulaci trnu osazeného jehličkami. Robot umístí effector do vodorovné polohy a na effectoru se nastaví rozteč čelistí gripperů posuvem pohyblivé konzoly. Po dosažení požadované rozteče je pohyblivá konzola zaaretována brzdou umístěnou na konzole. Robot najíždí s effectorem na polohu trnu, který do zásobníku umístil operátor výroby. Gripperů uchopí svými čelistmi osazený trn za tělesa jehliček viz Obr. 87. Současně je v navíjecím stroji polohuje koník dle délky osazeného trnu, zobrazeno na Obr. 88. Osazený trn je napoložován do vřetene navíjecího stroje (kolíky na tělese jehliček jsou umístěny do drážek ve vřetení). Upnutí ve stroji je na Obr. 89 a Obr. 90. Na nepoháněném konci je trn upnut ve stroji výsuvem pinoly s otočným hrotem. Gripper otevře své čelisti a robot effector vrátí do jeho zásobníku, kde ho odpojí ze své příruby pomocí SWS.



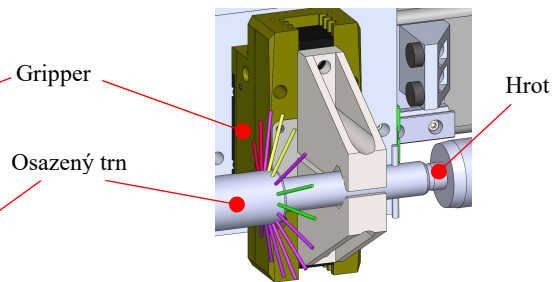
Obr. 87 Effector uchopuje trn



Obr. 88 Navíjecí stroj

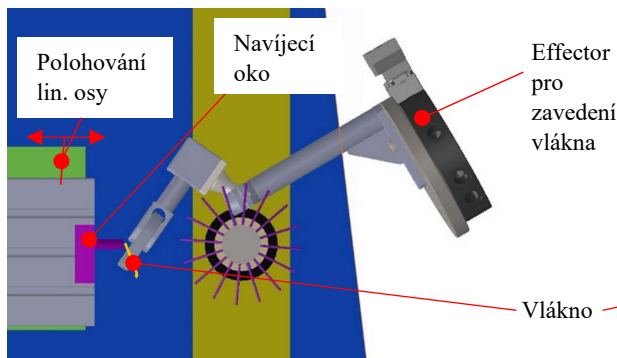


Obr. 89 Detail na upnutí trnu ve vřeteni

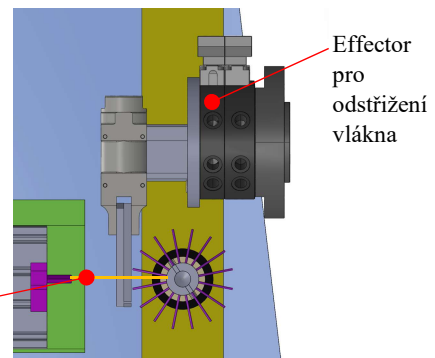


Obr. 90 Detail na upnutí trnu pomocí koníku

Navíjecí jednotka ve stroji najíždí na referenci. Navíjecí oko je příčným posuvem lineární osy napolohováno do definované polohy pro uchycení vlákna. Robot se napolohuje k effectoru pro zavedení vlákna do jehliček, který si upne pomocí SWS. Robot s effectorem najede do definované polohy pro uchycení vlákna. Effector pomocí svých čelistí sevře vlákno viz. Obr. 91 a součinností polohování vřetene, resp. trnu, a pohybů robotu proplete effector vlákno do jehliček a tím připevní (zavede) vlákno k osazenému trnu. Po dokončení operace propletení vlákna do jehliček, effector otevře své čelisti a robot jej vrací do příslušné pozice v zásobníku malých effectorů. Stroj spustí program navíjení a navíjí kompozitní trubku.



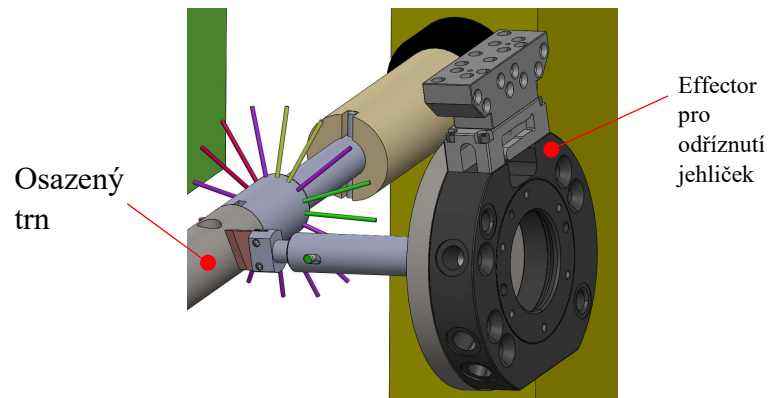
Obr. 91 Uchycení vlákna effectorem



Obr. 92 Střih vlákna effectorem

Po dokončení operace navíjení kompozitní trubky je navíjecí oko napolohováno do definované polohy pro střih vlákna. Robot si upne v zásobníku malých effectorů effector pro odštížení vlákna a napolohuje jej do definovaného místa pro střih vlákna. Nůžky umístěné na effectoru svými ostřími ustříhnou vlákno mezi navíjecím okem a jehličkami resp. tělesem jehliček, zobrazeno na Obr. 92. Následně robot vrací effector do zásobníku a odepíná si ho pomocí SWS.

Dále si robot pomocí SWS upne effector pro odříznutí jehliček. Robot se napolohuje do definovaných míst pro ořez jako na Obr. 93, k ořezu dochází při rotaci trnu. Po dokončení ořezu je effector vrácen do zásobníku.



Obr. 93 Ořez návinu na trnu

Robot si opět upne effector pro manipulaci trnu osazeného jehličkami, napoložuje ho k osazenému trnu ve stroji a grippery uchopí svými čelistmi osazený trn za tělesa jehliček jako na Obr. 89 a Obr. 90. Pinola s otočným hrotem uvolní trn na nepoháněném konci a robot vyjme trn z navíjecího stroje a umístí ho zpět do místa v operačním zásobníku trnů, z kterého jej odebral na začátku výrobního cyklu. V klidovém stavu robotu operátor výroby odebere osazený trn s návínem ze zásobníku.

10. Závěr

Diplomová práce řeší návrh a konstrukci vybraných celků robotického pracoviště pro výrobu navíjených kompozitních trubek dle zadaných podmínek. Bylo navrženo rozložení funkčních prvků v robotickém pracovišti pro výrobu navíjení kompozitních trubek smáčivým navíjením. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

V první polovině teoretické části se práce zabývá definicí kompozitního materiálu, skladbou kompozitního materiálu se zaměřením na vláknové kompozity, popisu technologie navíjení kompozitních dílců a technologických přípravků používaných při navíjení.

Druhá polovina teoretické části se soustředí na průmyslové roboty a manipulátory se sériovou kinematikou, jejich souřadné systémy a trajektorie pohybu. Rozsáhlou kapitolou v této části je popis a rozdělení end effectorů používaných u robotů a manipulátorů, není opomenuta ani sensorika, na kterou přímo navazuje bezpečnost robotických pracovišť.

Praktická část práce začíná popisem vybraného pracoviště pro robotizaci, je tam popsán jeho současný stav a technologický postup výroby navíjených trubek. Hned následující kapitolu tvoří popis navrhovaných variant řešení robotizace pracoviště. Tyto varianty byly prezentovány zadavateli práce, který určil z prezentovaných variant variantu k rozpracování - Navíjecí stroj s manipulací trnu pomocí robotu, doplněnou o požadavky: připevnění vlákna k jehličkám, odříznutí vlákna od jehliček a odříznutí jehliček od navinutého dílce.

Praktická část pokračuje popisem vzniklých effectorů zajišťujících manipulaci navíjecího trnu osazeného jehličkami, připevnění vlákna k jehličkám a odstřížení vlákna od jehliček a effectoru pro odříznutí jehliček, resp. tělesa jehliček, od navinutého dílce. Věnuje se též popisu navržených zásobníků effectorů a operačnímu zásobníku navíjecích trnů.

Součástí praktické části jsou kontrolní a návrhové výpočty. Byla provedena kontrola úchopné síly gripperu uchopujícího navíjecí trn osazený jehličkami při nouzové zastavení, dále byly zkontrolovány klopné momenty působící na gripper vlivem uchopení osazeného trnu. Proběhly kontroly kuličkového šroubu umístěného na effectoru pro manipulaci trnu osazeného jehličkami, kuličkový šroub byl zkontrolován na maximální otáčky a na vzpěr. Proběhla kontrola zvoleného servomotoru, který pohání již zmíněný kuličkový šroub, zda je schopen zrychlovat s pohybovou osou dle zvolených parametrů. Robot prošel kontrolou působících setrvačných momentů od největšího effectoru na pátou a šestou osu robotu dle požadavků výrobce robotu. Byly určeny požadavky na průtok stlačeného vzduchu, které pohání výkonové prvky end effectorů robotu.

Před spuštěním pracovního cyklu robotického pracoviště je vhodné jeho funkčnost ověřit v simulačním programu RobotStudio. Dále bude pracoviště potřebovat zajištění bezpečnostních prvků, jejíž praktické řešení nebylo v zadání této práce. Kapitola bezpečnost robotických pracovišť byla podrobně rozebrána v teoretické části práce a může sloužit jako návod pro její návrh a implementaci pro toto robotické pracoviště.

Hlavním přínosem této práce je nahrazení člověka robotem při vykonávání monotónní a ergonomicky náročné práce.

Seznam zdrojů:

- [1] VRBKA, Jan. MECHANIKA KOMPOZITŮ [online]. Brno, 2008 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z:
https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=83340. Odborná publikace. Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně.
- [2] JONES, Robert M. *Mechanics of composite materials*. 2nd ed. Philadelphia: Taylor and Francis, 1999. ISBN 15-603-2712-X.
- [3] AGARWAL, Bhagwan D. a Lawrence J. BROUTMAN. *Vláknové kompozity*. Přeložil Lubomír SODOMKA. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [4] Složení kompozitního materiálu. In: *The essential chemical industry* [online]. York: Department of Chemistry, University of York, UK., 2013 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z:
<http://www.essentialchemicalindustry.org/materials-and-applications/composites.html>
- [5] BAREŠ, R. Kompozitní materiály. 1. Praha: SNTL, 1988
- [6] MRÁZ, Petr a Jaroslav TALÁCKO. *Konstrukce strojů s kompozitními materiály*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03540-9.
- [7] PETERS, S. T. *Composite filament winding*. Materials Park: ASM International, 2011. ISBN 978-1-61503-722-3.
- [8] QUANJIN, Ma, M R M REJAB, M S IDRIS, B BACHTIAR, J P SIREGAR a M N HARITH. Design and optimize of 3-axis filament winding machine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2017, **257** [cit. 2019-11-06]. DOI: 10.1088/1757-899X/257/1/012039. ISSN 1757-8981. Dostupné z: <http://stacks.iop.org/1757-899X/257/i=1/a=012039?key=crossref.e0f0bb51b5389b000bccadda1b7fc324>
- [9] ABDALLA, F.H., S.A. MUTASHER, Y.A. KHALID, S.M. SAPUAN, A.M.S. HAMOUDA, B.B. SAHARI a M.M. HAMDAN. *Design and fabrication of low cost filament winding machine* [online]. 2007, **28**(1), 234-239 [cit. 2019-11-06]. DOI: 10.1016/j.matdes.2005.06.015. ISSN 02613069. Dostupné z:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0261306905001743>
- [10] SHEN, Frank C. A filament-wound structure technology overview. *Materials Chemistry and Physics* [online]. 1995, **42**(2), 96-100 [cit. 2019-11-06]. DOI: 10.1016/0254-0584(95)01554-X. ISSN 02540584. Dostupné z:
<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/025405849501554X>

- [11] KROČOVÁ, Blanka. *ČÁSTICOVÉ KOMPOZITY VYZTUŽENÉ KRÁTKÝMI VLÁKNY*. Brno, 2012. Diplomová práce. Fakulta Chemická VUT v Brně. Vedoucí práce Petr Poláček.
- [12] Properties of Fibers. *Nano ed Tul* [online]. Liberec: Tul Liberec [cit. 2019-11-16]. Dostupné z: https://nanoed.tul.cz/pluginfile.php/3599/mod_resource/content/2/Properties-of-fibers.pdf
- [13] ČSN 41 2050. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví (ÚNMZ), 1978.
- [14] *Výrobní proces firmy CompoTech* [online]. Sušice: Compo Tech PLUS, spol. s r.o., 2019 [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://compotech.com/cs/technologie/proces-firmy-compotech-2/>
- [15] KOŘÍNEK, Zdeněk. *Kompozity-technologie* [online]. Praha, 2016 [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://kompozity.webnode.cz/>. Skriptum-online. ČVUT.
- [16] *WINDING PINS* [online]. Dresden: Winding pins, 2017 [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://windingpins.com/the-idea/>
- [17] *WINDING PINS* [online]. Dresden: Winding pins, 2017 [cit. 2019-12-01]. Dostupné z: <https://windingpins.com/our-pins/>
- [18] BEDNÁR, Peter. *NÁVRH UPRAVENÉ TECHNOLOGIE NAVÍJENÍ KOMPOZITNÍCH TRUBEK*. Brno, 2016. Diplomová práce. Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně. Vedoucí práce Bohumil Kandus.
- [19] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-80-2144-828-5.
- [20] *Toyota global-roční produkce automobilů* [online]. Japonsko: Toyota, 2019 [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: https://www.toyota-global.com/company/history_of_toyota/75years/data/automotive_business/production/production/japan/production_volume/index.html
- [21] GRUSCHINSKI, Hannes. *The future of the industrial robotics market*. IEEE, 2015, 2015, , 1-4. DOI: 10.1109/ETFA.2015.7301627. ISBN 978-1-4673-7929-8. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7301627/>
- [22] SCHMID, Dietmar. *Řízení a regulace pro strojírenství a mechatroniku*. Deváté. Praha: Europa - Sobotáles, 2005. ISBN 80-867-0610-9.
- [23] TALÁCKO, Jaroslav. *Přednášky k předmětu Výrobní stroje a zařízení: Automatizace výrobních zařízení*. Praha, 2006. Skriptum. Fakulta Strojní, ČVUT.
- [24] ČERNOHORSKÝ, Josef. *ZÁKLADY ROBOTIKY Kinematika a topologie robotů*. In: *Docplayer.cz* [online]. Liberec: <https://docplayer.cz/>, 2018 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/43156364-Zaklady-robotiky-kinematika-a-topologie-robotu.html>

- [25] *Elektrika.cz: ABB: Rodina robotů SCARA* [online]. elektrika.cz: elektrika.cz, 2016 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://elektrika.cz/data/clanky/abb-rodina-robotu-scara>
- [26] *ABB: IRB 1600* [online]. ABB: ABB, 2019 [cit. 2019-12-28]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-1600>
- [27] HUI ZHANG, JIANJUN WANG, G. ZHANG, ZHONGXUE GAN, ZENGXI PAN, HONGLIANG CUI a ZHENQI ZHU. Machining with flexible manipulator: toward improving robotic machining performance. *Proceedings, 2005 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*. IEEE, 2005, **2005**(1), 1127-1132. DOI: 10.1109/AIM.2005.1511161. ISBN 0-7803-9047-4. Dostupné také z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1511161/>
- [28] SKAŘUPA, Jiří. Průmyslové roboty a manipulátory: učební text. *Docplayer* [online]. Ostrava: VŠB-TUO, 2007 [cit. 2019-12-30]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/6707948-Prumyslove-roboty-a-manipulatory.html>
- [29] *Schunk PGN-P* [online]. Grand Rapids, USA: Donald Engineering, 2019 [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://donaldengineering.com/Pneumatic-Gripping.php>
- [30] *Šrotový elektromagnet* [online]. Brno: Selos, 2019 [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://www.magnety.cz/srotove-elektromagnety/srotovy-elektromagnet-dimet-emg-cr/>
- [31] *Prísavka SU 32 mm NBR* [online]. Žebrák: Kompresory Vzduchotechnika s.r.o, 2019 [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://www.kompresory-vzduchotechnika.cz/prisavka-su-32-mm-nbr/>
- [32] *ZHP* [online]. Japonsko: SMC, 2019 [cit. 2019-12-31]. Dostupné z: <https://www.smc.eu/cs-cz/produkty-a-podpora/zhp-prisavka-s-vestavenym-ejektorem~135148~cfg>
- [33] ABUŠINOV, Alexandr. Automatica v Mnichově překonala očekávání. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2006, 17.07.2006, **10**(7), 1 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/automatica-v-mnichove-prekonala-ocekavani.html>
- [34] CEPOLINA, Francesco. *Development of micro-tools for surgical applications* [online]. Genoa, 2005 [cit. 2020-01-01]. Dostupné z: <https://slideplayer.com/slide/15470109/>. Disertační práce. Università degli Studi di Genova. Vedoucí práce Rinaldo Michelini, Philippe Bidaud.
- [35] ĎAĎO, Stanislav a Marcel KREIDL. *Senzory a měřicí obvody*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1996. ISBN 80-010-1500-9.
- [36] VOLF, Jaromír a Josef JENČÍK. *Technická měření*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-010-2138-6.
- [37] *Technická dokumentace a EU prohlášení o shodě* [online]. Brusel: Evropská unie, 2006 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/compliance/technical-documentation-conformity/index_cs.htm

- [38] VYSOCKÝ, Aleš. *Roboty přímo spolupracující s člověkem* [online]. Ostrava, 2019 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://dspace.vsb.cz/handle/10084/138576>. Disertační práce. VŠB-TU Ostrava. Vedoucí práce Petr Novák.
- [39] VOJÁČEK, Antonín. Bezpečnost strojů realizovaná světelnými závoryami. *Automatizace.HW.cz* [online]. Automatizace.HW, c1997-2014, 29.5.2014 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-a-zarizeni-realizovana-svetelnymi-zavesy>
- [40] ČERVENKA, Aleš. *Návrh robotického pracoviště na překládání „sběrných trubek“* [online]. Praha, 2015 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/63262>. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Vladimír Andrlík.
- [41] PLATBROOD, Fanny a Otto GÖRNEMANN. SICK AG WHITE PAPER. *Sick AG* [online]. Düsseldorf: Sick, 2018 [cit. 2020-01-03]. Dostupné z: https://cdn.sick.com/media/docs/6/96/996/Whitepaper_Safe_Robotics_en_IM0072996.PDF
- [42] VOJÁČEK, Antonín. TEST - Základní bezpečnostní světelné závěsy Leuze MLC510-600. *Automatizace.HW.cz* [online]. Automatizace.HW, c1997-2014 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju-komponenty/test-zakladni-bezpecnostni-svetelne-zavesy-leuze-mlc510-600.html>
- [43] *Zařízení nouzového zastavení* [online]. Brno: Časopis ElektroPrůmysl.cz, 2017 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/elektronicke-prvky-a-systemy/zarizeni-nouzoveho-zastaveni>
- [44] *Total STOP ve skříňce 1Z+1V* [online]. Otrokovice: EMS ELEKTRO, 2020 [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: <https://www.ems-elektro.cz/ovladaci-hlavice/total-stop-ve-skrince-1z-1v-24892.htm>
- [45] JESRANI, Himanshi. Making It — Chapter 4: (Thin & Hollow) Filament Winding. *Medium* [online]. c2019 [cit. 2020-01-07]. Dostupné z: <https://medium.com/@hpjesrani/filament-winding-94c796ca28f0>
- [46] HJØRUNGDAL, Ola. Windtec advanced composites. *Youtube* [online]. 2015 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=SYW0rhNATXk&t=65s>
- [47] QUANJIN, Ma, M.R.M. REJAB, M.S. IDRIS, Nallapaneni Manoj KUMAR a M.N.M. MERZUKI. Robotic Filament Winding Technique (RFWT) in Industrial Application: A Review of State of the Art and Future Perspectives. *International Research Journal of Engineering and Technology* [online]. 2018, **2018**(12), 9 [cit. 2020-05-04]. ISSN 2395-0056. Dostupné z: <https://www.irjet.net/archives/V5/i12/IRJET-V5I12312.pdf>

- [48] FORMLABS. Manufacturing Custom Rollers for Composite Filament Winding. In: *Youtube* [online]. Formlabs: Formlabs, 2019 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=IU1Js0pd6R4>
- [49] Process MF 2: With attachment. In: *MF Tech* [online]. Argentan Cedex: MF Tech, 2020 [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <http://www.mftech.fr/en/process-2/>
- [50] Argentan. MFtech rachetée par une société bretonne. In: *Ouest-France* [online]. Francie: Ouest-France, 2018 [cit. 2020-05-04]. Dostupné z: <https://www.ouest-france.fr/normandie/argentan-61200/argentan-mftech-rachetee-par-une-societe-bretonne-5962299>
- [51] FANUC AMERICA CORPORATION. Carbon Fiber Winding System, Courtesy of Exact Automation. *Youtube* [online]. 2020 [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=K-iKnNYRMVM&t=40s>
- [52] *Průmyslové roboty ABB* [online]. ABB: ABB, 2020 [cit. 2020-06-12]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty>
- [53] WOLF, Andreas a Henrik SCHUNK. *Grippers in motion: the fascination of automated handling tasks*. Munich: Carl Hanser Verlag, [2018]. ISBN 978-1-56990-714-6.
- [54] *Product specification IRB 6640* [online]. ABB: ABB, 2020 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC028284-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [55] JAKUB, Kratina. SOUČINITEL TŘENÍ. *E-konstrukter.cz* [online]. ČR: e-konstrukter, 2013 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/soucinitel-treni>
- [56] Gripping force O.D. gripping 318594 PGN-plus-P 160-1-AS. In: *Schunk.com* [online]. D-74348 Lauffen/Neckar: Schunk, 2020 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: https://schunk.com/de_en/gripping-systems/product/49969-318594-pgn-plus-p-160-1-as/
- [57] *Dimensions and maximum loads 318594 PGN-plus-P 160-1-AS* [online]. Schunk: Schunk, 2020 [cit. 2020-06-22]. Dostupné z: https://schunk.com/de_en/gripping-systems/product/49969-318594-pgn-plus-p-160-1-as/
- [58] Kuličkové šrouby. *Hiwin.cz* [online]. ČR: Hiwin, 2020, 2020 [cit. 2020-06-23]. Dostupné z: <https://www.hiwin.cz/download/cd5d1a50e11cb4e2503bd18e3571c20d>
- [59] *Product Information Pressure maintenance valve SDV-P* [online]. Německo: Schunk, 2020 [cit. 2020-06-27]. Dostupné z: <https://schunk.com/fileadmin/pim/docs/IM0007438.PDF>

- [60] Pracovní rozsah IRB 6640. *Abb.cz* [online]. abb, 2020 [cit. 2020-06-27]. Dostupné z: <https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-6640/irb-6640-technicka-data>
- [61] Product specification IRB 6640. *Abb.cz* [online]. abb: abb, 2017 [cit. 2020-06-27]. Dostupné z: <https://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=3HAC028284-001&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [62] Katalogový list servomotor EMMT-AS-60-S-LS-RMB. *Festo* [online]. Festo: Festo, 2020 [cit. 2020-06-27]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/xDKl.asp?PartNo=5242199&mode=extApp&xR=DKI3WebDataSheetV1
- [63] Katalogový list převodovky EMGA-60-P-G3-EAS-60. *Festo* [online]. Festo: Festo, 2020 [cit. 2020-06-27]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/cs_cz/products_EMGA
- [64] PGN-plus-P 160-1-AS. *Schunk.com* [online]. Schunk: Schunk, 2020 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/49969-318594-pgn-plus-p-160-1-as/
- [65] RMS 22-S-M8. *Schunk.com* [online]. Schunk: Schunk, 2020 [cit. 2020-06-17]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/1436-0377720-rms-22-s-m8/
- [66] Zimmer MBPS2012FS1. *Zimmer* [online]. Zimmer: Zimmer, 2020 [cit. 2020-07-17]. Dostupné z: [http://www.zimmer-group.de/us/product/\\$mn-zim-\\$plc-v-\\$pg-klbr-\\$sr-mbps_624895_1/mbps2012fs1](http://www.zimmer-group.de/us/product/$mn-zim-$plc-v-$pg-klbr-$sr-mbps_624895_1/mbps2012fs1)
- [67] Ovladač Festo. *Festo* [online]. Festo: Festo, 2020 [cit. 2020-07-17]. Dostupné z: https://www.festo.com/cat/en-gb_gb/data/doc_CS/PDF/CZ/CMMT-AS_CZ.PDF
- [68] Energořetěz. *Igus* [online]. igus: igus, 2020 [cit. 2020-07-17]. Dostupné z: https://www.igus.co.uk/iPro/iPro_01_0025_0010_GBen.htm?ArtNr=2500.02.075.0&c=GB&l=en
- [69] Hadice. *Smc* [online]. smc: smc, 2020 [cit. 2020-07-17]. Dostupné z: https://static.smc.eu/pdf/TLM-TILM-A_EU.pdf
- [70] SWS-076. *Schunk.com* [online]. Schunk: Schunk, 2020 [cit. 2020-07-18]. Dostupné z: https://schunk.com/cz_cs/uchopovaci-systemy/product/46391-0302392-swk-076-000-000-sg/
- [71] Nůžky GT-HS30. *Vessel* [online]. Vessel: Vessel, 2020 [cit. 2020-07-18]. Dostupné z: <https://www.vessel.co.jp/english/product/airnipper/airnipper/detail/360212>
- [72] Fipa gripper. *Fipa.com* [online]. Fipa: Fipa, 2020 [cit. 2020-07-18]. Dostupné z: <https://www.fipa.com/en/series-100-sprue-grippers-clamping-diameter-10-mm-single-acting/>

Seznam obrázků

Obr. 1 Složení kompozitního materiálu [4]	13
Obr. 2 Typy vláknových kompozitů [1]	14
Obr. 3 Smáčivé navíjení [45]	16
Obr. 4 Obvodové navíjení [9]	17
Obr. 5 Šroubovicové navíjení [9]	17
Obr. 6 Polární navíjení [9]	18
Obr. 7 Jehličky s trnem nekruhového průřezu [17]	18
Obr. 8 Jehličky [18]	18
Obr. 9 Trn s jehličkami [16]	19
Obr. 10 Objemová produkce kolových vozidel společnosti Toyota [20]	20
Obr. 11 Roční globální dodávky průmyslových robotů [21]	20
Obr. 12 TTT struktura [24]	21
Obr. 13 SCARA ABB [25]	21
Obr. 14 Angulární robot ABB IRB 1600 [26]	22
Obr. 15 Angulární robot ABB IRB 6400 s 6 stupni volnosti [27]	22
Obr. 16 Souřadné systémy robotu [19]	23
Obr. 17 Přímá a inverzní kinematika [19]	24
Obr. 18 Interpolace pohybu robotů [19]	25
Obr. 19 Ukázka transformace T1 - Schunk PGN-P [29]	27
Obr. 20 Pasivní magnetický úchopný prvek 1). permanetní magnety 2).deska přípevněná k vyhazovači [28]	27
Obr. 21 Aktivní magnetický úchopný prvek-šrotový elektromagnet [30]	27
Obr. 22 Pasivní podtlakové úchopné prvky - Přisavka SU 32 mm NBR [31]	28
Obr. 23 Aktivní podtlakové úchopné prvky – ZHP s ejektorem [32]	28
Obr. 24 Robot s technologickou hlavici pro bodové svařování [33]	28
Obr. 25 Speciální hlavice - vytvořené pro chirurgické využití [34]	29
Obr. 26 Schéma smart senzoru [19]	30
Obr. 27 Rozdělení norem [38]	31
Obr. 28 Postupový diagram minimalizace rizik [38]	33
Obr. 29 Vzdálenosti ochranných prvků v strojním zařízení dle ČSN EN ISO 13857 [39]	34
Obr. 30 Oplocené robotické pracoviště s detailem na bezpečnostní dveřní snímač [41]	34
Obr. 31 Lis opatřen bezpečnostní závorou [42]	35
Obr. 32 Schéma pro výpočet bezpečné vzdálenosti světelných závor [39] 1-světelná závora, 2-nebezpečná zóna, 3-podlaha	35
Obr. 33 Tlačítko nouzového zastavení [44]	36
Obr. 34 Konce navíjecích trnů	37
Obr. 35 Konce tělesa jehliček spojující jehličky s trnem	37
Obr. 36 Těleso jehliček spojující jehličky s vřetenem	38
Obr. 37 Konec vřetene navíjecího stroje	38
Obr. 38 Mezioperační zásobník trnů	38
Obr. 39 Navíjecí stroj	38
Obr. 40 Detail zavádění vlákna	38
Obr. 41 Robot s navíjecí jednotkou jako end effectorem [46]	39
Obr. 42 Navíjecí trn rotován šestou osu robotu [49]	40

Obr. 43 Navíjecí trn poháněn přidavným motorem [50]	40
Obr. 44 Robot manipulující s navíjecím trnem do stroje [51]	41
Obr. 45 Skica vstupních parametrů	41
Obr. 46 Effector pro manipulaci trnu osazeného jehličkami	42
Obr. 47 Boční pohled na pohyblivou konzolu	43
Obr. 48 ISO pohled na pohyblivou konzolu	43
Obr. 49 Pohybová osa na effectoru	44
Obr. 50 Boční pohled na nosnou strukturu	44
Obr. 51 Pohled na energetický řetěz	45
Obr. 52 ISO pohled na effector pro odstřížení vlákna	46
Obr. 53 Místo stříhu boční pohled	46
Obr. 54 Místo stříhu půdorys	46
Obr. 55 Effector pro zavedení vlákna do jehliček	47
Obr. 56 Effector pro zavedení vlákna - natočení griperru až o 65°	47
Obr. 57 Uchycení vlákna	47
Obr. 58 Propletení vlákna do jehliček	47
Obr. 59 Na čepel nepůsobí řezná síla, pružina je nestlačená	48
Obr. 60 Na čepel působí řezná síla, pružina je stlačená	48
Obr. 61 Zobrazení místa ořezu tělesa jehliček od trnu	48
Obr. 62 Zásobník effectoru pro manipulaci	49
Obr. 63 Zásobník malých effectorů	49
Obr. 64 Ukázka děr na mezipřírubě pro středící kolíky	49
Obr. 65 Operační zásobník trnů	50
Obr. 66 Detail na dosedací plochu domku	50
Obr. 67 Pracovní rozsah robotu IRB 6640 -180/2.8 [60]	51
Obr. 68 Pneumatický obvod pro prvky na end effectorech	52
Obr. 69 Schématické znázornění funkce ventilu Schunk SDV-P 10-E [59]	53
Obr. 70 Řízená lineární osa pro příčný posuv navíjecího oka - zdroj CompoTech	53
Obr. 71 ISO pohled na pracoviště	54
Obr. 72 Půdorys pracoviště	54
Obr. 73 Závislost úchopné síly na délce čelisti pro PGN-plus P 160-1-AS [56]	56
Obr. 74 Momenty na gripperu Schunk [57]	57
Obr. 75 Gripper v rovinně z-x vodorovném směru čelistí	57
Obr. 76 Gripper s osazeným trnem v rovině y-x	57
Obr. 77 Výpočtový model - 1x staticky neurčitý nosník	57
Obr. 78 Gripper v rovinně z-x svislém směru čelistí	58
Obr. 79 Gripper s osazeným trnem v rovině y-z	58
Obr. 80 Výpočtový model - 1x staticky neurčitý nosník	58
Obr. 81 Schéma pohybové osy	60
Obr. 82 Zátěžový diagram IRB 6640 – 185/2.8 pro svislou polohu šesté osy robotu [61]	62
Obr. 83 Zátěžový diagram IRB 6640 – 185/2.8 pro vodorovnou polohu šesté osy robotu [61]	62
Obr. 84 Vodorovná poloha šesté osy robotu [61]	62
Obr. 85 Svislá poloha šesté osy robotu [61]	62
Obr. 86 Nastavení roztěčí domků pro trny	65
Obr. 87 Effector uchopuje trn	65

Obr. 88 Navíjecí stroj.....	65
Obr. 89 Detail na upnutí trnu ve vřetení	66
Obr. 90 Detail na upnutí trnu pomocí koníku.....	66
Obr. 91 Uchycení vlákna effectorem.....	66
Obr. 92 Střih vlákna effectorem	66
Obr. 93 Ořez návínou na trnu	67

Seznam tabulek:

Tab. 1 Mechanické vlastnosti polymerních matic [6].....	14
Tab. 2 Srovnání vláken a oceli [6],[13] (*ocel je homogenní materiál a E je ve všech směrech stejné)	15
Tab. 3 Výrobní technologie dle objemového podílu vláken [6]	16
Tab. 4 Rozdělení úchopných effectorů [23]	26
Tab. 5 Transformační bloky [19],[28]	26
Tab. 6 Matice rizik [19]	32
Tab. 7 Význam rizik [19].....	32
Tab. 8 Porovnání robotů [52].....	51
Tab. 9 Úchopné síly dle katalogu Schunk [53].....	55
Tab. 10 Výsledky výpočtů úchopných sil.....	56
Tab. 11 Výsledné momenty setrvačnosti působící effectorem na robota	63

Seznam použitých softwarů

Microsoft Word 2010

Microsoft Excel 2010

SolidWorks Student Edition 2019

SMCDraw

RobotStudio 2019

Seznam příloh

Výkresová dokumentace

DP-1778-000-000	Výkres sestavy effectoru pro manipulaci osazených trnů
DP-1778-000-000-K	Kusovník k výkresu sestavy effectoru pro manipulaci osazených trnů
DP-1778-L	Layout pracoviště
DP-1778-004-001	Výrobní výkres čelist
DP-1778-005-000	Výkres podsestavy příruba robotu
DP-1778-005-001	Výrobní výkres příruba

Elektronické přílohy

VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE.pdf

DP-PTACEK-1778-TEXTOVA_CAST.pdf

DP-PTACEK-1778-EFFECTOR_PRO_MANIPULACI_OSAZENYCH_TRNU.step

DP-PTACEK-1778-EFFECTOR_PRO_ODSTRIZENI_VLAKNA.step

DP-PTACEK-1778-EFFECTOR_PRO_ZAVEDENI_VLAKNA_DO_JEHLICEK.step

DP-PTACEK-1778-EFFECTOR_PRO_ODRIZNUTI_JEHLICEK.step

DP-PTACEK-1778-ZASOBNIK_EFFECTORU_PRO_MANIPULACI.step

DP-PTACEK-1778-ZASOBNIK_MALYCH_EFFECTORU.step

DP-PTACEK-1778-OPERACNI_ZASOBNIK_TRNU.step

DP-PTACEK-1778-PRACOVISTE.step

DP-PTACEK-1778-OSAZENY_TRN_2500.step