

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 Strojní inženýrství

Studijní zaměření: Progresivní technologie a materiály

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh uspořádání laboratoře kolaborativního robota

Autor: **Martina Böhmová**

Vedoucí práce: **Ing. Václava Pokorná**

Akademický rok 2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martina BÖHMOVÁ**
Osobní číslo: **S19B0092K**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Progresivní technologie a materiály**
Téma práce: **Návrh uspořádání laboratoře kolaborativního robota**
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování

1. Úvod: rešerše z oblasti projektování kolaborativních pracovišť
2. Analýza vstupních podmínek
3. Návrh dispozičního řešení
4. Experimentální ověření
5. Závěr

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- MRÁZ, Petr. Průmyslové roboty v praxi. In: [online]. Praha Dostupné z: <https://adoc.pub/prmyslove-roboty-v-praxi.html>
- NOVÁK, J. a ŠLAMPOVÁ, P. Racionalizace výroby [Online]. Ostrava: Fakulta strojní VŠB – TUO. Dostupné z: <http://projekty.fs.vsb.cz/414/racionalizacevyroby.pdf>
- <https://automatizace.hw.cz/>

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Václava Pokorná**
Katedra technologie obrábění

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Václava Pokorná**
Katedra technologie obrábění

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **28. května 2021**

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2020

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucí bakalářské práce Ing. Václavě Pokorné za odborné vedení práce a za podporu a trpělivost při jejím vytváření. Děkuji také za poskytnutí literatury a dalších podkladů a materiálů k tomuto tématu se vztahujících, možnost konzultací a osobních setkání za účelem diskuse o řešené problematice.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Böhmová	Jméno Martina	
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 Strojní inženýrství		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Pokorná	Jméno Václava	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU - FST – KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh uspořádání laboratoře kolaborativního robota		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2021
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	44	TEXTOVÁ ČÁST	30	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Práce se zabývá navržením dispozičního řešení laboratoře UL 211 s ohledem na bezpečnost a celkovou ergonomii kolaborativního pracoviště.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Kolaborativní robot, bezpečnost, ergonomie, robotika bez klecí

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Böhmová	Name Martina
STUDY PRO-GRAMME	B0715A270013 Mechanical Engineering	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Pokorná	Name Václava
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR
TITLE OF THE WORK	Design of a collaborative robot laboratory layout	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2021
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	44	TEXT PART	30	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This (bachelor) thesis deals with the design of the layout of the UL 211 laboratory with regard to the safety and overall ergonomics of the collaborative workplace.
KEY WORDS	Collaborative robot, safety, ergonomics, robotics without cages

Obsah:

ZADÁNÍ BP	2
PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	9
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM GRAFŮ	10
SEZNAM OBRÁZKŮ	10
ÚVOD	11
1 REŠERŠE Z OBLASTI PROJEKTOVÁNÍ KOLABORATIVNÍCH PRACOVIŠŤ	12
1.1 <i>Historie průmyslových robotů</i>	12
1.2 <i>Kolaborativní (spolupracující) roboti</i>	13
1.3 <i>Formy spolupráce mezi člověkem a robotem</i>	14
1.3.1 <i>Popis jednotlivých variant</i>	15
1.4 <i>Výhody kolaborativních robotů</i>	16
1.5 <i>Řešení kolaborativních pracovišť z pohledu bezpečnosti práce</i>	17
1.6 <i>Ergonomie kolaborativního pracoviště</i>	20
1.6.1 <i>Přednosti člověka oproti stroji</i>	20
1.6.2 <i>Kolaborativní robot ve výuce</i>	21
2 ANALÝZA VSTUPNÍCH PODMÍNEK	23
2.1 <i>Katedra technologie obrábění</i>	23
2.2 <i>Popis laboratoře UL 211</i>	23
2.2.1 <i>Rozdělení vybavení laboratoře</i>	24
2.3 <i>Výběr kolaborativního robota do laboratoře UL 211</i>	28
2.3.1 <i>Kolaborativní robot UR5e</i>	29
3 NÁVRH DISPOZIČNÍHO ŘEŠENÍ	32
3.1 <i>Návrh č.1</i>	33
3.2 <i>Návrh č.2</i>	34
3.3 <i>Návrh laboratoře č.3</i>	35
4 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ	36
4.1 <i>Aplikace multikriteriální metody</i>	36
4.2 <i>Vyhodnocení</i>	38
4.3 <i>Realizace návrhu č. 3</i>	39
5 ZÁVĚR	41
6 REFERENCE	43

Přehled použitých zkratk a symbolů

EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
ISO/TS	Technická specifikace ISO
KPV	Katedra průmyslového inženýrství a managementu
KTO	Katedra technologie obrábění
KOBOT	Robot ve vzájemné spolupráci (kooperaci) s člověkem
AGV	Specializovaná tažná skladová technika
CNC	Počítačem řízený obráběcí stroj

Seznam tabulek

TABULKA 2-1 PŘEHLED SPECIFIKACÍ KONKURENČNÍCH ROBOTŮ	28
TABULKA 4-1 S VÝSLEDNÝMA HODNOTAMI ANALÝZY	38

Seznam grafů

GRAF 1 SROVNÁNÍ DOSAHU VŮČI UŽITNÉ NOSNOSTI ROBOTŮ	29
--	----

Seznam obrázků

OBRÁZEK 1-1 SVAŘOVACÍ ROBOTI V AUTOMOBILOVÉM PRŮMYSLU [3]	12
OBRÁZEK 1-2 POČET ROČNÍ INSTALACE PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ [4]	13
OBRÁZEK 1-3 MOŽNÉ SPOLUPRÁCE MEZI ČLOVĚKEM A ROBOTEM [7]	15
OBRÁZEK 1-4 ÚROVNĚ NEBEZPEČÍ PORANĚNÍ ZÁSAHEM ROBOTY [10]	18
OBRÁZEK 1-5 BEZPEČNOSTNÍ MONITOROVANÉ ZASTAVENÍ [9]	19
OBRÁZEK 1-6 MONITOROVÁNÍ RYCHLOSTI A ODSTUPU [9]	19
OBRÁZEK 1-7 MOŽNOST RUČNÍHO VEDENÍ [9]	19
OBRÁZEK 1-8 OMEZENÍ VÝKONU A SÍLY [9]	19
OBRÁZEK 1-9 ROBOT V LABORATOŘI NA ZÁPADOČESKÉ UNIVERZITĚ [16]	22
OBRÁZEK 2-1 UKÁZKA PŮVODNÍHO USPOŘÁDÁNÍ LABORATOŘE UL211 POHLED OD TABULE [17].....	24
OBRÁZEK 2-2 POHLED NA PŮVODNÍ USPOŘÁDÁNÍ LABORATOŘE UL 211 FOCENO OD CNC STROJŮ [17].....	25
OBRÁZEK 2-3 CNC STROJ 1.....	25
OBRÁZEK 2-4 CNC STROJ 2.....	26
OBRÁZEK 2-5 STOLY	26
OBRÁZEK 2-6 DISPOZIČNÍ ŘEŠENÍ LABORATOŘE UL 211 PŘED ÚPRAVOU	27
OBRÁZEK 2-7 KUKA LBR IIWA R820 [20]	28
OBRÁZEK 2-8 UR5E [19]	28
OBRÁZEK 2-9 FANUC CR-7IA/L [21].....	28
OBRÁZEK 2-10 KOLABORATIVNÍ ROBOT TYP UR5E [19]	30
OBRÁZEK 2-11 ROZMĚROVÉ SPECIFIKACE ROBOTY	30
OBRÁZEK 2-12 ROBOT STOJÍCÍ NA MOBILNÍ JEDNOTCE	31
OBRÁZEK 2-13 FRÉZKA.....	31
OBRÁZEK 3-1 NÁVRH LABORATOŘE Č.1	33
OBRÁZEK 3-2 NÁVRH LABORATOŘE Č.2	34
OBRÁZEK 3-3 VARIANTA Č.3	35
OBRÁZEK 4-1 NÁVRH LABORATOŘE Č.3	39
OBRÁZEK 4-2 REALIZACE ZVOLENÉHO NÁVRHU	40
OBRÁZEK 4-3 REALIZACE ZVOLENÉHO NÁVRHU	40
OBRÁZEK 5-1 KOLIZE ROBOTY S LIDSKOU RUKOU.....	41
OBRÁZEK 5-2 OVLÁDACÍ PANEL ROBOTY.....	41
OBRÁZEK 5-3 NÁZORNÁ UKÁZKA PRÁCE ROBOTY V LABORATOŘI UL 211.....	42

Úvod

Tato práce se zabývá návrhem uspořádání laboratoře kolaborativního robota na Katedře technologie obrábění. Tato katedra je součástí Fakulty strojní v Plzni. Cílem této práce je navrhnout vhodné uspořádání laboratoře tak, aby bylo možno využít tuto laboratoř několika způsoby. Robotické pracoviště bude primárně určeno pro výuku, ale zároveň bude využíváno i pro výzkumné práce na katedře. Vzhledem k charakteru použití tohoto kolaborativního robota, musí toto pracoviště splňovat požadavky, které umožňují vizuální a poslechovou kontrolu. Bezpodmínečně je zde nutné dodržet bezpečnostní kritéria.

Práce se svým obsahem rozděluje na 2 části. V první, rešeršní části, jsou shrnuty základní poznatky o kolaborativní robotice, typu: co je to kolaborativní robot, co jsou jeho přednosti a proč o něj v poslední době mezi firmy roste zájem. Dále jsou v práci prezentovány základní bezpečnostní normy a požadavky, které se používají při návrhu robotizovaných pracovišť. Jsou zde také zohledněny a popsány možná rizika spojená s podobným typem pracovišť

Tato teoretická část předchází praktické studii a návrhu tří variant nového uspořádání konkrétní laboratoře, kde se plánuje umístit robot, spolupracující s malým frézovacím centrem. Nejprve budou zvažována všechna požadovaná kritéria, která souvisí s bezpečností, ergonomií a bezpodmínečnými podmínkami pro výuku. Na základě jejich hodnocení bude vybráno optimální řešení, s ohledem na prostorové možnosti a vybavení laboratoře.

Toto navrhované pracoviště by mělo sloužit převážně k výuce programování moderních robotů používaných v průmyslové praxi a mělo by dát možnost studentům vyzkoušet si práci (spolupráci) s kolaborativním robotem osobně.

1 Rešerše z oblasti projektování kolaborativních pracovišť

1.1 Historie průmyslových robotů

Průmyslový robot je definován jako: „Automaticky řízený, opakovaně programovatelný, víceúčelový manipulátor programovatelný ve třech nebo více osách, které mohou být buď fixované na místě, nebo mobilní pro použití v průmyslových automatických aplikacích" [1]

První programovatelný mechanismus si v roce 1954 nechal patentovat George Devol, tento muž je pokládán za zakladatele průmyslových robotů a zároveň společně s Josephem Engelbergem založil první firmu vyrábějící roboty. Do konce 70. let 20. století byli roboti využíváni zejména pro automobilový průmysl. [2]

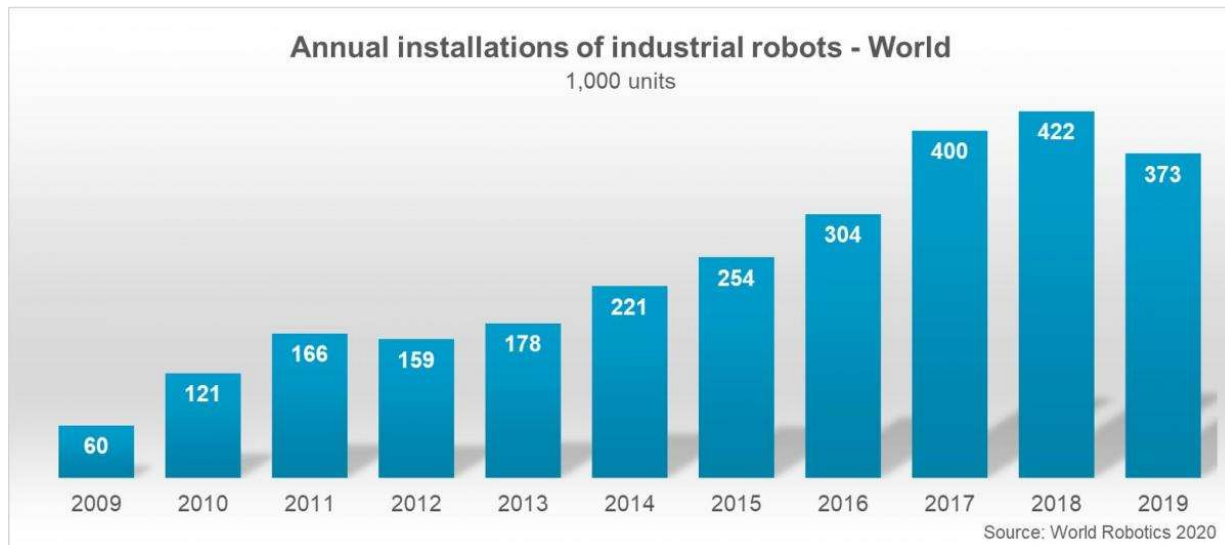
Přednostmi průmyslových robotů jsou hlavně schopnost přenášení velké užitkové hmotnosti a rychlost vykonání požadované operace. Jejich hlavní nevýhoda je nebezpečí v bezprostřední blízkosti pracujícího robota. Kvůli této negativní vlastnosti jsou průmyslové roboty většinou umístovány do bezpečnostních klecí. [2] Průmyslové roboty se uplatňují především ve výrobních sériových linkách, nebo v provozech, kde nejsou pro člověka příznivé výrobní podmínky, anebo také ve výrobě, kde je kladen velký důraz na přesnost. Typickým příkladem využití je automobilový průmysl, kde provádějí nebezpečné procesy, jako jsou například lakovny nebo svařovny automobilových dílů. Na obrázku č. 1-1 je ukázán proces svařování karoserie automobilu, tedy využití svařovacích robotů.



obrázek 1-1 Svařovací roboti v automobilovém průmyslu [3]

Výzkum na Dánské universitě, v roce 2005, měl za úkol stvořit nový flexibilní a uživatelsky přívětivý robot. Tento výzkum trval tři roky a výsledkem byl první kolaborativní robot UR5 společnosti Universal Robots. [2]

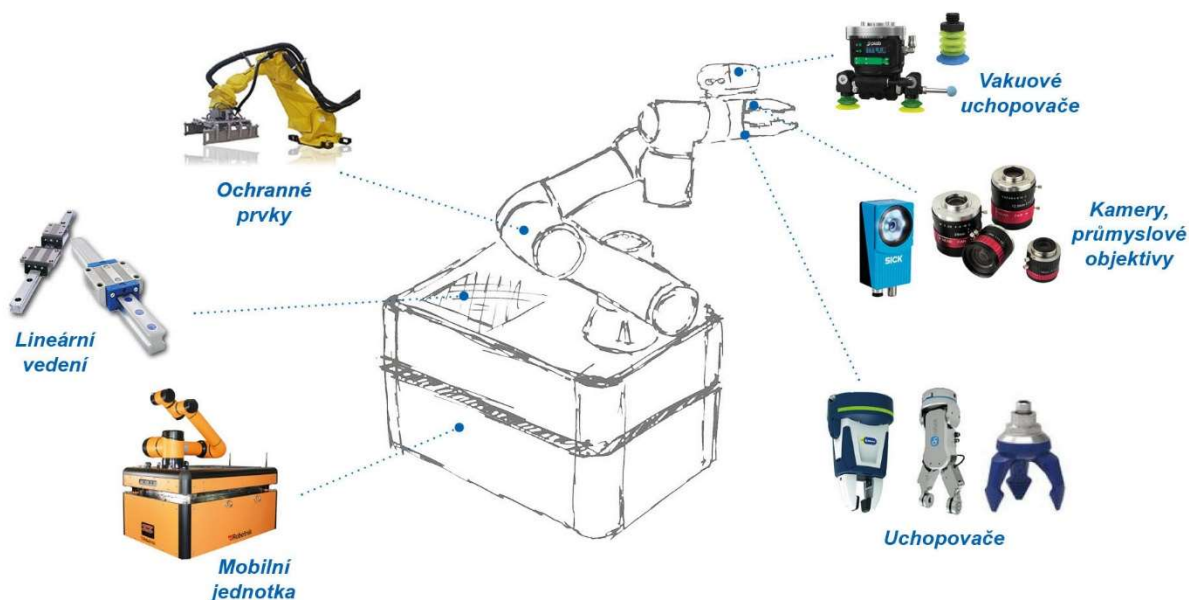
Na obrázku č. 1-2 je možno vidět meziroční nárůst instalace průmyslových robotů. Tento trend značí významnost automatizace v průmyslu.



obrázek 1-2 počet roční instalace průmyslových robotů [4]

1.2 Kolaborativní (spolupracující) roboti

Kolaborativní robotika je pojem, pod kterým se dnes rozumí vzájemná spolupráce člověka a robota bez bezpečnostního oplocení, tedy tzv. "robotika bez klecí". Kolaborativní robot je speciálně navržený pro přímé použití v interakci s člověkem v definovaném pracovním prostoru pro spolupráci. Pracovní prostor spolupracujících robota je takový zabezpečený prostor, kde robot a člověk může během automatického provozu provádět úkony současně. Kolaborativní operace je stav, kdy účelové roboty mohou bezpečně pracovat v přímé spolupráci s člověkem.



obrázek 1-2 Schéma kolaborativního robota [5]

Základním prvkem spolupráce je flexibilita. V případě kolaborativního pracoviště je to především flexibilita robota, který se vyznačuje až nezvykle lehkou konstrukcí a neobvyklým tvarem. Na obrázku č.1-2 je znázorněno schéma, které znázorňuje typické uspořádání kolaborativního robota, které je charakterizováno především ramenem (ruky) robota, opatřené na konci uchopovačem. Kobot stojí na mobilní jednotce, díky které je s ním velmi jednoduchá manipulace, dle potřeby koboti nabízí mnoho funkčních nástavců a již v sobě mají zabudované ochranné prvky.

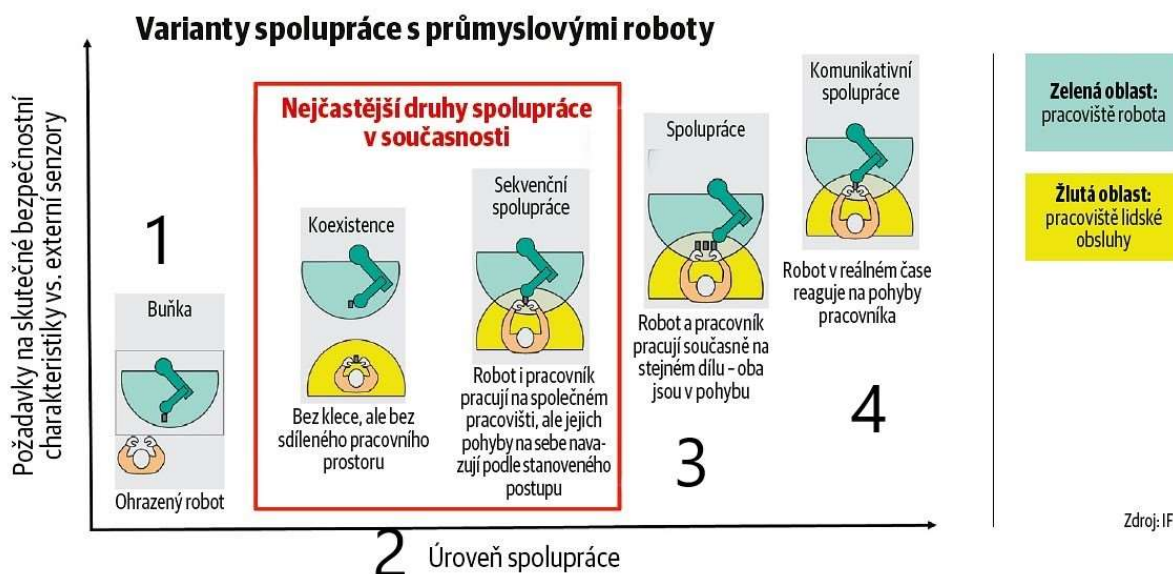
Využití těchto pracovišť se směřuje především do strojírenského průmyslu, kde mají za úkol zvýšit produktivitu práce ve spolupráci s člověkem. Základním charakteristickým rysem kobotů je právě **zmíněná** spolupráce., Dojde-li k úplnému nahrazení lidské práce, nejedná se již o kolaborativní robotiku. Takovéto pracoviště nesou obrovskou výhodu v ulehčení práci člověka. Roboti zde zastanou těžkou a ergonomicky nepřírozenou práci, kterou by jinak vykonával pracovník. Zdvíhají například těžká břemena, anebo drží předmět (součástku) v požadované výšce a úhlu tak, aby zde člověk měl co nejlepší pozici a přístup pro vykonání dalšího úkonu na součástce. [6] Pořizovací cena robota není laciná záležitost, ale při správném plánování a zavedení do praxe se pořizovací investice rychle vrací. Další nároky při zavedení do praxe jsou např. školení operátora a změna pracovního postupu, úprava pracoviště aj. Tyto procesy také znamenají časovou náročnost a správné zvážení všech rizik...

1.3 Formy spolupráce mezi člověkem a robotem

Vzhledem k současnému trendu a zavádění robotizace do praxe se uvádí 4 základní formy spolupráce mezi robotem a operátorem. Do určité míry tyto formy představují i historické trendy, protože nejprve robot měl vyhrazené samostatné pracoviště a vstoupit na toto pracoviště bylo pro člověka zakázané. A nejvyšší současný level vzájemné kooperace je reagování robota na povel, nebo pohyby operátora.

Na obrázku číslo1, je zobrazeno, které formy spolupráce mezi člověkem a průmyslovým robotem již existují a které se využívají nejvíce. Jsou dány čtyři základní typy těchto pracovišť:

1. Člověk nesmí během úkonu vstupovat na pracoviště
2. Člověk a robot pracující současně, ale bez střetu pohybu
3. Člověk a robot se doplňují a jsou ve vzájemné blízkosti
4. Člověk přímo odebírá z chapadla robota součástku



obrázek 1-3 možné spolupráce mezi člověkem a robotem [7]

1.3.1 Popis jednotlivých variant

1) Člověk a robot pracující současně, ale bez střetu pohybu

Dokonce i u průmyslových robotů, u nichž není během výrobního procesu vyžadován žádný lidský zásah, musí operátor vstoupit do pracovního prostoru robota, např. za účelem údržby. V aplikacích tohoto typu pracovní prostor musí být oplocen a přístupové dveře musí být vzájemně propojeny. Blokování dveří musí zajistit, aby nebezpečné robotické funkce byly vypnuty vždy, když operátor vstoupí do nebezpečné oblasti, a musí být udržovány tak dlouho, dokud obsluha zůstane uvnitř nebezpečného prostoru nebo jsou-li otevřeny přístupové dveře. [8]

2) Člověk a robot se doplňují a jsou ve vzájemné blízkosti

Tento proces zahrnující nakládání a vykládání robotických buněk operátorem je pro průmyslové roboty velmi běžný. V takových případech, kooperativního uplatnění operátora a robota, dokončují nezbytné fáze procesu ve stejném pracovním prostoru, ale tato spolupráce neprobíhá ve stejný čas. Ale i zde jsou nutná technická bezpečnostní opatření. Podle toho, jak je nastaven nakládací a vykládací systém, může být vhodné použít optoelektronická ochranná zařízení, jako jsou bezpečnostní světelné závěsy nebo bezpečnostní laserové skenery. [8]

3) Člověk přímo odebírá z chapadla robota součástku

V určitých situacích je nutné, aby lidé a kooperativní roboti interagovali ve stejném pracovním prostoru současně. V těchto úkonech, které nazýváme kolaborativní, musí být omezeny dráhy síly, rychlosti a pohybu robota. Pokud je to tedy možné. K minimalizaci rizika lze použít vlastní bezpečnostní opatření nebo další bezpečnostní opatření, jako je omezení točivého momentu, výkonem pohonů nebo bezpečnostních částí řídicí jednotky systému. Rovněž je třeba sledovat dráhu síly, rychlosti a pohybu a kontrolovat to na základě skutečného stupně rizika. Tento stupeň rizika závisí také na vzdálenosti mezi člověkem a robotem. Tento úkon vyžaduje spolehlivé senzory, které jsou schopné detekovat přítomnost člověka nebo určit rychlost, jakou se lidé pohybují směrem k nebezpečné oblasti a jejich vzdálenost od ní. Tyto snímače musí být v zásadě schopny překonat výzvy, které jsou nevyhnutelným důsledkem rozvoje technologické spolupráce [8]

1.4 Výhody kolaborativních robotů

Nasazení kolaborativních robotů sebou nese výhody, které usnadňují obecnou spolupráci mezi robotem a obsluhou. Tyto výhody jsou:

1) Jednoduché programování

Oproti klasickým průmyslovým robotům je programování kolaborativních robotů mnohem snazší a přirozenější. U kobotů je možné využít jejich schopnosti učení nových operací operátorem samotným, drag & drop programováním v softwaru s 3D simulací pomocí funkčních bloků nebo učení nových pozic a sekvencí pohybů. [9]

2) Rychlá integrace a flexibilita

Integrace standartních průmyslových robotů je časově velmi náročná operace. Koboti jsou oproti tomu díky jednoduchému nastavení dokonale flexibilní a jejich integrace pro nové úlohy je možná řádově v desítkách minut. Jejich flexibilita se ocení při potřebě změnit operaci anebo při potřebě přemístění robota do jiné části výroby. [9]

3) Rychlost a přesnost kobotů

S pomocí využití nejmodernějších technologií koboti jsou neobvykle přesní, které svým vývojem jdou stále vpřed. Na rozdíl od operátorů nedochází u kobotů vlivem únavy k chybovosti výroby nebo nedostatečné kvalitě. Operátor vlivem lidského faktoru například při šroubování nedodrží vždy předepsaný moment, zatímco kobot dokáže šroubovat mnohem rychleji a konzistentně s požadovaným momentem. [9]

4) Usnadnění práce operátorům

Prvotním úkolem kolaborativních robotů není nahrazení lidí, ale kolaborace s operátory, aby za ně vykonávali nebezpečné a namáhavé operace. Následkem toho mění práce operátora charakter a může provádět méně vyčerpávající činnosti. Ve výrobě je ideální kombinace pracoviště kobota s operátorem pro dosažení větší efektivity a produktivity práce. Skvělým příkladem spolupráce je kontrola kvality a šroubování dílů, které operátor složí. [9]

5) Zvýšení produktivity a optimalizace nákladů

Základním cílem každé výrobní firmy je optimalizace nákladů, tedy dosažení minimálních výrobních nákladů při zajištění maximální produktivity práce. V průběhu optimalizace je důležité také minimalizovat chybovost a zmetkovitost výroby, jejímž následkem vznikají nežádoucí náklady a prostoje, které mají negativní vliv na produktivitu. [9]

Kolaborativní roboty nabízejí východisko, které posune zdokonalení procesů a nákladů k vyměřeným metám. V dlouhodobém horizontu použití kobotů v průmyslové výrobě ušetří množství nákladů a umožní tak dosažení většího zisku.

1.5 Řešení kolaborativních pracovišť z pohledu bezpečnosti práce

Otázka bezpečnosti práce při navrhování kolaborativních pracovišť je prioritou. Řešení této otázky lze rozdělit na dvě části. Jedna je konstrukce a specifické požadavky na robota jako na strojní zařízení. A druhý pohled je na projektování pracovišť vzájemné spolupráce člověka a robota.

Technická norma – někdy se lze také dočíst, že je to standart (dokument), který nám stanovuje co je ještě přijatelné nebo normální při posuzování kvality, bezpečnosti nebo zmetkovitosti při zkoumání daného produktu či služby. Státní normy se podřizují normám mezinárodním převážně ISO normám. Autory norem jsou samotní výrobci, uživatelé, výzkumné a vývojové instituce, integrátoři nebo státní normy [6]

1.5.1 Přehled norem používaných při posuzování bezpečnosti kolaborativních pracovišť

ČSN EN ISO 12100 (83 3001)	Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci. Posouzení rizika a A snižování rizika
ČSN EN ISO 13849-1 (83 3205)	Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část1: Obecné zásady pro konstrukci
ČSN EN ISO 13850 (83 3311)	Bezpečnost strojních zařízení – Nouzové zastavení – Zásady pro konstrukci
ISO 14118	Safety of machinery – Prevention of unexpected start-up
ČSN EN ISO 13857 (83 3212)	Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami
ČSN EN ISO 13855 (83 3303)	Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla
ČSN EN ISO 10218-1 (18 6502)	Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část1: Roboty
ČSN EN ISO 10218-2 (18 6502)	Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů-Část 2: Systémy robotů a integrace

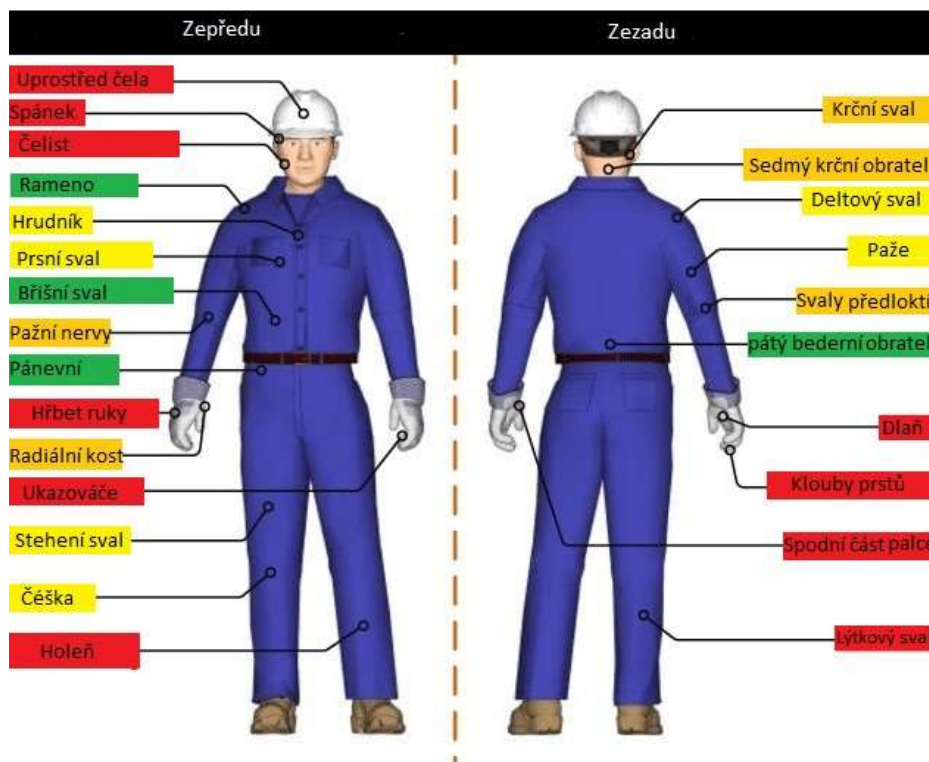
Tabulka 1 | Přehled norem používaných při posuzování bezpečnosti kolaborativních pracovišť [6]

Stanovení podmínek, které musí splňovat kolaborativní pracoviště, nám určuje norma ISO/TS 15066 a řeší specifické požadavky na robota jako na strojní zařízení

Tato norma vznikla v roce 2016 na základě rozmachu kolaborativních pracovišť a ujasnění základních požadavků na ně. Před vydáním této normy byla specifikace požadavků kolaborativního robota shrnuta na pár stranách norem ISO 10218-1 a 10218-2, které specifikují požadavky průmyslových robotů.

Díky technické specifikaci ISO/TS 15066 je možné v průmyslové praxi vzájemné působení lidí a robotů. Tato specifikace nám vymezuje výkonová omezení, limitní hodnoty silového působení na lidské tělo, aby nemohl dojít k zranění, také nám určuje vhodné dimenzování aplikací. [11]

Při využití robota dle normy ISO/TS 15066 nemusí být užity žádné tradičně používané ochranné prostředky. Jako například jsou ochranné kryty, ochranná zařízení. Výše zmíněná technická specifikace pro takové řešení obsahuje informace ze studie o prazích bolesti částí lidského těla, které mohou být aplikovány pro analýzu bezpečnostních rizik při fyzickém kontaktu robota a člověka. [10]



obrázek 1-4 Úrovně nebezpečí poranění zásahem robota [10]

Na obrázku č 4-1. je znázorněna úroveň nebezpečí zranění konkrétních částí lidského těla po kolizi s robotem. Červeně označené části, patří mezi ty části těla, které musí být bezpodmínečně chráněny, žlutá nám poté značí střední úroveň nebezpečí, oranžová vysoký stupeň a červená velmi vysoký stupeň nebezpečí.

Protože roboti mají vůči lidem prakticky neomezenou sílu, podléhají velmi přísným bezpečnostním předpisům. Všechny roboty, tradiční i kolaborativní, musí splňovat bezpečnostní normu ČSN EN ISO 10218. Podle tohoto standardu musí být bezpečnost zajištěna některou z níže uvedených funkcí – první tři jsou určeny pro konvenční průmyslové roboty, zatímco čtvrtá funkce, omezení síly a výkonu, je navržena pro koboty. [11]

Bezpečnostní monitorované zastavení – vstoupí-li jakákoli osoba do monitorovaného prostoru, robot se řízeným způsobem zastaví. Tato funkce je typická pro robot v oploceném prostoru či v kleci. [11]

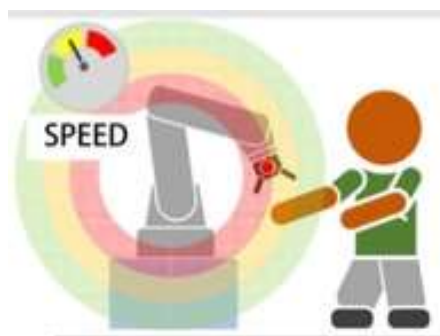


obrázek 1-5 Bezpečnostní monitorované zastavení [9]

Ruční navádění – funkce pro programování robotů učením – obsluha vede paži robotu po požadované dráze a robot se tento pohyb naučí a opakuje ho. Po vstupu obsluhy do monitorovaného prostoru se robot řízeným způsobem zastaví. Obsluha může použít povolovací tlačítko a tím se pohyb robotické paže uvolní pro ruční navádění. [11]



obrázek 1-7 Možnost ručního vedení [9]



obrázek 1-6 Monitorování rychlosti a odstupu [9]

Sledování rychlosti a vzdálenosti – Bezpečnostní snímače sledují pohyby robotu a jeho vzdálenost od obsluhy a zajistí, aby mezi pohybujícím se robotem a obsluhou vždy zůstala určitá minimální vzdálenost. Vstoupí-li osoba do monitorovaného prostoru, robot postupně zpomaluje a zastaví se, teprve když přijde obsluha k robotu příliš blízko. Robot vybavený touto funkcí nemusí být uzavřen v kleci, ale nelze s ním ještě bezprostředně spolupracovat. [11]

Omezení síly a výkonu – funkce pro zajištění bezpečnosti kolaborativních robotů



obrázek 1-8 Omezení výkonu a síly [9]

Konkretizace bezpečnosti podle technické specifikace ISO/TS 15066 vymezuje:

- Vlastnosti bezpečnostních systémů
- Faktory, které je třeba brát v úvahu při návrhu kolaborativních robotických systémů
- Vestavěné bezpečnostní systémy a jejich účinné využití [10]

1.6 Ergonomie kolaborativního pracoviště

Správné uspořádání mezi omezenou výkonností člověka a prakticky neomezenými možnostmi techniky má přispět k co největší efektivnosti a ekonomické účinnosti práce člověka. Z toho tedy plyne, že nalezení zlepšení pracovní situace by bylo dosaženo především zlepšením pracovních podmínek, nikoliv nadměrným zvýšením námahy a úsilí lidské práce. [12]

Definice ergonomie podle Mezinárodní ergonomické asociace z roku 2000: Ergonomie je vědecká disciplína založena na porozumění interakcí člověka a dalších složek systému. Aplikací vhodných metod, teorie i dat zlepšuje lidské zdraví, pohodu i výkonnost. Přispívá k řešení designu a hodnocení práce, úkolů, produktů, prostředí a systémů, aby byly kompatibilní s potřebami, schopnostmi a výkonnostním omezením lidí. Ergonomie je systémově orientovaná disciplína, která prakticky pokrývá všechny aspekty lidské činnosti. V rámci holistického přístupu zahrnuje faktory fyzické, kognitivní, sociální, organizační, prostředí a další relevantní faktory. [13]

Hlavní oblasti ergonomie využívány v praxi

- Fyzická ergonomie
- Kognitivní (psychická)
- Organizační ergonomie

1.6.1 Přednosti člověka oproti stroji

- Logické myšlení
- Snášení krátkodobého přetížení
- Fantazie, originalita a kreativita
- Ekonomicky a energeticky nenáročný
- Formulovat z neúplných informací ucelené závěry
- Schopnost správné reakce na nepředvídatelné, nebo málo pravděpodobné jevy
- Vnímání podnětů na pozadí s velkým šumem [14]

Přednosti stroje

- Vnímání podnětů mimo možnosti člověka
- Fyzikální výkonost
- Rychlost zpracování informací
- Současné vykonávání různých činností
- Práce v podmínkách pro člověka nepřijatelných
- Jednoznačné a spolehlivé opakování zadané činnosti [14]

Často se při rozhodování pořídít robotické pracoviště přiklání především k ekonomickému hledisku a navrhne se systém, který není pro člověka vhodný a je v něm přetěžován nebo pracuje v nepříznivých podmínkách apod. Jakýmkoliv dalším zvyšování kvality je limitováno člověkem, a proto je tedy uskutečňováno pouze technickým řešením, které vede k plné automatizaci a vyřazení člověka z přímé funkce tohoto systému. [14]

1.6.2 Kolaborativní robot ve výuce

Vzestup poptávky po kolaborativních pracovištích má za následek zvýšenou poptávku po odborně vzdělaných a zdatných pracovníků v této oblasti průmyslu. Školy, ať už střední, ale i vysoké, musí pružně reagovat na současný trend. Zavádění robotů do praxe. Tlak je zejména kladen na oblast konstrukce robotů, projektování robotických pracovišť a samotných operátorů ve výrobě. Různé typy odborných technických škol nabízí své studijní obory, které se věnují této problematice.

Například Střední průmyslovou školu Ostrava-Vítkovice, která nabízí obor strojírenství. Škola má ve svých učebnách k dispozici 6 kolaborativních robotů a výuku se zde snaží koncipovat na základě nejmodernějších požadavků získány z praxe od zaměstnavatelů. [15]

Z vysokých škol zde například zmíníme Západočeskou univerzitu v Plzni, Fakultu strojní, Katedru průmyslového inženýrství a managementu. V laboratoři na KPV se nachází kolaborativní robot a třeba také automaticky řízený vozík AGV. Laboratoř je momentálně využívána jak při výuce, kdy se studenti seznamují s principy programování robota, tak přímo studenty v rámci řešení témat jejich diplomových prací. [16]

Na obrázku č. 1-9 je možné vidět kobota používaného na Západočeské univerzitě.



obrázek 1-9 Robot v laboratoři na Západočeské univerzitě [16]

2 Analýza vstupních podmínek

Jak již bylo zmíněno v předešlé kapitole, Katedra technologie obrábění se rozhodla pro pořízení kolaborativního robota za účelem seznámení studentů s kolaborativní problematikou a získání základních dovedností v této oblasti. Robot nebude sloužit čistě pro studijní účely, ale i pro výzkumné projekty, které se provádí na této katedře.

Aby bylo možno navrhnout a realizovat správné a bezpečné umístění robota na katedře, bylo nutné zmapovat vybranou laboratoř a rozdělit si vstupní podmínky na dvě části.

- 1) Variabilní podmínky: to jsou takové podmínky, které lze po jistém uvážení měnit (např. rozmístění stolů, skříní a židlí)
- 2) Neměnné podmínky: to jsou takové podmínky, do kterých nelze zasahovat (umístění CNC strojů, rozměry místnosti, technické parametry kolaborativního robota...)

Cílem zadání této bakalářské práce je navrhnout optimální uspořádání laboratoře z hlediska bezpečnosti a ergonomie tak, aby tam byly vytvořeny vhodné podmínky pro výuku studentů, ale rovněž pro plánované výzkumné aktivity.

Bude navrženo několik variant řešení, ze kterých poté bude vybrána ta možnost, která bude odpovídat dané realitě

2.1 Katedra technologie obrábění

Katedra technologie obrábění, zkratkou KTO, je zaměřená na vzdělávání studentů v oblasti technologie obrábění, aditivních technologií, metrologie a zabezpečování kvality. Její historie sahá až do roku 1949, kdy ale ještě nepůsobila jako samostatná katedra. Teprve až v roce 1968 vznikla samostatná KTO, pod vedením prof. Ing. Miroslava Bartušky. Tato katedra je součástí Západočeské univerzity v Plzni fakulty strojní. Nynější vedoucím katedry je pan doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.

Katedra nabízí mnoho oborů se speciálním zaměřením. Z bakalářských oborů stojí za zmínku programování NC strojů, strojírenská technologie-technologie obrábění, progresivní technologie a materiály a nedílnou součástí nabízených oborů je také zabezpečování kvality. Výuka robotizovaných pracovišť je jednou z posledních aktuálně nabízených možností pro výuku studentů v oboru programování NC strojů. [17]

2.2 Popis laboratoře UL 211

Laboratoř UL211 se nachází v objektu laboratoří uvedené katedry. Tato laboratoř je specializována pro výuku CNC obrábění a kapacita výuky v této laboratoři je určena pro 12 posluchačů. Místnost má rozměry 7m x 7,6m. V laboratoři se nacházejí 2 CNC stroje. Další vybavení laboratoře zůstane zachováno v původním stavu.

Po vstupu do laboratoře je po pravé straně výklenek, po levé straně, na straně druhé je umístěno umyvadlo. Z druhé strany výklenku (v obrázku nad CNC strojem 1) je umístěna vestavěná skříň, která slouží jako úložný prostor pro příslušenství ke strojům. Tuto skutečnost je nutné respektovat při navrhování dalších možností uspořádání laboratoře. Na obrázku č.2-1 a č.2-2 je možné vidět původní vzhled laboratoře před úpravou.

2.2.1 Rozdělení vybavení laboratoře

Předpokladem pro účelné nové navržení laboratoře je rozdělení vybavení a zařízení laboratoře do dvou skupin a to na variabilní skupinu, tj. objekty s nimiž je možné pohnout a přemístit a pevné, zabudované objekty.

Variabilní skupina :

Učební stoly, katedra (stůl vyučujícího), skříňka malá, CNC stroj 2 (1,250x1,050 m), frézka (0,800x0,770 m)

Zabudované objekty: CNC stroj 1(1,700x0,850 m), vestavěná skříň



obrázek 2-1 Ukázka původního uspořádání laboratoře UL211 pohled od tabule [17]



obrázek 2-2 Pohled na původní uspořádání laboratoře UL 211 foceno od CNC strojů [17]

CNC stroj 1

Na obrázku č. 2-1 je ukázán CNC stroj č. 1, který se na původním rozmístění laboratoře nachází v pravém horním rohu. Rozměry CNC stroje jsou 1700x850 mm a tento stroj budeme řadit mezi neměnné podmínky. To znamená, že musíme zachovat jeho pozici a potřebný prostor pro obsluhu.



obrázek 2-3 CNC stroj 1

CNC stroj 2

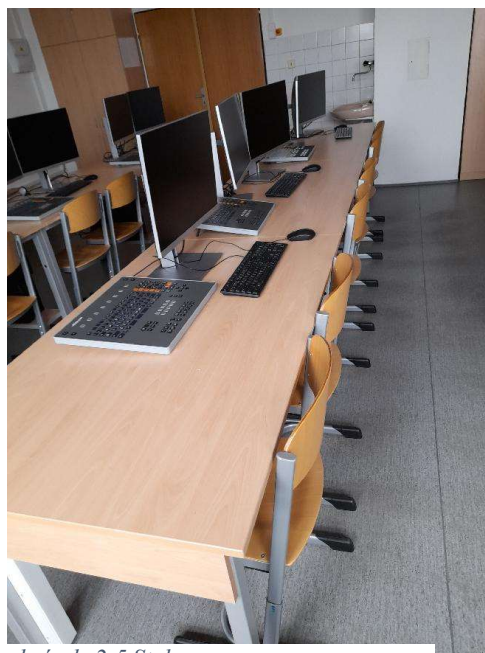
Tento CNC stroj se na přiloženém obrázku č. 2-1 nachází v pravém dolním rohu. Jeho rozměry jsou 1250x1050 mm. A tento stroj po jistém uvážení, můžeme přemístit na vhodnější místo. A proto se jako jediný zde se nacházejících strojů řadí mezi variabilní podmínky.



obrázek 2-4 CNC stroj 2

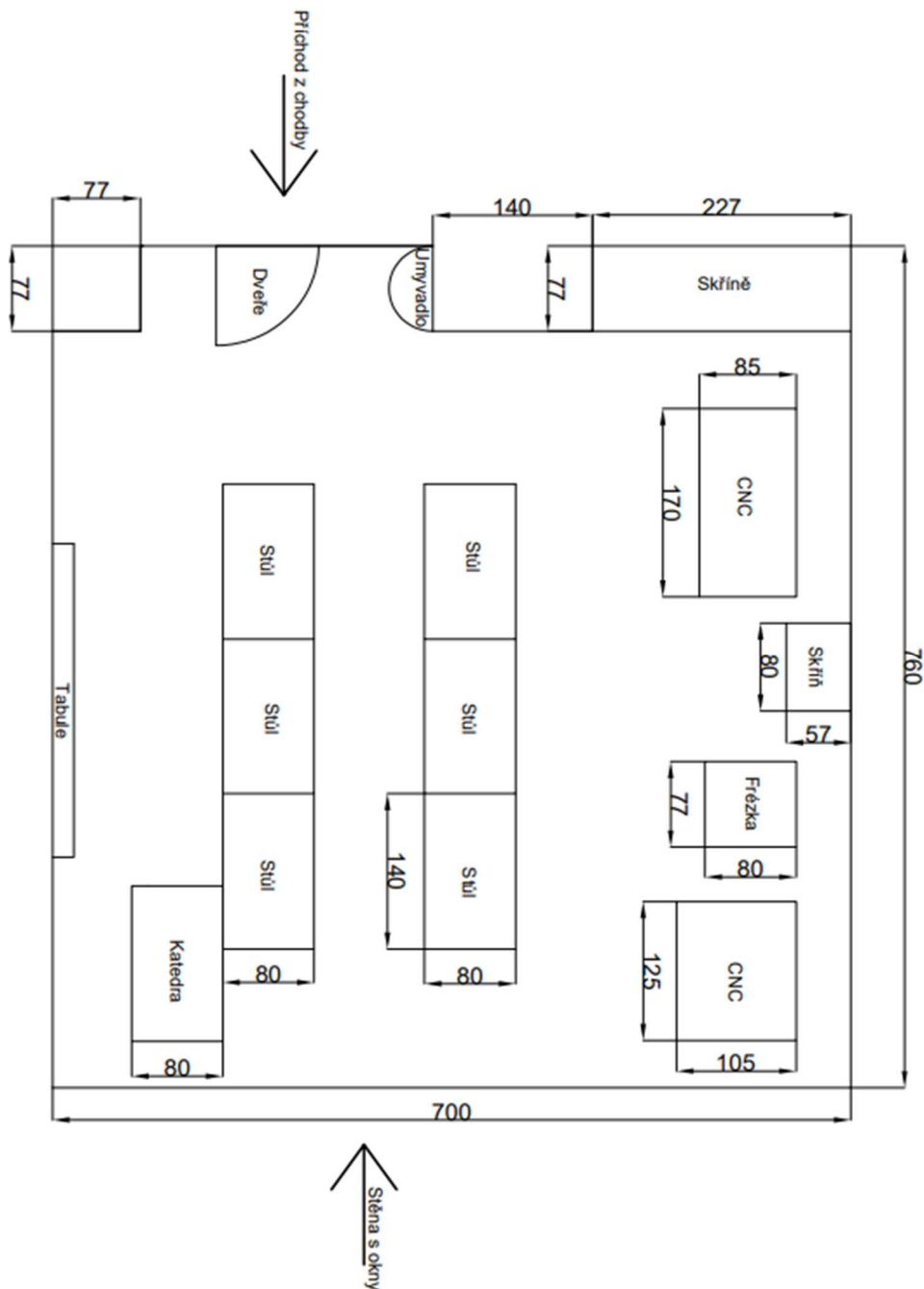
Stoly

Když si prohlédneme již výše zmíněný obrázek č.2-1 zjistíme, že se zde nachází dvě řady stolů, přičemž v každé řadě jsou použity 3 stoly o rozměrech 1400x800 mm. V levém spodním rohu obrázku se poté nachází katedra o stejném rozměru. Se všemi zmíněnými objekty lze manipulovat, a proto je budeme řadit do skupiny variabilních podmínek.



obrázek 2-5 Stoly

Pro názornost je zde vytvořené schéma dispozičního řešení laboratoře UL 211, které bylo zakresleno před úpravou laboratoře. Cílem práce, jak již bylo uvedeno, je navržení a posouzení vybraného místa pro robota z pohledu ergonomických zásad a v souladu se základním účelem laboratoře, kterou je výuka. Toto pracoviště, v této místnosti, by mělo vyhovovat především pro potřeby výuky, při předpokládaném počtu studentů. Důležitým faktem je rovněž možnost řešení různých vědeckých experimentů, které se na katedře uskutečňují.



obrázek 2-6 Dispoziční řešení laboratoře UL 211 před úpravou

2.3 Výběr kolaborativního robota do laboratoře UL 211

Vedení katedry se při výběru robota rozhodovalo mezi třemi dodavateli.



obrázek 2-7 KUKA LBR IIWA R820 [20]



obrázek 2-9 FANUC CR-7iA/L [21]



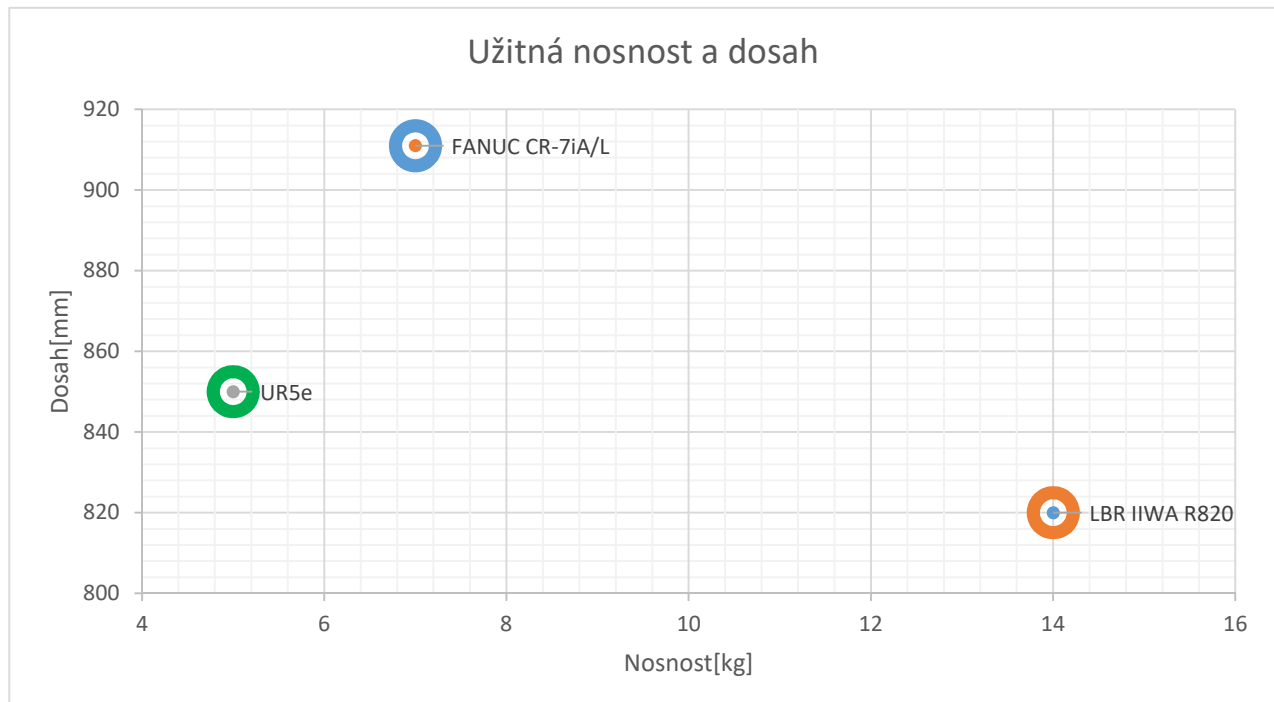
obrázek 2-8 UR5e [19]

Specifikací podmínek a rozhodovací tabulkou bylo dosaženo konečného rozhodnutí, kterým byl nákup zařízení od firmy Universal Robots. V tabulce č.2-1 jsou shrnuty specifikace všech tří robotů, mezi kterými se vybíralo.

Tabulka 2-1 Přehled specifikací konkurenčních robotů

Specifikace	KUKA LBR IIWA R820	FANUC CR-7iA/L	Universal Robots UR5e
Počet pracovních os	6 - osý	6 - osý	6 - osý
Hmotnost	30 kg	55 kg	18,4 kg
Nosnost	14 kg	7 kg	5 kg
Opakovatelnost	$\pm 0,1$ mm	$\pm 0,01$ mm	$\pm 0,1$
Dosah	820 mm	911 mm	850 mm

Mezi nejdůležitějšími kritérii při výběru robota bylo užité zatížení a jeho dosah. Pro lepší názornost byl vytvořen graf 1, který znázorňuje tyto kritéria u všech modelů.



Graf 1 Srovnání dosahu vůči užité nosnosti robotů

Universal Robots je firma sídlící v dánském Odense. Firma byla založena v roce 2005 a zakladateli byli tři inženýři: Esben Østergaard, Kasper Støy a Kristian Kassow. Jejich hlavní myšlenkou bylo zpřístupnit robotické technologii malým a středním podnikům. Tato firma je průkopníkem kolaborativních robotů na trhu. Svého prvního spolupracujícího robota prodala již v roce 2008, byl to model UR5. Tento úspěch je považován za jeden z nejdůležitějších technologických pokroků v kolaborativní robotice. V roce 2014 dosáhla společnost rekordního růstu tržeb. V roce 2018 společnost představuje roboty e-Series. [18]

2.3.1 Kolaborativní robot UR5e

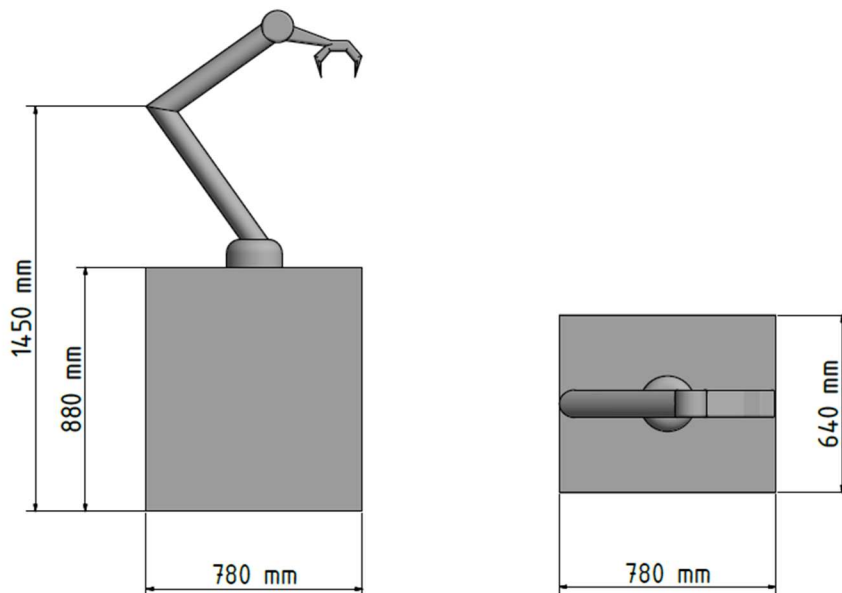
Model UR5e je ultralehký kolaborativní robot. Při výrobě tohoto modelu byl použit hliník a polypropylen a díky tomu je hmotnost pouhých 18,4 kg. Tento robot pracuje v šesti osách a má dosah až 850 mm a současně je schopen otáčet se každým kloubem o 360°. Užitečné zatížení robota je 5kg a přesnost opakovatelnosti polohy $\pm 0,1$ mm. Zároveň robot může pracovat v rozsahu 0-50 °C. Tento robot lze instalovat jak v horizontálním směru na strop nebo podlahu, tak i ve vertikálním směru na stěnu. Další vlastností, kterou uživatelé uvítají, je nízká hlučnost, která se pohybuje kolem hodnoty 65 dB. [19]

Na obrázku č. 2-11 je kolaborativní robot, který bude umístěn do laboratoře UL211.



obrázek 2-10 Kolaborativní robot typ UR5e [19]

Robot bude stát na mobilní jednotce o rozměrech 640x780 mm a výšce 880 mm. Celková výška mobilní jednotky po první kloub robotu je 1450 mm. Díky této mobilní jednotce, lze s kolaborativním robotem lehce pohybovat. Robot je ovládán přenosným ovladačem, který je podobný svým vzhledem a ovládáním tabletu.



obrázek 2-11 rozměrové specifikace robota

S robotem se do laboratoře pořídila i frézka, na obrázku č. 2-12, kterou bude mít kobot za úkol obsluhovat, a zároveň je možné i tuto frézku použít při výuce samostatně bez kobota. Frézka má svůj stojací ovladač, se kterým se musí počítat při návrhu dispozičních řešení.



obrázek 2-12 kobot stojící na mobilní jednotce



obrázek 2-13 Frézka

3 Návrh dispozičního řešení

Hlavní prioritou dispozičního řešení laboratoře bylo umístění kolaborativního pracoviště při zachování stávajících funkčních strojů, tak aby bylo možno na nich stále plnohodnotně pracovat. Návrhy nového uspořádání laboratoře, které byly projektovány, se řídily základními bezpečnostními normami, prostorovými nároky robota a ergonomickými požadavky, které byly představeny v kapitole č. 2.

Další kritéria při řešení návrhu, které bylo nutné respektovat, byla především bezpečnost při práci s robotem, zrakové podmínky, přehlednost. Návrh předpokládal zachovat plnou kapacitu studentů, tj. 12 výukových míst.

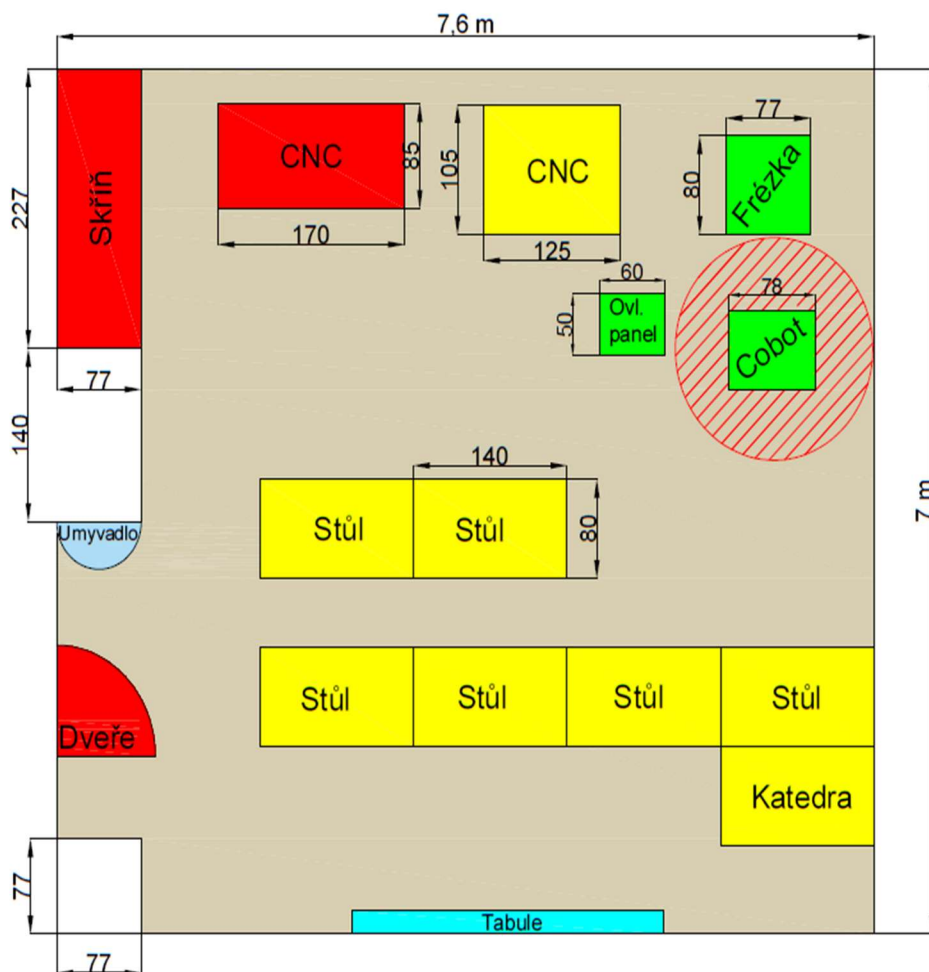
Postup při řešení návrhů byl následující:

- 1) Byly vytvořeny 3 dispoziční řešení laboratoře, kde bylo naznačeno různé umístění robota tak, že se manipulovalo se skupinou objektů, které jsou charakterizovány v kapitole č. ... jedná se především o stoly a židle pro výuku studentů, místem vyučujícího apod.
- 2) Byla zvolena kritéria, která musí být splněna při novém uspořádání laboratoře s robotem
- 3) Na základě zvolených kritérií a přidělené váhy byla aplikována multikriteriální analýza pro jednomyslné zvolení správného uspořádání laboratoře

Pro metodu multikriteriální analýzy, byly navrženy tři varianty úpravy laboratoře. Tyto návrhy zahrnují pouze půdorysy laboratoře s popisky objektů v nich umístěných. Pro rychlejší orientaci a větší přehlednost, byla tato dispoziční řešení zpracována barevně. Žlutá barva značí předměty, s kterými lze pohnout a červená značí předměty, s kterými pohnout nelze. Pod každým návrhem je vypracován podrobný popis.

Všechny návrhy jsou vytvořeny v programu AutoCad 2019 a jsou zde použity reálné rozměry objektů. Tyto rozměry odpovídají skutečné velikosti objektů v laboratoři. Plánky jsou udávány v cm.

3.1 Návrh č.1

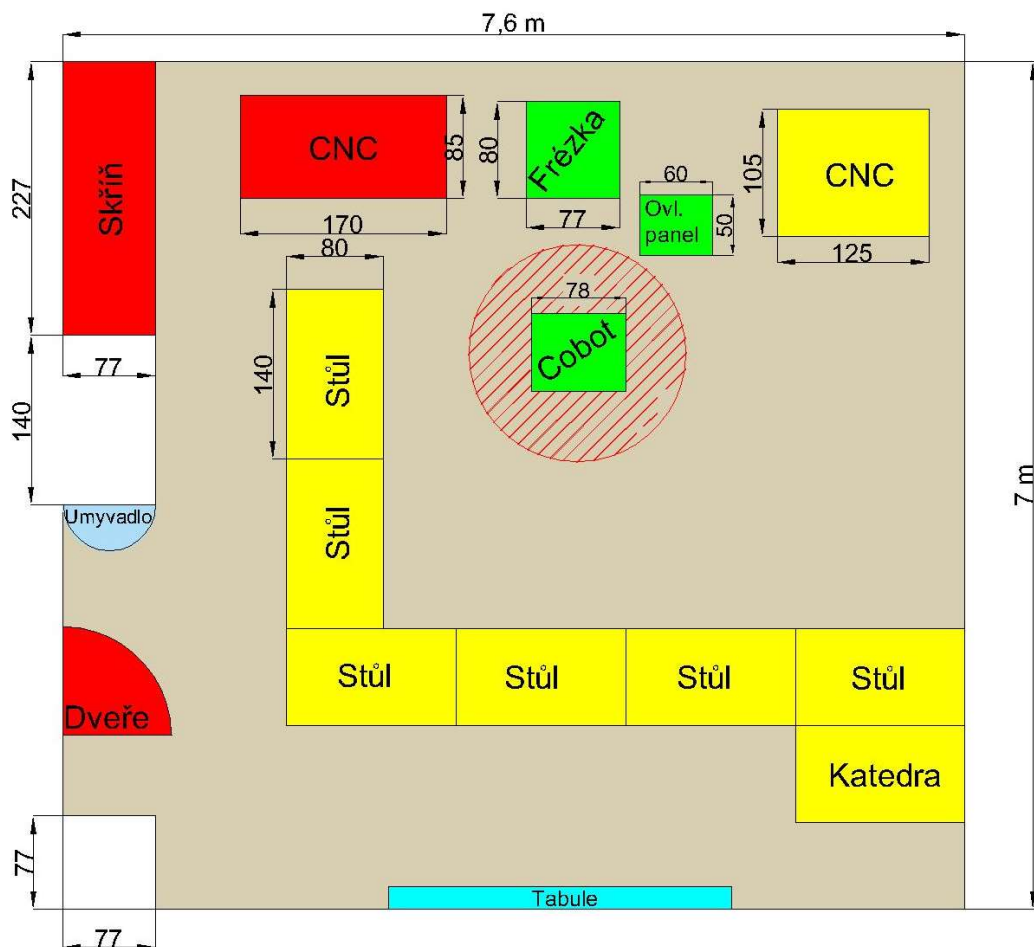


obrázek 3-1 návrh laboratoře č.1

Rozmístění - U tohoto návrhu je bezpečnostní rozmístění zvoleno tak, aby byl požadovaný prostor kolem používaných strojů pohledově volný. Respektive splňoval požadavky na bezpečný manipulační prostor kolem nich. Rozložení lavic je ve dvou řadách, kdy první řada přiléhá ke katedře a k levé straně učebny (zde jsou okna). Zároveň první řadu tvoří čtyři lavice a druhou pouze dvě. Toto rozmístění lavic nám dává dostatečný prostor kolem mašin a zároveň dostatečný výhledový obzor při ukázkách spuštění strojů.

Když se blíže podíváme na umístění kobota, nastává zde hned několik problémů. Prvním problémem je vedení elektro instalace, tak aby nepřekážela při manipulaci kolem kobota a CNC stroji. Nejlepším řešením by bylo vést ji v zemi, ale toto řešení je realizačně náročnější. Druhým problémem se zde jeví dostatečný manipulační prostor kolem CNC stroje a otázkou je, zda by byla zajištěna dostatečná bezpečnost přihlížejících studentů.

3.2 Návrh č.2

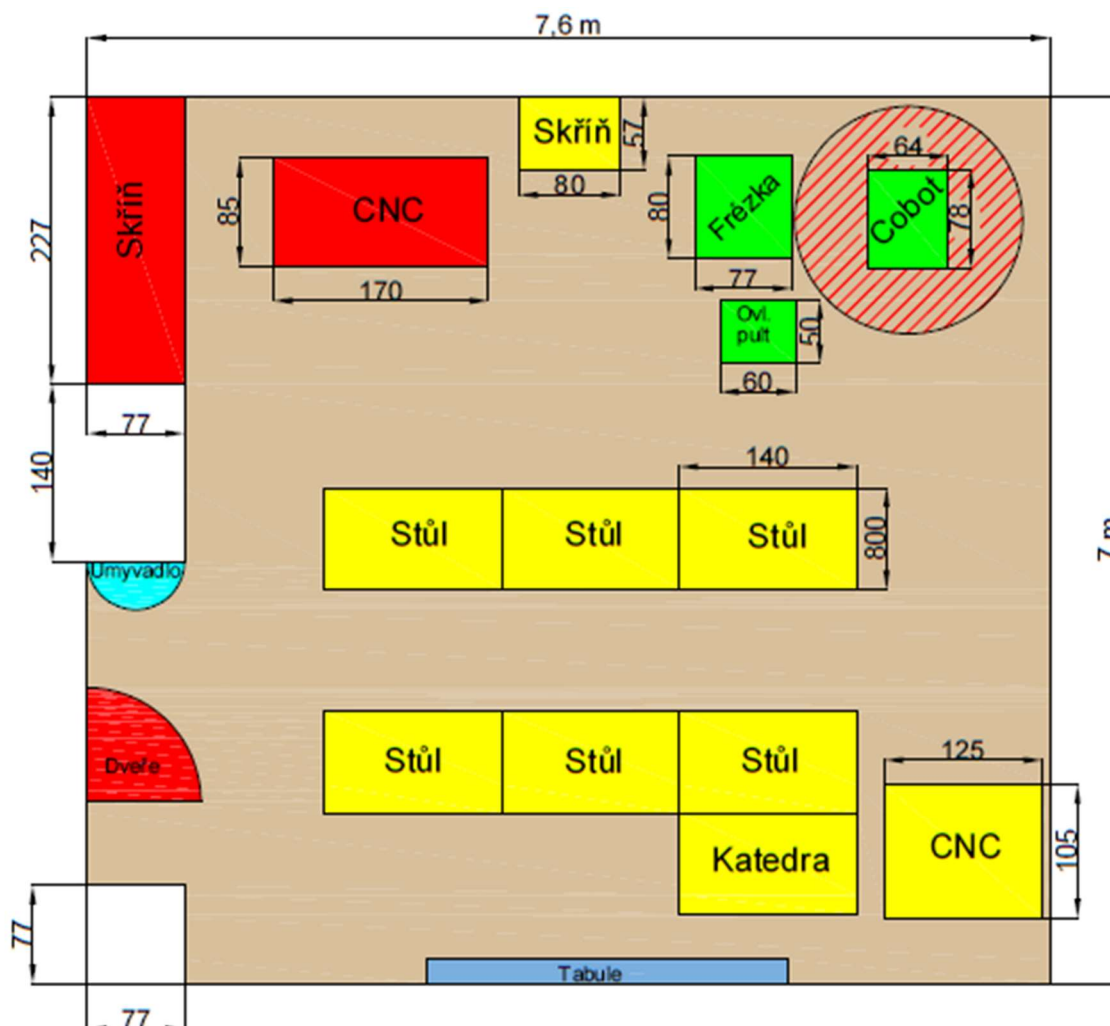


obrázek 3-2 Návrh laboratoře č.2

Rozmístění – U této možnosti je rozmístění stolů v laboratoři zvoleno do písmene L. Tedy je složeno z jedné řady stolů po 4 a kratší strana písmene L je tvořena dvěma stoly. Tato varianta otvírá velký prostor právě kolem nově umístěného robota, tudíž praktické ukázky by měly být dostatečně viditelné pro všechny student v laboratoři.

Co se zde u tohoto návrhu jeví jako možný problém, je dostatečný bezpečnostní prostor kolem CNC stroj (na obrázku v pravém horním rohu). A také zde je problémem vedení elektroinstalace ke kobotovi.

3.3 Návrh laboratoře č.3



obrázek 3-3 varianta č.3

Rozmístění – Tento návrh zachovává původní uspořádání lavic, pouze s tím rozdílem, že lavice jsou posunuty blíže ke dveřím. Tedy tak aby nám vzniklo místo pro CNC stroji (v původním nákresu vpravo dole). Nový kobot zde zaujme místo po předchozí stroji.

U tohoto návrhu by mohl nastat problém ohledně dostatečného prostoru pro přihlížející studenty, tento problém by se mohl vyřešit pořízením kamery na stroj, které by následně zajistilo projekci na tabuli.

Toto dispoziční řešení se zdá být jako nejideálnější. Vyvstane zde nejméně otázek kolem používaných kritérií.

4 Experimentální ověření

Pro vyhodnocení, které z návrhů laboratoře je nejvhodnější, byla použita multikriteriální analýza. Tato metoda se používá při rozhodování mezi několika alternativami, přičemž se nepři-pouští současně více výsledných alternativ. Předpokladem použití multikriteriální analýzy je větší počet kvantifikovatelných kritérií, která zahrnujeme do rozhodování.

Metoda se skládá ze čtyř navazujících kroků:

- 1) Identifikace alternativ
- 2) Kvantifikace (ohodnocení) kritérií
- 3) Přidělení vah
- 4) Výpočet ohodnocení alternativ

- 1) Prvním krokem je identifikace vlastních alternativ, mezi kterými je nutné se rozhodnou a kritérií, která budou do analýzy zahrnuta (tj. takových, která nám pomohou při výběru). Pro názornost je vhodné si sepsat alternativy a kritéria do tabulky, která poté slouží pro výpočet tak, že alternativy se nachází na řádcích a kritéria ve sloupcích. Pod hlavičku tabulky se vkládá ještě jeden řádek na vepsání vah kritérií a za poslední sloupec patří ještě navíc sloupec pro bodové součty.
- 2) Nejdůležitějším krokem je ohodnocení kritérií. Čím lepší varianta, tím vyšší číslo. Číselné ohodnocení zásadně rozhoduje o výsledku analýzy.
- 3) Pokud jsou kritéria ohodnocena, je nutné jim přiřadit váhy. Tím vznikne součin ohodnocení kritérií a vah, který odpovídá významu, který dané kritérium má.
- 4) Výsledky výhodnosti jednotlivých alternativ jsou získány součtem součinů ohodnocení alternativ v jednotlivých kritériích a vah těchto kritérií (ohodnocení každého kritéria je násobeno vahou, která byla tomuto kritériu v předchozím kroku přidělena. Pokud byl zvolen postup takový, kdy výhodnější alternativa má vyšší bod (číslo), získáme tak nejlepší alternativu tj. výsledek multikriteriální analýzy.

4.1 Aplikace multikriteriální metody

V této části práce je aplikována metoda na výše navržená dispoziční řešení. Také zde bude zvoleno 5 hlavních kritérií, dle kterých se jednotlivé návrhy budou vyhodnocovat. Ve stupnici hodnocení se může udělit body od 1 do 3, kde hodnocení bodem 3 značí nejvíce vhodnou preferenci.

Předešlé kapitole již byly jednotlivé dispoziční návrhy popsány, proto se zde už nebude podrobně popisovat každý z návrhů.

3 návrhy (alternativy) nového uspořádání laboratoře:

1. Dispoziční návrh č. 1
2. Dispoziční návrh č. 2
3. Dispoziční návrh č. 3

Zvolené kritéria k posouzení vhodnosti jednotlivých variant:

1. Bezpečnost při práci s robotem
2. Přehlednost pracoviště s ohledem na výuku
3. Doporučený prostor pro manipulaci s materiálem
4. Dobré světelné podmínky pro zrakovou kontrolu
5. Celkový design laboratoře

1) Bezpečnost

Z pohledu bezpečnosti musí v každém případě být nejvyšší úroveň, proto jednotlivé návrhy mají hodnotu vah a to bodové hodnocení 3, které značí vysokou prioritu tohoto kritéria.

Návrh č. 1 váha: 3

Návrh č. 2: váha: 3

Návrh č. 3: váha: 3

2) Přehlednost pracoviště

Jedná se o jedno z důležitých kritérií při volbě optimální varianty. Součástí většiny procesů probíhajících na strojích v učebně budou i studenti, a proto zde musím být kladen velký důraz na přehlednost pracoviště a zároveň tedy i na bezpečnost samotnou.

Návrh č. 1 nejlepší: váha: 3

Návrh č. 2: průměr: váha: 2

Návrh č. 3: nejmenší: váha: 1

3) Doporučený prostor pro manipulaci s materiálem

Manipulační prostor je kritérium maximalizační. To znamená, že pro chod stroje a celkovou bezpečnost pracoviště je velmi důležitý mít tento prostor co možná největší. Toto kritérium má vliv na správné rozmístění strojů a studentů při práci kolem nich.

Návrh č. 1 průměr: váha: 2

Návrh č. 2 nejmenší: váha 1

Návrh č. 3 nejlepší: váha: 3

4) Dobré světelné podmínky pro zrakovou kontrolu

Toto kritérium se neřadí mezi nejdůležitější, ale zároveň ho nelze opomíjet. Při procesech kdy studenti pozorují výrobní proces nebo ovládací panel a učí se zacházet s robotem je tento faktor nezanedbatelný.

Návrh č. 1 průměr: váha: 2

Návrh č. 2 průměr: váha: 2

Návrh č. 3 nejhorší: váha: 1

5) Celkový design laboratoře

Celkový design laboratoře je z vybraných kritérií asi nejméně podstatný. Přesto zde bylo zahrnuto, protože celkový vzhled učebny má také vliv na jednotlivá kritéria, která již byla zmíněna výše.

Návrh č. 1 průměr: váha 2

Návrh č. 2 nejhorší: váha 1

Návrh č. 3 nejlepší: váha: 3

4.2 Vyhodnocení

Tabulka 4-1 s výslednými hodnotami analýzy

Alternativa	bezpečnost	přehlednost	Doporučený prostor	Světelné podmínky	Design laboratoře	SOUČET
váha	5	2	4	3	1	
1. návrh	15	4	8	6	2	33
2. návrh	15	2	4	6	1	30
3. návrh	15	6	12	3	3	39

Pro snadnější pochopení tabulky je zde uveden výpočet sloupce:

Např. Sloupec s názvem: Doporučený prostor, Váha= 4

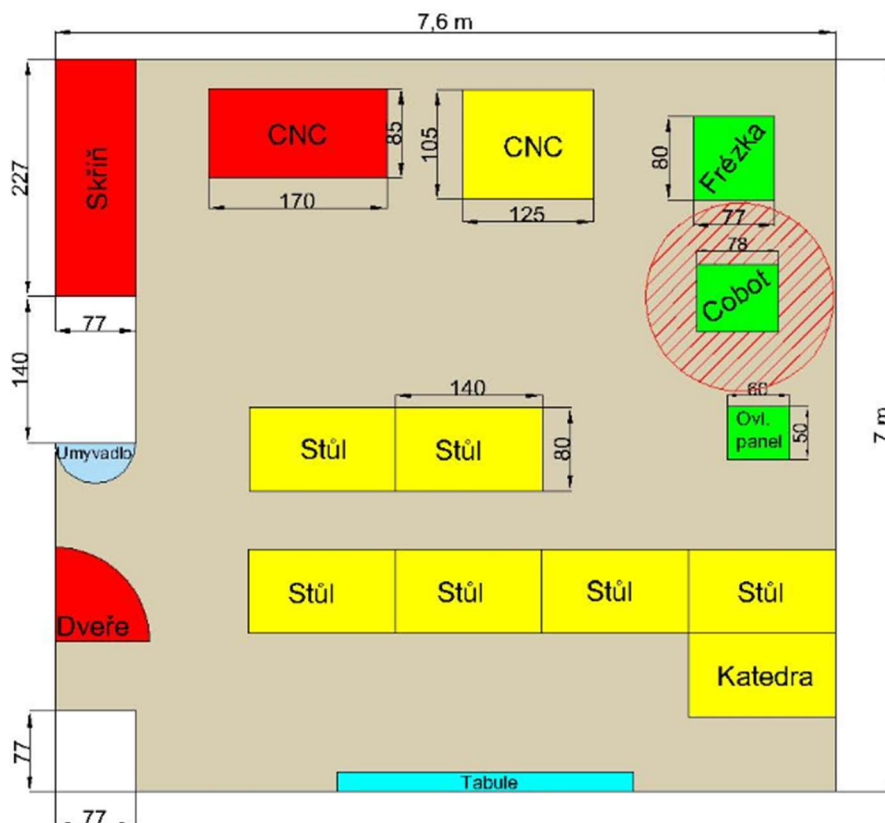
Návrh č. 1 má v tomto kritérii váhu 2, tedy $2 \times 4 = 8$, Návrh č. 2 .. $1 \times 4 = 4$, Návrh č. 3 .. $3 \times 4 = 12$

Tímto způsobem byly počítány i ostatní hodnoty v tabulce.

4.3 Realizace návrhu č. 3

Na základě výše zjištěných výsledků, dle tabulky 4-1, byl vybrán pro realizaci a úpravy laboratoře UL 211 návrh č. 3, který v tabulce v porovnání s ostatními návrhy podle zvolených kritérií vyšel nejlépe.

Popis dispozičního řešení



obrázek 4-1 Návrh laboratoře č.3

Při bližším pohledu na vybranou variantu si lze povšimnout, že se zde zachovalo téměř původní rozložení stolů. Nepatrným rozdílem je jen posunutí stolů a katedry ke dveřím a zároveň katedra se zarovná do roviny s prvním stolem. Tímto posunutím vznikne dostatečné místo pro CNC stroj 2, které zaujímá místo původního umístění katedry. Rozložení ostatních strojů zůstalo téměř nezměněné. Odsunutí CNC stroje 2 nám vytvořilo dostatečný a vhodný prostor pro umístění robota, který se tedy v této variantě nachází v pravém dolním rohu výše přiloženého půdorysu místnosti.



obrázek 4-2 Realizace zvoleného návrhu



obrázek 4-3 Realizace zvoleného návrhu

5 Závěr

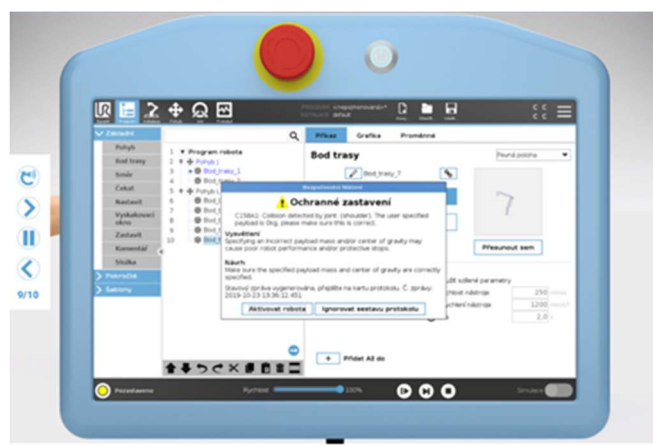
Cílem této práce bylo navrhnout dispoziční řešení laboratoře UL 211 pro umístění kolaborativního robota UR5e tak, aby byla zajištěna požadovaná bezpečnost a dostatečný prostor pro jeho práci, při podmínce využití pracoviště pro výuku automatizace

Pracoviště kolaborativního robota vznikalo v průběhu tohoto akademického roku a již běží v provizorní zkušební verzi. Projekt návrhu robotizovaného pracoviště a jeho umístění tak, aby splňovalo podmínky minimalizace rizik a základní principy ergonomie bylo prioritou pro předložené návrhy. Při správně navrženém pracovišti a splnění ergonomických požadavků na prostor, ve kterém se společně může pohybovat operátor i rameno robota by nemělo dojít ke kolizi. Pokud by taková situace nastala, robot okamžitě zastaví pohyb ramene. Ukázky jsou použity z manuálu, který slouží pro zaškolení obsluhy robota a seznámení se se všemi jeho funkcemi

Na první fotce je naznačena kolize s částí těla operátora. Robot se okamžitě zastaví a na ovládacím panelu se objeví hlášení. Viz obr. č.



obrázek 5-1 kolize robota s lidskou rukou



obrázek 5-2 ovládací panel robota

V dalším kroku se pomocí příkazové tabulky ptá na druh kolize. Obsluha musí zvážit a vyhodnotit situaci, a pokud se nic vážného nestalo a neohroží nebezpečí, musí manuálně robot uvést do chodu. Robot se automaticky sám nespustí

Uvedené předpoklady minimalizace bezpečnostních rizik naznačuje, že tento robot může a optimálních podmínkách být použit i ve výuce. Jeho použití je podmíněno důkladným proškolením obsluhy, vyučujícího v této roli, který bude umět robota bezchybně ovládat. A je samozřejmé, že před výukou programování robota musí být proškoleni v duchu BOZP i studenti. Je nutné, aby při výuce byla dodržena disciplína a pořádek. Studenti sami nesmí stroj obsluhovat. Pokud nebudou mít certifikát pro obsluhu.

Návrh č. 3, který byl vybrán v rámci projektování pracovního místa spolupracujícího robota, splňuje všechny důležité předpoklady. Do budoucna je ještě možné se zamyslet nad úpravou laboratoře z pohledu vylepšení designu a účelného využití místa. Při práci s robotem se používají různé nástroje, koncové ovládače, sondy apod. I pro tyto doplňky je nutné nalézt místo, které bude účelné, přehledné, ale zároveň nebude překážet. V učebně i v budoucnu zůstane výuka automatizace NC strojů.

Je možné uvažovat také o vhodnějším úložném prostoru, kolem používaných strojů v laboratoři.

Dalo by se ještě do budoucna doporučit výměnu starých žaluzií, ovládaných ručně, za modernější a více stínící venkovní rolety. Tím by se zamezilo v letních měsících slunečnímu svitu, který momentálně může snižovat čitelnost ovládacího stojanu frézky.

Závěrem lze vyslovit názor, že cíl bakalářské práce byl splněn.



obrázek 5-3 názorná ukázka práce robota v laboratoři UL 211

6 Reference

- [1] ČSN EN ISO 10218-1. Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost, Praha: Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [2] D. Čefelín, „dspace.vutbr.cz,“ 2018. [Online]. Available: <https://dspace.vutbr.cz/xmlui/bitstream/handle/11012/81418/final-thesis.pdf?sequence=6&isAllowed=y>. [Přístup získán 25 Leden 2020].
- [3] „Vše o průmyslu,“ 29 Leden 2018. [Online]. Available: <https://www.vseoprumsly.cz/robotizace/kooperativni-roboty/priprava-robotu-a-pracovniku-na-prumysl-4-0.html>. [Přístup získán 22 Duben 2021].
- [4] I. i. F. o. Robotics, „ifr.org,“ 24 Zář 2020. [Online]. Available: https://ifr.org/downloads/press2018/Presentation_WR_2020.pdf. [Přístup získán 25 Leden 2021].
- [5] „bibus.cz,“ [Online]. Available: <https://www.bibus.cz/prehled-produktu/mechatronika/manipulacni-technika/kolaborativni-roboty/>. [Přístup získán 23 Duben 2021].
- [6] P. Bartošík, „automa.cz,“ prosinec 2016. [Online]. Available: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/bezpecnost-kolaborativnich-robotu-2017_08_0_11040/. [Přístup získán 30 Říjen 2020].
- [7] F. C. s.r.o., „technickydenik.cz,“ 29 Květen 2019. [Online]. Available: https://www.technickydenik.cz/rubriky/automatizace-robotizace/demystifikace-kolaborativnich-prumyslovych-robotu_47275.html. [Přístup získán 31 Říjen 2020].
- [8] O. G. Fanny Platbrood, „SAFE ROBOTICS – SAFETY IN COLLABORATIVE ROBOT SYSTEMS,“ Srpen 2018. [Online]. Available: https://cdn.sick.com/media/docs/6/96/996/Whitepaper_Safe_Robotics_en_IM0072996.PDF. [Přístup získán 10 Listopad 2020].
- [9] Simap.cz, „Simap.cz,“ [Online]. Available: <https://simap.cz/vyhody-vyuzivani-kolaborativnich-robotu/>. [Přístup získán 25.11 Listopad 2020].
- [10] A. Vojáček, „automatizace.hw.cz,“ 17 Říjen 2019. [Online]. Available: <https://automatizace.hw.cz/problematika-bezpecnosti-kolaborativnich-robotu-isots-15066.html>. [Přístup získán 31 Říjen 2020].
- [11] E. Vaculíková, „talentica.cz,“ 5 Duben 2018. [Online]. Available: <https://www.talentica.cz/robot-nebo-kobot/>. [Přístup získán 26 Listopad 2020].
- [12] M. Král, „Poznatky ergonomie uplatňované v technické praxi,“ Portál BOZPinfo.cz, 2018. [Online]. Available: <https://zsbozp.vubp.cz/pracovni-prostredi/ergonomie/547-poznatky-ergonomie-uplatnovane-v-technicke-praxi>. [Přístup získán 26 Listopad 2020].
- [13] Č. e. společnost, „bozpinfo,“ 12 květen 2004. [Online]. Available: <https://www.bozpinfo.cz/co-je-ergonomie>. [Přístup získán 19 Duben 2021].

- [14] I. L. C. DrSc., Ergonomie, Praha: ČVUT, 2001.
- [15] „spszengrova,“ [Online]. Available: <https://www.spszengrova.cz/strojirenstvi-robotika/>. [Přístup získán 23 Duben 2021].
- [16] Z. u. v. Plzni, „bav se vědou,“ [Online]. Available: <https://bavsevedou.zcu.cz/zvedavosti-kolaborativni-robot/>. [Přístup získán 23 Duben 2021].
- [17] „katedra technologie obrábění,“ [Online]. Available: https://www.kto.zcu.cz/o-katedre/Vybaveni_katedry/UL211.html. [Přístup získán 23 Duben 2021].
- [18] „Wikipedia,“ 2019. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Robots. [Přístup získán 23 Duben 2021].
- [19] U. Robots, „dreamland-robots.cz,“ [Online]. Available: https://dreamland-robots.cz/wp-content/uploads/2018/11/UR5_Tech-spec.pdf. [Přístup získán 31 březem 2020].
- [20] „robots.com,“ RobotWorx a SCOTT company, [Online]. Available: <https://www.robots.com/robots/kuka-lbr-iiwa-14-r820>. [Přístup získán 24 Duben 2021].
- [25] „allrobots,“ [Online]. Available: <https://www.allrobots.cz/produkty/fanuc/cr-7ia-a-cr-7ia-l/>. [Přístup získán 24 Duben 2021].