



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A  
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND  
ROBOTICS

## BEZPEČNOSTNÍ SYSTÉMY PRO PRACOVNÍSTĚ S PRŮMYSLOVÝMI ROBOTY

SAFETY SYSTEMS FOR ROBOTIC WORK CELLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

MARIE BALÁKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ALEŠ POCHYLÝ

BRNO 2015



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Marie Baláková

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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

### **Bezpečnostní systémy pro pracoviště s průmyslovými roboty**

v anglickém jazyce:

#### **Safety Systems for Robotic Work Cells**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem práce je analýza bezpečnostních systémů používaných v rámci pracovišť s průmyslovými roboty. Ve druhé části práce je dále cílem navrhnout, případně modifikovat zabezpečení robotického pracoviště dle zadání.

Cíle bakalářské práce:

1. Analýza aktuálně používaných bezpečnostních systémů pro robotické pracoviště.
2. Analýza aktuálně platných norem, směrnic a legislativy ve vztahu k bezpečnosti robotických pracovišť.
3. Návrh či modifikace zabezpečení pro robotické pracoviště dle zadání.

Seznam odborné literatury:

1. Industrial Robots, Safety - For Mechanical Components, KUKA ROBOTER GmbH, V5.1, 2012.
2. Normy, směrnice, zákony (např. 2006/42/EC, 2004/108/EC, EN ISO 13850, EN ISO 13849-1, EN ISO 13849-2, ČSN EN ISO 13855, EN ISO 12100, EN ISO 10218-1).
3. WWW stránky výrobců bezpečnostních systémů: [www.sick.cz](http://www.sick.cz), [www.pilz.cz](http://www.pilz.cz)

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Pochylý

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 18.11.2014

L.S.

---

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

---

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

## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou zajištění bezpečnosti pracovišť s integrovanými roboty. V této práci je teoretický úvod popisující průmyslové roboty, dále je práce zaměřena na shrnutí aktuálně platné legislativy a bezpečnostních systémů týkajících se bezpečnosti robotických pracovišť. V poslední části je řešena demonstrační úloha zajištění bezpečnosti konkrétního pracoviště s integrovaným robotem ABB.

### **Klíčová slova**

Průmyslový robot, robotické pracoviště, bezpečnostní systémy, legislativa

## **ABSTRACT**

This bachelor thesis deals with the issues of ensuring the safety of robotic work cells. This thesis contains a theoretical introduction to the topic of industrial robots. Further on the thesis is focused on summarizing the current legislation and safety systems related to the robotic work cells. The last part deals with the exemplary task of ensuring the safety of a particular work cell with integrated ABB robot.

### **Keywords**

Industrial robot, robotic work cell, safety systems, legislation

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BALÁKOVÁ, M. *Bezpečnostní systémy pro pracoviště s průmyslovými roboty*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Aleš Pochylý.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Bezpečnostní systémy pro pracoviště s průmyslovými roboty** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 25. 5. 2015

---

Marie Baláková

## **PODĚKOVÁNÍ**

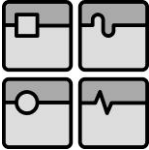
Děkuji tímto Ing. Aleši Pochylému za cenné připomínky, dobré rady a vstřícnost při konzultacích bakalářské práce.



## **OBSAH**

ABSTRAKT .....	5
PROHLÁŠENÍ .....	6
PODĚKOVÁNÍ.....	7
OBSAH .....	9
ÚVOD .....	11
1 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY .....	12
1.1 Definice průmyslových robotů .....	12
1.2 Historie .....	12
1.3 Současné trendy.....	12
1.4 Popis .....	13
1.4.1 Části robotu .....	14
1.4.2 Kinematika .....	14
1.4.3 Pracovní prostor .....	14
1.4.4 Typy robotů .....	15
1.5 Řízení .....	17
1.6 Využití .....	17
2 LEGISLATIVA.....	19
2.1 Legislativa v České republice .....	19
2.2 Povinnosti.....	19
2.2.1 Povinnosti výrobce strojního zařízení .....	19
2.2.2 Povinnosti provozovatele strojního zařízení .....	20
2.3 Normy.....	20
2.3.1 Organizace norem .....	20
2.3.2 Struktura norem.....	20
2.3.3 Normy týkající se robotizovaných pracovišť .....	21
3 POSOUZENÍ RIZIKA .....	22
3.1 Posouzení rizika u robotizovaných pracovišť .....	22
3.1.1 Rizikové faktory .....	22
3.2 Dokumentace.....	22
4 SNÍŽENÍ RIZIKA.....	23
4.1 Úroveň zabezpečení .....	23
4.2 Bezpečný návrh .....	24
4.2.1 Ochrana před elektrickým rázem .....	24
4.2.2 Nouzové zastavení stroje.....	24
4.3 Technická ochranná opatření .....	25
4.3.1 Pevné ochranné kryty .....	26

4.3.2 Dveřní systémy.....	26
4.3.3 Dvouruční ovládání .....	26
4.3.4 Bezkontaktní bezpečnostní přístroje .....	26
4.3.5 Nášlapné rohože .....	27
4.3.6 Kontrola parametrů stroje.....	27
5 ANALÝZA BEZPEČNOSTI ROBOTIZOVANÉHO PRACOVÍŠTĚ .....	28
5.1 Popis pracoviště.....	28
5.2 Pracovní cyklus .....	29
5.2.1 Vstupní dopravník .....	29
5.2.2 Robot .....	30
5.2.3 Dvouvřetenový soustružicí stroj.....	31
5.3 Posouzení rizika .....	32
5.3.1 Nebezpečné zóny.....	32
5.4 Snížení rizika.....	34
5.4.1 Oplocení .....	34
5.4.2 Dveřní systém.....	35
5.4.3 Vstupní dopravník .....	36
5.4.4 Výstupní skluz.....	37
5.4.5 Program robotu.....	37
5.5 Uvedení do provozu .....	37
ZÁVĚR.....	39
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	40
SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ .....	43

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## ÚVOD

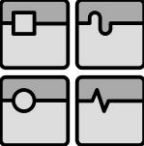
Průmyslové roboty tvoří moderní, rychle se rozvíjející odvětví průmyslové automatizace. Jejich potenciál spočívá ve zvýšení produktivity trhu a zvýšení kvality výrobků. Jsou využívány v mnoha průmyslových odvětvích, z nichž dominuje automobilový průmysl. [1]

Roboty jsou integrovány do samostatných pracovišť a výrobních linek. Jejich síla a dynamika značně převyšují lidské schopnosti, proto často ve výrobním procesu lidskou práci nahrazují. Tato výkonnost však způsobuje i značné problémy. Při kolizi s materiálem může působit destruktivně. V případě kolize s člověkem dokonce fatálně. Z tohoto důvodu je dostatečné zabezpečení pracoviště s integrovaným robotem a samotného robotu povinné. Cílem této práce je popsat aktuální legislativu týkající se právě bezpečnosti robotických pracovišť a ochranné opatření a bezpečnostní systémy používané k tomuto účelu.

V první části (kap. 1) jsou jako úvod do problematiky popsány samotné průmyslové roboty. Dále se práce zabývá aktuální legislativou (kap. 2) týkající se zabezpečení jak obecně strojních pracovišť, tak pracovišť s integrovaným robotem. Jako pomoc při dodržování legislativních předpisů slouží normy, které jsou v této kapitole také popsány.

Prvním krokem při zabezpečování robotizovaného pracoviště je posouzení všech rizik, která mohou nastat (kap. 3). Následuje proces jejich snížení (kap. 4). Bezpečnost je třeba brát v úvahu již od samého počátku navrhování a konstrukce pracoviště. Pokud to však není možné, je na místě použít technické ochranné opatření. Jejich výběrem a rozdělením se tato práce také zabývá.

V druhé části (kap. 5) je cílem navrhnout vhodné zabezpečení pro robotizované pracoviště dle zadání. Jedná se o dvou-vřetenový soustružicí stroj s šestiosým robotem a vstupním dopravníkem, který slouží k obrobení zápichu pro prachovku u vnějšího kloubu řízení. Po popisu celého pracoviště a jeho automatického cyklu se práce zaměřuje na analýzu bezpečnosti a návrh konkrétních ochranných opatření.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 12
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## 1 PRŮMYSLOVÉ ROBOTY

K pochopení problematiky bezpečnosti robotizovaných pracovišť je nutné nejprve definovat a popsat průmyslové roboty.

### 1.1 DEFINICE PRŮMYSLOVÝCH ROBOTŮ

Samotný pojem robot jako první použil ve své divadelní hře R.U.R. (Rossum's Universal Robots) český dramatik Karel Čapek. Roboti, vystupující v této hře, byli otroci, kteří nahrazovali lidskou práci. Nahrazování lidské práce je i podstatou dnešních průmyslových robotů.

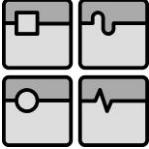
Jedná se o podskupinu robotů se společnými znaky. Tyto společné znaky lze definovat. Dle ISO 8373:2012 je průmyslový robot automaticky řízený, opětovně programovatelný, víceúčelový manipulátor programovatelný ve třech nebo více osách, který může být buď upevněn na místě, nebo může být mobilní, využívá se v průmyslových automatických aplikacích [2]

### 1.2 HISTORIE

Snahy vytvořit umělého člověka sahají až do antického období a dále pokračovaly více či méně úspěšně až do poloviny 20. století, kdy rozvoj robotů zaznamenal velký pokrok. V roce 1959 vynálezce George Devol a fyzik Joe Engelberger sestrojili první průmyslový robot zvaný Unimate, pracující na hydraulický pohon. O tři roky později ho následoval neméně známý cylindrický robot jménem Versatran. Tyto roboty se využívaly především v automatických svařovacích linkách. V roce 1973 přišla firma KUKA na trh s robotem Famulus, který měl šest elektromechanicky řízených os. Rok poté byl jinou firmou vyvinut první, plně elektrický, průmyslový robot řízený mikroprocesorem s označením IRB 6. Napodoboval pohyb lidské paže a jeho vzhled se příliš nelišil od současných zařízení. Dalším významným datem je rok 1978, kdy profesor Hiroshi Makino z japonské University of Yamanashi, vyvinul 3-osého robota s označením SCARA (Selective Compliance Assembly Robot Arm). Mezi další významné typy robotů vyvinutých během 80. a 90. let minulého století patří portálové roboty, které byly schopné nahradit hned několik robotů na podstavcích. Na počátku 21. století se začaly objevovat portálové roboty pohybující se po zakřivené dráze nebo roboty s integrovaným laserovým paprskem od německé firmy Reis. Velkým pokrokem byl i první bezdrátový Teach Pendant vyvinutý v Itálii. [3]

### 1.3 SOUČASNÉ TRENDY

Zatímco v předchozích letech byly průmyslové roboty využívány především v automobilovém průmyslu, v současnosti se díky jejich narůstající flexibilitě a lepší finanční dostupnosti rozšiřují i do jiných oblastí jako je textilní nebo potravinářský průmysl a farmacie. Programování robotů však vyžaduje jisté znalosti a je časově náročné, což není výhodné v malosériové výrobě. Proto se v současnosti klade důraz právě na zjednodušení programování. Pokrokem v této oblasti je nový způsob učení, které se provádí pomocí přímého vedení koncového efektoru po pracovní dráze, robot si dráhu zapamatuje a následně ji opakuje. Tímto způsobem robot programuje "sám sebe". Ukázka takovéto manipulace s robotem je na obrázku 1.1. [4]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 13
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	



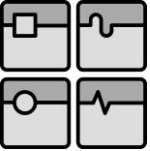
Obr. 1.1 Průmyslový robot LBR IIWA 7 R800, KUKA [5]

Dalším cílem je umožnit přímou interakci mezi člověkem a robotem, to však vyžaduje výrazné zlepšení bezpečnostních prvků integrovaných přímo v zařízení. Roboty ve většině případů pracují v odděleném prostoru, který je v automatickém režimu pro člověka zcela nepřístupný. Pouze v seřizovacím režimu, kdy je jeho rychlost výrazně omezena. To zcela vylučuje jejich spolupráci během pracovního cyklu. Vizí je robot, který je díky silovým snímačům, rychlostním omezovačům a eliminaci ostrých hran schopen kooperovat s člověkem. [4]

Další vývoj směřuje ke zdokonalení sensoriky a uchopování objektů. To je potřeba především v oblasti výroby elektroniky, kde je nutné přesně uchopovat často velice malé předměty aniž by došlo k jejich poškození. Cílem těchto snah je napodobit lidskou paži. [4]

## 1.4 POPIS

Každý robot lze definovat podle několika kritérií. Základním je kinematická struktura, která přímo určuje další vlastnosti, jako jsou stupně volnosti nebo tvar pracovního prostoru. Mezi další kritéria vhodná k posouzení patří hmotnost robotu a váha břemene, které je schopen unést. V neposlední řadě také způsob jeho ovládání, pohony, přesnost a rychlost s jakou se dokáže pohybovat. [6]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 14
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

### 1.4.1 ČÁSTI ROBOTU

Celý robot je umístěn na základně, která je pevně spojena s podlahou, stropem či stěnami. A to v rovině nebo pod úhlem. Na obrázku 1.2 jsou zobrazeny možnosti upevnění šestiosého robotu. Na základně se nachází tělo robota, které je tvořeno pevnými rameny spojenými pohyblivými klouby. Každý kloub představuje kinematickou dvojici. Je řízený pohony, které mohou být elektrické, hydraulické nebo pneumatické. Na konci je umístěn koncový efektor, který tvoří část manipulátoru robotu. [7]



Obr. 1.2 Druhy upevnění robotu [8]

### 1.4.2 KINEMATIKA

Průmyslový robot je mechanismus, který lze definovat jako: „*kinematický řetězec, jehož jedno rameno je připevněno k zemi.*“ [7] Kinematický řetězec je tvořen pohyblivě spojenými rameny. Určuje pohyb robotu a trajektorii jeho bodů. [7]

Každá řízená osa průmyslového robotu představuje jeden stupeň volnosti. Stupně volnosti popisují možnosti pohybu koncového efektoru. Jeho poloha v rovině je definována třemi parametry a v prostoru šesti. [7]

### 1.4.3 PRACOVNÍ PROSTOR

Pracovní prostor robotu je množina všech poloh, kam dosáhne koncový efektor.

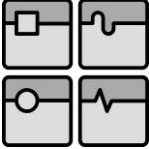
Dosah se odvíjí od kinematické struktury, která je tvořena soustavou kinematických dvojic. Ty mohou být translační nebo rotační. Jejich kombinace určuje tvar pracovního prostoru. Ten se dělí do čtyř základních kategorií. [6]

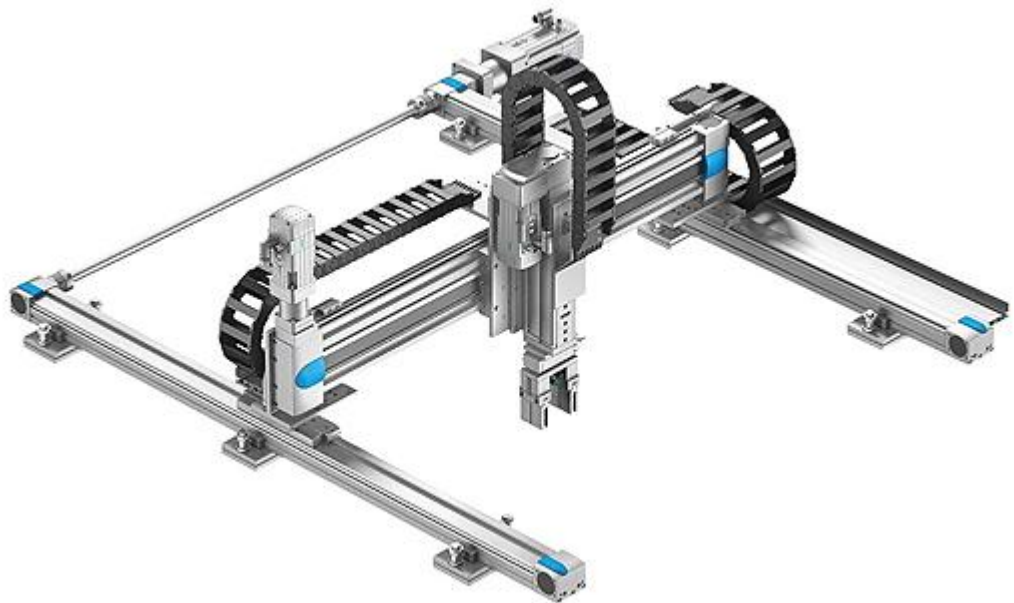
Prvním z nich je kartézský, robot vykonává pouze translační pohyby. Tyto roboty obvykle nejsou využívány pro složitější operace v prostoru, ale spíše jako manipulátory. K pohybu bývají často využívány lineární vedení. Dalším typem pracovního prostoru je cylindrický. Takovýto robot vykonává dva translační a jeden rotační pohyb. Výsledný pracovní prostor má, jak již plyne z názvu, tvar válce. Pokud robot vykonává dva rotační pohyby s jedním translačním, jeho pracovní prostor se nazývá sférický a má tvar koule. Posledním typem je torusový pracovní prostor, který je spolu s kartézským v poslední době velice rozšířen. Tento prostor je tvořen třemi rotačními kinematickými dvojicemi. [6]

### 1.4.4 TYPY ROBOTŮ

#### Kartézské roboty

Hlavice se pohybuje v pravoúhlém souřadnicovém systému. K tomu obvykle využívá tři lineární vedení. Pracovní prostor má tvar krychle nebo kvádrů. Takovýto robot není příliš energeticky náročný a využívá se tam, kde není potřeba větší počet stupňů volnosti. [6, 9, 10]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 15
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	



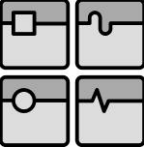
Obr. 1.3 Kartézský robot s pneumatickými pohony firmy Festo [10]

### SCARA roboty

Tyto roboty mají tři rotační klouby, které jim umožňují rychlý pohyb v horizontální rovině. Vertikální pohyb je zajištěný posledním ramenem a je v porovnání s více-osými roboty značně omezen. SCARA roboty se využívají především k manipulačním nebo technologicky jednodušším úkonům. Jsou rychlejší než kartézské roboty a jejich programování není tolik náročné jako programování více-osých robotů.



Obr. 1.4 SCARA robot G6-451 S firmy Epson [11]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 16
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

### 6-tiosé roboty

Tyto roboty jsou složeny z rotačních kloubů a pevných ramen, to jim umožňuje přesně polohovat svůj koncový efektor a snadno se vyhýbat překážkám v pracovním prostoru. Ukázka 6-tiosého robotu je na obr. 1.4 a jeho dosahu na obr. 5.3. Dosah je tvořen z kulových segmentů. [6]

Pracovní dráha je obvykle z velké části tvořena kruhovými segmenty. Kvůli rotačním vazbám je to pro robot výhodnější a jeho pohyb je rychlejší než když se má pohybovat translačně.

Uplatnění nacházejí například při sváření, řezání, lakování nebo manipulaci. Obecně vykonávají složitější operace než Kartézské nebo SCARA roboty.

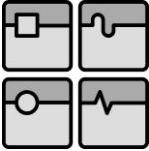


Obr. 1.5 Průmyslový robot IRB 1600/1.45 m, ABB [8]

### Redundantní roboty

Stejně jako 6-tiosé roboty jsou schopny přesně polohovat koncový člen. Rozdíl je v tom, že se redundantní roboty chovají více jako lidská ruka. Ta dokáže uchopit pevný objekt a přitom dále hýbat s loktem a ramenem. To stejné umí redundantní roboty, uchopí fixní objekt a mohou se přitom natáčet do různých poloh. [9]

Redundantní znamená nadbytečný. K přesnému polohování stačí 6 os, redundantní roboty mají os více. Tyto nadbytečné osy umožňují požadované natáčení. Ukázka takového

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 17
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

zařízení je na obrázku 1.1. Jejich výhodou je, že se dokážou pohybovat i ve velmi omezeném prostoru s velkým počtem překážek.

### Roboty s více rameny

Obvykle se jedná o roboty s dvěma rameny, které jsou schopny vzájemně spolupracovat. Těchto ramen však může být více, robot na obrázku 1.5 má čtyři. Využití nachází například v medicíně. Zde asistují chirurgům při lékařských zákrocích. A jejich počet se stále zvyšuje. Dle průzkumu, který provedl americký mezinárodní deník The Wall Street Journal pod názvem „*The Pros and Cons of Robotic Surgery*“, neboli klady a zápory robotické chirurgie, bylo v roce 2000 provedeno 1000 operací s asistencí robota. V roce 2012 to bylo již 450 000 operací. [12]



Obr. 1.6 Robot Da Vinci firmy IntuitiveSurgical [12]

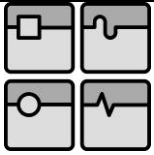
## 1.5 ŘÍZENÍ

Existují dva různé druhy řízení průmyslových robotů, bodové a dráhové. Bodové se využívá tam, kde stačí přesně definovat několik technologicky důležitých bodů, kterými musí robot projet. Takovýto pohyb se nazývá PTP (point to point), robot se pohybuje od bodu k bodu, přičemž si dráhu mezi jednotlivými body volí tak, aby pro něj byla co nejvýhodnější. Dalším typem je dráhové řízení, kdy se robotu nadefinuje celá jeho pracovní dráha. To je zapotřebí například u spojitého svařování nebo lakování. Dráhové řízení se někdy označuje pod zkratkou CP (continuous path). [6]

## 1.6 VYUŽITÍ

Roboty nacházejí uplatnění v různých průmyslových odvětvích, toto široké spektrum je způsobeno jejich flexibilitou, především výměnným koncovým efektem, který je možno uzpůsobovat konkrétním potřebám daného odvětví.

Největším odběratelem robotů je již tradičně průmysl automobilový, využívají se zde při svařování, obrábění, paletizaci, řezání laserovým paprskem nebo ve slévárenství. Mezi další odvětví patří výroba elektroniky a textilní nebo potravinářský průmysl, kde musí být při manipulaci s potravinami splněny hygienické předpisy. Dalším odvětvím je zdravotnictví,

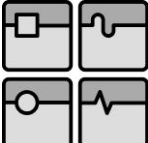


BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

zařízení musí být upravena pro práci ve sterilním prostředí. Dále lze průmyslové roboty využít například při výrobě fotovoltaik, plastů nebo při barvení. [12, 13]



Obr. 1.7 Průmyslový robot TX90 firmy Staubli pro práci ve sterilním prostředí [15]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 19
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## 2 LEGISLATIVA

V zájmu ochrany zdraví osob a také majetku byly vytvořeny zásady, kterými se musí jak výrobce, tak uživatelé strojního zařízení řídit. Jejich dodržováním lze předejít nebezpečným situacím a úrazům.

Aby bylo možno porovnávat bezpečnostní charakteristiky všech strojních zařízení v prostoru EU, vydala Rada evropského společenství směrnice platné v celém jejím prostoru, nezávislé na aktuální politice členských států, které jsou povinny je respektovat. Tyto směrnice jsou závazné i pro státy, které nejsou členy EU, ale mají zájem do tohoto prostoru stroje dovážet. [16]

### 2.1 LEGISLATIVA V ČESKÉ REPUBLICE

V roce 2006 byla schválena tzv. Nová směrnice pro stroje (2006/42/EG, v ČR NV č.176/2008 Sb.). Od 29. 12. 2009 plně nahradila tzv. Starou směrnici pro stroje (98/37/eg, v ČR NV č.24/2003 Sb.). [17]

Nařízení č.176/2008 Sb. o technických požadavcích na strojní zařízení (se změnami: 170/2011 Sb., 229/2012 Sb.) se obrací na výrobce a také prodejce strojních zařízení. Směrnice definuje také bezpečnostní požadavky na strojní zařízení tak, aby byla zajištěna ochrana zdraví jeho uživatelů. [18]

Splněním těchto požadavků ale celý proces nekončí, je třeba zajistit bezpečný provoz stroje. Za tímto účelem vstoupilo v platnost nařízení vlády č. 378/2001 Sb. ze dne 12. 9. 2001, stanovující bližší požadavky na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a náradí. Nařízení je v souladu s právem Evropské unie, čímž se odbourávají tržní bariéry s členskými státy EU. [19]

Mezi další důležité nařízení a zákony patří zákon č. 226/2003 Sb. týkající se technických požadavků na výrobky, nařízení vlády č. 24/2003 Sb. stanovující technické požadavky na strojní zařízení, zákon č. 262/2006 Sb. který je zákoníkem práce. Dále předpis 89/2012 Sb. o odpovědnosti za škodu způsobenou vadou výrobku, který od 1. 1. 2014 ruší platnost předchozího předpisu 209/2000 Sb. [19]

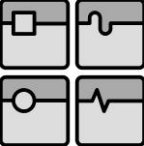
### 2.2 POVINNOSTI

Z výše uvedených zákonů a směrnic vyplývají jak pro výrobce, tak pro provozovatele určité povinnosti. Jejich znalostí a dodržováním lze buď zcela předejít nebo alespoň minimalizovat riziko ohrožení osob a majetku.

#### 2.2.1 POVINNOSTI VÝROBCE STROJNÍHO ZAŘÍZENÍ

Výrobce je povinen dodržet následující opatření:

- Stroj musí mít bezpečnou konstrukci, která splňuje požadavky Směrnice pro stroje. Výrobce je povinen vzít v úvahu bezpečnost již v průběhu návrhového a konstrukčního procesu.
- Vytvoření provozního návodu v úředním jazyce země uživatele. Pokud se jedná o překlad, je třeba přiložit i originální provozní návod.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 20
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- Vytvoření technické dokumentace obsahující dokumenty důležité z hlediska dodržení bezpečnosti. Dokumentace musí být k dispozici minimálně 10 let po skončení výroby stroje.
- Prohlášení o shodě a označení stroje značkou CE, čímž výrobce s právní závazností potvrzuje, že strojní zařízení splňuje směrnice a zákony daného obchodního prostoru.[17, 20]

### 2.2.2 POVINNOSTI PROVOZOVATELE STROJNÍHO ZAŘÍZENÍ

Provozovatel je povinen dodržet následující opatření:

- Používat pracovní prostředky, provádět servisní a údržbové intervaly a další národní požadavky, v ČR nařízení vlády č. 378/2001 Sb., kterým se stanoví bližší požadavky na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a náradí. [17]

## 2.3 NORMY

Normy slouží jako předmět dohody mezi dvěma stranami zájmu. Mohou to být výrobci strojního zařízení, jejich spotřebitelé nebo kontrolní orgány. Na jejich vytváření či schvalování se však nepodílí vláda ani úřady, ale příslušné organizace (ISO, IEC, CEN, CENELEC). Nejedná se o legislativní předpisy nýbrž o pomoc při jejich dodržování. [17]

### 2.3.1 ORGANIZACE NOREM

Normalizační organizací v ČR je ÚNMZ, tato instituce vydává normy, které jsou v souladu s právními předpisy České Republiky. Tyto národní normy jsou často přejeté z evropských norem. Tím je zajištěna jednotnost v rámci Evropy. [17]

Platí následující principy:

- Pokud je převzata evropská norma, ale zároveň existuje národní norma, která jí odpovídá, přestává být tato národní norma platná. Musí být proto stažena.
- Pokud ale žádná evropská norma zabývající se stejným subjektem neexistuje, je stávající národní norma platná.
- Při sestavování nové národní normy je třeba žádat o její schválení na evropské úrovni.[17]

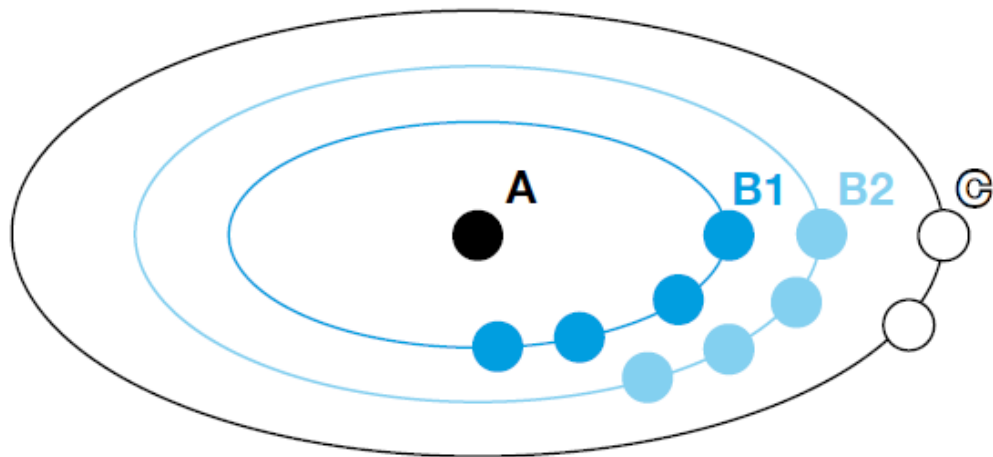
### 2.3.2 STRUKTURA NOREM

Jsou rozlišovány tři různé typy norem:

- Normy typu A: jedná se o úvod do problematiky bezpečnosti. Definují základní pojmy a základní pravidla pro konstrukci bezpečného strojního zařízení.
- Normy typu B: tyto normy jsou poněkud specifitější, zabývají se určitým bezpečnostním hlediskem nebo určitým typem bezpečnostního zařízení, které však může být aplikováno na větší počet strojních zařízení. Dále se dělí:
  - Normy typu B1: které se zabývají bezpečnostními hledisky, jako jsou bezpečné vzdálenosti, hluk apod.
  - Normy typu B2: týkající se aplikace bezpečnostních zařízení jako jsou např. ochranné kryty, bezpečnostní zámky nebo optické závory.

- Normy typu C: velice specifické normy, pojednávající o bezpečnostních požadavcích na jednotlivé stroje či skupiny strojů. Do této kategorie patří i průmyslové roboty.[20]

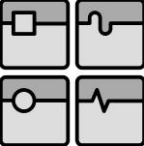
V případě, že se liší, má norma typu C má přednost před normou typu B nebo mezinárodní normou. [20]



Obr. 2.1 Struktura norem [21]

### 2.3.3 NORMY TÝKAJÍCÍ SE ROBOTIZOVANÝCH PRACOVÍŠŤ

Základní normou je ČSN EN ISO 12100. Tato norma specifikuje terminologii, zásady a metodologii k dosažení bezpečnosti při konstrukci strojního zařízení. Další velice důležitou normou je ČSN EN ISO 10218 specifikující požadavky na bezpečnost průmyslových robotů, která se dělí na dvě části: část první označená ČSN EN ISO 10218-1, zabývající se roboty a část druhá ČSN EN ISO 10218-2, zaměřená na systémy robotů a jejich integraci. Mezi další normy relevantní k posouzení bezpečnosti u pracovišť s průmyslovými roboty patří ČSN EN ISO 13850 specifikující konstrukční zásady pro funkci nouzového zastavení. Dále ČSN EN ISO 13855 určující umístění bezpečnostních zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla. ČSN EN ISO 13857 stanovuje hodnoty bezpečných vzdáleností k zamezení dosahu k nebezpečným prostorům strojního zařízení. ISO 14120:2002 specifikující požadavky na pevné a mobilní ochranné kryty a ČSN EN ISO 14119, které definuje zásady pro konstrukci a volbu blokovacích zařízení spojených s ochrannými kryty, jakou jsou například bezpečnostní zámky. V neposlední řadě také ČSN EN ISO 13849-1 - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Všeobecné zásady pro konstrukci. A jiné. [22]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 22
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

### 3 POSOUZENÍ RIZIKA

Před uvedením stroje do provozu musí být zajištěna bezpečnost osob. Prvním krokem k dosažení tohoto cíle je vhodná konstrukce stroje. Provádí se analýza rizika, která dle ISO 12100 zahrnuje:

- *“Určení mezních hodnot strojního zařízení,*
- *identifikace nebezpečí,*
- *odhad rizika a jeho zhodnocení.“* [20]

Posouzení rizika musí být provedeno paralelně s návrhem a konstrukcí stroje. Je třeba posoudit všechna možná rizika, a pokud je to nutné, případné riziko dostatečně snížit nebo eliminovat. [20]

#### 3.1. POSOUZENÍ RIZIKA U ROBOTIZOVANÝCH PRACOVÍŠŤ

Při posuzování rizika u pracovišť s průmyslovými roboty je třeba dle ISO 10218-1 vzít v úvahu především:

- *“Zamýšlené operace robota, včetně učení, údržby, seřizování a čištění,*
- *neočekávané spuštění,*
- *přístup osob ze všech směrů,*
- *rozumně předvídatelné chybné užití robota,*
- *poruchu v ovládacím systému a*
- *tam, kde je to nezbytné, nebezpečí spojená se specifickou aplikací robota.“* [23]

##### 3.1.1 RIZIKOVÉ FAKTORY

Pokud je v pracovišti integrován průmyslový robot, nejvýznamnějším rizikem je ohrožení přítomných osob pohybem jeho ramene a koncového efektoru. Toto se týká jak očekávaných, tak chybných pohybů robotu. Hrozí náraz, stlačení a další závažná poranění. Také může dojít k uvolnění nebo vymrštění výrobku při jeho manipulaci nebo uvolnění nástroje. Velice nebezpečná je rotace koncového efektoru, ale i rotační pohyb jakékoli osy robota, při níž může dojít k namotání vlasů nebo části oděvu pracovníka. V závislosti na funkci robota mohou být následky úrazů různé, jedná se především o elektrický šok, popáleniny, navinutí, stlačení, pořezání či náraz. Dalším, neméně důležitým, rizikovým faktorem je hluk. Důsledkem přílišného hluku nemusí být jen poškození sluchu, ale i ztráta rovnováhy či dokonce vědomí, což může vést k mnohem závažnějším mechanickým úrazům. Mezi další rizika patří vibrace, nebezpečná zařízení a v neposlední řadě i údržba samotného robota, při níž může docházet k manipulaci se zdraví škodlivými látkami. [23]

#### 3.2 DOKUMENTACE

Posouzení rizika je nutno dokumentovat. Je třeba uvést postup, dosažené výsledky, a pokud je to třeba, tak i snížení rizika. [17]

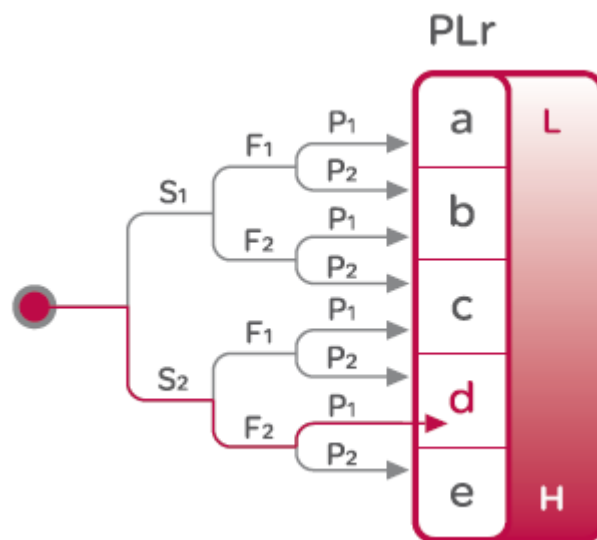
## 4 SNÍŽENÍ RIZIKA

Po posouzení rizika následuje proces, při kterém se snižuje riziko na přijatelnou úroveň nebo se zcela eliminuje. To se provádí pomocí konstrukčních úprav nebo ochranných opatření. Aplikací těchto bezpečnostních prvků však nesmí vzniknout žádné další riziko. V takovém případě se musí celý proces posouzení a snížení rizika opakovat. Opakování se provádí, dokud není riziko dostatečně sníženo. [17, 20]

### 4.1 ÚROVEŇ ZABEZPEČENÍ

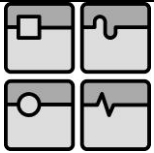
Úroveň zabezpečení je přímo úměrná riziku, které daný stroj nebo jeho součást představují. Jinak se zabezpečují místa, kde hrozí "pouhé" přiskřípnutí prstů pracovníka a místa, kde může dojít až k fatálním úrazům. Záleží také na tom, jak často a na jak dlouho je pracovník riziku vystaven, jestli každý den a hned několikrát či jednou nebo dvakrát do roka. A v neposlední řadě také, jestli je pracovník schopen nebezpečí předejít či nikoliv. [17]

Pro posouzení úrovně zabezpečení, které se určuje pro každé nebezpečí zvlášť, slouží rizikové grafy. Výstupem je požadovaný Performance Level, tedy minimální stupeň ochrany. Příklad určení úrovně zabezpečení z rizikového grafu je na obr.4.4. Kde S značí vážnost zranění, S<sub>1</sub> je lehké poranění a S<sub>2</sub> závažné s trvalými následky. F značí četnost a dobu vystavení riziku, F<sub>1</sub> občasné a krátké, F<sub>2</sub> časté a dlouhé. P označuje možnost riziku předejít, P<sub>1</sub> znamená, že riziku lze předejít, P<sub>2</sub> nikoliv. PL je definována v pěti stupních seřazených vzestupně podle úrovně nebezpečí - a, b, c, d a e. Roboty vždy patří do kategorie d, popřípadě e. [17, 21]



Obr. 4.1 Rizikový graf [21]

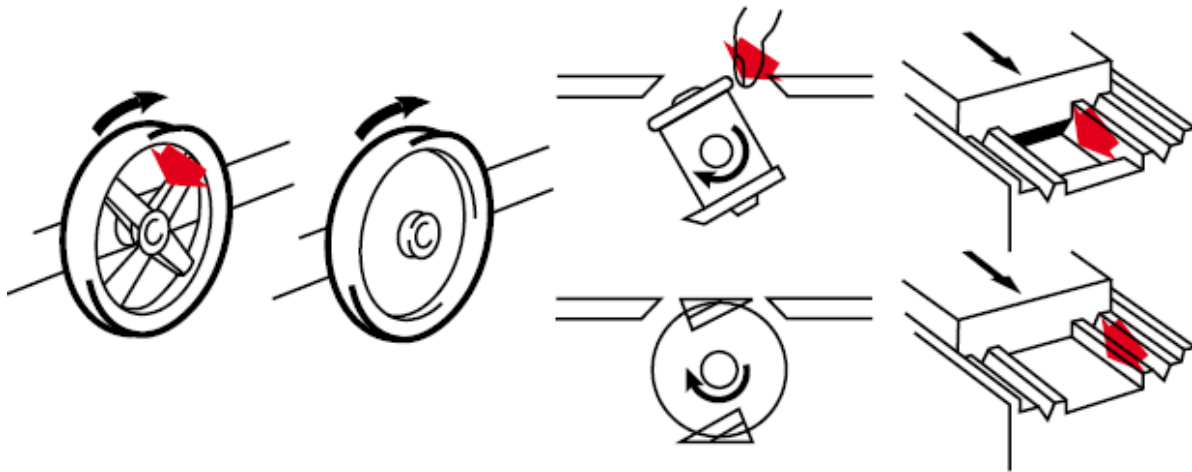
Požadovaná úroveň bývá často definovaná v C-normách.



## 4.2 BEZPEČNÝ NÁVRH

Bezpečnost je třeba brát v úvahu už od samého počátku navrhování stroje. Lze tak konstrukčně vyřešit mnohé rizikové faktory snadněji a často i zcela předejít použití technických ochranných opatření.

Mechanická konstrukce stroje by neměla obsahovat žádné ostré hrany nebo přesahující díly. Měla by být eliminována místa, kde by mohlo dojít k úrazu. Nebo alespoň by konfrontace s takovou oblastí měla být omezena na minimum. Použití přidavných technických ochranných prvků by v takovém případě byla nezbytná. Dalším řešením je instalace manipulačních stanic. Musjí být respektovány ergonomické principy a omezena kinetická energie stroje. [17]



Obr. 4.2 Eliminace nebezpečných míst [21]

### 4.2.1 OCHRANA PŘED ELEKTRICKÝM RÁZEM

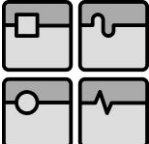
Abychom mohli vyloučit riziko spojené s elektrickým proudem, jsou nutná některá opatření. Jedním z nich je uzemňovací systém, čili vodivé spojení se zemí, které slouží jako vyrovnávání potenciálů. Dalším opatřením jsou síťové jističe, izolace nebo ochranné nízké napětí. [17]

Pokud se v pracovišti používají elektrostaticky citlivé součástky, jedná se o tzv. antistatické pracoviště. V takovém případě musí mít obslužný personál speciální ESD oděv a obuv, ty odvádí náboj statické elektřiny z povrchu jejich těla. [24, 25]

### 4.2.2 NOUZOVÉ ZASTAVENÍ STROJE

Pro rychlé zastavení stroje v případě nutnosti se používá spínač nouzového zastavení. To je však pouze doplňkové bezpečnostní opatření, nesnižuje nebezpečí. Jeho spuštění nesmí narušit funkci ostatních bezpečnostních opatření. [26]

Dle posouzení rizika se volí kategorie zastavení. V případě nouzového zastavení kategorie 1 dojde k zastavení všech nebezpečných pohybů a následně vypnutí energie. V případě nouzového zastavení kategorie 0, neboli neřízeného zastavení, dojde ihned k přerušování energie ke strojnímu pohonu. Robot může mít přidavnou funkci nouzového zastavení kategorie 2, která ho neodpojí od zdroje energie. Robot musí zůstat v klidovém

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 25
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

stavu. Pokud však dojde k jakémukoli nechtěnému pohybu, musí okamžitě dojít k nouzovému zastavení kategorie 0. [17, 23]

Po aktivaci zařízení nouzového zastavení lze stroj opětovně uvést do provozu až po jeho resetování.

Každý stroj musí obsahovat alespoň jedno zařízení nouzového zastavení, které musí být viditelné a snadno přístupné. Zařízení se označuje červeně a pozadí, na kterém je umístěno, žlutě. Příklad tohoto zařízení je na obr.4.3. Zde se jedná o spínač ovládaný hříbovým tlačítkem. [26]



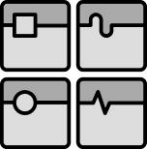
Obr. 4.3 Tlačítko nouzového zastavení [26]

### 4.3 TECHNICKÁ OCHRANNÁ OPATŘENÍ

Pokud existuje nebezpečí, které není možné odstranit konstrukčními prvky, je na místě zvolit jiné ochranné opatření. Po určení nezbytné úrovně zabezpečení se volí druh ochranného zařízení. Teprve po ověření jeho funkčnosti a vhodnosti je možné místo označit jako zabezpečené. [17]

Pokud je v pracovišti integrován robot, je na něj třeba brát zvláštní ohledy při navrhování bezpečnostních opatření. Aby nedocházelo k pracovním úrazům, musí mít pracovníci k dispozici návod k obsluze a musí být zaškoleni pro provoz dané linky.

Před spuštěním linky obsluha dle návodu zkontroluje zda je vše v pořádku a teprve poté smí linku uvést do chodu.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 26
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

#### 4.3.1 PEVNÉ OCHRANNÉ KRYTY

Slouží k mechanickému zabránění vstupu do nebezpečné oblasti, jako je například pracovní prostor robota. Mohou být pohyblivé (dveře) nebo nepohyblivé (plot). K montáži a demontáži těchto krytů je nutno použít nářadí. [27]

Pokud je skrz ochranné kryty vidět, minimalizuje to nutnost je otevírat nebo odstraňovat a tím se vystavovat riziku kontaktu s nebezpečným místem. Některý materiál však může svou průhlednost ztrácet. Například plasty se mohou časem poškrábat či znečistit. V takovémto případě je třeba kryt vyměnit.

Aby kryty skutečně zamezily dosahu jakékoliv části lidského těla do nebezpečného prostoru, musí být vhodně umístěny. Pokud jsou v nich otvory, je třeba odstup ochranné bariéry od nebezpečného místa. Velikost tohoto odstup je úměrná velikosti otvoru. Například jestli je otvor velký natolik, by jím prošla paže, musí být bezpečná vzdálenost přiměřená její délce. [27]

#### 4.3.2 DVEŘNÍ SYSTÉMY

Tyto systémy se využívají především na zabezpečení dveří v ochranných oploceních. Součástí zařízení je oboustranná klika, která umožňuje nouzově opustit nebezpečný prostor. Pokud pracovník vchází do oploceného prostoru strojního zařízení, musí počkat, dokud není stroj uveden do bezpečné polohy, teprve poté mu dveřní systém dovolí do prostoru vstoupit. Při vstupu do nebezpečného prostoru nesmí dojít k zavření dveří a opětovnému spuštění stroje. Proto se na dveřní systém věší mechanické zámky, které zabraňují zavření dveří zvenčí. [17, 28]

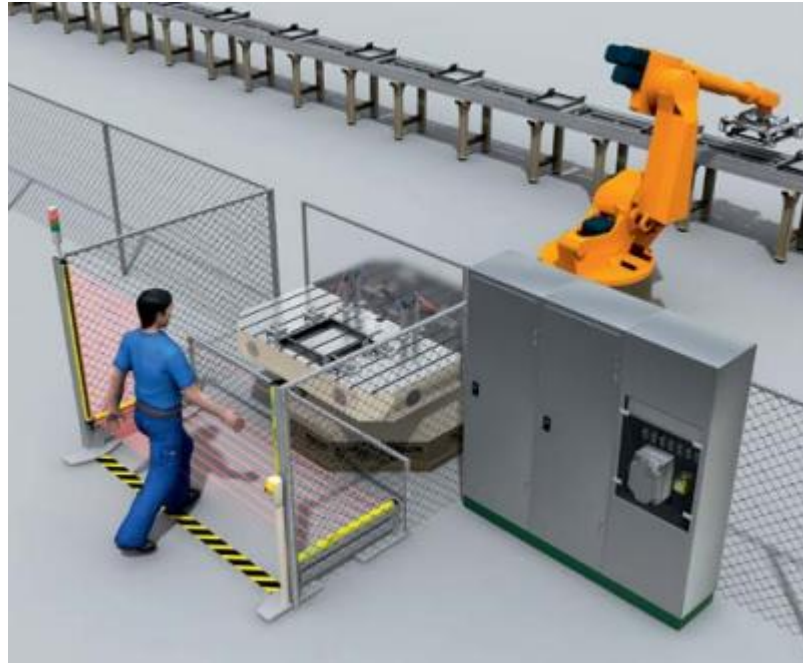
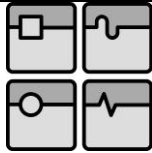
#### 4.3.3 DVOURUČNÍ OVLÁDÁNÍ

Princip tohoto zařízení spočívá v tom, že obsluha stroje, která se pohybuje uvnitř oploceného prostoru má obě ruce na tomto dvouručním ovládní, pokud jednu ruku uvolní, musí být okamžitě ukončen jakýkoli nebezpečný pohyb stroje. Toto zařízení je však vhodné spíše pro lisu nebo rezačky. [17]

#### 4.3.4 BEZKONTAKNÍ BEZPEČNOSTNÍ PŘÍSTROJE

Mezi bezkontaktní bezpečnostní přístroje patří světelné závěsy, mříže, laserové skenery a kamerové systémy. Na obrázku 4.4 je zobrazena světelná mříž. Nezabraňují vstupu do daného prostoru tak jako mechanické zábrany, ale při detekci rizikové situace spustí nouzové zastavení. Pokud je to třeba, je nejdříve stroj uveden do bezpečné polohy, to však neproběhne okamžitě, ale trvá po určitou dobu, proto se ochranné zařízení neumísťuje hned vedle nebezpečného místa, ale v bezpečné vzdálenosti od něj. [17]

Pokud je to vhodné, například na pásovém dopravníku převážejícím náklad, je možné část detekční zóny odstínit. Tato odstíněná část by měla kopírovat tvar nákladu. Tímto způsobem lze od sebe rozlišit člověka a materiál. [17]



Obr. 4.4 Světelná mříž [29]

#### 4.3.5 NÁŠLAPNÉ ROHOŽE

Nášlapné rohože poskytují ochranné pásmo kolem nebezpečných oblastí strojů, například robotů. Stoupnutí na podložku vyvolá zastavení nebezpečného pohybu stroje. Musí být ovšem opět dodržena bezpečná vzdálenost, aby nebylo možné přes rohož natáhnout končetinu až do nebezpečného prostoru. [21]

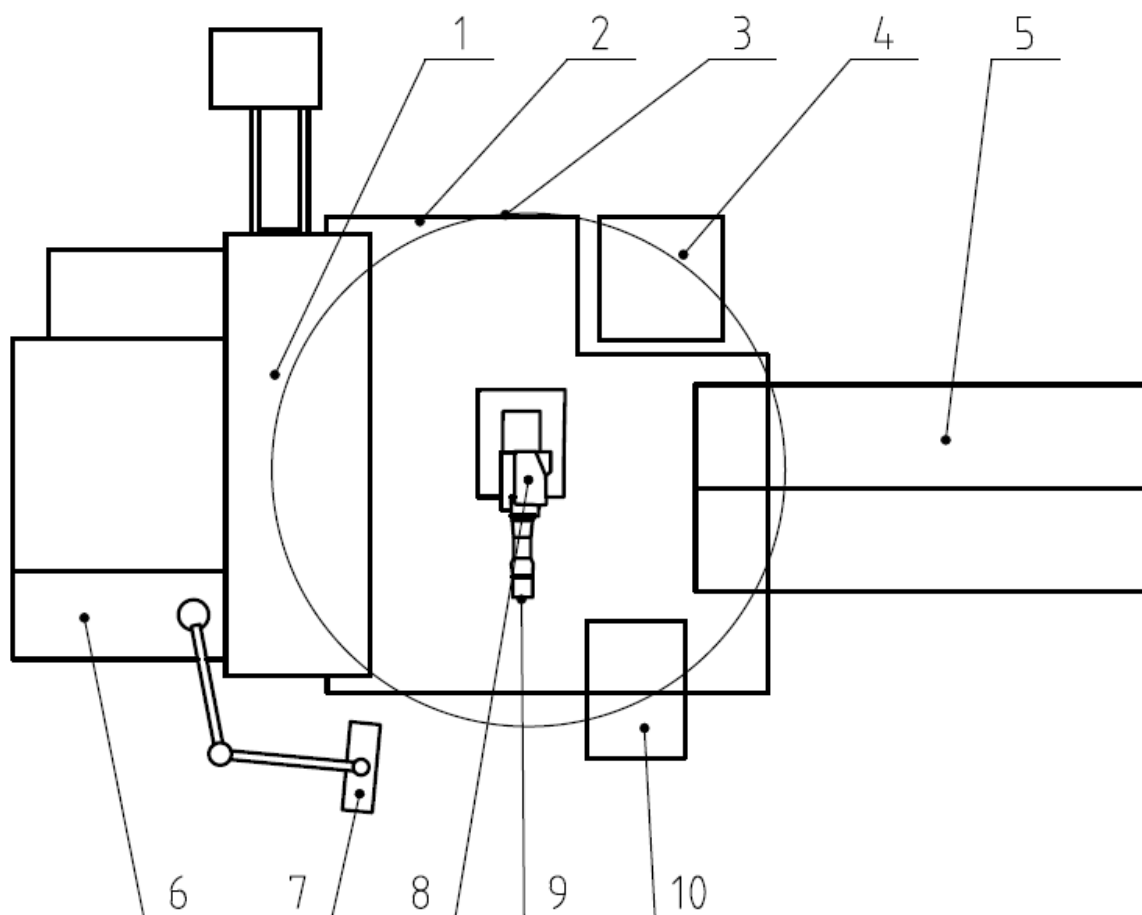
#### 4.3.6 KONTROLA PARAMETRŮ STROJE

V některých případech, často tomu tak bývá u robotů, je třeba kontrolovat různé parametry související s bezpečností. Pokud je překročena limitní hodnota některého z parametrů, ozve se varovný signál nebo se zařízení úplně zastaví. Nejčastěji se měří rychlost pohybu, teplota a tlak. [29]

Roboty jsou často vybaveny senzory na kontrolu pozice. Jedná se o tzv. měkké meze, které buď omezují robota v pohybu na definovanou zónu v jeho pracovním prostoru nebo mu zamezují vstoupit do určité zóny. Pokud je bezpečnostní měkká mez porušena, musí být vyvoláno ochranné zastavení robota. [23]

## 5 ANALÝZA BEZPEČNOSTI ROBOTIZOVANÉHO PRACOVIŠTĚ

Výše zmíněné postupy jsem využila při řešení bezpečnosti zadaného robotizovaného pracoviště. Konkrétně se jednalo o dvou-vřetenový soustružicí stroj s šestiosým robotem IRB 1600 firmy ABB a vstupním dopravníkem. Na obrázku 5.1 je vidět půdorys tohoto pracoviště v měřítku přibližně 1:40.

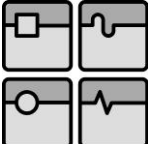


Obr. 5.1 Schéma robotizovaného pracoviště

1 – dvou-vřetenový soustruh, 2 - oplocení, 3 - dosah robotu, 4 - kontrolér robotu, 5 - vstupní dopravníky obrobků, 6 - elektrorozvaděč stroje, 7 - ovládací panel stroje, 8 - robot, 9 - koncový efektor, 10 - výstupní skluz dopravník

### 5.1 POPIS PRACOVIŠTĚ

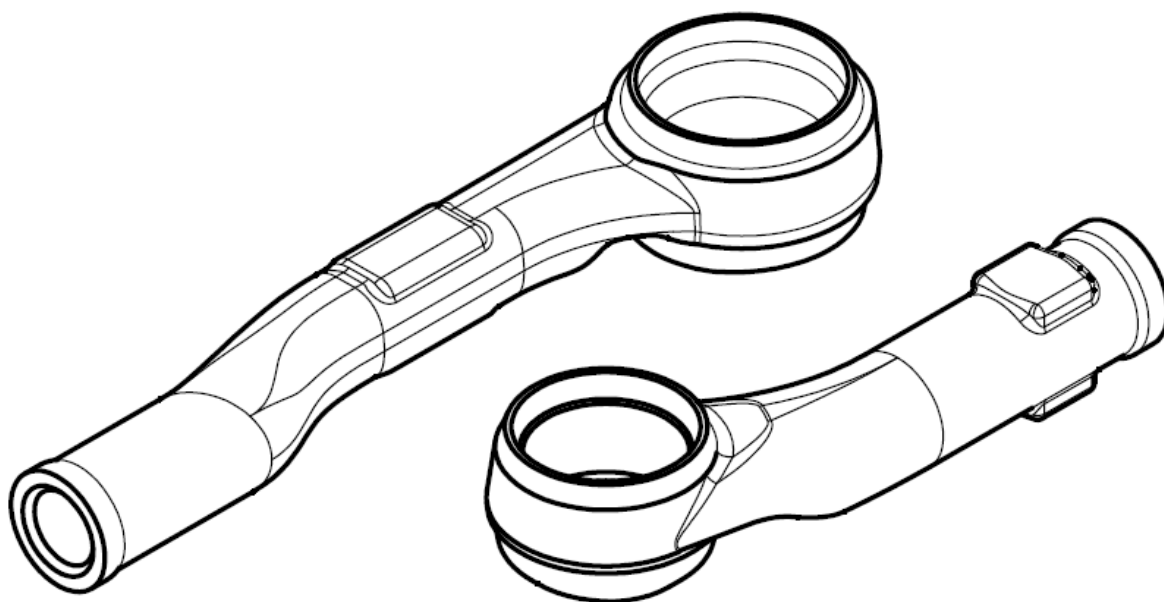
Pracoviště je tvořeno vstupním dopravníkem, do kterého obsluha ručně zakládá obrobky ve dvou řadách. Na druhém konci tohoto dopravníku jsou uchopeny robotem, který je zakládá do stroje, kde jsou obrobny. Následně jsou opět uchopeny robotem a již hotové vypuštěny do

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 29
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

výstupního skluzu, kde padají do připravené bedny, která je po naplnění vyměněna obsluhou pracoviště.

Celé strojní zařízení slouží k obrobení zápichu pro prachovku u vnějšího kloubu řízení. Výkovek má již obrobený vnitřní průměr. Vnější kloub se v dalších operacích sesadí s čepem za jeho kulovou část. Ta je chráněna prachovkou, což je gumové těsnění sloužící k ochraně proti vnějším nečistotám a naplnění vnitřního prostoru trvalou tukovou náplní.

Na stroji se obrábí dva typy vnějších kloubů, montovaných do řízení automobilů.



Obr. 5.2 Nákres obrobků

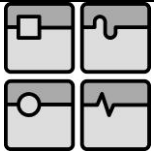
## 5.2 PRACOVNÍ CYKLUS

Aby bylo možné vhodně zvolit ochranná opatření, je třeba znát pracovní cyklus pracoviště, především pak robotu, který představuje významný rizikový faktor z hlediska bezpečnosti personální obsluhy.

Pracoviště není součástí plně automatické linky, ale má ho na starost pracovník, který vkládá i odebírá obrobky. Celý proces začíná u vstupního dopravníku.

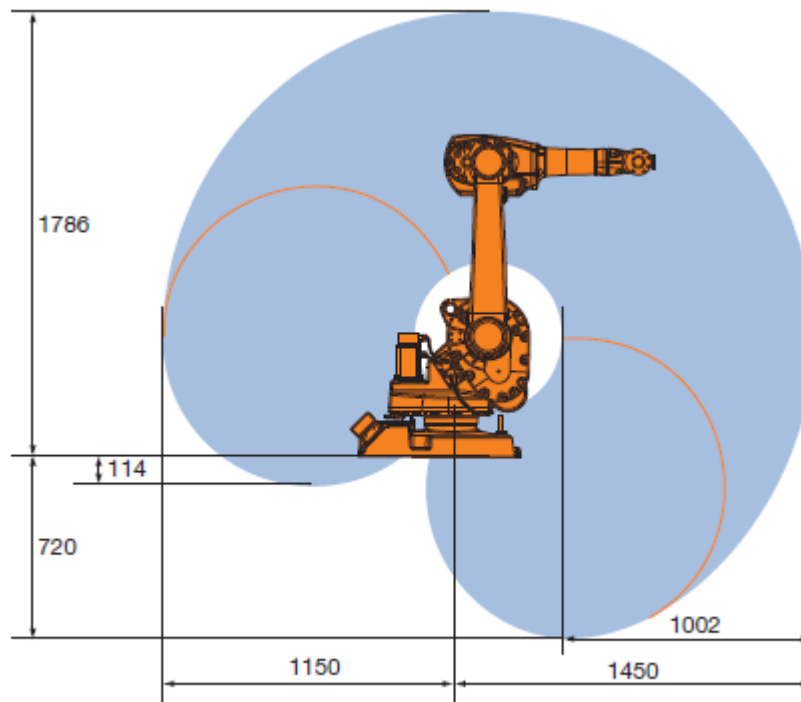
### 5.2.1 VSTUPNÍ DOPRAVNÍK

Pracovník ručně zakládá obrobky do vstupních krokových dopravníků. Ty jsou upraveny tak, aby umožňovaly snadné umístění součástí ve správném směru a úhlu. V provozu je vždy jen jeden ze dvou dopravníků. Každý slouží k přepravě jiného typu obrobku. Obrobky se umísťují v řadách po dvou, a jakmile se dostanou do nakládací pozice, robotu je odeslán signál k jejich odebrání. Ten následně sjede k prvnímu obrobku, upne ho a zvedne, poté sjede ke druhému, který opět upne a odjede s oběma kusy. Po jejich odebrání se dopravník posune o jednu pozici, udělá jeden krok. Na konci této pozice se provádí kontrola přítomnosti kusů pomocí optického snímače, pokud jsou obě pozice po dobu pěti následných kroků prázdné, dopravník se zastaví a znovu uvést do automatického cyklu ho může pouze obsluha.



### 5.2.2 ROBOT

V pracovišti byl použit šestiosý robot firmy ABB s označením IRB 1600/1.45 m s užitečným za-tížením 6kg. Velikost pracovního prostoru je zakótována na obrázku 5.3.

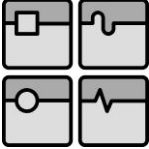


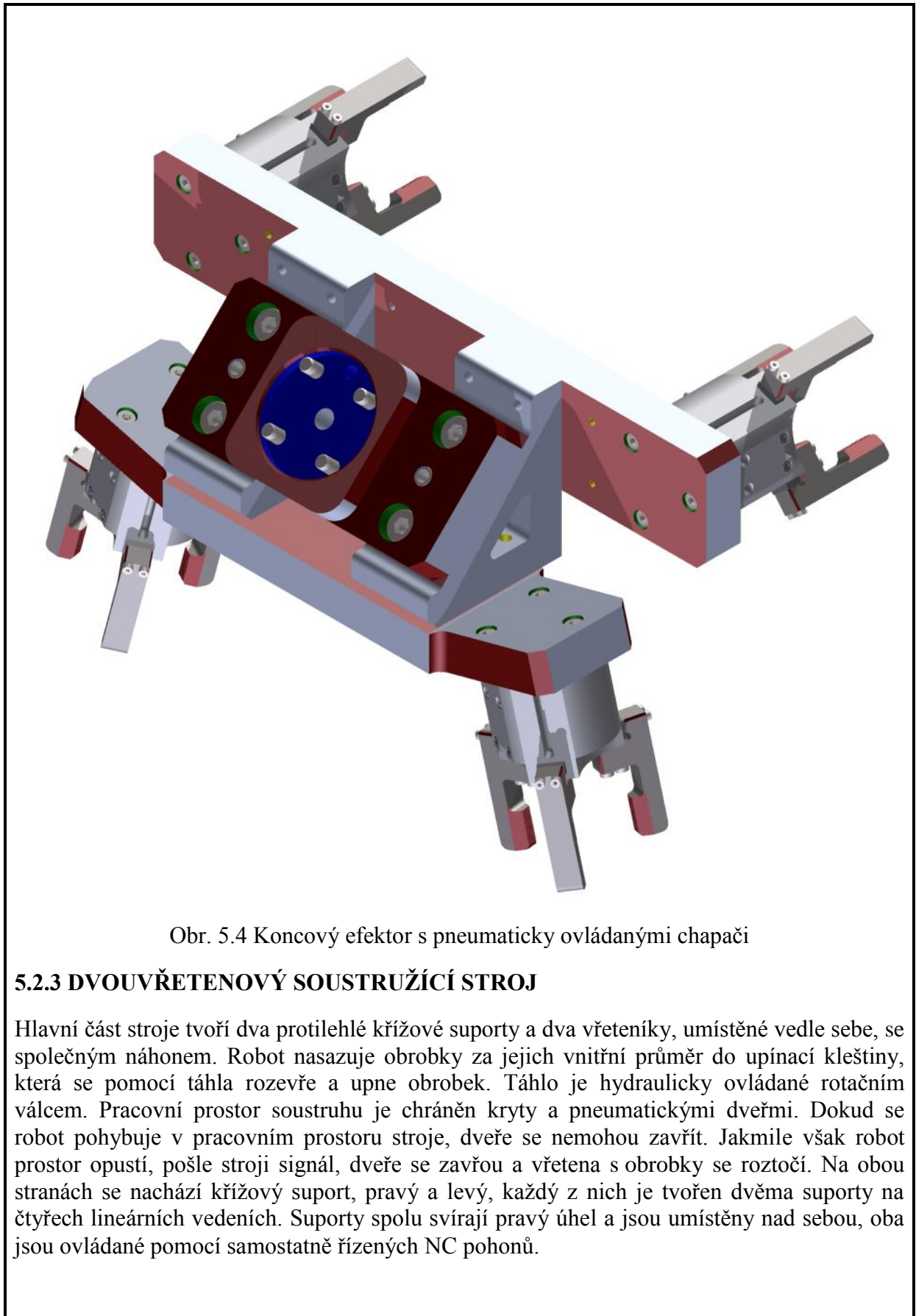
Obr. 5.3 Dosah průmyslového robotu IRB 1600/1.45 m, ABB s.r.o. [8]

Koncový efektor robotu má čtyři pneumaticky ovládané chapače. Dva pro vyjímání obrobků řízené jedním společným ventilem a dva pro zakládání, které jsou řízené samostatně. Chapače pro vyjímání obrobků jsou připevněny na desce pod úhlem. Když robot odebírá obrobky z dopravníku, využívá při upnutí právě tyto nakloněné chapače. Je tak schopen vyjmout nejdříve jeden a pak až druhý kus. Model koncového efektoru je vidět na obrázku 5.4.

Po odebrání kusů ze vstupního dopravníku robot přesune efektor ke dveřím stroje a čeká na signál, že jsou otevřeny. Po otevření dveří přijede dvěma volnými chapači ke kleštinovým upínačům a pneumaticky upne hotové obrobky za vnější průměry. Upínač se hydraulicky uvolní a robot je schopen kusy vyjmout. V této chvíli má koncový efektor upnuté čtyři obrobky. Následně se otočí o 90° a založí prvně jeden a poté druhý obrobek. Oba jsou upnuty samostatně, po každém upnutí se uvolní příslušný chapač koncového efektoru. Tímto způsobem se omezují nepřesnosti, které vznikají při uchopování za neobrobený vnější průměr výkovku, při nasazení do dvou upínačů s přesnou roztečí.

Robot opustí pracovní prostor soustruhu a pošle signál k zahájení pracovního cyklu stroje. Dále pokračuje po své dráze nad výstupní skluz, kde uvolní hotové kusy. Ty potom sjíždí do připravené transportní bedny.

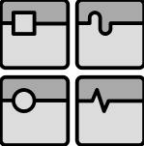
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 31
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	



Obr. 5.4 Koncový efektor s pneumaticky ovládanými chapači

### 5.2.3 DVOUVŘETENOVÝ SOUSTRUŽÍCÍ STROJ

Hlavní část stroje tvoří dva protilehlé křížové suporty a dva vřeteníky, umístěné vedle sebe, se společným náhonem. Robot nasazuje obrobky za jejich vnitřní průměr do upínací kleštiny, která se pomocí táhla rozevře a upne obrobek. Táhlo je hydraulicky ovládané rotačním válcem. Pracovní prostor soustruhu je chráněn kryty a pneumatickými dveřmi. Dokud se robot pohybuje v pracovním prostoru stroje, dveře se nemohou zavřít. Jakmile však robot prostor opustí, pošle stroji signál, dveře se zavřou a vřetena s obrobky se roztočí. Na obou stranách se nachází křížový suport, pravý a levý, každý z nich je tvořen dvěma suporty na čtyřech lineárních vedeních. Suporty spolu svírají pravý úhel a jsou umístěny nad sebou, oba jsou ovládané pomocí samostatně řízených NC pohonů.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 32
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Po uzavření dveří a roztočení vřeten přijede nástroj rychloposuvem k obrobkům a začne obrábět požadovanou část. Posuv při odebrání materiálu je přibližně 0,15mm/otáčku. Vřeten se točí rychlostí 2800 min<sup>-1</sup>.

Po skončení obrábění odjede suport do základní polohy a zároveň začíná brzdění vřeten. Až se zastaví, otevrou se dveře a robot může hotové obrobky vyjmout a začít zakládat nové kusy.

### 5.3 POSOUZENÍ RIZIKA

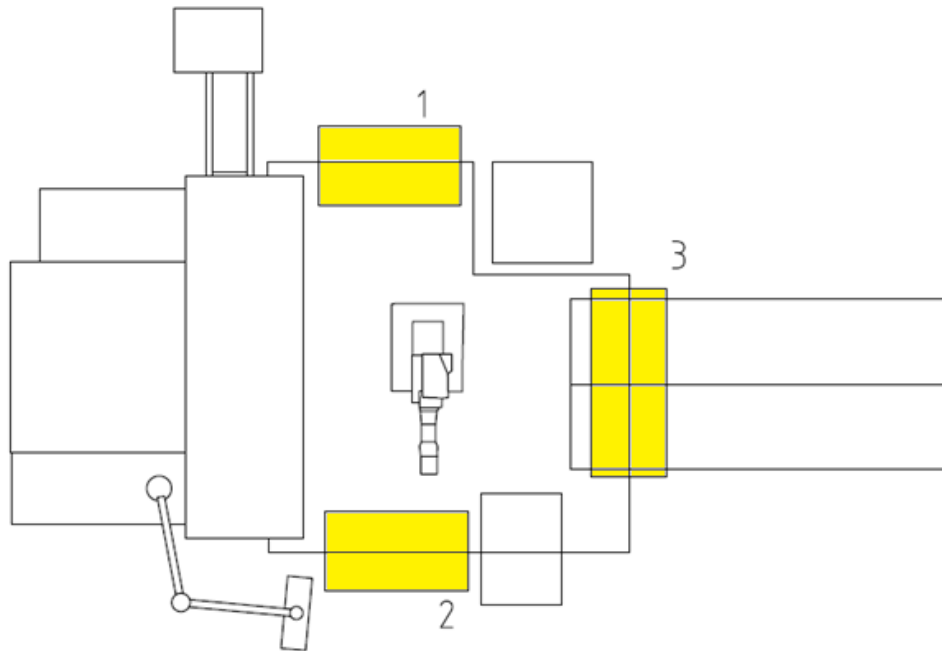
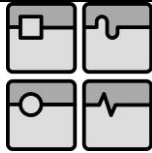
Stroj, robot ani dopravník nesmí být uvedeny do provozu, dokud nebude zajištěna bezpečnost, teprve poté může být zahájen automatický pracovní cyklus. Je třeba nalézt všechna možná nebezpečí, posoudit je a najít vhodné řešení.

Již při konstrukci pracoviště byla mechanicky eliminována některá nebezpečí, jako jsou ostré hrany a přesahující díly. Dále bylo kolem celého pracoviště umístěno ochranné pletivo jako mechanická zábrana před vstupem osob do pracovního prostoru během automatického cyklu. Stroj i robot jsou již naprogramovány i s funkcí nouzového zastavení, které splňuje požadavky normy ČSN EN ISO 13850.

I přes tato opatření však v pracovišti dále zůstávají nebezpečná místa, kde je třeba použít technická ochranná zařízení. Právě jejich volbou se budu v této kapitole zabývat.

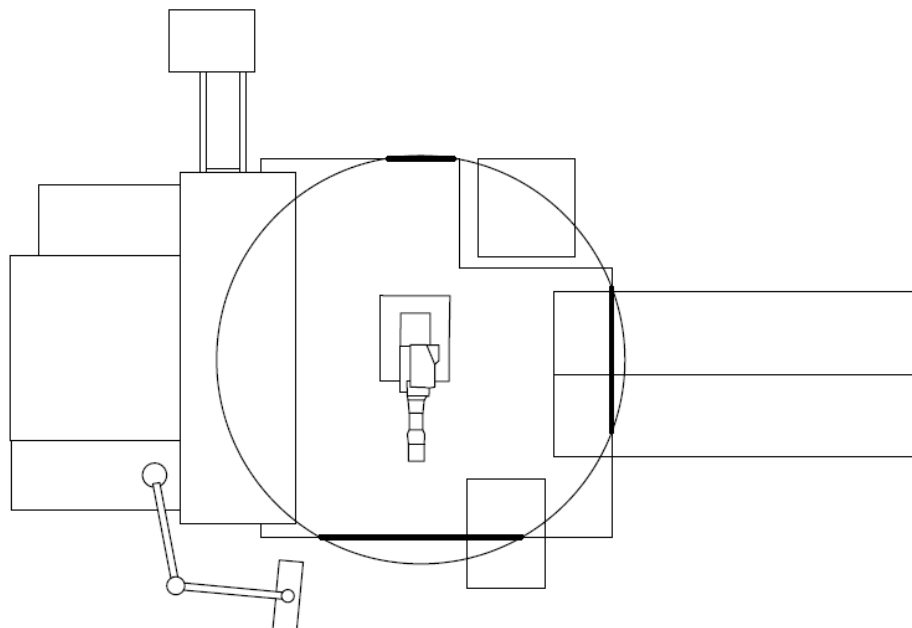
#### 5.3.1 NEBEZPEČNÉ ZÓNY

Na obrázku 5.5 jsem barevně vyznačila všechna dosud neřešená nebezpečná místa. Zóny 1 a 2 označují dveře v pletivu, které nejsou žádným způsobem jištěny. Proto by mohl kdokoliv vstoupit do pracoviště během automatického cyklu, kde by hrozilo velké nebezpečí úrazu. Zóna 3 se nachází nad vstupním dopravníkem v místě, kde obrobky vjíždí do pracoviště. Mezi dopravníkem a pletivem je mezera vysoká 40 mm. Touto mezerou lze prostrčit lidská paže. V takovém případě by hrozilo nebezpečí úrazu robotem, který v tomto místě uchopuje obrobky.

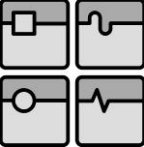


Obr. 5.5 Nebezpečné zóny

Robot je naprogramován tak, aby při pohybu po své pracovní dráze nenarazil do žádné překážky, stejně tak nesmí dojít ke kolizi, když vjíždí do své homepozice. Tam vjíždí pokaždé, když se provádí údržba nebo dojde k nouzovému zastavení. Na obrázku 5.6 je znázorněn dosah robotu. Pletivo, které se nachází v jeho dosahu, je zvýrazněno silnou čarou. V těchto místech hrozí kolize, a jelikož pletivo není uzpůsobené k zadržení ramene robotu, je třeba přidat ochranné opatření. Robot má programem omezené osy tak, aby do těchto nebezpečných míst nevjel, ovšem je třeba počítat i s možnou chybou v ovládacím systému.



Obr. 5.6 Průnik dosahu robotu s oplocením

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 34
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

Pletivo, které bylo použito k oplocení pracoviště, je husté právě tak aby mezerou mezi dráty šly prostrčit prsty lidské ruky. Takto by byly nechráněné v dosahu robotu a mohlo by dojít k jejich poranění. Pletivo, které se nachází za kontrolérem robotu, není z vnější strany přístupné, proto ho není třeba dále zabezpečovat. Tento úsek není na obrázku 5.6 silně vyznačen.

## 5.4 SNÍŽENÍ RIZIKA

Pro každé výše popsané nebezpečí jsem navrhla opatření k jeho snížení. K některým nebezpečím jsem navrhla i více než jedno řešení. U každého ochranného opatření bylo třeba kontrolovat, zda jeho aplikací nevzniká nové riziko.

### 5.4.1 OPLOCENÍ

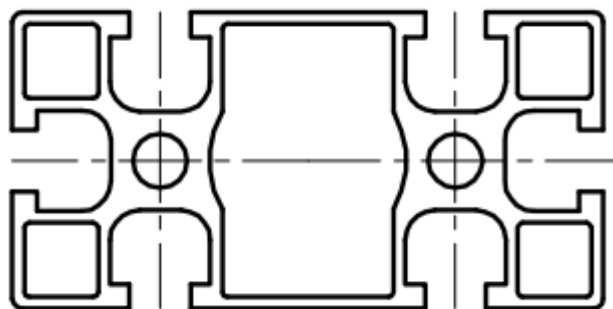
Oplocení je tvořeno panely s pletivem a dvěma dveřmi. Výška panelů je 2200 mm, šířky se pohybují v rozmezí 250 mm až 1300 mm. Bylo použito oplocení Axellent X-Guard s označením:

W322-220025  
W322-220040  
W322-220070  
W322-220100

Dále byla provedena úprava W322-220130 na rozměry 1300 x 1070 mm. Jedná se o pletivo umístěné nad vstupním dopravníkem, které nedosahuje na zem. Dveře, které jsou umístěny na obou stranách pracoviště, mají označení D10-XXX150A. Součástí těchto dveří není zámek.

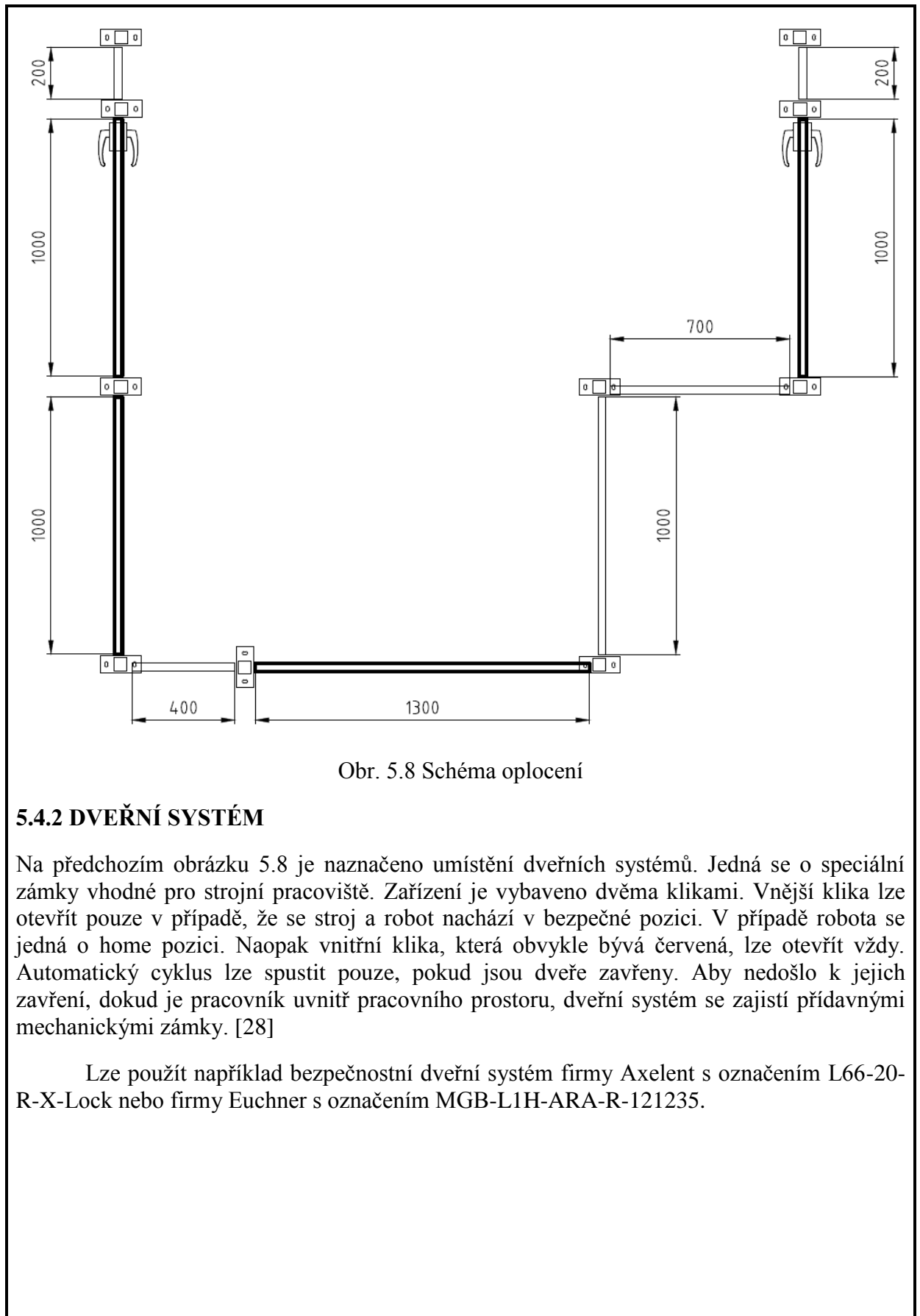
Na obrázku 5.7 je vidět šířka a uspořádání jednotlivých panelů. Silnou čarou jsou zvýrazněny ty panely, do kterých dosahuje rameno robotu. Aby se zde předešlo úrazům, navrhuji přidat plexisklo, které zabrání průchodu prstů skrz pletivo.

Plexisklo se umístí po celé ploše panelu pomocí speciálních hliníkových profilů. Lze použít například profil 103060 firmy ALUTEC K&K, a.s., který je vidět na obrázku 5.8.



Obr. 5.7 Hliníkový profil 30 x 60 mm, kód 103060, ALUTEC K&K [30]

Plexisklo lze použít například PLEXIGLAS®Resist 100 Clear 0RA00, které je vhodné jako kryt robotizovaného pracoviště, jelikož má zvýšenou odolnost vůči nárazu.

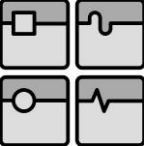


Obr. 5.8 Schéma oplocení

#### 5.4.2 DVEŘNÍ SYSTÉM

Na předchozím obrázku 5.8 je naznačeno umístění dveřních systémů. Jedná se o speciální zámky vhodné pro strojní pracoviště. Zařízení je vybaveno dvěma klikami. Vnější klika lze otevřít pouze v případě, že se stroj a robot nachází v bezpečné pozici. V případě robota se jedná o home pozici. Naopak vnitřní klika, která obvykle bývá červená, lze otevřít vždy. Automatický cyklus lze spustit pouze, pokud jsou dveře zavřeny. Aby nedošlo k jejich zavření, dokud je pracovník uvnitř pracovního prostoru, dveřní systém se zajistí přídatnými mechanickými zámky. [28]

Lze použít například bezpečnostní dveřní systém firmy Axelent s označením L66-20-R-X-Lock nebo firmy Euchner s označením MGB-L1H-ARA-R-121235.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 36
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

### 5.4.3 VSTUPNÍ DOPRAVNÍK

V místě, kde obrobky vjíždí do pracoviště, je mezera vysoká 40 mm. To je dle ČSN EN ISO 13857 dostatečná výška k tomu, aby se tímto otvorem protáhla lidská paže až po ramenní kloub. Pokud by se tak stalo, ocitla by se nejen v dosahu robota, ale i v jeho pracovní dráze. Minimální stupeň ochrany je PLd nebo Ple. Jelikož je možná prevence, bude v tomto případě postačovat PLd. [21]

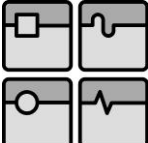
Jelikož lze mezerou teoreticky prostrčit celou paži, vzdálenost od nebezpečné zóny musí být minimálně 850 mm. Nebezpečná zóna je v tomto případě pracovní prostor robota. Tato vzdálenost je však nulová jelikož rameno robota dosáhne až k pletivu nad vstupním dopravníkem. [21]

Možným řešením jak tuto vzdálenost zvětšit je umístit nad dopravník tunel dlouhý 850 mm. Tunel zabrání přístupu do této nebezpečné zóny. Délka dopravníku od pletiva je 1500 mm. Zbývá 650 mm nekryté délky, která je dostačující k zakládání obrobků. Tunel může být vyroben například z plechu 11 373 a k pletivu a dopravníku přišroubován, aby v případě nutných oprav či údržby dopravníku mohl být snímatelný.

Instalací tohoto tunelu však vzniká nové riziko. Hrozí vtáhnutí ruky do tunelu. Nabízí se více řešení tohoto problému. Jedním z nich je umístit před tunel jedno-paprskovou optickou závoru s minimálním stupněm ochrany PLd, která zajišťuje rychlou odezvu zařízení. Tato závora bude umístěna těsně nad projíždějícími obrobky. V případě rozpoznání spustí funkci nouzového zastavení. Další možností je umístit na konec tunelu plastový díl, který bude kopírovat tvar tunelu a přibližně i projíždějících obrobků. Tento díl však nebude upevněn, aby nevznikalo další riziko vtažení, ale bude zavěšený na pantech. Z vnitřní strany budou umístěna optická čidla, která budou kontrolovat, zda se plastový díl neotáčí v pantech. Pokud by se například pracovníkovi zachytila ruka za obrobek a byla po dopravníku vtažena do tunelu, plastový poklop se odklopí. Tento jeho pohyb zaznamená čidlo a vyšle signál k nouzovému zastavení dopravníku a celého pracoviště. Dalším řešením je více-paprsková optická závora, která je schopna rozpoznat projíždějící obrobky od lidských končetin. Při použití této více-paprskové závory není tunel vůbec nutný. Bezpečná vzdálenost se odvozuje od hustoty paprsků. Pokud by pak byla tato mezera dostatečně malá, bezpečná vzdálenost by se zkrátila na pouhé desítky milimetrů. Jako přídatné opatření bych volila prokluzovou spojku, která v případě přetížení zastaví krokový dopravník. Jelikož se jedná o mechanickou zábranu, která nedokáže vyvolat nouzové zastavení celého pracoviště, nelze použít samostatně, ale pouze jako doplněk k některému z výše uvedených ochranných opatření.

Je možné použít kteroukoli z těchto tří variant. Řešení s více-paprskovou optickou závorou je finančně nejnáročnější, ovšem poskytuje nejlepší ochranu. Řešení s plastovým poklopem je nejméně finančně náročné ovšem ochrana, kterou poskytuje, nemusí být dostačující vzhledem k instalovanému robotu v pracovišti. Z těchto důvodů bych volila variantu s jedno-paprskovou optickou závorou, která poskytuje dostatečnou úroveň zabezpečení a zároveň není tak finančně náročná jako závora více-paprsková.

Optické závory vyrábí například firma Sick ([www.sick.com](http://www.sick.com)) nebo Pilz ([www.pilz.com](http://www.pilz.com)).

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 37
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

#### 5.4.4 VÝSTUPNÍ SKLUZ

Dalším nebezpečným místem je výstupní skluz, po kterém sjíždí hotové kusy. Rameno robota opět dosahuje až k pletivu, ve kterém je mezera pro skluz. Zde se nabízí poměrně jednoduché řešení, stačí skluz zakrýt plechem stejně jako v případě vstupního dopravníku. Jelikož zde nehrozí vtáhnutí, není třeba na konec tunelu umístit žádné technické ochranné zařízení.

#### 5.4.5 PROGRAM ROBOTU

V pracovišti se nachází průmyslový robot s označením IRB 1600/1.45 m od firmy ABB s.r.o., který je vidět na obrázku 5.3. Robot má naprogramované technologicky významné body, mezi kterými se pohybuje PTP pohybem. Dále má definované dva boxy, jeden se nachází uvnitř pracovního prostoru stroje a druhý vně. Pokud se nachází v pracovním prostoru, pojízdný kryt soustruhu je otevřený, v opačném případě je zavřený. Až po uzavření krytu začíná obrábění, takže nehrozí riziko odlétávajících třísek. Pokaždé, když dojde k zastavení stroje, ať už standardního nebo nouzového, robot vjede do své home pozice. Zaujme vertikální polohu. Při vjíždění do této home pozice jsou mu opět definovány boxy. Z každého boxu je naprogramována jiná dráha tak, aby nedošlo ke srážce s okolím.

Je nutné však opět počítat s možnou chybou v ovládacím systému robotu, proto je třeba umístit nezávislou dodatečnou kontrolu, zdali se robot skutečně nachází ve své home pozici. Toho je možné dosáhnout například indukčním senzorem, který bude umístěn na rámu oplocení, v místě, vedle kterého se bude nacházet koncový efektor v home pozici robotu. Bude tak kontrolovat jeho přítomnost.

Pokud chce do pracoviště vejít pracovník, musí nejprve počkat na zastavení zařízení a jejich uvedení do bezpečné pozice, v případě stroje uzavření krytu a ukončení obrábění, v případě robotu vjetí do home pozice. Po otevření dveří, je vyslán signál, že se v pracovišti nachází osoba a nelze spustit automatický režim. Pouze ruční režim, ve kterém je rychlost robotu omezena na 15% jeho maximální rychlosti.


Pokud dojde k přetížení některé z os robotu, dojde k vypnutí pohonů. Toto přetížení rozpoznají silové snímače instalované v robotu. Pokud tak dojde ke srážce robotu s člověkem, například při ručním vedení robotu, vypne se pohon a robot nebude dále pokračovat ve svém pohybu. Tímto způsobem se zmírní či kompletně zabrání důsledkům nárazu.

Obrobky jsou pevně uchyceny v koncovém efektoru a nehrozí jejich vymrštění. Pokud by se tak přeci jen stalo, například vysláním špatného signálu k uvolnění pneumatických chapačů během pohybu robotu, jejich dráha nepřesáhne výšku pletiva a ty se o něj zastaví.

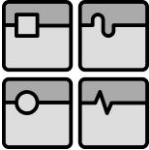
Robot je kontrolován vlastním programem, má omezené osy, definovanou dráhu i postup v případě nouzového zastavení. Pro zvýšení bezpečnosti je možné instalovat dodatečné ochranné zařízení, které kontroluje pohyby robotu. Jedná se o senzor pohybu. Příkladem je Motion Control od firmy ABB s.r.o., který ale není standardní součástí dodávaného robotu.

#### 5.5 UVEDENÍ DO PROVOZU

Před samotným uvedením robotizovaného pracoviště do provozu je třeba překontrolovat správnou funkci jednotlivých zařízení, a pokud byl robot programován na jiném místě, doladit jeho program, především souřadnice. Je důležité obeznámit uživatele se všemi ochrannými

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 38
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

prvky a informovat je o správném použití stroje. Dále je nutné informovat je o případném užívání osobních ochranných opatření jako je pracovní oděv či obuv.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 39
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## ZÁVĚR

Cílem této práce bylo analyzovat bezpečnostní systémy robotických pracovišť a platných norem, směrnic a legislativy, které se jich týkají. Toto bylo popsáno v první, rešeršní, části práce (kap. 1–4). Byly definovány a popsány průmyslové roboty, shrnuta aktuální legislativa a popsán postup při zabezpečování robotických pracovišť společně s rozdělením ochranných opatření.

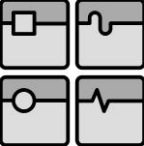
Dalším cílem bylo navrhnout zabezpečení pro pracoviště s dvou-vřetenovým soustruhem, průmyslovým robotem a vstupním dopravníkem. Pracoviště již bylo navrženo tak, aby se minimalizovala nutnost použít přídatná ochranná opatření. To však na některých místech nebylo možné. Proto jsem pro každé takové místo, kde stále hrozilo nebezpečí úrazu, navrhla řešení, jak toto riziko snížit. (kap. 5)

Byl použit robot IRB 1600/1.45 m od firmy ABB s.r.o., který má v poměru k rozměrům pracoviště velký dosah koncového efektoru. Na některých místech zasahoval do oplocení. Řešením bylo umístit do těchto míst přídatné plexisklo, které zabrání prostrčení prstů oky v pletivu.

Otvorem, kterým do pracovního prostoru vjížděly po krokovém dopravníku obrobky, bylo možné dle ČSN EN ISO 13857 protáhnout lidskou paži. Zde jsem pro srovnání navrhla více variant zabezpečení společně s návrhem té nejvhodnější, která představovala plechový tunel s optickou závorou na jeho konci a prokluzovou spojkou. Tímto způsobem se eliminovalo riziko úrazu robotem i vtažení končetin do tunelu.

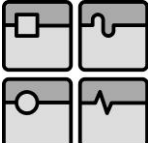
Dále se práce zabývala volbou vhodného dveřního systému a zabezpečením výstupního skluzu, kde se nabízela jednoduchá možnost, na celý skluz, stejně jako na vstupní dopravník, umístit plechový tunel.

Výsledkem je tedy funkční návrh zabezpečení konkrétního pracoviště, který splňuje současně platnou legislativu.

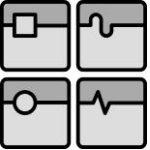
	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 40
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Industrial Robot Statistics. *IFR The International Federation of Robotics* [online]. 2014 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: <http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/>
- [2] ISO 8373:2012: *Robots and robotic devices - Vocabulary*. 2. vydání. Switzerland: International Organization for Standardization, 2012.
- [3] History of Industrial Robots. *IFR International Federation of Robotics* [online]. 2012 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: [http://www.ifr.org/fileadmin/user\\_upload/downloads/forms\\_\\_\\_info/History\\_of\\_Industrial\\_Robots\\_online\\_brochure\\_by\\_IFR\\_2012.pdf](http://www.ifr.org/fileadmin/user_upload/downloads/forms___info/History_of_Industrial_Robots_online_brochure_by_IFR_2012.pdf)
- [4] CHAMBERS, Nick. Top Six Trends in Industrial Robotics. *Robotics Tomorrow* [online]. 2014 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.roboticstomorrow.com/article/2014/09/top-six-trends-in-industrial-robotics/4726/>
- [5] KUKA. *LBR IIWA 7 R800* [online]. 2015 [cit. 2015-05-23]. Dostupné z: [http://www.kuka-robotics.com/res/sps/a737ee03-5832-4c95-9d91-84e0de80c664\\_LBR\\_iiwa\\_Product\\_brochure\\_EN.pdf](http://www.kuka-robotics.com/res/sps/a737ee03-5832-4c95-9d91-84e0de80c664_LBR_iiwa_Product_brochure_EN.pdf)
- [6] KOLÍBAL, Z.; KNOFLÍČEK, R. *Morfologická analýza stavby průmyslových robotů*. 1. 1. Košice: TU v Košicích - Edice vědecké a odborné literatury, 2000. 185 s. ISBN: 80-88922-27- 5.
- [7] SMUTNÝ, Vladimír. *Kinematika robotů, navigace robotů* [online]. 2010 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: [https://cw.fel.cvut.cz/wiki/\\_media/courses/a3b99ro/robotismutnycz.pdf](https://cw.fel.cvut.cz/wiki/_media/courses/a3b99ro/robotismutnycz.pdf)
- [8] ABB. *IRB 1600: Industrial Robot*. 2007. Dostupné také z: [www.abb.com/robotics](http://www.abb.com/robotics)
- [9] BOUCHARD, Samuel. What are the different types of industrial robots? *Robotiq* [online]. 2014 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://blog.robotiq.com/bid/63528/What-are-the-different-types-of-industrial-robots>
- [10] TERTÜNTE, Jörg a Lisa ENDRIJAITIS. Switching from robot systems to Cartesian handling systems. *Linear Motion TIPS: A Design World Resource* [online]. 2014 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.linearmotiontips.com/switching-robot-systems-cartesian-handling-systems/>
- [11] EPSON. *G6-451 S* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://robots.epson.com/product-detail/3>
- [12] Robotic Series 3: Your next favorite surgeon might be a robot. *ParisTech REVIEW* [online]. 2014 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.paristechreview.com/2014/06/26/robotics-series-surgery/>

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 41
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- [13] KUKA. [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: [http://www.kuka-robotics.com/czech\\_republic/cs/solutions/branches/automotive/start.htm](http://www.kuka-robotics.com/czech_republic/cs/solutions/branches/automotive/start.htm)
- [14] STÄUBLI. *Meeting the requirements of every industry* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.staubli.com/en/robotics/robot-solution-application/>
- [15] STÄUBLI. *TX90 stericlean robot* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.staubli.com/en/robotics/6-axis-scara-industrial-robot/specialized-robot/stericlean-robot/tx90-stericlean/>
- [16] SICK. *Safety Pocket reader: Normy v Evropě - teorie a praxe*. 2007.
- [17] SICK. *Bezpečné stroje: V šesti krocích k bezpečnému stroji*. 2008.
- [18] Nařízení č. 176/2008 Sb. o technických požadavcích na strojní zařízení: se změnami: 170/2011 Sb., 229/2012 Sb. *Sbírky zákonů na straně 2266*. Schváleno od 21.4.2008.
- [19] *Poslanecká sněmovna Parlamentu České republiky* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.psp.cz/sqw/hp.sqw>
- [20] ČSN EN ISO 12100: *Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2011.
- [21] SCHNEIDER ELECTRIC. *Safe Machinery Handbook* [online]. 2009 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.schneider-electric.cz/sites/czech-republic/cz/reseni/oem/strojni-bezpecnost/bezpecnostni-prirucka.page>
- [22] *NORMY.biz* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.normy.biz/>
- [23] ČSN EN ISO 10218-1: *Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 1: Roboty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, 2012.
- [24] EPA pracoviště. *ABE.TEC* [online]. 2008 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.antistatika.cz/epa-pracoviste/>
- [25] ESD Prostředí. *CLEANTEX* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://cleantex.cz/esd-prostredi>
- [26] Zásady pro konstrukci nouzového zastavení. *ElektroPrůmysl.cz* [online]. 2012 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.elektroprumysl.cz/elektronicke-prvky-a-systemy/zasady-pro-konstrukci-nouzoveho-zastaveni>
- [27] AXELENT, HABERKORN ULMER. *X-Guard©: Bezpečnost zařízení bez omezení*. Mokrý Lazce, 2010.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 42
	BAKALÁŘSKÁ PRÁCE	

- [28] Bezpečnostní dveřní systém MGB-AR. *EUCHNER* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.euchner.cz/produkty/bezpecnost/bezpecnostni-systemy/mgb-ar/>
- [29] SICK. *Guide for Safe Machinery: Six steps to a safe machine* [online]. 2013 [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <https://www.mysick.com/saqqara/im0014678.pdf>
- [30] Katalog. *ALUTEC K&K: Hliníkový konstrukční systém* [online]. [cit. 2015-05-22]. Dostupné z: <http://www.aluteckk.cz/Katalog/>

## SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

Obr. 1.1	Průmyslový robot LBR IIWA 7 R800, KUKA [5]	10
Obr. 1.2	Druhy upevnění robotu [8]	11
Obr. 1.3	Kartézský robot s pneumatickými pohony firmy Festo [10]	12
Obr. 1.4	SCARA robot G6-451 S firmy Epson [11]	12
Obr. 1.5	Průmyslový robot IRB 1600/1.45 m, ABB [8]	13
Obr. 1.6	Robot Da Vinci firmy IntuitiveSurgical [12]	14
Obr. 1.7	Průmyslový robot TX90 firmy Stäubli pro práci ve sterilním prostředí [15]	15
Obr. 2.1	Struktura norem [21]	18
Obr. 4.1	Rizikový graf [21]	20
Obr. 4.2	Eliminace nebezpečných míst [21]	21
Obr. 4.3	Tlačítko nouzového zastavení [26]	22
Obr. 4.4	Světelná mříž [29]	24
Obr. 5.1	Schéma robotizovaného pracoviště	25
Obr. 5.2	Nákres obrobků	26
Obr. 5.3	Dosah průmyslového robotu IRB 1600/1.45 m, ABB s.r.o. [8]	27
Obr. 5.4	Koncový efektor s pneumaticky ovládanými chapači	28
Obr. 5.5	Nebezpečné zóny	30
Obr. 5.6	Průnik dosahu robotu s oplocením	30
Obr. 5.7	Hliníkový profil 30 x 60 mm, kód 103060, ALUTEC K&K [30]	31
Obr. 5.8	Schéma oplocení	32