

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav výrobních strojů a zařízení



# Bakalářská práce

Návrh opatření pro bezpečný provoz robotických pracovišť

*Ondřej Petržík*

2023

BP 0291

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Petržík** Jméno: **Ondřej** Osobní číslo: **501301**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav výrobních strojů a zařízení**  
Studijní program: **Teoretický základ strojního inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Návrh opatření pro bezpečný provoz robotických pracovišť**

Název bakalářské práce anglicky:

**Safety design for safe operations of robotic cells**

Pokyny pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je návrh hardwarových a softwarových opatření pro bezpečný provoz robotických buněk s požadavkem na dodržení platných bezpečnostních norem. Do této problematiky spadají také stroje s volně přístupným pracovním prostorem, například plottery a různé měřicí stroje. Součástí práce je řešení řízení robotických buněk v manuálním a automatickém režimu při splnění všech bezpečnostních podmínek.

Osnova práce: Seznámení s řešenou problematikou, rešerše bezpečnostních prvků, implementace bezpečnostních prvků do robotických buněk, způsoby řízení stroje v manuálním a automatickém režimu.

Rozsah grafické části: obrázky, tabulky a grafy dle potřeby.

Rozsah textové části: 40 - 60 stran.

Seznam doporučené literatury:

ČSN EN ISO 10218-1 (186502). Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů

ČSN EN ISO 10218-2 (186502). Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Štěpán Chládek, Ph.D. ústav výrobních strojů a zařízení FS**

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

**Ing. Jiří Švéda, Ph.D. ústav výrobních strojů a zařízení FS**

Datum zadání bakalářské práce: **14.04.2023**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24.07.2023**

Platnost zadání bakalářské práce: **24.09.2023**

Ing. Štěpán Chládek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Petr Kolář, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

\_\_\_\_\_  
Datum převzetí zadání

\_\_\_\_\_  
Podpis studenta

## Prohlášení

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

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

V Praze dne 12.7.2023

.....  
podpis

## **Poděkování**

Děkuji svému vedoucímu práce Ing. Štěpánu Chládkovi, Ph.D. za konzultace, rady a připomínky, které mi pomohly při řešení bakalářské práce. Dále děkuji své rodině za podporu při psaní bakalářské práce.

## **Anotace**

Autor:	Ondřej Petržík
Název BP:	Návrh opatření pro bezpečný provoz robotických pracovišť
Rozsah práce:	58 str., 32 obr.
Školní rok vyhotovení:	2023
Škola:	ČVUT v Praze, Fakulta strojní
Ústav:	Ú12135 – Ústav výrobních strojů a zařízení
Vedoucí bakalářské práce:	Ing. Štěpán Chládek, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Jiří Švéda, Ph.D.
Zadavatel:	ČVUT FS, Ústav výrobních strojů a zařízení
Využití:	Zabezpečení robotických pracovišť
Klíčová slova:	robotické pracoviště, bezpečnostní normy, bezpečnostní prvky, volič režimů, návrh zabezpečení
Anotace:	Bakalářská práce se zabývá bezpečností robotických pracovišť. V první části jsou uvedeny bezpečnostní normy zabývající se bezpečností robotických pracovišť a bezpečnostní prvky, které se k zabezpečení používají. Ve druhé části je navržen způsob řízení zařízení v ručním a automatickém režimu s ohledem na bezpečný provoz. Dále je proveden návrh zabezpečení vybraných dvou robotických pracovišť.

## Annotation

Author:	Ondřej Petržík
Title of bachelor thesis:	Safety design for safe operations of robotic cells
Extent:	58 p., 32 fig.
Academic year:	2023
University:	CTU in Prague, Faculty of Mechanical Engineering
Department:	Ú12135 – Institute of Production Machinery and Equipment
Supervisor:	Ing. Štěpán Chládek, Ph.D.
Consultant:	Ing. Jiří Švéda, Ph.D.
Submitter of the Theme:	CTU – FME – Institute of Production Machinery and Equipment
Application:	Robotic cells security
Key words:	robotic cell, safety standards, safety devices, mode switch, security design
Annotation:	The bachelor's thesis deals with the safety of robotic cells. In the first part, safety standards and safety devices, which are related to safety of robotic cells, are described. In the second part, the way of controlling the machine in manual and automatic mode, with regard to safe operation, is designed. Furthermore, the design of the security of the selected two robotic cells is carried out.

## Přehled použitých veličin a jednotek

b	[mm]	výška horního okraje detekčního prostoru
C	[mm]	detekční schopnost závislá na druhu detekčního prostoru
C <sub>RO</sub>	[mm]	doplňující vzdálenost k nebezpečnému prostoru
D	[mm]	průměr obráběcího nástroje (frézy)
d	[mm]	detekční schopnost bezpečnostních prvků
f	[mm/s]	posuv
H	[mm]	výška umístění bezpečnostního prvku od podlahy
h <sub>h</sub>	[mm]	výška nebezpečného prostoru
h <sub>ps</sub>	[mm]	minimální výška ochranné konstrukce
K	[mm/s]	rychlost přiblížení
n	[ot/min]	otáčky
S	[mm]	vzdálenost od nebezpečného prostoru pro umístění bezpečnostního zařízení
s <sub>h</sub>	[mm]	vodorovná vzdálenost oplocení od nebezpečného prostoru
T	[s]	celková doba zastavení systému
t <sub>1</sub>	[s]	doba reakce ochranného zařízení
t <sub>2</sub>	[s]	doba zastavení stroje
v <sub>D</sub>	[m/min]	obvodová rychlost

## Obsah

1. Úvod .....	10
2. Cíle práce.....	11
3. Robotické pracoviště .....	12
4. Bezpečnost robotických pracovišť .....	15
4.1 Normy zabývající se bezpečností robotických pracovišť.....	15
4.2 Bezpečnostní rizika .....	20
4.3 Bezpečnostní prvky .....	22
4.3.1 Bezpečnostní PLC .....	23
4.3.2 Bezpečnostní relé .....	24
4.3.3 Zařízení nouzového zastavení .....	25
4.3.4 Ochranné zábrany.....	26
4.3.5 Bezpečnostní zámky a spínače.....	27
4.3.6 Bezpečnostní dveřní zámky .....	28
4.3.7 Bezpečnostní světelné závory.....	28
4.3.8 Bezpečnostní radarový systém .....	30
4.3.9 Bezpečnostní laserové skenery.....	31
4.3.10 Bezpečnostní nášlapné rohože .....	32
4.3.11 Bezpečnostní nárazníky.....	32
4.3.12 Bezpečnostní nárazové lišty.....	33
4.3.13 Třípolohový ovladač.....	33
5. Návrh způsobu řízení stroje v ručním a automatickém režimu s ohledem na bezpečný provoz .....	34
5.1 Pracovní režimy .....	34
5.2 Přepínání režimů.....	34
5.2.1 Přepínání z ručního do automatického režimu .....	36
5.2.2 Přepínání z automatického do ručního režimu .....	36
6. Návrh zabezpečení robotických pracovišť .....	38
6.1 Zabezpečení plotru pro obrábění lehce obrobitelných materiálů.....	38
6.1.1 Zabezpečení pracovního prostoru.....	38
6.1.2 Návrh umístění tlačítek nouzového zastavení .....	42
6.1.3 Bezpečnost obráběcího procesu .....	43
6.1.4 Návrh voliče režimů.....	43
6.1.5 Bezpečnostní vstupy a výstupy .....	44
6.2 Zabezpečení robotického pracoviště s laser trackerem na lineární ose.....	47



6.2.1	Zabezpečení pracovního prostoru pomocí oplocení .....	48
6.2.2	Bezpečnostní vstupy a výstupy .....	49
6.2.3	Způsob ovládání robotického pracoviště .....	50
7.	Závěr .....	51
	Seznamy .....	53
	Seznam použité literatury .....	53
	Seznam obrázků .....	57
	Seznam příloh .....	58
	Elektronické přílohy .....	58

## 1. Úvod

V moderních průmyslových provozech se v poslední době díky technologickému rozvoji, snaze o snížení nákladů, zvýšení přesnosti výroby nebo nedostatku pracovních sil zavádí do výrobního procesu stále více automatizovaných a robotizovaných pracovišť. Technologie ale nejsou tak daleko, aby bylo možné z provozu robotického pracoviště úplně vyloučit člověka. Ten může s robotem přímo spolupracovat během výrobního procesu, pracovat jako programátor nebo obsluha. Proto je nutné dbát na bezpečnost těchto osob při jejich práci. Robotické pracoviště ale musí být chráněno i před člověkem, který se jen pohybuje okolo tohoto pracoviště a mohl by se svou neopatrností nebo nevědomostí dostat nebezpečně blízko k robotu a způsobit si zranění. [1;2;3;4;5]

Bezpečnost osob ale není jediným kritériem bezpečnosti robotických pracovišť. Kromě ní chceme zabezpečit robot proti kolizi s ostatními překážkami, nejčastěji se strojem, s výrobkem nebo s jiným robotem. Pokud taková kolize nastane, může způsobit i velké poškození a následné prodlevy ve výrobě. Protože je většinou nutné kolizi rychle vyřešit, musí zasáhnout servisní technik, jehož bezpečnost také musí být zajištěna. [1;2;3;4;5]

Na obě hlediska bezpečnosti je nutné dbát při konstrukci robotického pracoviště, nejlépe je vyřešit už v počáteční fázi projektu, kdy se definují základní funkce robota a rozložení celého pracoviště. Je nutno dodat, že každé pracoviště je svým způsobem unikátní a rizika spojená s jejich provozem se mohou velmi lišit, proto se mohou lišit i způsoby zabezpečení jednotlivých druhů robotických pracovišť. Zabezpečení závisí na druhu robota, druhu pracoviště, způsobu provozu robota, jeho naprogramování, údržbě a obsluze. Pro zajištění bezpečnosti je třeba dodržovat určité bezpečnostní standardy, které se vztahují jak na konstrukci a provedení, tak na obsluhu robotického pracoviště. [1;2;3;4;5]

## 2. Cíle práce

Cílem práce je návrh hardwarových a softwarových opatření pro bezpečný provoz vybraných robotických buněk s požadavkem na dodržení platných bezpečnostních norem. Do této problematiky spadají také stroje s volně přístupným pracovním prostorem, například plotry a různé měřicí stroje. Rešeršní část bakalářské práce je věnována technickým normám, které se zabývají bezpečností robotických pracovišť, druhům robotických pracovišť a rizikům, která se při provozu mohou vyskytnout. Dále je provedena rešerše bezpečnostních prvků, které se k zabezpečení robotických pracovišť používají.

V druhé části bakalářské práce bude navržen způsob řízení v manuálním a automatickém režimu s ohledem na bezpečný provoz pracoviště. Následně bude proveden návrh zabezpečení dvou robotických pracovišť. Konkrétně se jedná o zabezpečení plotru pro obrábění lehce obrobitelných materiálů a robotického pracoviště s laser trackerem na lineární ose. Návrh zabezpečení bude obsahovat návrh bezpečnostních prvků a funkcí a jejich implementaci do robotické buňky včetně výpočtu vzdálenosti pro umístění bezpečnostního prvku.

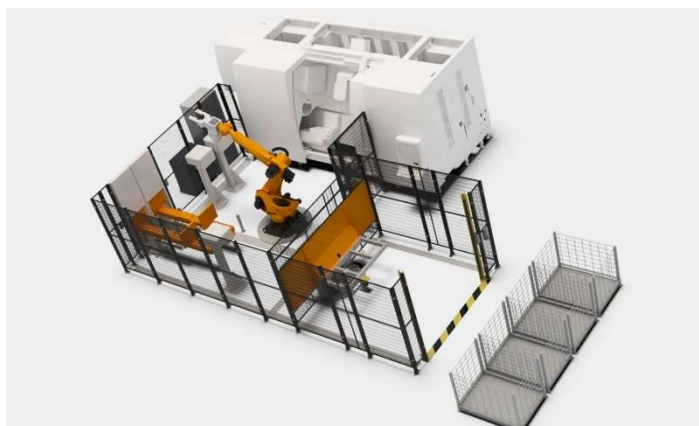
### 3. Robotické pracoviště

Robotické pracoviště nebo robotická buňka je místo, kde robot vykonává svou činnost. Tento prostor musí být oddělen od prostoru, kde se pohybuje člověk, a to za pomoci fyzických zábran nebo elektronických bezpečnostních prvků. Kromě samotného robota a těchto zábran se robotické pracoviště skládá ještě z PLC, pohonů, přídatných os a senzorů. [1;17]

PLC se zpravidla používají k řízení a monitorování procesů, které se dějí v robotické buňce, ale které nejsou řízeny řídicí jednotkou robota. Tyto řídicí systémy jsou navzájem propojené a v závislosti na tom, co se děje v buňce určují, jaké operace a v jakém pořadí se budou provádět. Přídatné pohony a osy v robotické buňce mohou sloužit nejen k pohybu robota, ale i k manipulaci, podávání nebo například upínání předmětů, se kterými robot pracuje. Tyto pohony a osy mohou být řízeny přímo řídicí jednotkou nebo pomocí PLC. [1;17]

Důležitou součástí robotického pracoviště jsou senzory. Ty slouží k podávání nejrůznějších informací řídicí jednotce nebo PLC, které pomocí nich vyhodnocují a přizpůsobují prováděnou operaci. Sensory jsou velmi často používány pro monitorování polohy, rychlosti nebo jako kontrola kvality. Nedílnou součástí všech robotických pracovišť jsou bezpečnostní prvky, jejichž úlohou je eliminovat nebo snížit bezpečnostní rizika práce robota na minimum. [1;17]

Robotická buňka pak může obsahovat další přídatná zařízení nebo stroje, které jsou potřeba k vykonání požadované operace. Mohou to být různé typy dopravníků, přípravky, upínky, zásobníky, výrobní stroje atd. Příklad robotického pracoviště je na obr. 3.1. [1;17]



Obr. 3.1 Příklad robotického pracoviště [24]

Robotická pracoviště můžeme podle uspořádání rozdělit na několik druhů:

### **Konvenční robotické pracoviště**

Konvenční robotické pracoviště se vyznačuje uzavřením celého pracovního prostoru zábranami, které mají za úkol zabránit člověku dostat se do tohoto prostoru. Toto robotické pracoviště má zpravidla vstupy a výstupy pro materiál, přičemž tato místa musí být chráněna bezpečnostními prvky. Za běžných pracovních podmínek by pracovník neměl s robotem vůbec přijít do styku. [1;18]

### **Kolaborativní robotické pracoviště**

Na kolaborativním robotickém pracovišti spolupracují kolaborativní robot a člověk. Z důvodu bezpečnosti se pro tato pracoviště nehodí činnosti, při kterých se v prostoru spolupráce používají ostré nebo špičaté předměty. Pro splnění bezpečnostních podmínek je nutné dodržet maximální hodnoty tlaků a sil, které definuje technická specifikace ISO TS 15066. [1;5]

Norma ČSN EN ISO 10218-2 specifikuje několik konceptů kolaborativních robotických pracovišť. Předávací okénko slouží k předávání předmětů oběma směry, robot se jinak pohybuje v chráněném prostoru. V pracovním prostoru pro spolupráci se může člověk bezpečně pohybovat, přičemž robot zastaví nebo sníží rychlost. V uzavřené pracovní buňce kolaborativní robot autonomně pracuje, při vstupu člověka sníží svou rychlost. Další možností je určení hranice, na které se robot automaticky zastaví, přičemž člověk se za touto hranicí může

bezpečně pohybovat. Posledním konceptem je ruční navádění robota, při kterém se robot opět pohybuje sníženou rychlostí. [1;5]

### **Autonomní robotické pracoviště**

Speciálními robotickými pracovišti jsou autonomní robotická pracoviště. Lze za ně pokládat celý prostor, kde se pohybují autonomní mobilní roboty. Tyto roboty rozpoznávají pevné i pohyblivé překážky a uzpůsobují jim svou trasu. [18]

## 4. Bezpečnost robotických pracovišť

### 4.1 Normy zabývající se bezpečností robotických pracovišť

Výchozím bodem pro návrh bezpečnostního řešení robotických pracovišť jsou následující bezpečnostní technické normy:

#### **ČSN EN ISO 12100: Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika**

Technické normy ISO zabývající se bezpečností strojních zařízení se dle ČSN EN ISO 12100 dělí na normy typu A, typu B a typu C. Bezpečnostní normy typu A jsou základní a uvádějí všeobecné zásady pro konstrukci aplikovatelné pro všechna strojní zařízení. Bezpečnostní skupinové normy typu B specifikují jednotlivé typy nebo bezpečnostní hlediska strojních zařízení. Dále se dělí na typ B1, zabývající se jednotlivými bezpečnostními hledisky a typ B2, zabývající se jednotlivými bezpečnostními zařízeními. Normy typu C jsou bezpečnostní normy pro stroje a detailně popisují bezpečnostní požadavky jednotlivých typů strojů. V případě, že se norma typu C liší od normy typu A nebo typu B zabývající se stejným technickým řešením, je norma typu C nadřazená. Samotná norma ČSN EN ISO 12100 se zabývá kromě bezpečnosti strojních zařízení i zásadami pro jejich konstrukci a snižováním rizika vzniku nebezpečí. [6]

#### **ČSN EN ISO 10218-1: Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 1: Roboty**

Tato norma patří mezi normy typu C a zabývá se bezpečností průmyslových robotů. První část normy nazvaná „Roboty“ upřesňuje bezpečnostní požadavky pro konstrukci průmyslových robotů a uvádí základní druhy možných nebezpečí. Dále uvádí ochranná opatření, která vedou ke snížení rizik spojených s těmito nebezpečími. Tato norma se na rozdíl od bezpečnostních norem pro strojní zařízení nezabývá emisemi hluku, které nejsou považovány za významné nebezpečí samotného robota. [4]

## **ČSN EN ISO 10218-2: Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 2: Systémy robotů a integrace**

Druhá část normy ČSN EN ISO 10218 „Systémy robotů a integrace“ se zabývá bezpečností robotických systémů nebo buněk. Detailněji se zabývá například konstrukcí, výrobou, instalací, provozem a údržbou průmyslových robotů z hlediska bezpečnosti. Tato norma ale nezahrnuje nebezpečí, která mohou vznikat na konkrétních robotických pracovištích, například nebezpečí odletujících třísek při obrábění. Pro tato nebezpečí se mohou aplikovat jiné normy, například již zmíněná ČSN EN ISO 12100. [5]

## **ČSN EN ISO 11161: Bezpečnost strojních zařízení – Integrované výrobní systémy – Základní požadavky**

Jedná se o normu typu B1, která specifikuje bezpečnostní opatření integrovaných bezpečnostních systémů. To jsou systémy, které se skládají z několika vzájemně propojených strojů, například ve výrobním procesu. [7]

## **ČSN EN ISO 13850: Bezpečnost strojních zařízení – Funkce nouzového zastavení – Zásady pro konstrukci**

Tato norma typu B2 určuje požadavky pro systémy nouzového zastavení strojních zařízení. Požadavky na nouzové zastavení platí pro všechny stroje bez ohledu na druh použité energie. Nevztahuje se pouze na stroje, u kterých zastavení nesnižuje riziko úrazu a na ruční stroje. [8]

## **ČSN EN ISO 13855: Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla**

Tato norma patřící mezi bezpečnostní normy typu B se týká umístování bezpečnostních zařízení v závislosti na přiblížení částí lidského těla. Určuje zejména, v jaké vzdálenosti má být umístěn bezpečnostní detekční prvek nebo ovládací zařízení od nebezpečného prostoru. Norma uvažuje běžný pohyb dospělého člověka, tedy rychlost chůze a rychlost pohybu horní končetiny. Naopak neuvažuje nestandardní pohyby jako jsou například běh nebo pád. Rychlosti přiblížení pak mohou být i větší než rychlosti, se kterými tato norma pracuje. [9]

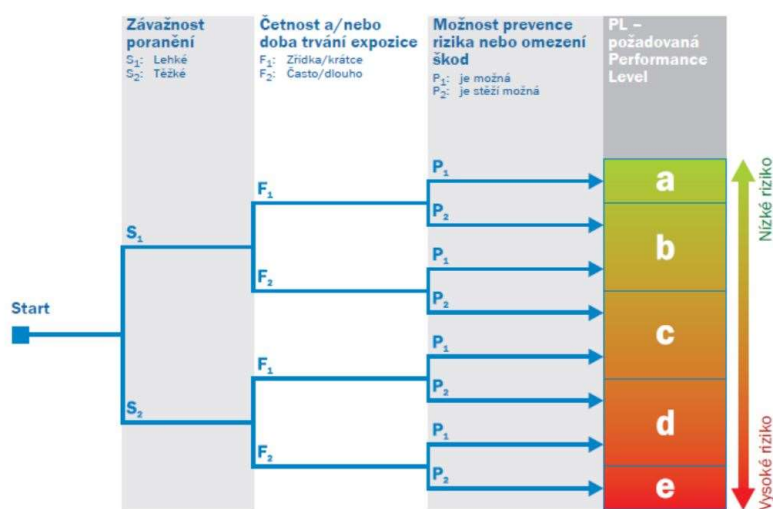


## ČSN EN ISO 13849-1: Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Obecné zásady pro konstrukci

Tato norma se zabývá bezpečnostními požadavky a zásadami při návrhu a začlenění bezpečnostních částí ovládacích systémů, přičemž se jedná o software i hardware. Nezávisí přitom, o jakou technologii nebo druh použité energie se jedná. Norma dále specifikuje schopnosti těchto částí vykonávat svou funkci při předvídatelných provozních podmínkách a těmto schopnostem přiděluje jednu z pěti úrovní. Tyto úrovně vlastností (neboli Performance levely, PL) jsou určeny pravděpodobností výskytu nebezpečné poruchy za hodinu. [10]

Pravděpodobnost výskytu nebezpečné poruchy je dána strukturou systému (kategorie B, 1, 2, 3, 4), spolehlivostí komponent (střední dobou do nebezpečné poruchy), rozsahem mechanismů detekce závady (diagnostickým pokrytím), poruchami se společnou příčinou nebo podmínkami prostředí. [10;13;14;15]

Performance levely (PL) jsou definovány pěti úrovněmi a až e, kde a znamená nejnižší riziko a e riziko nejvyšší. Nejprve musí být proveden odhad rizika, přičemž výsledný požadovaný performance level (PLr) se určí na základě vyhledávacího diagramu (viz obr. 4.1). Tento diagram pracuje s parametry jako jsou závažnost poranění (S1, S2), doba expozice a četnost (F1, F2) a možnost prevence rizika (P1, P2). Dalším krokem je snížení rizika, které je provedeno



Obr. 4.1 Vyhledávací diagram pro určení PL [13]

úpravami konstrukce nebo použitím bezpečnostních zařízení. Nakonec musí být proveden návrh a výpočet bezpečnostních funkcí. Mezi bezpečnostní části ovládacích systémů, na něž se může vztahovat tato norma patří například ochranná bezpečnostní zařízení, elektrická snímací zařízení, ovládací jednotky, relé, ventily. [10;13;14;15]

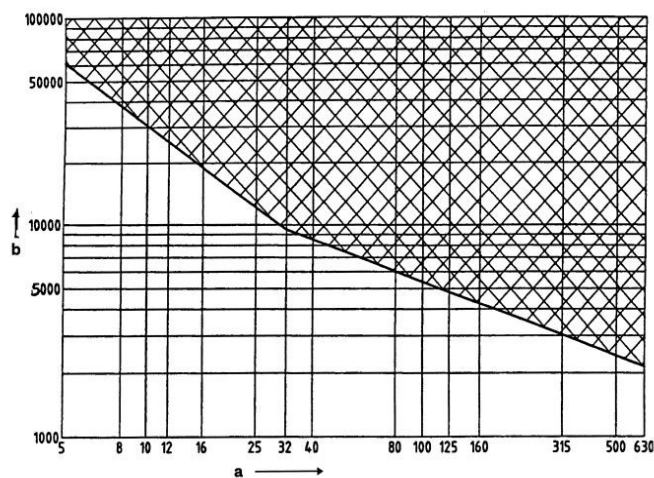
Následující dvě normy jsou důležité pro vlastní řešení bakalářské práce:

### **ČSN EN ISO 16090-1: Bezpečnost obráběcích strojů – Obráběcí centra, frézky, postupové stroje – Část 1: Bezpečnostní požadavky**

Norma ČSN EN ISO 16090-1 se zabývá bezpečností obráběcích center, frézek a postupových strojů. Tyto stroje mohou být velmi nebezpečné. Zejména jejich rotující nástroje, pohybující se obrobky nebo zásobníky nástrojů zvyšují riziko zranění. Určitá rizika vznikají i při mechanickém vyměňování nástrojů či obrobků a jejich upínání nebo při odvodu třísek ze stroje. Tato norma se zabývá požadavky pro bezpečnou přepravu, montáž, provoz, údržbu, odstraňování poruch a demontáž výše zmíněných strojů a stanovuje ochranná opatření. [11]

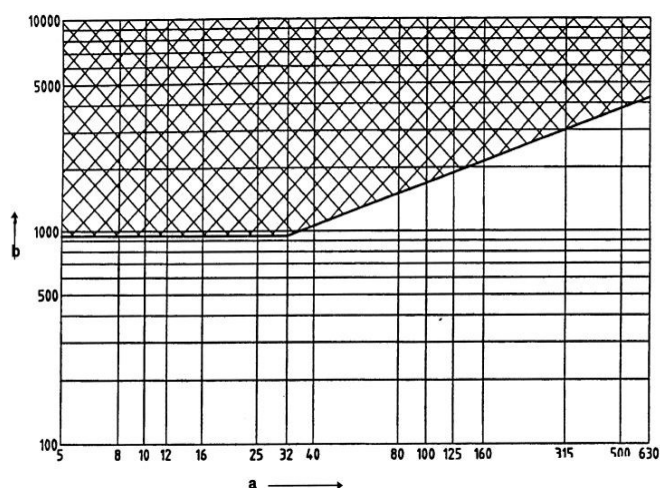
### **ČSN EN ISO 15641: Frézy pro vysokorychlostní obrábění – Bezpečnostní požadavky**

Tato norma specifikuje bezpečnostní požadavky pro frézy, které jsou používány při vysokorychlostním obrábění. Při obrábění dochází ke kvadratickému nárůstu odstředivé síly, která vzniká při zvýšené frekvenci otáčení nástroje. Norma definuje limity rychlosti otáčení  $n$  ( $\text{min}^{-1}$ ) v závislosti na průměru nástroje  $D$  (mm) a limity obvodové rychlosti  $v_D$  (m/min) v závislosti na průměru nástroje  $D$  (mm) (viz obr. 4.2 a obr. 4.3). [12]



a Maximální průměr nástroje  $D$  v mm  
b Rychlost otáčení  $n$  v  $\text{min}^{-1}$

Obr. 4.3 Závislost rychlosti otáčení  $n$  ( $\text{min}^{-1}$ ) na průměru nástroje  $D$  (mm) [12]



a Maximální průměr nástroje  $D$  v mm  
b Obvodová rychlost  $v_D$  v m/min

Obr. 4.2 Závislost obvodové rychlosti  $v_D$  (m/min) na průměru nástroje  $D$  (mm) [12]

### Další technické normy:

ČSN EN ISO 13857: Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu do nebezpečných prostor horními a dolními končetinami

ČSN EN ISO 14120: Bezpečnost strojních zařízení – Ochranné kryty – Obecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů

a další. [16]

## 4.2 Bezpečnostní rizika

Norma ČSN EN ISO 10218-2 uvádí významná bezpečnostní rizika, která se mohou vyskytnout při práci robotu nebo při činnostech prováděných člověkem v blízkosti robotického pracoviště. Těmito činnostmi mohou být řízení, obsluha, programování, údržba, nebo opravy. Tato rizika norma dělí podle původu do následujících skupin:

### **Mechanická nebezpečí**

Původem mechanických nebezpečí může být celá řada jevů. Pohyb robotického ramene, jiné části robotu, efektoru, lineární osy nebo rotace některých částí robotu způsobuje při nedodržení základních bezpečnostních požadavků vysoké riziko zranění člověka nebo kolize s nějakým předmětem. Další nebezpečí může vzniknout při neopatrnosti operátora, například nošením volného oblečení nebo dlouhých vlasů bez ochranných pomůcek. Může se také stát, že operátor zůstane zavřený v robotické buňce. Nebezpečné situace se mohou vyskytnout i při programování, například nechtěným pohybem ramene nebo efektoru. [5]

Všechna tato nebezpečí mohou mít za následek poranění člověka, zejména se jedná o nárazy, pořezání, propíchnutí nebo zapletení volného oblečení nebo vlasů do částí robotu. [5]

### **Elektrická nebezpečí**

Ve většině částí robota se nachází elektrická zařízení nebo vedení, proto může dojít ke kontaktu se živými nebo neživými částmi, kterými probíhá proud. Mezi další elektrická nebezpečí patří procesy robotických pracovišť, která používají vysoké napětí například elektrostatické lakování nebo svařování. Elektrická nebezpečí mohou způsobit úrazy elektrickým proudem, nebo popálení. [5]

### **Tepelná rizika**

Tepelná rizika (mezi které norma řadí i kryogenní rizika) jsou především horké objekty, například obrobky nebo přípravky, kterých se může neopatrný pracovník dotknout. Dalšími tepelnými riziky jsou výbušná atmosféra (například

při lakování nebo broušení), teplotní extrémy navázané na daný proces (např. ohřev materiálu) nebo práce s hořlavým materiálem. Tato nebezpečí mohou způsobit popálení nebo ozáření. [5]

### **Hluk**

Specifické procesy vykonávané na robotickém pracovišti mohou způsobovat hluk, například práce na bucharech, řezání vodním paprskem nebo obrábění. Vystavení nepřiměřenému hluku může být pro pracovníky nebezpečné z několika důvodů, například problémy se sluchem nebo způsobením nebezpečné situace v důsledku rozptýlení. Norma ČSN EN ISO 10218-2 se více hlukem nezabývá, proto se při návrhu a provozu robotického pracoviště, na kterém se mezi rizika řadí i hluk, musí použít jiné příslušné normy. [5]

### **Vibrace**

Vibrace mohou mít za následek poškození stroje nebo obrobku, uvolnění spojů nebo nesprávné ustavení obrobku. Vibrace mohou mít dopad i na zdraví člověka, například únavou nebo neurologickými problémy, proto je žádoucí vyvarovat se vzniku vibrací. Vibrace mohou také způsobit uvolnění nebo přemístění nějakého předmětu a jeho následný pád, který může způsobit další zranění nebo poškození stroje. [5]

### **Záření**

Záření způsobené procesem prováděným v robotické buňce, například svařováním nebo používáním laseru může mít za následek poškození zraku nebo popálení pracovníků. [5]

### **Nebezpečí spojené s používanými materiály / látkami**

Mezi tato rizika norma řadí práci se škodlivými kapalinami, vznik výparů, prašnost a selhání mechanických nebo elektrických částí robotického pracoviště. Tato rizika mohou vyústit ve vznik nemocí a alergií u člověka nebo v požár či chemickou reakci při práci robotu. [5]

### **Ergonomická rizika**

Mezi ergonomická rizika patří špatně konstruované ovládací panely, stanoviště pro obsluhu, nevhodné umístění nebo identifikace ovládacích prvků apod. To může mít za následek nadměrné zatěžování a únavu operátora. [5]

### **Rizika spojená s vlivy prostředí**

Umístění robotického pracoviště na nevhodném místě, kde je vlhko, vysoké teploty nebo riziko zemětřesení, může mít za následek například riziko pádu člověka nebo vzplanutí části stroje. [5]

### **Kombinovaná rizika**

Podle normy sem patří nedorozumění mezi dvěma pracovníky, kdy jeden spustí operaci, ale druhý to neočekává, dále chybná identifikace problému, nebezpečí vzniklá při vícenásobné poruše, špatně použité ochranné zařízení nebo kombinace kterýchkoliv rizik popsaných výše. Kombinovaná rizika mohou způsobovat různá zranění nebo kolize v závislosti na tom, k jaké kombinaci rizik dojde. [5]

## **4.3 Bezpečnostní prvky**

Rizika by měla být z velké části eliminována konstrukcí, značením, použitím osobního ochranného vybavení nebo poučením a zaškolením pracovníků, pro bezpečný provoz každého robotického pracoviště je ale třeba navrhnout použití co nejlepší kombinace bezpečnostních prvků. Tyto bezpečnostní prvky budou zvoleny na základě posouzení rizik. [14; 19]

Pro každé robotické pracoviště musí být dle normy ČSN EN ISO 12100 provedena analýza rizik. Rizika jednotlivých nebezpečí mohou být zanedbatelná, nízká nebo vysoká. U zanedbatelných a nízkých rizik nejsou vyžadována další bezpečnostní opatření, nebo může být vyžadováno používání osobních ochranných pomůcek. U rizik, která mají vysokou pravděpodobnost výskytu se musí přistoupit k vhodnému bezpečnostnímu opatření. Nejprve se přistoupí

k eliminaci rizik pomocí navržení vhodné konstrukce robotického pracoviště. Dále jsou použita vhodná ochranná opatření a bezpečnostní prvky. Nakonec je vhodné robotické pracoviště označit bezpečnostními štítky a upozornit obsluhu na možná rizika poučením nebo zaškolením. [6; 14; 19]

#### 4.3.1 Bezpečnostní PLC

Bezpečnostní PLC (viz obr. 4.4) se používá k vytváření bezpečnostních logických funkcí a sledování funkcí všech bezpečnostních prvků, například tlačítka nouzového zastavení. Díky možnosti vytváření komplexních bezpečnostních logických funkcí lze bezpečnostním PLC zajistit požadovanou bezpečnostní úroveň robotických pracovišť. Bezpečnostní PLC umožňuje připojení přes rozhraní USB nebo Ethernet pro snadnou konfiguraci a diagnostiku a lze rozšiřovat pomocí vstupně-výstupních modulů, což je vhodné pro rozsáhlá pracoviště nebo pracoviště s mnoha potřebnými bezpečnostními funkcemi. [14;20]



Obr. 4.4 Bezpečnostní PLC Beckhoff EL6910 [34]

Požadovaná funkcionalita bezpečnostních prvků je naprogramována v bezpečnostním softwaru, jedná se například o TwinSAFE od společnosti Beckhoff nebo Dual Check Safety od společnosti Fanuc. V těchto bezpečnostních softwarech lze naprogramovat různé bezpečnostní funkce, které zajišťují požadovanou bezpečnost nebo vhodně doplňují bezpečnostní prvky. [23;36]

První funkcí je vytvoření bezpečných zón v okolí robota. Do těchto zón má robot zakázaný přístup. Tuto funkci lze naprogramovat i tak, že se zakázaná zóna

aktivuje až po vstupu člověka do nebezpečného prostoru, například stoupnutím na bezpečnostní rohož. Variací této funkce je přesné definování pracovního prostoru robotu, přičemž zbytek prostoru je považován za bezpečný. Další naprogramovatelnou funkcí je kontrola rychlosti. Rychlost robotu se přizpůsobuje v závislosti na vzdálenosti od člověka. Robot také může zpomalit při specifických podmínkách, například při vstupu do varovné zóny nebo údržbě části robotického pracoviště. Funkce kartézské kontroly polohy umožňuje operátorovi při programování definovat určitou část prostoru, ve kterém se může robot pohybovat. [23;31]

Dalšími funkcemi, které je možno naprogramovat, jsou funkce bezpečného zastavení (Safe Stop), funkce pro bezpečné zachování zastaveného stavu robotu (Safe Torque Off) nebo funkce pro omezení maximální rychlosti (Safe Limited Speed). Tyto funkce jsou zajišťovány pomocí přídavných bezpečnostních karet servopohonů (viz obr. 4.5). Tyto karty umožňují naprogramování jednotlivých bezpečnostních funkcí pomocí bezpečnostního PLC. [34;36]



Obr. 4.5 Bezpečnostní karta servopohonu Beckhoff AX5805 [34]

#### 4.3.2 Bezpečnostní relé

Bezpečnostní relé (viz obr. 4.6) se používá ke sledování funkcí ostatních bezpečnostních prvků, například tlačítka nouzového zastavení, světelných závor nebo ochranných dveří. Toto relé zajišťuje, že se při poruše zařízení nebo při vstupu člověka do ochranné zóny provede spolehlivě příslušná reakce, například zastavení stroje. Bezpečnostní relé musí být konstruováno jako zdvojené, bezpečnostní funkce musí zůstat činná i po výpadku některé z jeho částí a musí obsahovat automatickou kontrolu, zda kontakty správně spínají a rozpínají.



Kromě základního typu bezpečnostního relé existují ještě speciální bezpečnostní relé, například pro sledování otáček nebo s časovaným resetem. [14;20;21]



Obr. 4.6 Bezpečnostní relé [21]

#### 4.3.3 Zařízení nouzového zastavení

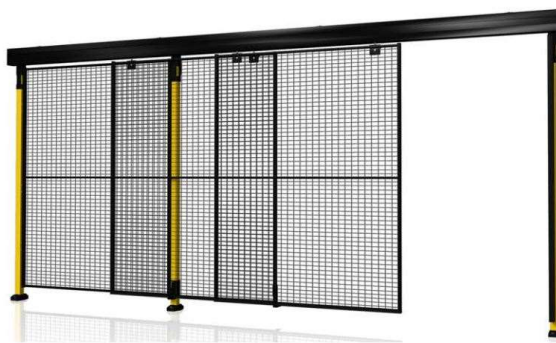
Bezpečnostní tlačítka nouzového zastavení (tlačítka E-stop) slouží k okamžitému zastavení stroje v případě nebezpečí (viz obr. 4.7). Jedná se o ručně ovládané ovládací zařízení, které musí používat přímé nucené vypnutí stroje a musí mít mechanickou západku, která zajistí, že stroj zůstane vypnutý, dokud tlačítko nebude manuálně uvolněno a až pak bude stroj moci být zapnut. Použití nouzového zastavení zároveň nesmí vytvářet další rizika. Podle ČSN EN ISO 13850 musí být hlava tlačítka červená a kryt žlutý. Zařízení nouzového zastavení lze také realizovat pomocí lankového E-stopu, kdy zastavení způsobí zatáhnutí za lanko, které se nachází například po obvodu stroje. Zařízení nouzového zastavení se musí nacházet na každém místě robotického pracoviště, odkud je možné robot spustit. [14;19;20]



Obr. 4.7 Tlačítko nouzového zastavení [20]

#### 4.3.4 Ochranné zábrany

Bezpečnost na robotickém pracovišti je často zajištěna ochrannými zábranami, které mohou mít podobu ochranných krytů nebo oplocení (viz obr. 4.8). Tyto zábrany musí splňovat určité požadavky a zpravidla je nutné je kombinovat s dalšími bezpečnostními prvky. Ochranné kryty a oplocení musí mít pevnou konstrukci, nesmí způsobovat žádná další nebezpečí (například samovolný pád pohyblivého krytu nebo ostré hrany) a nesmí být snadné je obejít nebo odstranit. Normy ČSN EN ISO 13855 a ČSN EN ISO 13857 specifikují, v jaké vzdálenosti od nebezpečného prostoru má být zábrana umístěna, a to z hlediska rychlosti přiblížení částí lidského těla a dosahu. Dále musí umožňovat přístup kvůli obsluze nebo údržbě a sledování výrobního procesu. [14;19;20;22]



Obr. 4.8 Bezpečnostní oplocení [27]

#### Pevné ochranné zábrany

Pevné zábrany musí být bezpečně připevněny buď nerozebíratelně nebo pomocí spojovacího materiálu, který nelze bez použití náradí povolit. Ochranné kryty mohou být plastové, kovové, skleněné nebo speciální protihlukové, oplocení je zpravidla kovové. Pevné zábrany lze instalovat do libovolných tvarů obvodu i libovolné výšky v souladu s uvedenými normami. [14;19;20;22]

#### Pohyblivé ochranné zábrany

Pohyblivé zábrany slouží k obsluze nebo údržbě stroje, měly by být trvale připevněny k stroji například pomocí vedení nebo pantů a musí být opatřeny blokováním. Při otevření pohyblivé zábrany dojde k zastavení stroje a není možné jej znovu uvést do pohybu, dokud nedojde k zavření. Toho se docílí použitím dalších bezpečnostních prvků. [14;19;20;22]

#### 4.3.5 Bezpečnostní zámky a spínače

Tato ochranná zařízení se používají ke sledování nebo kontrolování polohy pohyblivých krytů nebo dveří. [20]

##### Bezpečnostní spínače

Bezpečnostní spínače slouží ke kontrole dveří, okének nebo odnímatelných krytů, přičemž při jejich otevření se přeruší signál a dojde k zastavení robotu. [20]

##### Koncové spínače

Koncové spínače pro pohybové osy pracují na mechanickém nebo elektromechanickém principu. Existují v lineárním i rotačním provedení a mohou sloužit k aktivaci další operace, z hlediska bezpečnosti například otevření klece robotického pracoviště po dokončení prováděné operace. [20]

##### Bezpečnostní uzamykací zařízení

Bezpečnostní uzamykací zařízení chrání robotické pracoviště před vstupem člověka po dobu, kdy mu hrozí nebezpečí (viz obr. 4.9). Při pominutí nebezpečí se uzamykací zařízení automaticky odemkne. Tato zařízení pracují na elektromagnetickém principu. [20]



Obr. 4.9 Bezpečnostní uzamykací zařízení [20]

## Magnetické koncové spínače

Tyto koncové spínače mají stejnou funkci jako mechanické, ale na rozdíl od nich jsou bezkontaktní. Fungují na principu magnetického pole a jazýčkového kontaktu. [20]

## Pantové spínače

Pantové spínače jsou pro podobné využití jako bezpečnostní spínače. Monitorovací spínač je integrován do těla pantu a při otevření ochranného krytu nebo dvířek dojde k přerušení signálu a zastavení stroje. [20]

### 4.3.6 Bezpečnostní dveřní zámky

Klíč z bezpečnostního zámku lze vysunout jen v případě, že jsou zavřené dveře a zámek je zamknut (viz obr. 4.10). Tento princip může být použit v aplikacích, kdy je potřeba provést požadovanou sekvenci kroků. Následující krok nemůže být proveden, dokud nebude uzamčen předchozí zámek a klíč použit pro další zámek. Lze použít i více bezpečnostních zámků a klíčů. Tyto zámky se používají v aplikacích, kde není vhodné použít elektronické bezpečnostní prvky. [20]



Obr. 4.10 Bezpečnostní dveřní zámek Haake [20]

### 4.3.7 Bezpečnostní světelné závory

#### Jednopaprskové světelné závory

Pro jednoduché aplikace, ve kterých je potřeba monitorovat vstup do nebezpečného prostoru se používají jednopaprskové závory (viz obr. 4.11). Existují dva typy jednopaprskových závor. Prvním typem je světelná závora, která má vysílač i přijímač v jednom společném pouzdře, přičemž na opačném

konci snímaného prostoru je umístěna odrazka. Vysílač vysílá infračervený paprsek, který se od odrazky odráží zpět do přijímače. Při vniknutí předmětu nebo člověka je paprsek přerušen a je vyslán signál k zastavení stroje. Druhým typem je tzv. jednocestná optická závora, která má vysílač a přijímač na opačných stranách. Při přerušení paprsku opět dojde k předání signálu a zastavení stroje. [14;19]



Obr. 4.11 Bezpečnostní jednopaprsková světelná závora [20]

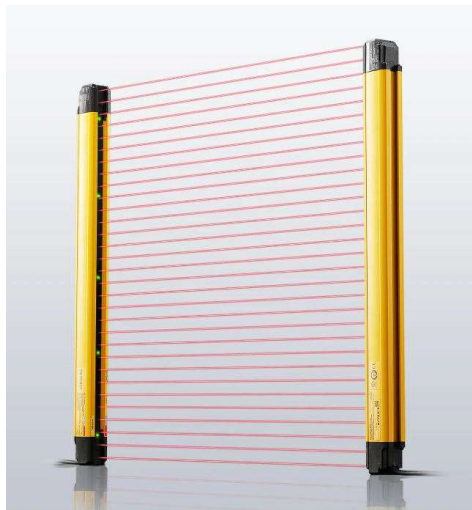
### Vícepaprskové světelné závory

Vícepaprskové světelné závory tvoří několik paprsků, které zabraňují různě velkým předmětům nebo částem lidského těla vniknout do nebezpečného prostoru, přičemž velikost těchto předmětů závisí na rozteči paprsků (viz obr. 4.12). Při přerušení alespoň jednoho paprsku se předá signál a dojde k zastavení stroje. Vzdálenost světelné závory od nebezpečného prostoru je dána normou ČSN EN ISO 13855. [14;19]

Světelné závory mohou mít i speciální funkce. Funkce „muting“ (potlačení, přemostění) se používá, pokud je potřeba skrz světelnou závoru dopravit například materiál, ale přístup pro člověka má zůstat odepřen. Toho je dosaženo použitím dvou různých senzorů, například koncového spínače a fotobuňky. Činnost těchto senzorů je pak řízena pomocí PLC. [14;19]

Funkce „blanking“ (pevného potlačení) zajišťuje vyřazení několika paprsků světelné závory tak, aby signál nebyl rušen dočasnou překážkou. Plovoucí potlačení pak zajišťuje vypínání příslušných paprsků v závislosti na přemisťování předmětu. [14;19]

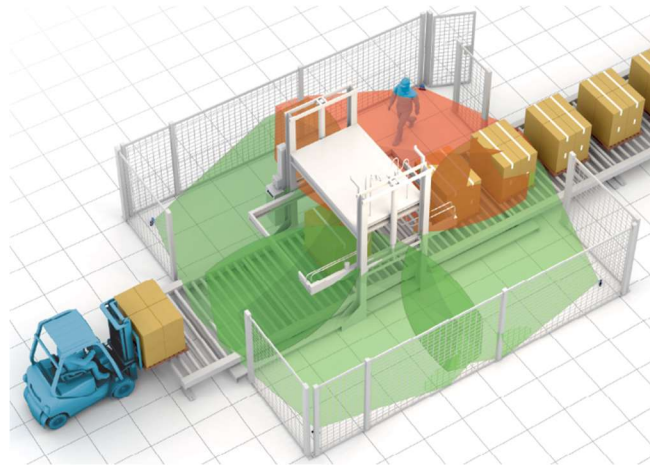
Pokud světelná závora obsahuje méně než šest paprsků, nazývá se obvykle světelnou mříží. [14;19]



Obr. 4.12 Vícepaprsková světelná závora [25]

#### 4.3.8 Bezpečnostní radarový systém

Bezpečnostní radarový systém slouží k monitorování nebezpečného prostoru (viz obr. 4.13). Princip spočívá ve vysílání rádiových vln vysílačem a vyhodnocování vln odražených od pevných i pohybujících se předmětů. Při detekování přítomnosti člověka je provedena příslušná reakce, například zastavení stroje nebo vyslání varovného signálu. V závislosti na probíhající operaci je možné dynamicky měnit nastavení varovných a ochranných zón. Radarový systém může obsahovat algoritmus, který způsobí, že se robot nezastaví při detekování malého pohybujícího se předmětu, například třísek nebo hmyzu. Lze ho použít i ve velmi těžkých provozních podmínkách, kde se vyskytují nečistoty, kapaliny nebo kouř. Další bezpečnostní funkce radaru je prevence restartu, která zajišťuje, že nedojde k neočekávanému spuštění robota za přítomnosti člověka v nebezpečném prostoru. [20]



Obr. 4.13 Aplikace radarového systému [20]

#### 4.3.9 Bezpečnostní laserové skenery

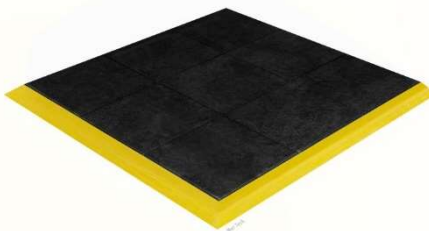
Bezpečnostní laserový skener (viz obr. 4.14) se používá pro sledování nebezpečného prostoru a v případě detekování přítomnosti osoby v tomto prostoru je provedena příslušná reakce. Princip laserového skeneru je následující: infračervený paprsek vycházející z fotodiody prochází optickou soustavou a dále do chráněného prostoru a odráží se od předmětů a osob. Tyto odražené paprsky skener detekuje a zpracuje. Lze naprogramovat skenování různých prostorů, dvou na sobě nezávislých prostorů nebo rozdělení chráněného prostoru na více ochranných zón. [19;20]



Obr. 4.14 Bezpečnostní laserový skener [20]

#### 4.3.10 Bezpečnostní nášlapné rohože

Bezpečnostní nášlapné rohože (viz obr. 4.15) se používají pro zamezení vstupu člověka do nebezpečných míst. Při stoupnutí na rohož dojde k sepnutí obvodu a zastavení stroje. Rohož má sendvičovou konstrukci se dvěma kontaktními plochami, které se při stoupnutí spojí. Mezi kontaktními plochami se nachází nevodivé rozpěrky, na horní straně vrchní kontaktní plochy se nachází polyuretanová protiskluzová vrstva, která chrání zařízení před vodou, olejem a dalšími nečistotami. Rohož je připevněná k podlaze a po stranách je zabudovaná v hliníkových profilech. Při konstrukci robotického pracoviště s nášlapnou rohoží je třeba dodržet požadované bezpečné vzdálenosti, které stanovuje norma ČSN EN ISO 13855. [14;19]



Obr. 4.15 Nášlapná rohož [29]

#### 4.3.11 Bezpečnostní nárazníky

Bezpečnostní nárazníky (viz obr. 4.16) fungují na mechanickém principu, kdy po nárazu do člověka dojde k okamžitému přerušení obvodu a tím k zastavení stroje. Obvod je zabudován přímo v nárazníku, v měkké polyuretanové pěně a je připojen přímo k bezpečnostnímu relé. Nárazníky se používají zejména v aplikacích s delší brzdou dráhou a u pohybujících se velkých hmot. [20]



Obr. 4.16 Bezpečnostní nárazník [28]



#### 4.3.12 Bezpečnostní nárazové lišty

Bezpečnostní nárazové lišty (viz obr. 4.17) fungují na stejném principu jako nárazníky, liší se pouze tvarem a použitím. Lišty se používají v aplikacích s delší brzdou dráhou, u kterých by mohlo dojít ke kolizi člověka nebo předmětu s hranou stroje. Jejich obal je vyroben z termoplastu nebo z pryže a může být odolný proti vodě nebo olejům. [20]



Obr. 4.17 Nárazová lišta [20]

#### 4.3.13 Třípolohový ovladač

Třípolohové ovladače jsou speciální ovladače sloužící k ovládání, programování nebo testování robotu (viz obr. 4.18). Ovládací tlačítko má tři polohy, přičemž při běžném provozu se drží ve střední poloze. Při nebezpečné situaci obsluha tlačítko uvolní nebo silněji stlačí, čímž dojde k zastavení robotu. Po zastavení nelze robot znovu spustit, dokud třípolohové tlačítko opět nebude stlačeno do střední polohy. [14]



Obr. 4.18 Třípolohový ovladač [26]

## **5. Návrh způsobu řízení stroje v ručním a automatickém režimu s ohledem na bezpečný provoz**

### **5.1 Pracovní režimy**

Každý stroj nebo robot běžně pracující v automatickém režimu musí mít možnost přepnutí do ručního režimu, aby bylo možné provést například jeho seřízení.

#### **Automatický režim**

Při automatickém provozu vykonává stroj předem naprogramované úkony bez jakýchkoli zásahů člověka. Celý nebezpečný prostor stroje musí být zabezpečen a při vstupu člověka do tohoto prostoru, nebo při vzniku jiné nebezpečné situace je stroj zastaven, což zajišťují bezpečnostní prvky a software. Program je spouštěn z ovládacího panelu, přičemž k tomu dojde jen v případě, že jsou splněny všechny bezpečnostní podmínky. [33]

#### **Ruční režim**

Ruční režim slouží k seřizování, testování nebo k údržbě stroje. Pohyb jednotlivých os řídí operátor pomocí ručního ovladače zpravidla v nebezpečném prostoru stroje. Kvůli tomu musí být v ručním režimu vypnuty nebo omezeny některé bezpečnostní funkce, zejména světelné závory nebo zámky dveří. Zároveň dojde k omezení maximální rychlosti os, kterou norma ČSN EN ISO 10218-1 stanovuje jako 250 mm/s. [4;33]

### **5.2 Přepínání režimů**

Volba pracovního režimu se provádí pomocí voliče režimu. Je nutné zajistit, aby v jeden okamžik šlo vybrat pouze jeden pracovní režim a zároveň při výběru režimu nesmí dojít ke spuštění stroje. [33]

Jako volič režimů se nejčastěji používá přepínač s klíčem. Tento přepínač může být umístěn na ovládacím panelu nebo i na ručním ovladači. V případě přepínače umístěného pouze na ovládacím panelu je bezpečnost zajištěna požadovaným vysunutím klíče po přepnutí do ručního režimu. V případě přepínače na panelu i na ručním ovladači je stroj do vybraného režimu přepnut jen v případě, že jsou oba přepínače ve stejné poloze. Pokud jsou v opačné poloze, není možné stroj provozovat. [33]

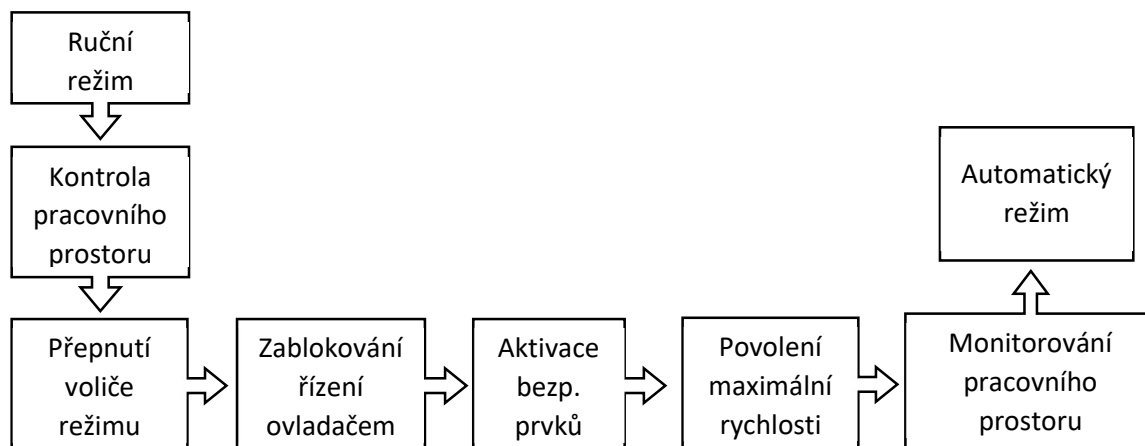
Další možností jsou programovatelné transpondérové klíče (viz obr. 5.1), které pracovníkovi umožní přepnout režim například pomocí tlačítka, které reaguje na stlačení jen po vložení tohoto klíče. Třetí možností realizace voliče režimu je zadání kódu z ovládacího panelu. U strojů s ručním ovladačem je možné zajistit vyšší bezpečnost potvrzením výběru režimu po zadání kódu například potvrzovacím tlačítkem. [30; 33]



Obr. 5.1 Transpondérový klíč PITreader [30]

Na následujících schématech jsou nezbytné kroky, které musí operátor a řídicí systém provést při přepínání z ručního do automatického režimu a zpět:

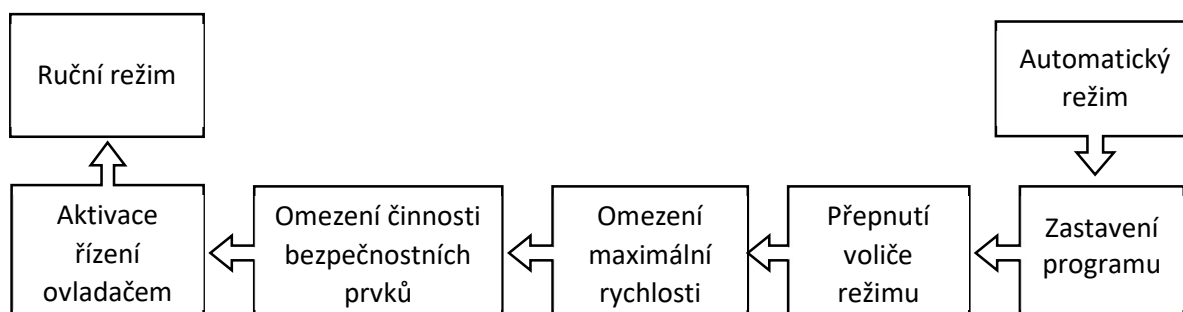
### 5.2.1 Přepínání z ručního do automatického režimu



Obr. 5.2 Schéma nezbytných kroků při přepínání z ručního do automatického režimu

Kontrolu pracovního prostoru a přepnutí voliče režimu provádí operátor, řídicí systém následně provádí následující kroky. Zablokování řízení ovladačem slouží k zajištění ovládání pouze z jednoho místa (ovládacího panelu). Následuje aktivace bezpečnostních prvků, například světelných závor nebo zavření dveří a krytů, které jsou vybaveny bezpečnostními zámky nebo spínači. Poté je povolena maximální rychlost stroje a celý pracovní prostor je pomocí bezpečnostních prvků monitorován. V okamžiku, kdy jsou vykonány všechny předchozí kroky je možno spustit automatický program. Postup přepnutí je zobrazen na obr. 5.2.

### 5.2.2 Přepínání z automatického do ručního režimu



Obr. 5.3 Schéma nezbytných kroků při přepínání z automatického do ručního režimu

Při přepínání z automatického do ručního režimu musí být nejprve, pokud je vykonáván, zastaven automatický program. Z důvodu prevence zranění

operátora v nebezpečném prostoru je omezena maximální rychlost stroje na maximálně 250 mm/s [4]. Aby se mohl operátor pohybovat v pracovním prostoru, musí být omezeny některé bezpečnostní funkce, například světelné závory, nášlapné rohože nebo bezpečnostní zámky. Následně je odblokováno řízení ručním ovladačem a zároveň zablokováno řízení z ovládacího panelu. Zablkování řízení musí být realizováno jedním ze způsobů popsaných v kap. 5.2. Po splnění všech kroků je možné pracovat na stroji v ručním režimu, přičemž operátor musí držet třípolohové tlačítko na ručním ovladači ve střední poloze. Postup přepnutí je zobrazen na obr. 5.3.

## 6. Návrh zabezpečení robotických pracovišť

V této kapitole jsou popsána navržená opatření pro bezpečný provoz dvou vybraných robotických pracovišť.

### 6.1 Zabezpečení plotru pro obrábění lehce obrobitelných materiálů

Jedná se o tříosý plotr s volně přístupnou pracovní plochou (příklad plotru je na obr. 6.1), pro obrábění lehce obrobitelných materiálů, jako jsou dřevo, plast nebo lehké kovy. Na stroji lze frézovat a dále je vybaven řezacím oscilačním nožem. Stroj je řízen pomocí PLC. Otáčky vřetene jsou  $n = 24000$  ot/min, posuv  $f = 500$  mm/s a rozměry pracovní plochy jsou 3000x2000 mm. Je potřeba zabezpečit stroj proti kolizi pohybujících se částí stroje s obsluhou.



Obr. 6.1 Příklad obráběcího plotru [35]

#### 6.1.1 Zabezpečení pracovního prostoru

##### 1. varianta: Zabezpečení pracovního prostoru pomocí světelných závor

###### Výpočet vzdálenosti pro umístění svislé světelné závory

Výpočet vzdálenosti od nebezpečného prostoru pro umístění bezpečnostního zařízení se provádí dle normy ČSN EN ISO 13855. Pro svislá optoelektronická zařízení se minimální vzdálenost vypočte dle vzorce:

$$S = (K \times T) + C \quad (6.1)$$

Kde:  $K = 2000$  mm/s je rychlost přiblížení lidského těla a odpovídá rychlosti pohybu ruky, pokud výsledná vzdálenost vychází větší než 500 mm, použije se

$K = 1600 \text{ mm/s}$ .  $T$  je celková doba zastavení systému, skládá se z doby reakce ochranného zařízení  $t_1$  a doby zastavení stroje  $t_2$ . Detekční schopnost  $C$  je:

$$C = 8(d - 14) \quad (6.2)$$

Kde  $d$  je detekční schopnost světelné závory.

Pro výpočet je uvažována světelná závora PILZ PSEN oplI3H-s-30 s detekční schopností  $d = 30 \text{ mm}$ . Doba reakce světelné závory a zastavení stroje byla konstruktéry stroje vypočtena jako  $T = 0,2 \text{ s}$ .

$$S = (2000 \times 0,2) + 8(30 - 14) = 528 \text{ mm}$$

$$S = (1600 \times 0,2) + 8(30 - 14) = 448 \text{ mm}$$

Minimální vzdálenost pro umístění světelné závory je  $S = 448 \text{ mm}$ .

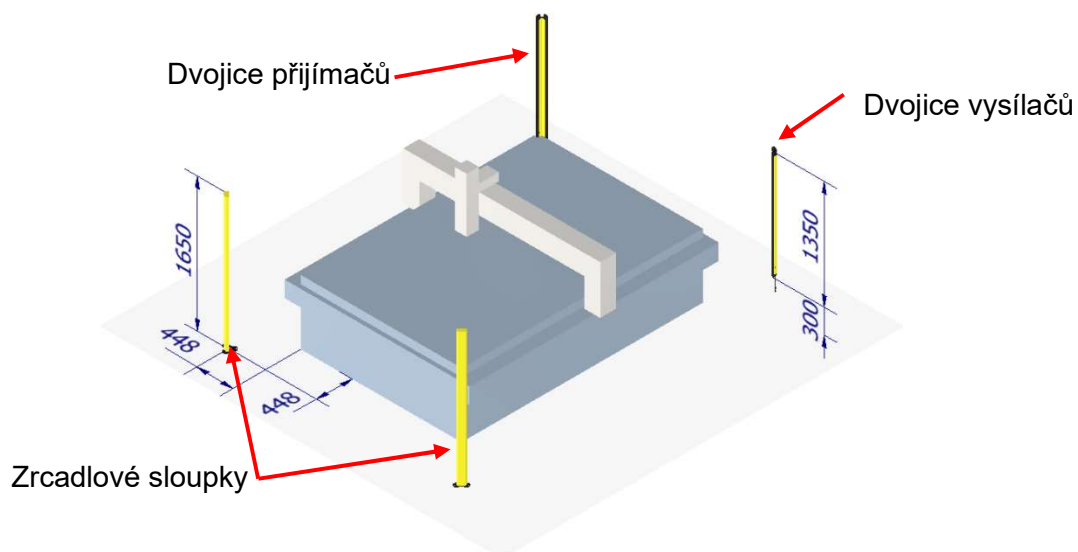
#### Výška světelné závory

Spodní paprsek světelné závory se dle normy nesmí nacházet výše než 300 mm od podlahy a zároveň horní paprsek nesmí být níže než 900 mm nad podlahou. Zároveň je nutné zajistit, aby nebylo možné prostrčit ruku nad prostorem sledovaným světelnou závorou. Minimální výšku světelné závory stanovuje opět norma ČSN EN ISO 13855. Norma zavádí doplňující vzdálenost k nebezpečnému prostoru  $C_{RO}$ , která se podle dané výšky světelné závory přičítá k minimální vzdálenosti  $S$ .

Pro výšku nebezpečného prostoru plotru  $h_h = 1200 \text{ mm}$  a doplňující vzdálenost  $C_{RO} = 0 \text{ mm}$  je výška horního okraje detekčního prostoru  $b = 1600 \text{ mm}$ . Bude tedy použita světelná závora o výšce 1350 mm (výška 1300 mm se nevyrábí) umístěná 300 mm nad podlahou při nezměněné vzdálenosti  $S = 448 \text{ mm}$ .

#### Uspořádání světelných závor

Jelikož je stroj přístupný ze všech stran, je nutné zabezpečit všechny strany. Mezi vysílačem a přijímačem lze dle výrobce použít až dva zrcadlové sloupky. Pro zabezpečení plotru je tedy třeba použít dva vysílače, dva přijímače a dva zrcadlové sloupky (viz obr. 6.2).



Obr. 6.2 Uspořádání varianty se světelnými závory a zrcadlovými sloupky

## 2. varianta: Zabezpečení pracovního prostoru pomocí laserového skeneru

### Výpočet vzdálenosti pro nastavení nebezpečné zóny laserového skeneru

Výpočet vychází ze stejného vzorce jako pro světelnou závoru, pro bezpečnostní prvky s detekčním prostorem rovnoběžným se směrem přiblížení se ale detekční schopnost  $C$  vypočte jako:

$$C = 1200 - 0,4 \times H \quad (6.3)$$

Kde  $H$  je výška umístění laserového skeneru od podlahy a vypočte se:

$$H = 15(d - 50) \quad (6.4)$$

Přičemž  $H$  musí být větší než 0. Vzdálenost  $S$  se tedy vypočte následovně:

$$S = (1600 \times T) + (1200 - 0,4 \times H) \quad (6.5)$$

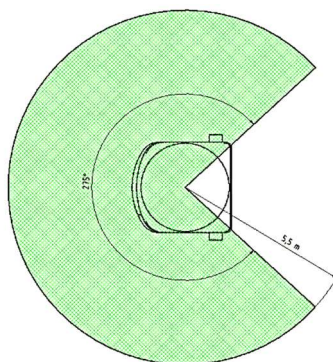
Pro výpočet je uvažován laserový skener PSEN sc B 5 Series, jeho detekční schopnost je  $d = 70$  mm. Celková doba zastavení stroje je opět  $T = 0,2$  s. Minimální výška od podlahy je  $H = 300$  mm.

Minimální vzdálenost pro nastavení nebezpečné zóny laserového skeneru byla vypočtena jako  $S = 1400$  mm.

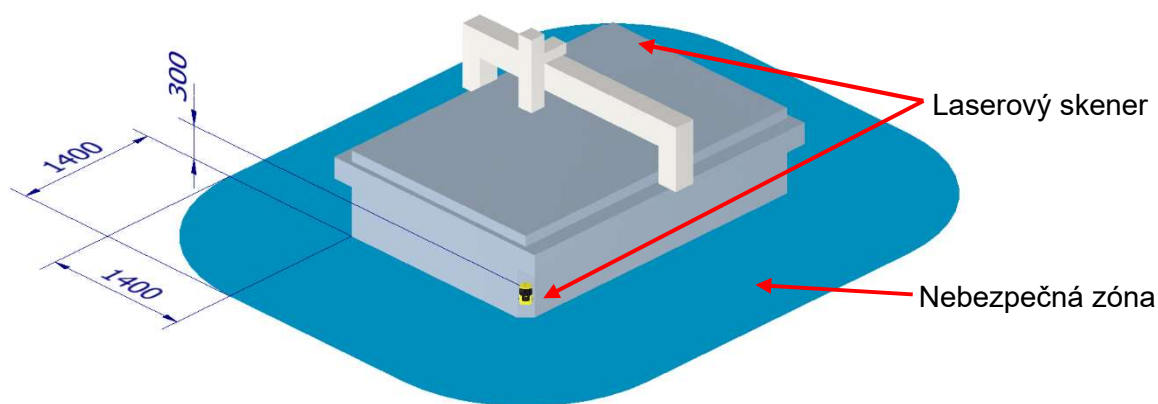


### Uspořádání laserových skenerů

Vybraný laserový skener má maximální nastavitelnou nebezpečnou zónu do vzdálenosti 5,5 metru, přičemž tato zóna je ve tvaru kruhové výseče o středovém úhlu  $275^\circ$  (viz obr. 6.3). Proto lze na zabezpečení plotru o rozměrech 2 x 3 metry použít dva laserové skenery umístěné v protilehlých rozích stroje (viz obr. 6.4).



Obr. 6.3 Maximální nebezpečná plocha snímaná laserovým skenerem



Obr. 6.4 Uspořádání varianty se dvěma laserovými skenery

### **3. varianta: Zabezpečení pracovního prostoru pomocí oplocení**

#### Určení vzdálenosti pro umístění oplocení a jeho výšky

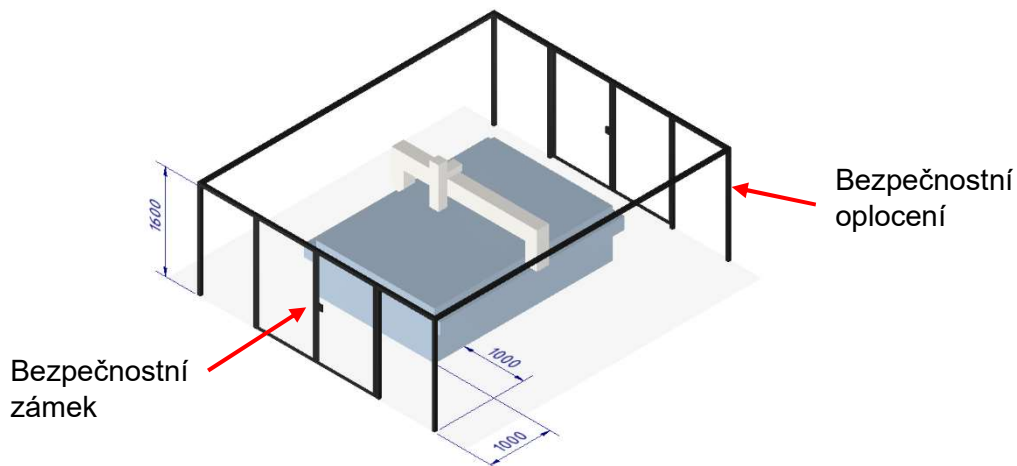
Normy ČSN EN ISO 13854 a ČSN EN ISO 13857 definují vzdálenost umístění pevných zábran od nebezpečného prostoru a jejich výšku. Minimální vzdálenost umístění pevné zábrany od nejzazšího místa, do kterého se může pohybuující se část stroje dostat je dle normy 500 mm, a to z důvodu zamezení přimáčknutí člověka strojem. V tomto případě je ale nutné nechat kolem plotru

více místa, jelikož operátor musí při ručním režimu mít možnost pohybovat se okolo stroje, případně manipulovat s obrobkem. Výška oplocení se řídí výškou nebezpečného prostoru  $h_h$  a vodorovnou vzdáleností od nebezpečného prostoru  $s_h$ .

Pro zajištění možnosti pohybu operátora kolem plotru bude vzdálenost oplocení od plotru  $s_h = 1000$  mm. Pro tuto vzdálenost a výšku nebezpečného prostoru  $h_h = 1200$  mm je dle normy minimální výška ochranné konstrukce  $h_{ps} = 1600$  mm.

### Uspořádání oplocení

Aby bylo možné do chráněného prostoru vstoupit a dopravovat materiál, je třeba oplocení vybavit dveřmi s bezpečnostním uzamykacím zařízením. Pro usnadnění obsluhy budou v oplocení dva vstupy, a to z přední a zadní strany pracoviště (viz obr. 6.5).



Obr. 6.5 Uspořádání varianty s oplocením

## 6.1.2 Návrh umístění tlačítek nouzového zastavení

Tlačítka nouzového zastavení musí být umístěna na každém místě, ze kterého lze ovládat stroj. U plotru budou tedy umístěna na ovládací panel a ruční ovladač. Vzhledem k tomu, že se v ručním režimu jedná o relativně velký pracovní prostor, budou použita ještě dvě tlačítka nouzového zastavení, která budou umístěna na přední a zadní straně plotru tak, aby bylo možné na ně

snadno dosáhnout. V případě varianty s oplocením je nutné umístit další tlačítka nouzového zastavení do blízkosti dveří z vnější strany oplocení.

### 6.1.3 Bezpečnost obráběcího procesu

#### Volba maximálního průměru nástroje

Norma ČSN EN ISO 15641 definuje limity rychlosti otáčení a obvodové rychlosti v závislosti na průměru nástroje tak, aby nedocházelo k vysokorychlostnímu obrábění (viz obr. 4.2 a 4.3 v kapitole 4.1). Při maximálních otáčkách vřetene  $n = 24000$  ot/min je dle obr. 4.2 maximální průměr nástroje  $D = 12$  mm. Obvodová rychlost se vypočte dle vztahu:

$$v_D = \frac{\pi D n}{1000} \quad (6.6)$$

Maximální dovolená obvodová rychlost pro obrábění mimo oblast vysokorychlostního obrábění je  $v_D = 905$  m/min. Pro vyšší obvodové rychlosti by stroj musel být zabezpečen dle normy pro vysokorychlostní obrábění ČSN EN ISO 15641.

#### Ochrana před vymrštěním části obrobku nebo nástroje

Při frézování může dojít k vymrštění části obrobku nebo části ulomeného nástroje, což způsobuje riziko pro obsluhu. Dle normy ČSN EN ISO 16090-1 musí být stroj vybaven ochrannými kryty, které zabrání ohrožení obsluhy těmito odlétávajícími předměty.

Vřeteno a nástroj plotru budou obestavěny krytem, který ale musí umožňovat výměnu nástroje.

### 6.1.4 Návrh voliče režimů

Plotr pro obrábění lehce obrobitelných materiálů je vybaven ručním a automatickým režimem, přičemž při ručním režimu je stroj ovládán pomocí ručního ovladače a při automatickém režimu z ovládacího panelu. Ruční ovladač bude vybaven třipolohovým tlačítkem pro zajištění bezpečnosti operátora, tlačítka pro ovládání jednotlivých os, voličem velikosti posuvu, tlačítkem rychloposuvu a tlačítkem nouzového zastavení. Volič režimů bude realizován pomocí přepínače s klíčem, který bude umístěn na ovládacím panelu. Při

přepnutí z automatického do ručního režimu operátor otočí přepínač do správné polohy a vyjme klíč. Zpět se stroj přepne až po opětovném zasunutí klíče a otočení přepínače, přičemž tyto kroky budou popsány v návodu k obsluze stroje. Řídící systém při přepínání režimů provede kroky popsané v kapitolách 5.2.1 a 5.2.2.

### 6.1.5 Bezpečnostní vstupy a výstupy

Navržené bezpečnostní prvky a pohony s bezpečnostními funkcemi budou propojeny s bezpečnostním PLC. Jedním z parametrů bezpečnostního PLC je počet bezpečnostních vstupů a výstupů. Navrhované řešení bude využívat bezpečnostní prvky výrobce Beckhoff [31; 32], konkrétně:

EL1904 – bezpečnostní vstupní člen obsahující 4 vstupy

EL2904 – bezpečnostní výstupní člen obsahující 4 výstupy

EL6900 nebo EL6910 – bezpečnostní PLC – logický člen zajišťující propojení mezi vstupem a výstupem, přičemž EL6910 umožňuje zpracování analogových hodnot, a tedy použití složitějších bezpečnostních funkcí

AX5805 – bezpečnostní karta s připojením na EtherCAT, umožňuje funkce SS, STO a SLS

Použité frekvenční měniče:

AX5206 – dvoukanálový frekvenční měnič se jmenovitým výstupním proudem 6 A, pro čtyři pohony budou použity dva frekvenční měniče

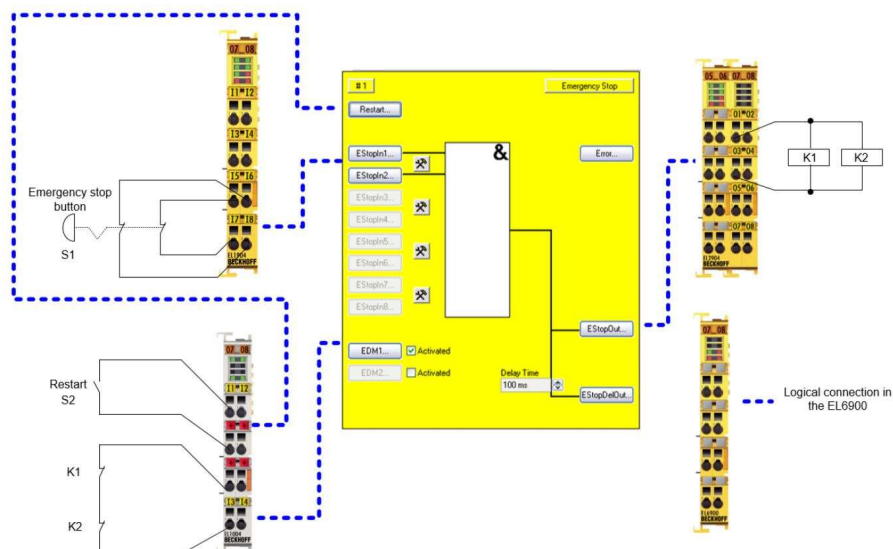
AX5118 – jednocanálový frekvenční měnič se jmenovitým výstupním proudem 18 A, bude použit pro vřeteno

Následuje popis způsobů zapojení bezpečnostních prvků TwinSAFE:

a) Tlačítko nouzového zastavení

Dva rozpínací kontakty tlačítka nouzového zastavení jsou připojeny na dva bezpečnostní vstupy (viz obr. 6.6). Výstup z bezpečnostního PLC je realizován

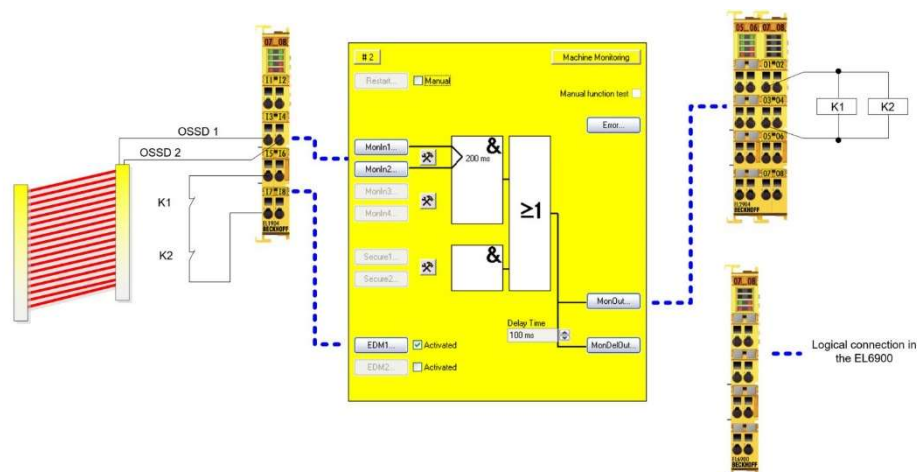
pomocí EtherCATu. Tlačítko restartu je připojeno do standardního vstupního členu. Pro více tlačítek nouzového zastavení je možné zapojení do série. [31]



Obr. 6.6 Příklad zapojení tlačítka nouzového zastavení (TwinSAFE) [31]

## b) Světelné závory

Dva výstupy světelné závory jsou připojeny na dva bezpečnostní vstupy (viz obr. 6.7). Výstup z bezpečnostního PLC je realizován pomocí EtherCATu. [31]



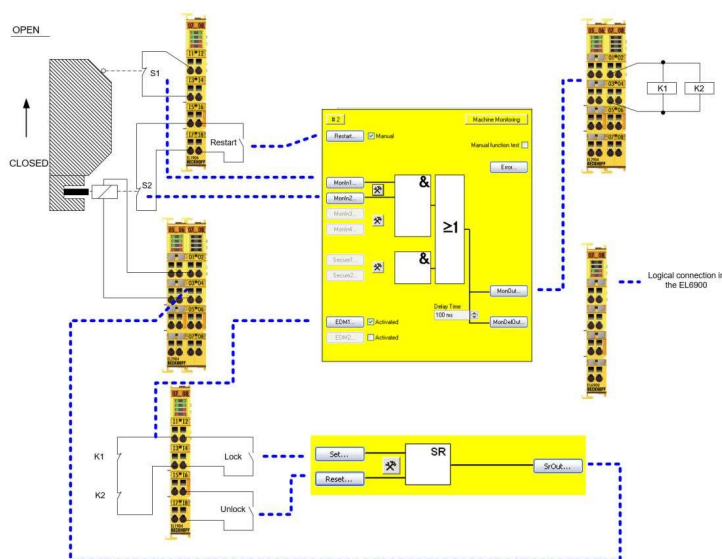
Obr. 6.7 Příklad zapojení světelné závory (TwinSAFE) [31]

## c) Laserový skener

Laserový skener je zapojen stejně jako světelná závora (viz obr. 6.7), jsou tedy potřeba dva bezpečnostní vstupy. [31]

#### d) Bezpečnostní uzamykací zařízení

Dva kontakty dveří bezpečnostního uzamykacího zařízení, restartovací tlačítko a dva kontakty zámku jsou připojeny celkem na 5 bezpečnostních vstupů. Zámek je připojen na bezpečnostní výstup (viz obr. 6.8). Vstupní a výstupní členy jsou propojeny logickým členem. Výstup z bezpečnostního PLC je realizován pomocí EtherCATu. [31]



Obr. 6.8 Příklad zapojení bezpečnostního uzamykacího zařízení (TwinSAFE) [31]

#### e) Třípolohové tlačítko

Dva rozpínací kontakty jsou připojeny na dva bezpečnostní vstupy. Výstup z bezpečnostního PLC je realizován pomocí EtherCATu. [31]

#### f) Safe Stop (SS), Safe Torque Off (STO) a Safe Limited Speed (SLS)

Funkce SS, STO a SLS jsou realizovány pomocí bezpečnostního PLC EL6910, karty AX5805 a EtherCATu. [31]

#### Výběr varianty zabezpečení a určení počtu potřebných bezpečnostních vstupů a výstupů

Všechny čtyři pohony plotru (dvě osy x, osa y a osa z) a vřeteno musí být z důvodu pohybu osob v nebezpečném prostoru vybaveny bezpečnostními funkcemi Safe Stop (SS), Safe Torque Off (STO) a Safe Limited Speed (SLS). Byla vybrána varianta zabezpečení plotru pomocí dvou laserových skenerů. Tato

varianta byla zvolena kvůli tomu, že laserové skenery jsou zabudovány přímo ve stroji, což zjednodušuje přemísťování a instalaci stroje a také klade menší nároky na prostor. Tato varianta obsahuje dva laserové skenery, 4 tlačítka nouzového zastavení zapojené do série a třípolohové tlačítko. Počet vstupů a výstupů je dle předchozích schémat:

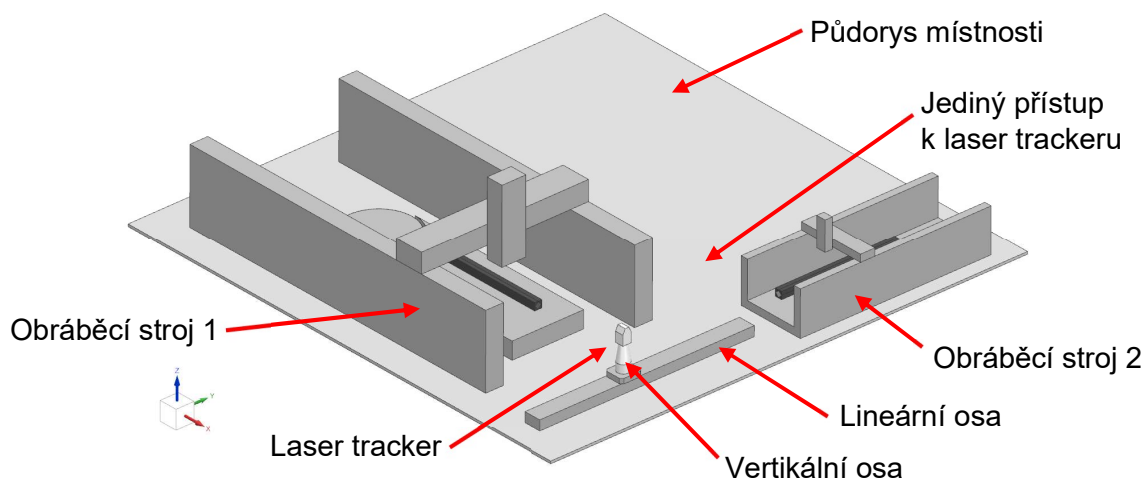
$$\text{Vstupy: } 2 \times 2 + 2 \times 1 + 2 \times 1 = 8$$

$$\text{Výstupy: } 0$$

Jsou tedy potřeba celkem 2 vstupní členy EL1904 propojené s bezpečnostním PLC EL6910.

## 6.2 Zabezpečení robotického pracoviště s laser trackerem na lineární ose

Toto robotické pracoviště je využíváno pro inprocesní měření na dvou obráběcích strojích. Laser tracker je polohován ve dvou stupních volnosti po lineární a vertikální ose, přičemž rychlost posuvu v automatickém režimu je 500 mm/s. Délka lineární osy je 11 m a délka vertikální osy je 1600 mm. Lineární osa je umístěna v rohu místnosti mezi dvěma obráběcími stroji tak, že je přístupná pouze z jedné strany (viz obr. 6.9). Když je měření dokončeno, tak se laser tracker přesune do prostoru chráněného proti nečistotám. Laser tracker je ovládán z ovládacího panelu, přičemž je vybaven ručním a automatickým režimem. Robotické pracoviště musí být zabezpečeno tak, aby nedošlo ke kolizi pohybujícího se laser trackeru s obsluhou strojů.



Obr. 6.9 Schéma robotického pracoviště [37]

Zabezpečení tohoto robotického pracoviště bude realizováno pomocí bezpečnostního oplocení. Z důvodu zbytečného přerušování měřicího procesu při nechtěném vstupu do nebezpečného prostoru nebudou použity varianty s laserovým skenerem nebo světelnými závorami.

### 6.2.1 Zabezpečení pracovního prostoru pomocí oplocení

#### Uspořádání oplocení

Oplocení je navrženo na spojnici mezi nejbližšími rohy obou obráběcích strojů. Aby bylo možné do chráněného prostoru vstoupit například z důvodu údržby, je třeba oplocení vybavit dveřmi s bezpečnostním uzamykacím zařízením.

#### Určení výšky oplocení

Vzdálenost oplocení k nejbližší možné poloze, do které se laser tracker může dostat je  $s_h = 1000$  mm. Dle normy ČSN EN ISO 13857 je pro tuto vzdálenost a výšku nebezpečného prostoru  $h_h = 1600$  mm minimální výška ochranné konstrukce  $h_{ps} = 1600$  mm.

#### Návrh umístění tlačítek nouzového zastavení

Jedno tlačítko nouzového zastavení bude umístěno na ovládací panel laser trackeru, jedno v blízkosti dveří z vnější strany oplocení a jedno na ovládací panel na rozvaděči.



## 6.2.2 Bezpečnostní vstupy a výstupy

### Bezpečnostní funkce

Funkce Safe Stop zajišťuje bezpečné řízené zastavení pohonu. Funkce Safe Torque Off (STO) zabezpečuje, že pohon zůstane po zastavení bez krouticího momentu a nedojde tak například k neočekávanému spuštění. Funkce Safe Limited Speed (SLS) zabezpečuje sledování maximální povolené rychlosti. V případě oploceného robotického pracoviště s laser trackerem, kdy se v nebezpečném prostoru během provozu nepohybují osoby, je možné pohony vybavit pouze funkcí STO. [36]

### Počet potřebných bezpečnostních vstupů a výstupů

Bude použito bezpečnostní uzamykací zařízení s pěti vstupy a jedním výstupem a dvě tlačítka nouzového zastavení zapojené do série se dvěma vstupy.

$$\text{Vstupy: } 5 \times 1 + 2 \times 1 = 7$$

$$\text{Výstupy: } 1 \times 1 = 1$$

Jsou potřeba 2 vstupní členy EL1904 a 1 výstupní člen EL2904.

V případě realizovaného řešení by byly použity opět bezpečnostní prvky TwinSAFE výrobce Beckhoff, konkrétně:

EL1904 – bezpečnostní vstupní člen obsahující 4 vstupy

EL2904 – bezpečnostní výstupní člen obsahující 4 výstupy

EL6910 – bezpečnostní PLC

AX5805 – bezpečnostní karta s připojením na EtherCAT, která umožňuje funkce SS, STO a SLS

AX5206 – dvoukanálový frekvenční měnič se jmenovitým výstupním proudem 6 A

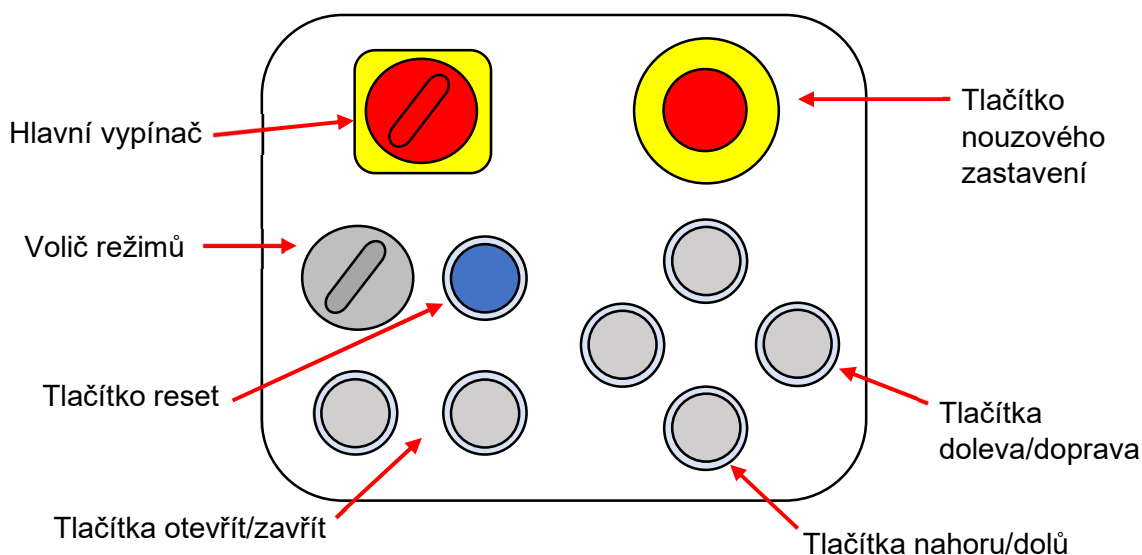
Všechny bezpečnostní prvky jsou zapojeny stejným způsobem jako v kapitole 6.1.5.

### 6.2.3 Způsob ovládání robotického pracoviště

Robotické pracoviště s laser trackerem bude v automatickém režimu ovládáno z ovládacího panelu obráběcích strojů. Pro účely údržby bude robotické pracoviště vybaveno ovládacím panelem pro ruční režim. V ručním režimu tak nebude potřeba ovládat laser tracker pomocí ovládacího panelu strojů. Tento ruční ovládací panel bude umístěn na dveřích rozvaděče, který se bude nacházet vedle krytu laser trackeru.

Na ovládacím panelu pro ruční režim bude umístěn hlavní vypínač, tlačítko nouzového zastavení, volič režimů, resetovací tlačítko, ovládání posuvu obou os (tlačítka doprava, doleva, nahoru, dolů) a tlačítka pro otevření a zavření krytu laser trackeru (viz obr. 6.10).

Volič režimů bude přepínač, který po přepnutí do ručního režimu zajistí ovládání pouze z ovládacího panelu pro ruční režim. Při ručním režimu může být rychlost posuvu maximálně 250 mm/s [33], což zabezpečí použití bezpečnostní funkce Safe Limited Speed.



Obr. 6.10 Návrh ovládacího panelu na rozvaděči

## 7. Závěr

Robotická pracoviště při svém provozu vytváří spoustu rizik, která mohou mít za následek zranění člověka nebo poškození strojního zařízení. Proto je nutné zabývat se zabezpečením robotických pracovišť a snížením nebo eliminací rizik, a to zpravidla již při fázi raného vývoje pracoviště. Zabezpečení závisí na mnoha faktorech, jako jsou druh a funkce robotu a robotického pracoviště, způsob řízení, obsluhy a údržby nebo prostředí, ve kterém se pracoviště nachází. Výchozím bodem pro zabezpečení robotických pracovišť jsou technické normy, které se zabývají bezpečností robotů a robotických pracovišť, tlačítka nouzového zastavení, umístěním bezpečnostních prvků, ovládacími systémy nebo ochrannými kryty. V rešeršní části byly popsány tyto technické normy, dále pak druhy robotických pracovišť a rizika spojená s provozem těchto pracovišť.

Pro zabezpečení robotických pracovišť se používají bezpečnostní prvky a bezpečnostní software, jejichž přehled a funkcionality byly také popsány v rešeršní části. Základním bezpečnostním prvkem je bezpečnostní PLC, které slouží k řízení ostatních bezpečnostních prvků, jako jsou světelné závory, bezpečnostní uzamykací zařízení nebo bezpečnostní karty sloužící k zajištění bezpečnostních funkcí.

V části vlastního řešení bakalářské práce byl navržen způsob řízení v ručním a automatickém režimu s ohledem na bezpečný provoz. Jedná se o sled kroků, které musí být provedeny při přepínání z ručního do automatického režimu a naopak. Tento návrh byl poté aplikován pro návržení vhodného voliče režimu pro obráběcí plotr. Tento volič režimu je navržen v podobě přepínače s klíčem, který obsluha při přepnutí do ručního režimu vyjme.

Dále byla navržena zabezpečení dvou robotických pracovišť. Pro obráběcí plotr byly navrženy tři varianty zabezpečení pracovního prostoru. Jedná se o zabezpečení pomocí světelných závor, laserových skenerů a oplocení s bezpečnostními uzamykacími zařízeními. Pro všechny varianty byl proveden výpočet bezpečné vzdálenosti pro umístění bezpečnostních prvků dle platných bezpečnostních norem a návrh jejich uspořádání. Dále byl proveden návrh

umístění tlačítek nouzového zastavení, návrh maximálního průměru nástroje z hlediska obrábění mimo oblast vysokorychlostního obrábění a návrh zabezpečení proti vymrštění části obrobku nebo frézy. Byla vybrána varianta zabezpečení pomocí laserových skenerů, a to z důvodu zabudování bezpečnostních prvků přímo do stroje, což zjednodušuje přemísťování a instalaci stroje a klade menší nároky na prostor. Pro vybranou variantu byl navržen počet bezpečnostních vstupů a výstupů pro návrh zapojení bezpečnostních prvků TwinSAFE od výrobce Beckhoff.

Pro robotické pracoviště s laser trackerem na lineární ose bylo navrženo zabezpečení pomocí oplocení s bezpečnostním uzamykacím zařízením. Byl proveden návrh výšky oplocení dle normy, návrh umístění tlačítek nouzového zastavení, návrh počtu bezpečnostních vstupů a výstupů a návrh ovládání robotického pracoviště z hlediska bezpečnosti.

Navržená řešení zabezpečení obou robotických pracovišť splňují všechny podmínky, stanovené bezpečnostními normami, pro jejich bezpečný provoz.

## Seznamy

### Seznam použité literatury

- [1] *Bezpečnost robotických pracovišť* [online]. Vše o průmyslu. [cit. 2022-10-15]. Dostupné z: <https://www.vseoprumsly.cz/robotizace/prumyslove-roboty/bezpecnost-robotickych-pracovist.html>
- [2] KOČÁRKOVÁ, Jaroslava. *Může být robotické pracoviště bezpečné?* *Technický týdeník* [online]. Business Media CZ s.r.o., 2022 [cit. 2022-10-15]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/automatizace-robotizace/muze-byt-roboticke-pracoviste-bezpecne\\_55278.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/automatizace-robotizace/muze-byt-roboticke-pracoviste-bezpecne_55278.html)
- [3] *10 kroků pro bezpečnost robotizovaných pracovišť podle odborníka* [online]. Factory Automation. [cit. 2022-10-15]. Dostupné z: <https://www.factoryautomation.cz/10-kroku-pro-bezpecnost-robotizovanych-pracovist-podle-odbornika-2/>
- [4] ČSN EN ISO 10218-1 (186502). *Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 1: Roboty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [5] ČSN EN ISO 10218-2 (186502). *Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 2: Systémy robotů a integrace*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [6] ČSN EN ISO 12100 (833001). *Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [7] ČSN EN ISO 11161 (833210). *Bezpečnost strojních zařízení – Integrované výrobní systémy – Základní požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [8] ČSN EN ISO 13850 (833311). *Bezpečnost strojních zařízení – Funkce nouzového zastavení – Zásady pro konstrukci*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [9] ČSN EN ISO 13855 (833303). *Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [10] ČSN EN ISO 13849-1 (833205). *Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Obecné zásady pro konstrukci*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.

- [11] ČSN EN ISO 16090-1 (200710). *Bezpečnost obráběcích strojů – Obráběcí centra, frézky, postupové stroje – Část 1: Bezpečnostní požadavky*. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2019.
- [12] ČSN EN ISO 15641 (222004). *Frézy pro vysokorychlostní obrábění – Bezpečnostní požadavky*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
- [13] *Bezpečnost strojů - 2. díl – PL vs. SIL* [online]. Automatizace.HW.cz [cit. 2022-10-23]. Dostupné z: <https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-2-dil-pl-vs-sil.html>
- [14] ABB Jokab Safety [online]. *Příručka bezpečnosti*. 2013. [cit. 2022-11-10]. Dostupné z: <https://library.e.abb.com/public/efb3781390c4499686c1e5f1244db08f/ABB%20Prirucka%20bezpecnosti%20-%20Katalog%20JokabSafety.pdf>
- [15] *EN ISO 13849-1 – rozdělení nebezpečí na Performance Level* [online]. PILZ CZ [cit. 2022-10-23]. Dostupné z: <https://www.pilz.com/cs-CZ/support/knowhow/law-standards-norms/functional-safety/en-iso-13849-1>
- [16] *Technické normy ČSN* [online]. TECHNOR Print, s.r.o. [cit. 2022-10-23]. Dostupné z: <https://www.technicke-normy-csn.cz/>
- [17] GOODWIN, D. Industrial Robot Cells: Designing for Safety and Effectiveness. *Technical Articles* [online]. Control Automation, 2022 [cit. 2022-11-3]. Dostupné z: <https://control.com/technical-articles/industrial-robot-cells-designing-for-safety-and-effectiveness/>
- [18] *Robotická pracoviště* [online]. JHV [cit. 2022-11-3]. Dostupné z: <https://development.jhv.cz/roboticka-pracoviste>
- [19] BLECHA, P. *Mechatronika Modul 10: Robotika* [online]. Vysoké učení technické v Brně [cit. 2022-11-10]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/8054951-Mechatronika-modul-10-robotika.html>
- [20] *Bezpečnostní relé a bezpečnostní komponenty pro průmysl* [online]. SCHMACHTL CZ [cit. 2022-11-10]. Dostupné z: <https://www.schmachtl.cz/bezpecnost-prace>
- [21] *Funkce bezpečnostního relé* [online]. Pilz CZ [cit. 2022-11-6]. Dostupné z: <https://www.pilz.com/cs-CZ/support/knowhow/lexicon/articles/072106>
- [22] *Požadavky na konstrukci ochranných krytů a ochranných zařízení* [online]. ElektroPrůmysl.cz [cit. 2022-11-6]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/legislativa/pozadavky-na-konstrukci-ochrannych-krytu-a-ochrannych-zarizeni>

- [23] *Dual Check Safety (DCS) Explained* [online]. Motion Controls Robotics [cit. 2022-11-10]. Dostupné z: <https://motioncontrolsrobotics.com/dual-check-safety-dcs-explained/>
- [24] *Robot cell for efficient loading and unloading* [online]. KUKA AG [cit. 2022-11-17]. Dostupné z: [https://www.kuka.com/en-ch/products/production-systems/manufacturing-cells/kuka-cell4\\_loading](https://www.kuka.com/en-ch/products/production-systems/manufacturing-cells/kuka-cell4_loading)
- [25] *Safety light curtain – GL-R series* [online]. KEYENCE International Belgium [cit. 2022-11-17]. Dostupné z: <https://www.keyence.eu/products/safety/light-curtain/gl-r/>
- [26] *JSHD4 – Safety control devices* [online]. ABB [cit. 2022-11-17]. Dostupné z: <https://new.abb.com/low-voltage/products/safety-products/safety-control-devices/jshd4>
- [27] *Oplocení zařízení* [online]. Haberkorn [cit. 2022-11-17]. Dostupné z: <https://www.haberkorn.cz/oploceni-zarizeni/>
- [28] *Bezpečnostní nárazníky* [online]. REM-Technik [cit. 2022-11-17]. Dostupné z: <https://www.rem-technik.cz/bezpecnostni-systemy/bezpecnostni-listy-a-narazniky/bezpecnostni-narazniky-1529.html>
- [29] *Safety step solid top* [online]. Mat Tech [cit. 2022-11-17]. Dostupné z: <https://www.mattech.ca/product/safety-step-solid-top/>
- [30] *Systém volby provozních režimů a přístupových oprávnění PITmode* [online]. Pilz INT [cit. 2023-02-19]. Dostupné z: <https://www.pilz.com/cs-INT/products/operating-and-monitoring/control-and-signal-devices/pitmode-operating-mode-selector-switch>
- [31] Beckhoff [online] *Application Guide TwinSAFE. Examples for the calculation of safety parameters for safety functions*. 2022. [cit. 2023-4-23]. Dostupné z: <https://download.beckhoff.com/download/document/automation/twinsafe/applicationguidetwinsafeen.pdf>
- [32] Beckhoff [online] *Operating Instructions. EL6900. TwinSAFE Logic Terminal*. 2023. [cit. 2023-4-23]. Dostupné z: <https://download.beckhoff.com/download/document/automation/twinsafe/el6900en.pdf>
- [33] *Provozní režimy průmyslových robotů a robotických zařízení* [online]. ElektroPrůmysl.cz [cit. 2023-4-2]. Dostupné z: <https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/provozni-rezimy-prumyslovych-robotu-a-robotickych-zarizeni>

- [34] *TwinSAFE – Hardware* [online]. Beckhoff. [cit. 2023-5-5]. Dostupné z: <https://www.beckhoff.com/cs-cz/products/automation/twinsafe/twinsafe-hardware/>
- [35] *CNC Plotter Flexi* [online]. PILART [cit. 2023-6-23]. Dostupné z: <https://www.pilart.cz/produkt/CNC-PLOTTER-FLEXI-1463/>
- [36] *EcoStruxure Machine Expert – Safety* [online]. Schneider Electric. [cit. 2023-6-13]. Dostupné z: [https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V1.1/LandingPages/en/VLP\\_Safety/VLP\\_SoSafe/index.html](https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V1.1/LandingPages/en/VLP_Safety/VLP_SoSafe/index.html)
- [37] *Robotické pracoviště s laser trackerem na lineární ose*. ČVUT – Ústav výrobních strojů a zařízení, 2023.



## Seznam obrázků

Obr. 3.1 Příklad robotického pracoviště [24] .....	13
Obr. 4.1 Vyhledávací diagram pro určení PL [13] .....	17
Obr. 4.2 Závislost rychlosti otáčení $n$ ( $\text{min}^{-1}$ ) na průměru nástroje $D$ (mm) [12] .....	19
Obr. 4.3 Závislost obvodové rychlosti $v_D$ (m/min) na průměru nástroje $D$ (mm) [12] ....	19
Obr. 4.4 Bezpečnostní PLC Beckhoff EL6910 [34] .....	23
Obr. 4.5 Bezpečnostní karta servopohonu Beckhoff AX5805 [34] .....	24
Obr. 4.6 Bezpečnostní relé [21] .....	25
Obr. 4.7 Tlačítko nouzového zastavení [20] .....	25
Obr. 4.8 Bezpečnostní oplocení [27] .....	26
Obr. 4.9 Bezpečnostní uzamykací zařízení [20] .....	27
Obr. 4.10 Bezpečnostní dveřní zámek Haake [20] .....	28
Obr. 4.11 Bezpečnostní jednopaprsková světelná závora [20] .....	29
Obr. 4.12 Vícepaprsková světelná závora [25] .....	30
Obr. 4.13 Aplikace radarového systému [20] .....	31
Obr. 4.14 Bezpečnostní laserový skener [20] .....	31
Obr. 4.15 Nášlapná rohož [29] .....	32
Obr. 4.16 Bezpečnostní nárazník [28] .....	32
Obr. 4.17 Nárazová lišta [20] .....	33
Obr. 4.18 Třípolohový ovladač [26] .....	33
Obr. 5.1 Transpondérový klíč PITreader [30] .....	35
Obr. 5.2 Schéma nezbytných kroků při přepínání z ručního do automatického režimu .....	36
Obr. 5.3 Schéma nezbytných kroků při přepínání z automatického do ručního režimu .....	36
Obr. 6.1 Příklad obráběcího plotru [35] .....	38
Obr. 6.2 Uspořádání varianty se světelnými závorami a zrcadlovými sloupky .....	40
Obr. 6.3 Maximální nebezpečná plocha snímaná laserovým skenerem .....	41
Obr. 6.4 Uspořádání varianty se dvěma laserovými skenery .....	41
Obr. 6.5 Uspořádání varianty s oplocením .....	42
Obr. 6.6 Příklad zapojení tlačítka nouzového zastavení (TwinSAFE) [31] .....	45
Obr. 6.7 Příklad zapojení světelné závory (TwinSAFE) [31] .....	45
Obr. 6.8 Příklad zapojení bezpečnostního uzamykacího zařízení (TwinSAFE) [31] .....	46
Obr. 6.9 Schéma robotického pracoviště [37] .....	48
Obr. 6.10 Návrh ovládacího panelu na rozvaděči .....	50

## Seznam příloh

### Elektronické přílohy

- BP – Petržík Ondřej.pdf
- BP – Petržík Ondřej.docx