

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 Strojní inženýrství

Studijní obor: Konstruování strojů a technických zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh robotického pracoviště s ohledem na bezpečnost

Autor: **Martin DUSPÍVA**

Vedoucí práce: **Ing. Jiří BARTÁK**

Akademický rok 2020/2021

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martin DUSPÍVA**
Osobní číslo: **S20B0062K**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **konstruování strojů a technických zařízení**
Téma práce: **Návrh robotického pracoviště s ohledem na bezpečnost**
Zadávací katedra: **Katedra konstruování strojů**

Zásady pro vypracování

Základní požadavky:

Vytvořte rešerši legislativních předpisů, které se týkají nových strojních zařízení uváděných na trh. Vytvořte postup návrhu strojního zařízení s ohledem na bezpečnost a legislativní požadavky. Vytvořte analýzu možností použití bezpečnostních prvků. Vytvořte návrh robotického pracoviště. Proveďte posouzení rizik tohoto pracoviště a aplikujte na něm bezpečnostní prvky.

Základní technické údaje:

Technické parametry jsou uvedeny v příloze zadání.

Osnova bakalářské práce:

1. Rešerše legislativních požadavků týkajících se bezpečnosti strojních zařízení.
2. Postup návrhu strojního zařízení.
3. Posouzení rizik strojního zařízení.
4. Návrh robotického pracoviště s ohledem na bezpečnost.
5. Zhodnocení práce, závěr.

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **podle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

- [1] Technické normy ČSN.
- [2] ABB.- Příručka bezpečnosti. -Bezpečnost strojů - JOKAB safety, 2013

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Barták**
Katedra konstruování strojů

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jiří Barták**
Katedra konstruování strojů

Datum zadání bakalářské práce: **16.října 2020**

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

L.S.

Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan

Prof. Ing. Václava Lašová, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 16. října 2020

Prohlášení o autorství

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

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Duspíva	Jméno Martin	
STUDIJNÍ OBOR	B0715A270013 Strojní inženýrství		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Barták	Jméno Jiří	
PRACOVISTĚ	ZČU - FST - KKS		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Návrh robotického pracoviště s ohledem na bezpečnost		

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

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	46	TEXTOVÁ ČÁST	46	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce obsahuje řešerši legislativních požadavků na nová strojní zařízení a je zde popsán postup návrhu strojního zařízení. Dále je vysvětlen proces posouzení rizik a je zde vytvořen přehled možností využití bezpečnostních prvků. V praktické části je vytvořen návrh robotického pracoviště, provedeno posouzení rizik a na jeho základě jsou aplikovány bezpečnostní prvky.
KLÍČOVÁ SLOVA	Posouzení rizik, robotické pracoviště, performance level

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Duspíva		Name Martin	
FIELD OF STUDY	B0715A270013 Mechanical Engineering			
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Barták		Name Jiří	
INSTITUTION	ZČU - FST - KKS			
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable	
TITLE OF THE WORK	Design of a robotic workplace with regard to the safety			
FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machine Design	SUBMITTED IN 2021

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	46	TEXT PART	46	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor's thesis contains a search of legislative requirements for new machinery and describes the design process of machinery. The process of risk assessment is explained and an overview of the possibilities of using safety devices is created. In the practical part, a design of a robotic workplace is created, a risk assessment is performed and safety devices are applied.
KEY WORDS	Risk assessment, robotic workplace, performance level

Obsah

Obsah.....	1
Přehled použitých zkratk	3
Seznam obrázků	3
Seznam tabulek	4
1 Úvod.....	5
2 Zákony a vládní nařízení České republiky	6
2.1 Zákon 22/1997- Zákon o technických požadavcích na výrobky.....	6
2.2 Zákon č. 90/2016 Sb.- Zákon o posuzování shody stanovených výrobků při jejich dodávání na trh.....	6
2.3 Nařízení vlády č. 378/2001 Sb. - Nařízení vlády, kterým se stanoví bližší požadavky na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a náradí.....	6
2.4 Nařízení vlády č. 176/2008 Sb. o technických požadavcích na strojní zařízení	7
a) Strojní zařízení	8
b) Vyměnitelná přídavná zařízení.....	9
c) Bezpečnostní součásti	9
d) Příslušenství pro zdvihání	10
e) Řetězy, lana a popruhy	10
f) Odnímatelná mechanická převodová zařízení.....	10
g) Neúplná strojní zařízení	11
2.5 Nařízení vlády č. 117/2016 Sb. o posuzování shody výrobků z hlediska elektromagnetické kompatibility při jejich dodávání na trh.....	11
2.6 Nařízení vlády č. 118/2016 Sb. o posuzování shody elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí při jejich dodávání na trh	12
3 Normy.....	12
3.1 Normy ČSN EN ISO 13849-1 a ČSN EN 62061	15
3.2 Příklady bezpečnostních okruhů	17
3.2.1 Automatické pracoviště.....	17
3.2.2 Hydraulický lis	19
4 Postup návrhu strojního zařízení	21
4.1 Specifikace nového strojního zařízení.....	21
4.2 Konstrukce	21
4.3 Životní cyklus strojního zařízení.....	22
5 Posouzení rizik strojního zařízení	23
5.1 Základní pojmy	23

5.2 Analýza rizika	24
5.3 Hodnocení rizika	25
5.4 Posouzení rizik	25
6 Bezpečnostní prvky	26
6.1 Ochranné kryty	27
6.1.1 Kryty pevné	27
6.1.2 Kryty pohyblivé.....	27
6.1.3 Kryty s blokováním.....	27
6.2 Optoelektronické prvky	28
6.2.1 Světelné závory	28
6.2.2 Laserové skenery.....	29
6.3 Nouzové zastavení.....	30
6.4 Bezpečnostní řídicí zařízení	31
6.4.1 Obouruční ovládání	31
6.4.2 Třípolohový ovladač	31
6.5 Zařízení citlivá na tlak.....	32
6.5.1 Nášlapné rohože	32
6.5.2 Bezpečnostní hrany	32
6.5.3 Nárazníky	33
7 Návrh robotického pracoviště s ohledem na bezpečnost	33
7.1 Návrh pracoviště	35
7.2 Posouzení rizik navrhovaného robotického pracoviště	36
7.2.1 Určení mezních hodnot	36
7.2.2 Identifikace nebezpečí.....	37
7.2.3 Posouzení rizik	37
7.3 Aplikace bezpečnostních prvků	43
8 Závěr.....	50
9 Seznam použité literatury a zdrojů.....	51

Přehled použitých zkratk

CE - European Conformité (Shoda s požadavky EU)
EU - European Union (Evropská Unie)
SIL - Safety Integrity Level (Úroveň integrity bezpečnosti)
SRECS - Safety - Related Electrical Control System (Elektrický ovládací systém související s bezpečností)
SRP/CS - Safety - Related Part of Control System (Bezpečnostní část ovládacího systému)
PL - Performance Level (Úroveň vlastností)
PLr - Performance Level required (Požadovaná úroveň vlastností)
PFHd - Probability of Failure per Hour (Průměrná pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu)
CCF - Common Cause Failure (Porucha se společnou příčinou)
MTTFd - Mean Time to Failure (Střední doba do nebezpečné poruchy)
DC - Diagnostic Coverage (Diagnostické pokrytí)
DCavg - Diagnostic Coverage average (Průměrné diagnostické pokrytí)
PLC - Programmable Logic Controller (Programovatelný logický automat)
NOK - Not OK (Není v pořádku)
RAL - Standard pro stupnici barevných odstínů

Seznam obrázků

Obr. 1 Označení CE	7
Obr. 2 Strojní zařízení	8
Obr. 3 Strojní zařízení- čerpadlový systém	8
Obr. 4 Strojní zařízení- řetězový zvedák	9
Obr. 5 Vyměnitelné přídavné zařízení	9
Obr. 6 Bezpečnostní součásti ABB	9
Obr. 7 Příslušenství pro zdvihání	10
Obr. 8 Řetěz pro zdvihání	10
Obr. 9 Odnímatelné mechanické převodové zařízení	10
Obr. 10 Neúplné strojní zařízení- robotické rameno ABB IRB 6620	11
Obr. 11 Rozdělení norem	12
Obr. 12 Rozhodovací strom Performance Level	15
Obr. 13 Automatické pracoviště	18
Obr. 14 Bezpečnostní okruh automatického pracoviště	18
Obr. 15 Hydraulický lis	19
Obr. 16 Bezpečnostní okruh hydraulického lisu	20
Obr. 17 Příklady piktogramů zdrojů nebezpečí	23
Obr. 18 Posouzení rizika	24
Obr. 19 Schéma opakovacího tříkrokového procesu snižování rizika	26
Obr. 20 Dveřní Euchner Multifunctional Gate Box MGB2+ Electronic-Key-System	28
Obr. 21 Elektromechanické blokovací zařízení se zádržnou silou	28
Obr. 22 Bezdotykové blokovací zařízení SICK STR1	28
Obr. 23 Světelná závora	29
Obr. 24 Světelná závora s funkcí MUTING	29
Obr. 25 Bezpečnostní laserový skener Sick	30
Obr. 26 Tlačítka nouzového zastavení	30
Obr. 27 Lanko nouzového zastavení	31
Obr. 28 Obouruční ovládání	31

Obr. 29	Třípolohové tlačítko ABB JSHD4	32
Obr. 30	Mobilní ovládací panel HMI SIMATIC s třípolohovým tlačítkem	32
Obr. 31	Nášlapná bezpečnostní rohož ABB ASK1T	32
Obr. 32	Bezpečnostní kontaktní hrana	32
Obr. 33	Nárazník	33
Obr. 34	Robotické pracoviště	34
Obr. 35	Pracoviště kolaborativního robotu s operátorem	34
Obr. 36	Koncepční návrh robotické buňky- půdorys	35
Obr. 37	Koncepční návrh- model	36
Obr. 38	Návrh robotické buňky- půdorys	43
Obr. 39	Bezpečnostní oplocení	44
Obr. 40	Tunel dopravníku	45
Obr. 41	Optoelektronický snímač SICK WTB12-3P1711	47
Obr. 42	Maják Schneider Electric XVC4B4K	48
Obr. 43	Návrh robotické buňky- model	49
Obr. 44	Návrh robotické buňky- model	49
Obr. 45	Návrh robotické buňky- model	50

Seznam tabulek

Tab.1	Základní normy z hlediska bezpečnosti	14
Tab.2	Požadovaná úroveň vlastností bezpečnostních funkcí	15
Tab.3	Struktury ovládacích systémů	17
Tab.4	Automatické pracoviště- PLr	19
Tab.5	Hydraulický lis- PLr	20
Tab.6	Identifikace nebezpečí navrhovaného pracoviště	37
Tab.7	Posouzení rizik navrhovaného robotického pracoviště	42
Tab.8	Elektronický dveřní systém	44
Tab.9	Tlačítka nouzového zastavení	45
Tab.10	Bezpečnostní laserové skenery	45
Tab.11	Senzor přítomnosti bedny na NOK kusy	46
Tab.12	Senzory polohy pojížděcích dveří	46
Tab.13	Senzor přítomnosti vozíků	47
Tab.14	Senzory polohy dvířek u komor	47
Tab.15	Bezpečnostní PLC	48

1 Úvod

Účelem této bakalářské práce je návrh robotického pracoviště s ohledem na jeho bezpečnost. V první části jsou zmíněny legislativní požadavky na nová strojní zařízení uváděná na trh Evropské unie, dále je popsán proces návrhu strojního zařízení tak, aby odpovídal všem legislativním požadavkům. Na tuto část navazuje analýza možností použití bezpečnostních prvků při konstrukci strojních zařízení. Následuje návrh robotického pracoviště, na kterém je provedeno posouzení rizik a jsou zde aplikovány bezpečnostní prvky.

V dnešní době je automatizace výrobních procesů jedním ze základních pilířů úspěchu každé výrobní společnosti. Automatizace umožňuje výrobcům zaručit opakovatelnost procesu, docílit tak zaručení kvality výrobku, a také optimalizovat výrobní náklady. Po mechanizaci, která přinesla člověku nástroje potřebné k usnadnění jeho práce, se automatizace zaměřuje na výrobní proces vykonávaný stroji bez potřeby přímé lidské činnosti. Ještě v nedávné době většina velkých společností zápolila s nedostatkem kvalitních zaměstnanců, což vedlo ke zvýšení mzdových nákladů na zaměstnance. Obzvláště u manuálních stereotypních prací jde v mnoha případech nahradit lidskou práci strojním zařízením a pro výrobní společnosti je tak ekonomicky výhodné investovat do automatizace často nemalé vstupní prostředky. Zavádění nových strojních zařízení do výroby s sebou však také přináší určitá rizika. Se strojním zařízením přichází do interakce obsluha strojního zařízení nebo další osoby. Je tedy potřeba zajistit bezpečnost osob přicházejících do kontaktu s danými zařízeními.

Při automatizaci výrobního procesu jsou často využívány průmyslové roboty, které svou konstrukcí umožňují značnou variabilitu použití a lze je za určitých podmínek využít prakticky v každém procesu. Svou konstrukcí, umožňující pohyb v několika osách, jsou však významným zdrojem rizik. Úkolem konstruktéra strojních zařízení je vzít v potaz všechny dostupné informace a navrhnout takové zařízení, které bude bezpečné pro všechny, kdo přijdou se zařízením do styku, a to ve všech fázích jeho životního cyklu. Výrobce strojního zařízení je odpovědný za to, že zařízení, které uvádí na trh je bezpečné, ovšem za předpokladu, že s ním bude zacházeno v souladu s pokyny k obsluze.

2 Zákony a vládní nařízení České republiky

V této kapitole jsou představeny základní právní předpisy, které se týkají provozování strojních zařízení a jejich uvádění na trh.

2.1 Zákon 22/1997- Zákon o technických požadavcích na výrobky

Všechna strojní zařízení uváděná na trh musí splňovat určité legislativní požadavky. Zákon č. 22/1997 Sb. určuje, jakým způsobem mají být stanoveny technické požadavky na výrobky, které by mohly způsobit materiální škody, vést k ohrožení zdraví, životního prostředí, nebo jinak ohrozit veřejné zájmy. Nalezneme zde návod pro určení stanovených výrobků, u kterých je třeba provést posouzení shody s právními předpisy a technickými normami. Představen je také postup pro posouzení shody. V zákoně jsou dále definována pravidla pro uvádění nových nebo použitých výrobků na trh, zavedeny pojmy jako výrobek, výrobce, distributor a jsou zde určeny jejich povinnosti. Nalézáme zde vysvětlení termínu “technické požadavky na výrobky”, představeny jsou technické předpisy a normy a harmonizované normy, a jakým způsobem vznikají a vstupují v platnost. Zákon dále stanovuje podmínky pro akreditaci subjektů pro posuzování shody a určuje podmínky pro dozor nad trhem. Tento zákon byl upraven zákonem č. 91/2016 Sb. z 15. 4. 2016. [2]

2.2 Zákon č. 90/2016 Sb. - Zákon o posuzování shody stanovených výrobků při jejich dodávání na trh

Výrobky, na které se tento zákon vztahuje, musí splňovat požadavky vládních nařízení vydaných jako prováděcí předpisy tohoto zákona. V zákoně jsou zahrnuty předpisy Evropské Unie (dále jen EU) týkající se společného postupu při uvádění výrobků na trh. Nalezneme zde definici obecných zásad a technických požadavků, postupy posouzení shody, či způsob stanovení výrobků pro posouzení shody.

Tento zákon uvádí rovněž práva a povinnosti osob, které dané výrobky uvádějí na trh. K povinnostem výrobce patří provedení posouzení shody v souladu s vládními nařízeními a opatření výrobků označením CE a EU prohlášením o shodě. Výrobce vydáním prohlášení o shodě stvrzuje, že provedl posouzení shody se základními technickými požadavky obsaženými v příslušných nařízeních vlády. [3]

2.3 Nařízení vlády č. 378/2001 Sb. - Nařízení vlády, kterým se stanoví bližší požadavky na bezpečný provoz a používání strojů, technických zařízení, přístrojů a náradí

V tomto nařízení vlády jsou popsány obecné požadavky na bezpečné provozování strojních zařízení. Jsou zde specifikovány pojmy, jako je obsluha strojního zařízení, nebezpečný prostor, místní provozní bezpečnostní předpis nebo průvodní a provozní dokumentace. Nalézáme zde popis minimálních požadavků na bezpečné provozování strojního zařízení, jako je například použití ochranných prvků zamezujících zaměstnanci přístup do nebezpečného prostoru, kde by mohlo dojít k zachycení pohyblivou částí stroje. Jsou zde uvedeny požadavky, jako je např. bezpečný přístup k zařízení a dostatečný manipulační prostor, vybavení zařízení tlačítkem nouzového zastavení nebo možnost vypnutí přívodů všech energií do zařízení v případě zásahu. Provozovateli strojního zařízení umožňuje také upravit podmínky pro bezpečné provozování zařízení místním provozním bezpečnostním předpisem. Dle tohoto zákona je nutné nastavit požadavky na kontrolu nebezpečného prostoru před jeho uzavřením. Obsluha strojního zařízení se tak musí v předstihu přesvědčit, že se v daném prostoru nikdo nenachází. Pokud není možné tento požadavek splnit, musí být zařízení

vybaveno vizuální nebo akustickou signalizací, která před zastavením nebo spuštěním stroje, upozorní osoby v nebezpečném prostoru, že musí tento prostor opustit. [4]

2.4 Nařízení vlády č. 176/2008 Sb. o technických požadavcích na strojní zařízení

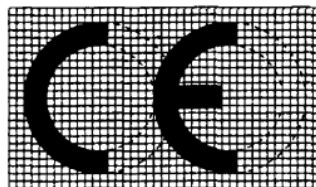
Toto nařízení vlády vstoupilo v platnost 29. 12. 2009 a byla jím do české legislativy implementována směrnice Evropského parlamentu a rady 2006/42/ES, která je zásadním právním předpisem týkající se bezpečnosti strojních zařízení. Svým pojetím představuje dle odborníků „nový přístup k technické harmonizaci a normám“. Tento právní předpis zavádí pro výrobky vstupující na trh EU závazné požadavky na bezpečnost, zabývá se ochranou zdraví a zavádí také postup posouzení shody. Pro posouzení shody s těmito požadavky lze využít harmonizované technické normy. Jejich použití je dobrovolné, je však předpokladem pro splnění všech základních požadavků na bezpečnost a ochranu zdraví. Cílem této směrnice je zaručit volný pohyb výrobků na trhu EU při dodržení nejvyšší možné úrovně bezpečnosti a ochrany zdraví. Směrnice 2006/42/ES vznikla na základě směrnice 98/37/ES, potažmo směrnice 89/392/EHS.

V nařízení jsou uvedeny povinnosti výrobce pro uvádění výrobků na trh. Mezi nimi nalzáme povinnost navrhovat a vytvářet pouze takové výrobky, které budou bezpečné pro své uživatele, pokud však tito uživatelé budou postupovat v souladu s pokyny výrobce. Při výrobě je nutné vzít v úvahu rovněž možnost předvídatelného nesprávného použití výrobku.

Výrobce je povinen konstruovat zařízení s ohledem na výsledky posouzení rizik, které je povinen provést. Při návrhu a konstrukci by měl co nejvíce omezit nebo vyloučit zdroje nebezpečí, pokud je nelze úplně vyloučit, musí být přijata účinná ochranná opatření. V případě, že nebezpečí přetrvává i poté, musí o těchto nebezpečích informovat uživatele a případně definovat další podmínky pro bezpečný provoz. [5]

Výrobce strojního zařízení má povinnost dodat ke strojnímu zařízení tyto dokumenty:

- technická dokumentace
- ES prohlášení o shodě - k posouzení shody použije výrobce jeden z postupů podle pokynů v § 5
- návod k obsluze v českém jazyce
- označení CE - pokud by se na zařízení vztahovala i jiná nařízení, znamená toto označení, že je zařízení ve shodě také s nimi. Označení musí být graficky provedeno podle daných pravidel. Pokud se nejedná o malá strojní zařízení, musí být výška označení min. 5mm.



Obr. 1 Označení CE [5]

Nařízení upravuje technické požadavky na tyto výrobky:

a) Strojní zařízení

Strojním zařízením se rozumí soubor, který je sestaven z různých částí nebo součástí za účelem přesně stanoveného použití. K pohybu tento soubor může využívat různé zdroje energií, např. elektrickou, vodní, větrnou, hydraulickou, pneumatickou, mechanickou, apod. K pohybu nevyužívá přímo vynaloženou lidskou sílu, ale může ji využívat v naakumulované formě. Musí obsahovat alespoň jednu pohyblivou část, pokud ji neobsahuje, nejedná se o strojní zařízení. Za strojní zařízení je považováno také zařízení, kterému chybí pouze propojovací prvky se zdroji energií a pohybu. Povinností výrobce je definovat, jakým způsobem a za jakých podmínek lze zařízení bezpečně připojit ke zdrojům energií. Za strojní zařízení je také považován soubor minimálně dvou samostatných strojních zařízení, která mohou mít různou funkci, ale fungují v závislosti na sobě jako celek. [5]



Obr. 2 Strojní zařízení [13]

Strojní zařízení mohou být také zařízení určená k montáži na dopravní prostředek nebo na konstrukci do budov, na samotné dopravní prostředky se však toto nařízení nevztahuje. Mohou to být např. různé jeřáby, vrtná, bourací a nakládací zařízení nebo čerpadlové systémy určené k dopravě tekutin z cisterny. [5]



Obr. 3 Strojní zařízení- čerpadlový systém [14]

Za strojní zařízení je také považován soubor, který je sestaven z různých částí a součástí za účelem zdvihání břemen, jehož alespoň jedna část je pohyblivá a k jeho pohybu je využita přímo vynaložená lidská síla. Jedná se o jedinou výjimku, kdy je za strojní zařízení považován soubor poháněný přímou lidskou silou. Může jít o různé zvedáky, zvedací stoličky, kladkostroje, jeřáby apod. [5]



Obr. 4 Strojní zařízení- řetězový zvedák [15]

b) Vyměnitelná přídatná zařízení

Vyměnitelná přídatná zařízení jsou připojená k základnímu strojnímu zařízení za účelem doplnění nebo pozměnění jeho funkce a nejedná se přitom o nástroj. Tato zařízení mohou být např. připojená k zemědělským traktorům za účelem orby, sklizně apod. nebo může jít o zařízení připojená k vrtacím nebo bouracím soupravám. Nezáleží na tom, zda zařízení uvede na trh výrobce základního strojního zařízení nebo někdo jiný. V návodu k obsluze musí výslovně uvést, k jakému zařízení a za jakých podmínek je možné toto zařízení připojit k základnímu zařízení. [5]



Obr. 5 Vyměnitelné přídatné zařízení [16]

c) Bezpečnostní součásti

Bezpečnostní součást je prvek, který je samostatně uváděn na trh a je určen k zabudování do strojního zařízení za účelem plnění ochranné funkce. Při selhání této ochranné funkce by mohlo dojít k ohrožení bezpečnosti osob. Jedná se např. o prostředky omezující pohyb osob v nebezpečném prostoru, ochranné kryty, tlačítka nouzového zastavení, optoelektronická bezpečnostní zařízení, logické jednotky apod. [5]



Obr. 6 Bezpečnostní součásti ABB [17]

d) Příslušenství pro zdvihání

Jedná se o zařízení, která jsou samostatně uváděna na trh a jsou využívána k uchycení břemene a umožňují jeho zvednutí. Umisťují se mezi zdvihací zařízení a břemeno. Může se jednat o samostatné textilní popruhy nebo např. o řetězové vícepramenné vázací prostředky. [5]



Obr. 7 Příslušenství pro zdvihání [18]

e) Řetězy, lana a popruhy

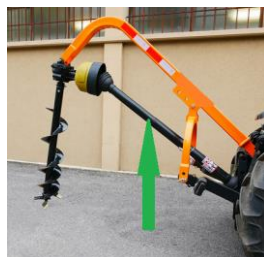
Pokud výrobce uvede na trh řetězy, lana, nebo popruhy určené ke zdvihání, jsou tyto výrobky považovány za strojní zařízení a vztahují se na ně všechny požadavky tohoto nařízení. Tyto výrobky mohou být jak součástí stroje, tak i součástí příslušenství pro zdvihání. [5]



Obr. 8 Řetěz pro zdvihání [19]

f) Odnímatelná mechanická převodová zařízení

Tato zařízení slouží k přenosu energie z hnací součásti, umístěné většinou na zařízení s vlastním pohonem, na hnanou část pracovního stroje a propojuje jejich první pevná ložiska. Hnací vývodový hřídel musí být vždy chráněn ochranným krytem, který je připevněn k zařízení s vlastním pohonem, stejně tak musí mít ochranný kryt hnaný hřídel na přídatném zařízení. [5]



Obr. 9 Odnímatelné mechanické převodové zařízení [20]

g) Neúplná strojní zařízení

Tato zařízení nemohou fungovat samostatně, funkci jsou schopna plnit až po zabudování do určitého celku. Výrobce je povinen u tohoto zařízení vypracovat technickou dokumentaci, která musí obsahovat:

- návod k montáži a prohlášení o zabudování - tyto dokumenty se stávají po zabudování do strojního zařízení součástí dokumentace celku
- technická dokumentace
- tyto výrobky se neopatřují označením CE, tímto označením je opatřen celek, do kterého je neúplné strojní zařízení začleněno [5]



Obr. 10 Neúplné strojní zařízení- robotické rameno ABB IRB 6620 [21]

2.5 Nařízení vlády č. 117/2016 Sb. o posuzování shody výrobků z hlediska elektromagnetické kompatibility při jejich dodávání na trh

Tímto vládním nařízením byla do české legislativy začleněna směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/30/EU ze dne 26. února 2014 o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se elektromagnetické kompatibility.

V tomto nařízení jsou definovány pojmy jako např. zařízení, přístroj, pevná instalace, odolnost, elektromagnetická kompatibility, elektromagnetické rušení a elektromagnetické prostředí. Zařízení, na která se tato nařízení vztahuje, musí splňovat základní požadavky na bezpečnost při jejich uvedení na trh. Splnění těchto požadavků je prokázáno posouzením shody s harmonizovanými normami, které se daného zařízení týkají.

Výrobce má povinnost při uvedení výrobku na trh poskytnout tyto dokumenty a náležitosti:

- technickou dokumentaci
- návod k obsluze v českém jazyce
- prohlášení o shodě
- označení CE

Jedním ze základních požadavků je, že zařízení nesmí způsobovat elektromagnetické rušení nad přípustnou úroveň a zároveň musí mít dostatečnou odolnost proti tomuto rušení, aby byl zaručen jeho bezproblémový provoz.

Toto nařízení se nevztahuje např. na telekomunikační a rádiová koncová zařízení, pokud se na ně vztahuje jiný právní předpis, rádiová zařízení určená pro radioamatéry, zařízení pro leteckou techniku uvedená v Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 216/2008 nebo zařízení, která ze své podstaty nemohou způsobit elektromagnetické záření nad přijatelnou úroveň. [6]

2.6 Nařízení vlády č. 118/2016 Sb. o posuzování shody elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí při jejich dodávání na trh

Do české legislativy byla tímto nařízením zavedena směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/35/EU ze dne 26. února 2014 o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se dodávání elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí na trh. Nařízení se vztahuje na elektrická zařízení, která jsou určena k použití v rozsahu jmenovitých napětí pro střídavý proud 50-1000V a pro stejnosměrný proud 75-1500V. Určuje také základní technické požadavky, které musí zařízení splňovat při jejich uvedení na trh.

Výrobce smí dodat na trh jen taková zařízení, která jsou pro uživatele bezpečná za předpokladu, že jsou provozována v souladu s pokyny výrobce.

Základní požadavky na bezpečnost jsou uvedeny v příloze č. 1 tohoto nařízení a patří mezi ně např. ochrana před poraněním nebo jiným poškozením způsobeným přímým nebo nepřímým dotykem nebo dotykem způsobeným vnějšími vlivy, vyloučení nebezpečí vzniku elektrického oblouku, vysokých teplot nebo záření, použití izolace odpovídající předpokládaným podmínkám použití, opatření odpovídající předpokládanému mechanickému i nemechanickému namáhání, opatření proti případnému přetížení apod.

Prohlášení o shodě výrobce vystaví za předpokladu, že je zařízení ve shodě s požadavky danými v relevantních harmonizovaných normách. Výrobce zajistí, aby před uvedením na trh byly k výrobku dodány tyto dokumenty a náležitosti:

- technická dokumentace
- prohlášení o shodě
- označení CE

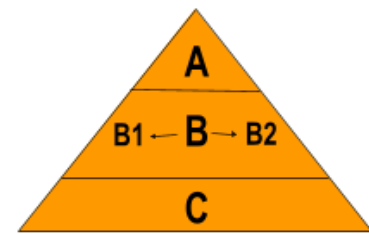
[7]

3 Normy

Norma je předpisem, který určuje požadavky na určitý standard. Tyto požadavky se mohou týkat mnoha aspektů, může se jednat o požadavky např. na různé vlastnosti výrobků nebo procesů. Může se jednat o požadavky např. na rozměry, materiál, struktury systémů, postupy, apod.

Harmonizace je proces, kdy se sbližují právní předpisy jednotlivých zemí za účelem nastavení stejných kritérií a pravidel. Česká technická norma se stává harmonizovanou poté, co převezme všechny požadavky harmonizované evropské normy. Technické normy nejsou závazné, jejich použití je dobrovolné. Jejich použití však může být předepsáno právním předpisem. Pro potřeby posouzení shody jsou základním a nejjednodušším prostředkem.

Normy týkající se bezpečnosti strojních zařízení jsou rozděleny do tří hlavních kategorií:



Obr. 11 Rozdělení norem [8]

Normy typu A - Základní bezpečnostní normy - jsou zde uvedeny pojmy, požadavky a obecné zásady, které mohou být použity při konstrukci strojních zařízení.

Normy typu B - Skupinové bezpečnostní normy - zaměřují se na jeden typ bezpečnostních prvků, které jsou použitelné pro určitou skupinu strojních zařízení.

Normy typu B se dále dělí na normy typu B1 a B2:

- **Normy typu B1** - zaměřené na konkrétní parametry, týkající se bezpečnosti - např. vzdálenosti, hluk, teplota apod.
- **Normy typu B2** - představují konkrétní bezpečnostní prvky - např. tlačítka nouzového zastavení, ochranné kryty apod.

Normy typu C - Bezpečnostní normy pro stroje - jsou zde uvedeny detailní požadavky pro jednotlivá strojní zařízení nebo skupinu strojních zařízení - např. lisy, robotická zařízení, balící stroje. Mají vždy přednost před normami typu A a B za předpokladu, že budou dodrženy požadavky směrnice 42/2006/ES. [8]

Přehled základních norem, týkajících se bezpečnosti strojních zařízení:

Číslo normy	Typ	Název	Popis
ČSN EN 349:1993+A1:2008	B1	Nejmenší mezery k zamezení stlačení částí lidského těla.	Definuje nejmenší možné mezery strojního zařízení za účelem snížení nebezpečí vzniklého stlačením, nelze použít pro ostatní zdroje nebezpečí.
ČSN EN 614-1+A1:2009	B1	Ergonomické zásady navrhování. Část 1: terminologie a všeobecné zásady.	Určuje zásady pro konstrukci z hlediska ergonomie, které musí strojní zařízení splňovat ve všech fázích svého životního cyklu.
ČSN EN ISO 10218-1:2012	B1	Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 1: Roboty.	Popisuje nebezpečí spojené s průmyslovými roboty, určuje požadavky a ochranná opatření na snížení tohoto nebezpečí.
ČSN EN ISO 12100:2011	A	Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika.	Definuje základní pojmy a zásady pro zajištění bezpečnosti strojního zařízení a popisuje metody posouzení rizik. za účelem snížení tohoto rizika.
ČSN EN ISO 13849-1:2017	B1	Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Obecné zásady pro konstrukci.	Specifikuje požadavky a zásady při navrhování bezpečnostních částí ovládacích systémů (SRP/CS) strojních zařízení.

ČSN EN ISO 13849-2:2013	B1	Bezpečnostní části ovládacích systémů. Část 2: Ověřování platnosti.	Uvádí postupy ověření dosažené kategorie a úrovně vlastností bezpečnostních částí ovládacích systémů (SRP/CS) a bezpečnostní funkce, které byly navrženy podle ČSN EN ISO 13849-1.
ČSN EN ISO 13850:2017	B2	Funkce nouzového zastavení - Zásady pro konstrukci.	Specifikuje zásady a požadavky na nouzové zastavení při konstrukci bez ohledu na zdroj energií. Nevztahuje se na ruční nářadí.
ČSN EN ISO 13857:2008	B1	Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu k nebezpečným místům horními a dolními končetinami.	Definuje vzdálenosti, znemožňující dosah na nebezpečnou část strojního zařízení při zohlednění antropometrických údajů a možných situací, které mohou nastat při obsluze stroje.
ČSN EN ISO 14119:2014	B2	Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty - Zásady pro konstrukci a volbu.	Určuje zásady pro výběr a konstrukci blokovacích zařízení spojených s ochrannými kryty, bez ohledu na zdroj energie, které jsou primárně určeny jako ochrana před mechanickým nebezpečím.
ČSN EN ISO 14120:2017	B2	Ochranné kryty - Obecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů.	Definuje obecné zásady a požadavky při návrhu pevných a pohyblivých krytů, které slouží jako ochrana před mechanickým nebezpečím.
ČSN EN 60204-1:2019	B1	Elektrická zařízení strojů - Část 1: Obecné požadavky.	Určuje požadavky na elektrická zařízení strojů. Norma je určena pro elektrická a elektronická zařízení s napájecí frekvencí max. 200 Hz a pracující se jmenovitým napětím do 1000 V pro střídavý proud a 1500 V pro stejnosměrný proud.
ČSN EN 62061:2016	B1	Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů.	Poskytuje metody a požadavky pro dosažení stupně integrity řídicí funkce bezpečnostních částí ovládacích systémů (SRECS) včetně jejich validace.

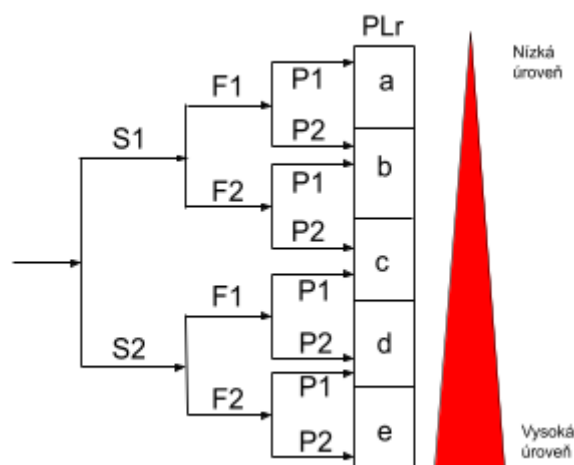
Tab.1 Základní normy z hlediska bezpečnosti [8]

3.1 Normy ČSN EN ISO 13849-1 a ČSN EN 62061

Součástí ovládacích systému strojních zařízení jsou bezpečnostní části ovládacích systémů, které řídí bezpečnostní funkce strojního zařízení. Mohou být součástí hlavního ovládacího systému, mohou ale fungovat také samostatně. Pro každou bezpečnostní funkci vykonanou prostřednictvím bezpečnostní části ovládacího systému je nutné určit požadovanou úroveň vlastností této funkce, zjednodušeně lze říci, že je nutné určit míru spolehlivosti. Určením této úrovně se zabývají normy ČSN EN ISO 13849-1 Bezpečnostní části ovládacích systémů a ČSN EN 62061 Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů souvisejících s bezpečností. Použít lze jednu z těchto norem, normu ČSN EN 62061 však nelze využít pro neelektrická (např. hydraulická) zařízení a v praxi je častěji využívána norma ČSN EN ISO 13849-1. Na základě normy ČSN EN 62061 lze určit stupeň integrity (Safety Integrity Level - dále jen SIL) pro každou bezpečnostní funkci v rámci bezpečnostní části ovládacího systému SRECS (Safety - Related Electrical Control System). Norma ČSN EN ISO 13849-1 používá k vyjádření požadovaných vlastností bezpečnostní funkce ovládacího systému SRP/CS (Safety - Related Part of Control System) tzv. Performance Level (dále jen PL). Společným ukazatelem těchto norem je pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu (PFHd). [10]

PL	SIL	Pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu (PFHd)
a	-	$\geq 10^{-5}$ až $< 10^{-4}$
b	1	$\geq 3 \times 10^{-6}$ až $< 10^{-5}$
c	1	$\geq 10^{-6}$ až $< 3 \times 10^{-6}$
d	2	$\geq 10^{-7}$ až $< 10^{-6}$
e	3	$\geq 10^{-8}$ až $< 10^{-7}$

Tab.2 Požadovaná úroveň vlastností bezpečnostních funkcí [10]



Obr. 12 Rozhodovací strom Performance Level [10]

Obecně platí, že čím vyšší je závažnost možného zranění, četnost vystavení nebezpečné události a obtížnost vyhnout se nebezpečné události, tím vyšší je požadovaný PL nebo SIL.

Vysvětlivky:

S - vyjadřuje závažnost možného poranění obsluhy od lehkých zranění až po fatální

S1 - lehké zranění (obvykle s přechodnými následky)

S2 - závažné zranění (obvykle s trvalými následky)

F - četnost nebo doba vystavení nebezpečí

F1 - řídká až málo častá nebo doba vystavení je krátká (četnost není vyšší než 1x za 15 minut a celková doba vystavení nebezpečí není vyšší než 1/20 provozní doby)

F2 - častá až nepřetržitá nebo doba vystavení je dlouhá (nezáleží na tom, jestli je nebezpečí vystavena stále stejná osoba, nebo se osoby vystavené nebezpečí střídají)

P - možnost vyloučení nebezpečí nebo omezení škody

P1 - možné za určitých podmínek (je možné, že dojde k nebezpečné situaci a existuje možnost reálného odvrácení nebezpečí)

P2 - sotva možné (je možné, že dojde k nebezpečné situaci a neexistuje nebo není reálná možnost, jak toto nebezpečí odvrátit)


PLr - požadovaná úroveň vlastností


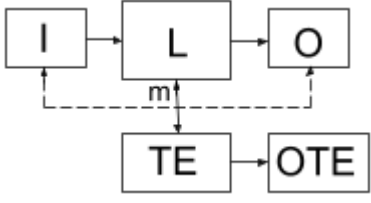
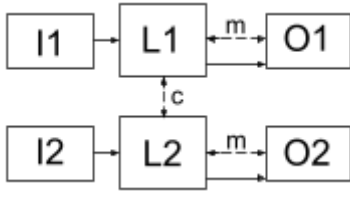
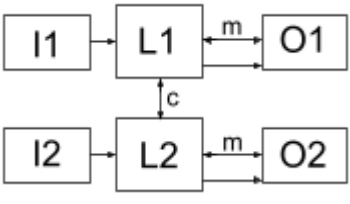
Normu ČSN EN ISO 13849-1 lze využít u všech strojních zařízení, která využívají programovatelné elektronické systémy, a jsou zde uvedeny požadavky na návrh bezpečnostních částí ovládacích systémů včetně softwaru. Součástí těchto ovládacích systémů jsou vstupní prvky, logické vyhodnocovací prvky, software, propojovací prvky a výstupní prvky. Logické prvky mohou přijímat signály z více vstupních prvků a mohou také ovládat více výstupních prvků.

Existuje několik zásadních parametrů pro určení PL:

- CCF - porucha se společnou příčinou - poruchy zapříčiněné jednou událostí, jedna porucha není následkem jiné poruchy
- MTTFd - střední doba do nebezpečné poruchy - očekávaná doba, než nastane nebezpečná porucha
- DC - diagnostické pokrytí - účinnost diagnostiky závad (DCavg- Průměrné diagnostické pokrytí)

Struktury těchto ovládacích systémů mohou mít různé podoby, mají však charakteristické rysy, na jejichž základě je možné zařadit je do jedné z kategorií B, 1, 2, 3, 4. Tyto kategorie mají zásadní vliv na výsledný Performance Level. [10]

Kat.	Max. PL	DCavg	MTTFd každého kanálu	Opatření proti CCF	Poznámka	Schéma zapojení I - vstupní zařízení L - logické zařízení O - výstupní zařízení TE - zkušební zařízení OTE - výstup TE m - monitorování c - křížové monitorování
B	b	žádné	krátká až střední	ne	závada může vést ke ztrátě bezpečnostní funkce	

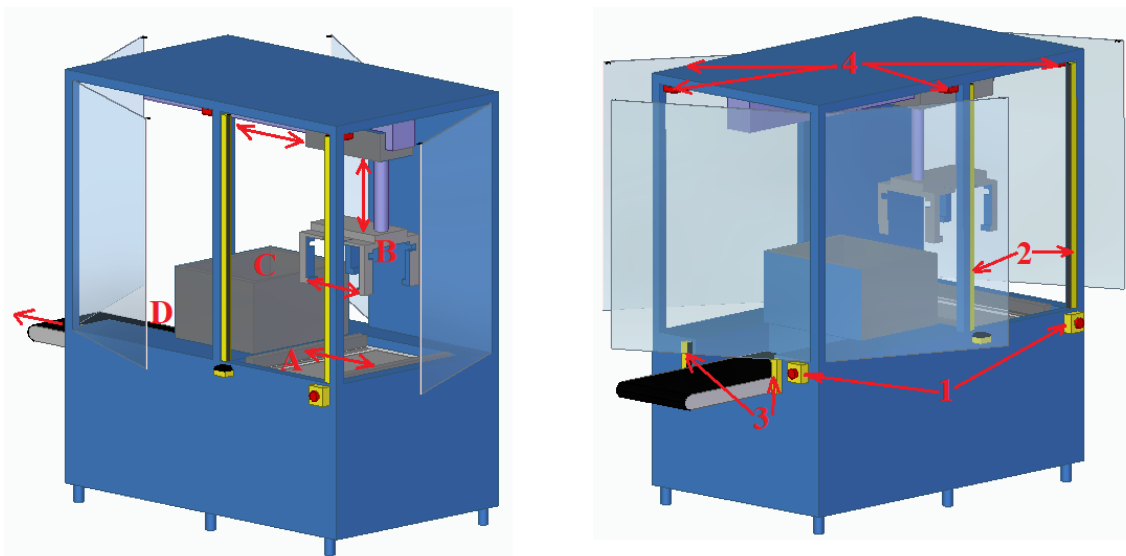
1	c	žádné	dlouhá	ne	závada může vést ke ztrátě bezpečnostní funkce, pravděpodobnost výskytu je menší než u kategorie B	
2	d	nízké	krátká až dlouhá	ano	funkce SRP/CS musí být kontrolována v pravidelných intervalech, závada se může vyskytnout mezi intervaly	
3	d	nízké	krátká až dlouhá	ano	jednotlivá závada nesmí vést ke ztrátě bezpečnostní funkce, nahromadění nedetekovaných závad může vést ke ztrátě bezpečnostní funkce	
4	e	vysoké	dlouhá	ano	jednotlivá závada ani nahromadění nedetekovaných závad nesmí vést ke ztrátě bezpečnostní funkce	

Tab.3 Struktury ovládacích systémů [10]

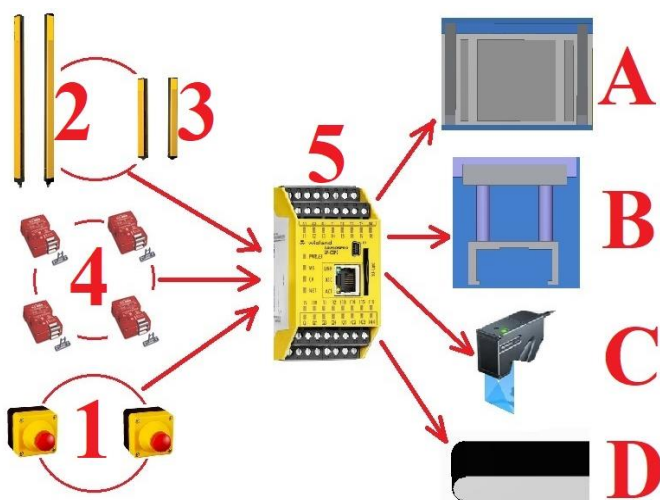
3.2 Příklady bezpečnostních okruhů

3.2.1 Automatické pracoviště

Obsluha vkládá komponenty na pracovní stůl do pevných pozic (A). Po opuštění prostoru pracovního stolu obsluha spustí cyklus prostřednictvím dotykového tlačítka. Poté dojde k zalisování komponentů do jednoho celku a výrobek je manipulátorem (B) přemístěn do komory (C), kde dojde k jeho kontrole laserovým paprskem třídy 2. Po kontrole manipulátor uchopí výrobek a přemístí ho na dopravník (D), výrobek poté opouští automatické pracoviště. Čelisti lisu na pracovním stole (A) vykonávají horizontální pohyb, manipulátor (B) vykonává horizontální a vertikální pohyb, samotné čelisti manipulátoru vykonávají horizontální pohyb. Další pohyblivou částí je pásový dopravník.



Obr. 13 Automatické pracoviště



Bezpečnostní prvky:

- 1 Tlačítka nouzového zastavení
- 2 Světelné závory
- 3 Světelné závory s funkcí Muting
- 4 Zámky dvířek
- 5 Bezpečnostní PLC

Obr. 14 Bezpečnostní okruh automatického pracoviště

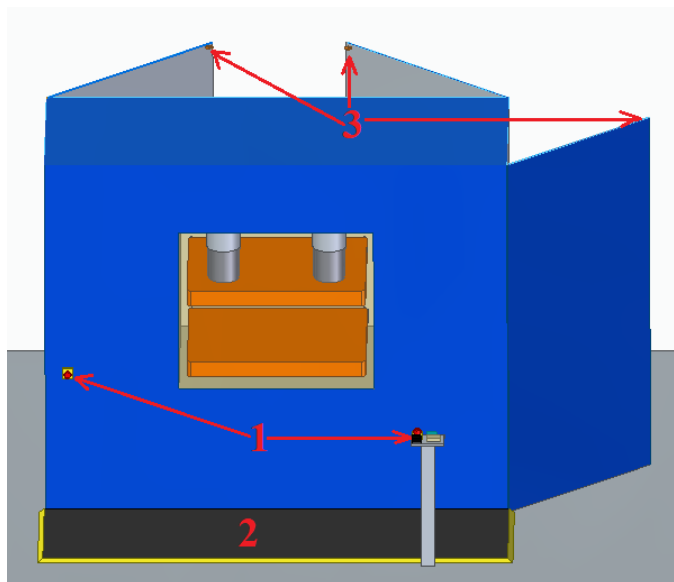
Č.	Popis bezpečnostní funkce	Graf PLr	PLr
1	Aktivováním tlačítek nouzového zastavení (1) dojde prostřednictvím výkonových prvků řízených PLC k odpojení napájení motorů a k zastavení veškerých pohybů všech pohyblivých částí (A, B, D) a dojde také k odpojení elektrické energie vedoucí k laserovému paprsku (C).		c

2	Přerušením paprsku světelných závor (2) dojde prostřednictvím výkonových prvků řízených PLC k zastavení pohybu pracovního stolu (A), k zastavení pohybu manipulátoru (B), laserový paprsek (C) i dopravník (D) zůstávají v provozu.		d
3	Přerušením paprsku světelných závor s funkcí muting (3) osobou dojde prostřednictvím výkonových prvků řízených PLC k zastavení pohybu manipulátoru (B), pracovní stůl (A), laserový paprsek (C) i dopravník (D) zůstávají v provozu.		c
4	Otevřením servisních dveří dojde prostřednictvím výkonových prvků řízených PLC k zastavení veškerých pohybů všech pohyblivých částí (A, B, D) a dojde také k odpojení elektrické energie vedoucí k laserovému paprsku (C).		c

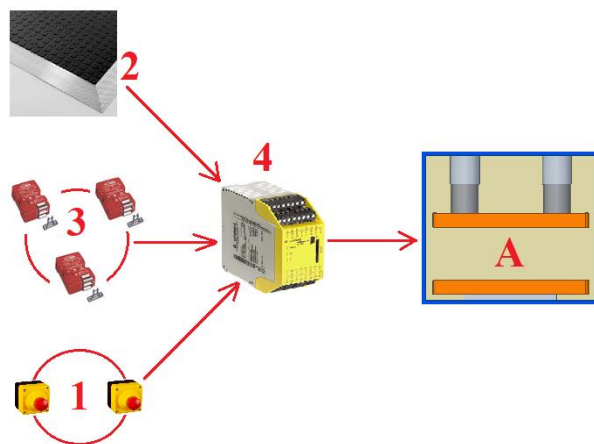
Tab.4 Automatické pracoviště- PLr

3.2.2 Hydraulický lis

Obsluha vkládá do lisu jednotlivé plechové pláty. Po opuštění nášlapné bezpečnostní rohože aktivuje obsluha pohyb beranu dotykovým tlačítkem na sloupku s ovládacím panelem. Pohyb koná pouze beran lisu (A).



Obr. 15 Hydraulický lis



Bezpečnostní prvky:

- 1 Tlačítka nouzového zastavení
- 2 Bezpečnostní nášlapná rohož
- 3 Zámky dveří
- 4 Bezpečnostní PLC

Obr. 16 Bezpečnostní okruh hydraulického lisu

Č.	Popis bezpečnostní funkce	Graf PLr	PLr
1	Aktivováním tlačítek nouzového zastavení (1) dojde k odpojení napájení a k zastavení pohybů beranu lisu (A).		c
2	Vstupem na bezpečnostní rohož (2) dojde k zastavení pohybu beranu lisu (A).		d
3	Otevřením servisních dveří (3) dojde k zastavení pohybů beranu lisu (A).		c

Tab.5 Hydraulický lis- PLr

4 Postup návrhu strojního zařízení

V následující části práce bude popsán proces, kdy výrobní společnosti instalují nové nesériově vyráběné strojní zařízení do své provozovny.

4.1 Specifikace nového strojního zařízení

Společnosti často pro výběr dodavatele výrobních strojních zařízení pořádají výběrová řízení. Při těchto výběrových řízeních by neměla být jediným kritériem cena, ale odběratel by měl zohlednit také zkušenosti, reference a důvěryhodnost dodavatele. Může se stát, že společnosti vyberou dodavatele, který nabídne nejnižší cenu a v průběhu projektu pak nastávají komplikace způsobené nedostatečným zázemím a zkušenostmi dodavatele.

Pro vytvoření poptávky musí odběratel vytvořit zadání, kde musí být specifikovány požadované vlastnosti poptávaného zařízení. Zadání by mělo obsahovat tyto informace:

- účel strojního zařízení - popis požadovaných funkcí strojního zařízení;
- požadované vlastnosti - životnost, hluk, maximální možné rozměry;
- produkt - jaké produkty budou do strojního zařízení vstupovat a jaké produkty z něj mají vystupovat;
- provozní podmínky - prostředí (vnitřní x vnější), zdroje energií, teplota, vlhkost, větrání, prašnost, nosnost podlahy, připojovací body;
- obsluha - počet osob určených k obsluze strojního zařízení, pohlaví, věk;
- instalační podmínky - zdroje energií, podmínky pro montáž, logistické možnosti.

4.2 Konstrukce

Proces konstruování pak spočívá v přetváření myšlenek do hmotné podoby. Úlohou konstruktéra strojního zařízení je navrhnout takový stroj, který bude odpovídat zadání zákazníka a přitom bude splňovat také všechny legislativní požadavky. Na druhou stranu by však měla být všechna navrhovaná bezpečnostní opatření relevantní a neměla by strojní zařízení zbytečně prodražovat.

Konstruktér by měl identifikovat všechny zdroje nebezpečí ve všech fázích životního cyklu stroje a pomocí změny konstrukce by se měl snažit tyto zdroje nebezpečí odstranit. Pokud není možné všechny tyto zdroje nebezpečí odstranit, je úlohou konstruktéra navrhnout taková řešení, která je sníží na přijatelnou úroveň. Zařízení musí odpovídat všem relevantním nárokům obsaženým v technických normách, na základě kterých výrobce provede posouzení shody s příslušným právním předpisem.

Na strojní zařízení a jeho konstrukci se většinou vztahuje více právních předpisů. Na zařízení se vždy vztahuje Nařízení vlády č. 176/2008 Sb. o technických požadavcích na strojní zařízení a většinou také Nařízení vlády č. 117/2016 Sb. o posuzování shody výrobků z hlediska elektromagnetické kompatibility při jejich dodávání na trh a Nařízení vlády č. 118/2016 Sb. o posuzování shody elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí při jejich dodávání na trh.

Konstrukce strojního zařízení je rozdělena do několika fází:

a) **Koncepční návrh**

Základním vstupem pro návrh jsou mezní hodnoty strojního zařízení. V této fázi může vzniknout několik variant a řeší se např. umístění zařízení, předběžné celkové rozměry zařízení, rozmístění jednotlivých částí stroje, materiál hlavních částí, přístup ke strojnímu zařízení, připojovací body energií, apod. Výstupem je jednoduchý grafický návrh bez detailů a jednoduchý popis navrhovaného zařízení. V této fázi jsou

identifikovány zdroje nebezpečí a na základě posouzení rizik je úkolem konstruktéra případnou změnou koncepce tyto zdroje nebezpečí eliminovat. Pokud není možné zdroje nebezpečí úplně vyloučit, musí být navržena ochranná opatření.

b) **Výrobní dokumentace**

Řeší se podrobné funkční a tvarové vlastnosti jednotlivých součástí. Je vytvořena detailní struktura zařízení, přesné umístění a funkce bezpečnostních prvků a jejich logika a také ovládací systémy včetně softwaru. V této části vzniká podrobná výkresová dokumentace včetně např. pevnostních výpočtů a detailní technický popis celého zařízení. V této fázi musí proběhnout aktualizace posouzení rizik.

c) **Výroba**

Na základě výrobní dokumentace dochází k výrobě strojního zařízení. Po ukončení výroby by měl výrobce opět provést posouzení rizik. Dosud byl výrobek pouze imaginární, skutečný výrobek může přinést nová zjištění zdrojů nebezpečí, které při návrhu nemusely být odhaleny.

4.3 Životní cyklus strojního zařízení

Pro každou fázi životního cyklu strojního zařízení je nutné provést posouzení rizik. Životní cyklus zahrnuje tyto fáze:

a) **Doprava**

Výrobce musí brát na zřetel, že se v této fázi mohou vyskytnout zdroje nebezpečí a již při návrhu musí stanovit takovou konstrukci, aby bylo možné stroj bezpečně dopravit na místo určení. Může se jednat o různá řešení úchytů, tak aby bylo např. možné zvednout strojní zařízení vysokozdvíhým vozíkem nebo jeřábem.

b) **Instalace**

Tato fáze zahrnuje montáž zařízení na určeném místě a napojení na zdroje energií. Po instalaci následuje uvedení zařízení do provozu a nastavování funkcí stroje. Tyto činnosti probíhají někdy ve chvíli, kdy ještě nejsou aktivní všechny bezpečnostní prvky a mohou zde vznikat různá rizika.

c) **Provoz**

Po instalaci a nastavení následuje předání strojního zařízení zákazníkovi. Výrobce musí vzít při konstrukci v potaz všechny režimy, ve kterých se bude strojní zařízení nacházet a vzít v úvahu všechny možnosti správného i nesprávného používání a pro tyto situace buď úplně vyloučit všechny zdroje nebezpečí, nebo je alespoň snížit na přijatelnou úroveň. Musí vzít v potaz všechny potenciální situace a zohlednit, kdo může přijít se strojem do kontaktu, zejména obsluha, údržba, případně další osoby.

c) **Likvidace**

Na konci životního cyklu výrobku je jeho likvidace. Výrobce již při návrhu musí počítat s možností bezpečné demontáže, transportu a následné likvidace výrobku a měl by podle toho také volit použité materiály. [9]

5 Posouzení rizik strojního zařízení

Povinností výrobce strojního zařízení je provést posouzení rizik. Prostředkem k posouzení rizik je norma ČSN EN ISO 12100:2011. V této normě typu A jsou specifikovány základní termíny a metody, které lze využít pro snížení rizika při konstrukci strojních zařízení. Obsahuje postupy pro identifikaci zdrojů nebezpečí, odhad rizik a hodnocení rizik ve všech fázích životního cyklu strojního zařízení, dále také postup na ověření procesu snížení rizik a na vytvoření dokumentace. [9]

5.1 Základní pojmy

Nebezpečí

- může se jednat o typ zdroje nebezpečí (mechanické, tepelné nebezpečí apod.), nebo se může jednat o typ možného úrazu (naražení, stlačení, zásah elektrickým proudem apod.)
- může se jednat o nebezpečí trvalé nebo nahodilé

Nebezpečná situace

- událost, kdy je osoba vystavena alespoň jednomu nebezpečí

Nebezpečný prostor

- prostor uvnitř nebo vně strojního zařízení, kde by mohla být osoba vystavena nebezpečí

Riziko

- kombinace pravděpodobnosti výskytu úrazu a jeho závažnosti

Zbytkové riziko

- riziko, které zůstává i po aplikaci různých ochranných opatření
Při identifikaci zbytkového rizika musí vzít výrobce v potaz předpokládané správné ale i nesprávné použití strojního zařízení. Výrobce musí vhodným způsobem o tomto riziku informovat uživatele v návodu k obsluze, a také ho musí informovat o opatřeních, za kterých je možné strojní zařízení bezpečně užívat. Může se jednat například o povinnost používat osobní ochranné pracovní prostředky, mohou to být nároky na kvalifikaci obsluhy apod. Zdroje nebezpečí musí být vyznačeny na strojním zařízení. Označení by mělo být provedeno pomocí piktogramů, nevhodná jsou psaná upozornění.



Výstraha,
nebezpečí



Nebezpečí
vtažení strojem



Nebezpečí
stisku ruky

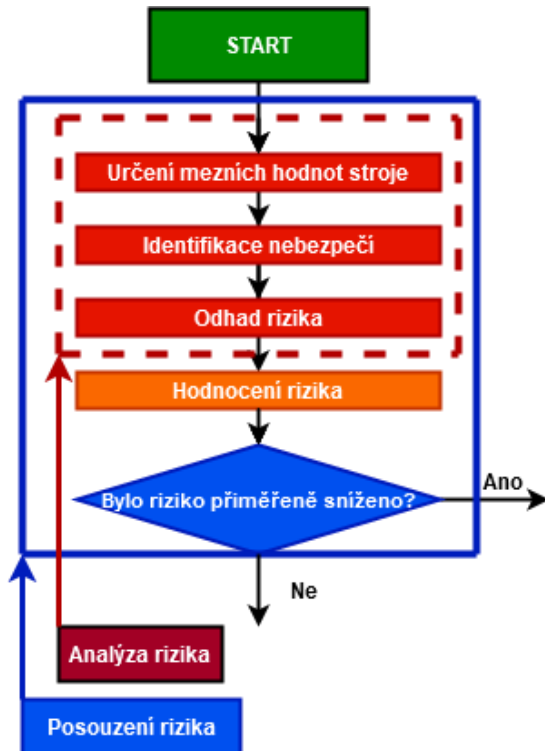


Nebezpečí
popálení

Obr. 17 Příklady piktogramů zdrojů nebezpečí [22]

Odhad rizika

- proces, kdy se definuje pravděpodobnost výskytu úrazu a jeho závažnost.



Analýza rizika

- zahrnuje určení mezních hodnot stroje, identifikaci nebezpečí a odhad rizika

Hodnocení rizika

- následuje po analýze rizik a posuzuje, zda bylo riziko dostatečně sníženo

Posouzení rizika

- komplexní proces zahrnující analýzu rizik a hodnocení rizika

Obr. 18 Posouzení rizika [9]

Termíny posouzení rizik, analýza rizik a hodnocení rizika jsou často zaměňovány. V následujících kapitolách jsou tyto termíny podrobněji popsány.

5.2 Analýza rizika

Určení mezních hodnot stroje

- informace o prostředí a prostoru, kde bude stroj umístěn
- způsob používání stroje
- provozní režimy stroje
- informace o produktu
- vstupy energií
- životnost stroje
- četnost používání
- pohlaví, věk, odbornost a schopnosti obsluhy

Identifikace nebezpečí

- pro všechny fáze životního cyklu (transport, instalace, uvedení do provozu, provoz, demontáž, likvidace)

- identifikace úkonů (nastavování, seřizování, zkoušení, vstupy energií, změna nástroje, manipulace s výrobkem, zastavení stroje, nouzové zastavení, spuštění po plánovaném i neplánovaném zastavení, čištění apod.)
- identifikace všech předvídatelných nebezpečí, situací a nebezpečných událostí (předpokládané funkce stroje, selhání funkcí stroje, předpokládané správné i předvídatelné nesprávné chování obsluhy)
- příklady druhů nebezpečí: mechanická, elektrická, tepelná, hluk, vibrace, záření, chemická, ergonomická, nebezpečí spojená s prostředím, kombinace nebezpečí

Odhad rizika

- pro každou nebezpečnou situaci je potřeba provést odhad rizika na základě těchto parametrů: závažnost úrazu a pravděpodobnost výskytu úrazu
- pravděpodobnost výskytu úrazu - kombinace vystavení osob nebezpečí, výskytu nebezpečné události a možnosti vyvarování se této této události nebo omezení úrazu [9]

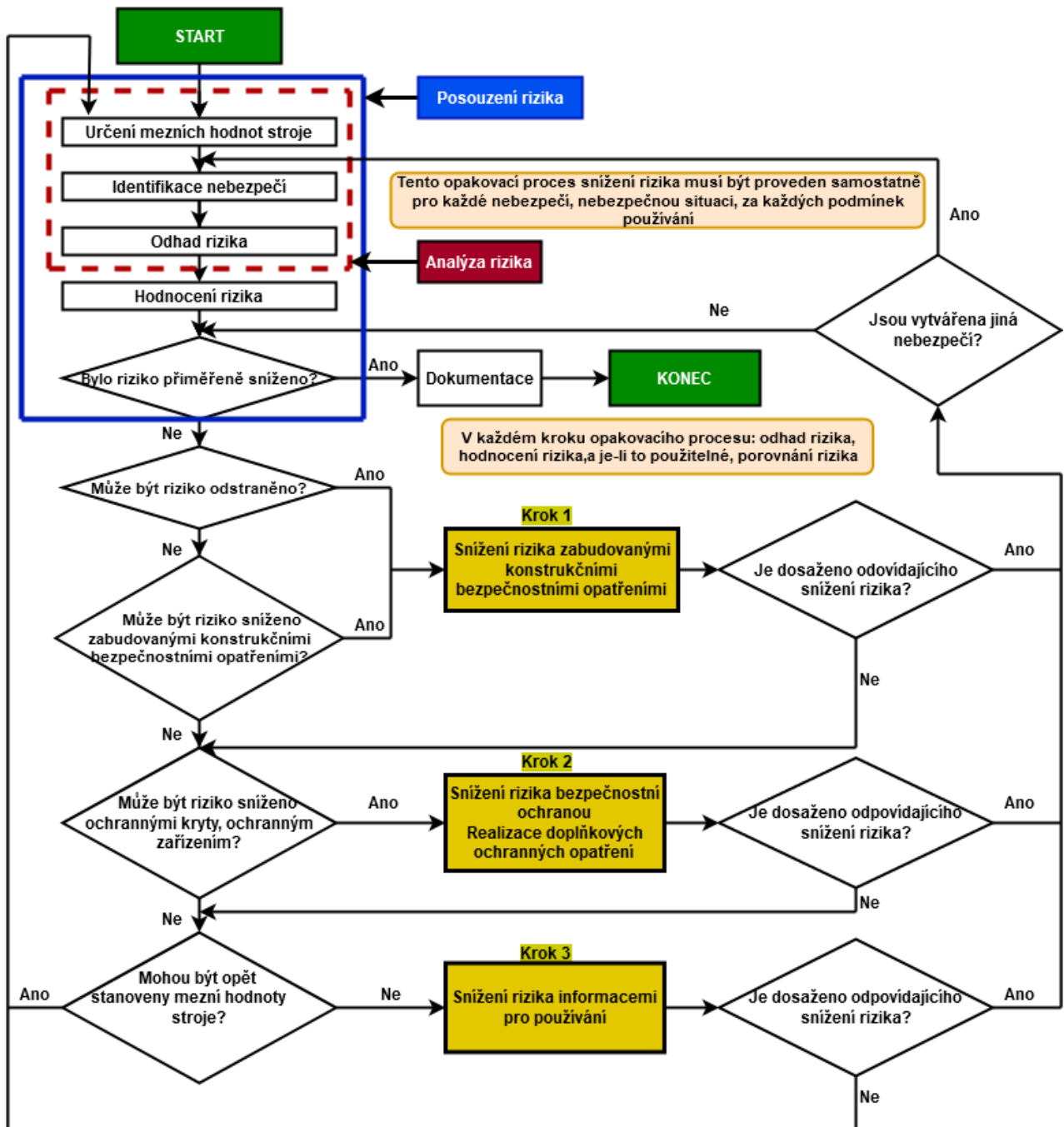
5.3 Hodnocení rizika

- vyhodnocení, zda je potřeba na základě výsledků odhadu tato rizika snížit
- snížení rizika lze snížit použitím metody tří kroků:
 - a) krok 1 - zabudování konstrukčních opatření (jedná se o nejdůležitější část, zabudováním těchto opatření je možné rizika úplně vyloučit a není pak potřeba dalších kroků)
 - b) krok 2 - bezpečnostní ochrana/doplňková opatření (pokud rizika přetrvávají i po zavedení konstrukčních opatření, je třeba zavést další ochranná opatření)
 - c) krok 3 - informace pro používání (pokud nebezpečí není možné vyloučit i po zavedení bezpečnostní ochrany nebo doplňkových opatření, je nutné s těmito zbytkovými riziky seznámit uživatele) [9]

5.4 Posouzení rizik

K tomu, aby konstruktér mohl provést posouzení rizik, potřebuje vstupní informace, které zahrnují:

1. informace o strojním zařízení
 - a) informace o uživateli
 - b) předpokládané používání strojního zařízení (fáze životního cyklu strojního zařízení, zdroje energií apod.)
 - c) informace o konstrukcích podobných strojních zařízeních
2. předpisy a normy, které se vztahují k danému strojnímu zařízení
 - a) relevantní předpisy
 - b) relevantní normy
3. informace o zkušenostech z provozu
 - a) zkušenosti uživatelů stejných nebo podobných strojních zařízeních
 - b) historie úrazů a nehod u stejných nebo podobných zařízeních
4. ergonomické zásady (rozměry lidského těla, pohyby, psychická a fyzická zátěž) [9]



Obr. 19 Schéma opakovacího tříkrokového procesu snižování rizika [9]

6 Bezpečnostní prvky

Ke snížení rizika lze při konstrukci strojních zařízení použít různé mechanické nebo elektronické bezpečnostní prvky. Při použití elektrických snímacích ochranných zařízení, zařízení citlivých na tlak, dvouručních ovládacích zařízení a ochranných krytů s blokováním bez jištění, musí být počítáno s doběhovou dobou nebezpečných pohybů strojního zařízení.

Dle normy ČSN EN ISO 13855:2010 - Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení lidského těla, je nutné dodržet minimální vzdálenost těchto prvků od nebezpečné části stroje. Tato minimální vzdálenost je dána vztahem:

$$S = K \times T + C$$

- S - minimální vzdálenost (mm)
- K - rychlost přiblížení lidského těla (mm/s)
- T - doba do zastavení nebezpečného pohybu (s)
- C - vzdálenost, po kterou se může část těla pohybovat v prostoru bezpečnostního zařízení směrem do nebezpečného prostoru, ale přitom nedojde k jeho aktivaci (mm) [11]

6.1 Ochranné kryty

Ochranný kryt je fyzická zábrana, která je součástí stroje a slouží k zamezení kontaktu osoby s pohyblivou částí stroje. Použití krytů je nejčastější a také nejúčinnější ochranou. Ochrannými kryty se zabývá norma ČSN EN ISO 14120:2015. Výhodou ochranných krytů je účinná ochrana před různými zdroji nebezpečí (pohyblivé části stroje, vymrštění předmětů, hluk, záření). Vždy musí být dodržena bezpečná dosahová vzdálenost k nebezpečné části stroje. [12]

6.1.1 Kryty pevné

- fyzická bariéra, která může být odstraněna pouze za pomoci nářadí nebo destrukcí
- mohou mít různé formy (např. plech, plexisklo, drátěné oplocení apod.) [12]

6.1.2 Kryty pohyblivé

- tyto kryty mohou být otevřeny bez pomoci nářadí, vždy ale pouze přímým působením
- mohou se zavírat automaticky (např. pomocí gravitace nebo pružiny) [12]

6.1.3 Kryty s blokováním

- kryt je propojen s ovládacím systémem stroje
- nebezpečné funkce stroje mohou být spuštěny pouze, když je kryt na předem definovaném místě (pokud by byl kryt odebrán během cyklu, musí se tyto nebezpečné funkce okamžitě zastavit)
- nebezpečné funkce stroje mohou být spuštěny na základě povelu po umístění ochranného krytu do uzavřené polohy, spuštění nebezpečných funkcí nesmí být inicializováno pouze umístěním krytu do uzavřené polohy (kromě výjimky ve formě ochranného krytu s blokováním se spouštěcí funkcí)
- po vydání povelu k zastavení nebezpečných funkcí stroje zůstává ochranný kryt v uzavřené poloze do úplného zastavení těchto nebezpečných funkcí

Příkladem ochranného krytu s blokováním může být branka do oplocení kolem robotického pracoviště. Tato branka může být vybavena např. dveřním systémem s integrovaným tlačítkem nouzového zastavení. Pro vstup do oplocenky je potřeba dát povel stisknutím inicializačního tlačítka, poté dojde k zastavení cyklu stroje a až po zastavení cyklu je klika odblokována a je možné otevřít branku. Tyto dveřní systémy lze doplnit systémy elektronických klíčů, které mohou sloužit jako ochrana před vstupem nepovolaných osob nebo jako ochrana před neúmyslným uzavřením osob uvnitř oplocenky. [12]



Obr. 20 Dveřní Euchner Multifunctional Gate Box MGB2+ Electronic-Key-System

Dalším příkladem použití bezpečnostních prvků u ochranných krytů s blokováním může být použití zámků nebo bezpečnostních zařízení, které se skládají ze senzoru a aktuátoru.



Obr. 21 Elektromechanické blokovací zařízení se zádržnou silou



Obr. 22 Bezdotykové blokovací zařízení SICK STR1 [23]

6.2 Optoelektronické prvky

6.2.1 Světelné závory

Světelné závory se používají v případech, kdy je potřeba často vstupovat do nebezpečného prostoru např. při vkládání nebo odebírání materiálu nebo produktů. Světelné závory se vyrábějí v různých délkách a v různých provedeních určených do různých prostředí. Fungují na principu přenosu světelného paprsku nebo více paprsků mezi vysílačem a přijímačem. Při přerušení paprsku dojde k okamžitému zastavení nebezpečného pohybu.



Obr. 23 Světelná závora [24]

Světelná závora může být vybavena funkcí **MUTING**, která dokáže rozpoznat materiál nebo produkt od osoby a umožní tak např. plynulý průjezd produktu po dopravníku skrz světelnou závoru bez zastavení stroje. Při přerušení paprsku osobou však dojde k okamžitému zastavení nebezpečného pohybu stroje.



Obr. 24 Světelná závora s funkcí MUTING [25]

6.2.2 Laserové skenery

Bezpečnostní laserové skenery jsou optické senzory, které monitorují prostor pomocí infračervených paprsků. Uvnitř skeneru je rotující zrcadlo, které vychyluje paprsky, ty pak pokrývají kruhovou výseč. Používají se tam, kde je potřeba pokrýt větší prostor podlahové plochy. Celý systém pracuje na bázi měření doby letu paprsku, kdy se měří doba mezi vysláním paprsku a odrazem zpět. Pokročilé skenery umožňují široké možnosti nastavení včetně definování různých ochranných polí. Toto rozdělení na různá pole umožňuje s využitím programovatelné bezpečnostní jednotky nastavení určitých pohybů nebo zastavení stroje při narušení konkrétního pole. Zbytek stroje, který je v bezpečné vzdálenosti od osoby, může zůstat v provozu. Tímto řešením se dosáhne vyšší efektivity celého procesu.



Obr. 25 Bezpečnostní laserový skener Sick

6.3 Nouzové zastavení

Funkcemi zařízení pro nouzové zastavení se zabývá norma ČSN EN ISO 13850:2017. V této normě jsou popsány funkční a konstrukční požadavky na funkci nouzového zastavení bez ohledu na druh energie. Funkcí nouzového zastavení je odvrátit hrozící nebezpečí nebo ho zmírnit prostřednictvím jednoduchého lidského úkonu. Tato funkce musí být k dispozici po celou dobu a musí být nadřazena ostatním ochranným funkcím. Nouzové zastavení musí být navrženo tak, aby odvrátilo hrozící nebezpečí, ale zároveň nesmí způsobit vznik jiného nebezpečí nebo jinak zvýšit riziko. Zařízení nouzového zastavení by mělo být vždy umístěno na stanovišti obsluhy, a také na všech místech, která vyplnou z posouzení rizik. Elektrická zařízení nouzového zastavení musí být vybavena mechanickou západkou a fungovat na principu nuceného vypnutí, odblokování může být vykonáno pouze záměrným úkonem. Zařízení nouzového zastavení musí mít červenou barvu, pozadí pak žlutou barvu (pokud je to proveditelné). [29]

Existují dvě kategorie nouzového zastavení:

- kategorie 0 - okamžité vypnutí zdrojů energií
- kategorie 1 - pohyby stroje jsou zastaveny při zachování přívodu energií, teprve po zastavení dojde k odpojení energií

Zařízení nouzového zastavení mohou mít různé podoby:

- tlačítko - vždy musí být možné aktivovat tlačítko stiskem dlaní ruky
- páka, tyč
- nožní pedál bez ochranného krytí



Obr. 26 Tlačítka nouzového zastavení

- lanko, drát - musí mít červenou barvu, používají se např. u dlouhých dopravníků



Obr. 27 Lanko nouzového zastavení

6.4 Bezpečnostní řídicí zařízení

Tato zařízení se používají pro přímé zastavení nebo spuštění nebezpečných pohybů stroje. Svou konstrukcí zabraňují tomu, aby se buď celé tělo nebo jeho část dostala do kontaktu s nebezpečnou částí stroje.

6.4.1 Obouruční ovládání

Stroj může provádět nebezpečné pohyby pouze ve chvíli, kdy má obsluha ruce současně na obou ovládacích zařízeních. Při přerušení dotyku rukou s oběma ovladači musí být nebezpečné pohyby okamžitě zastaveny.



Obr. 28 Obouruční ovládání

6.4.2 Třípolohový ovladač

Tento ovladač se používá v situacích jako je nastavování stroje, programování, odstraňování závad apod., kdy se strojní zařízení nenalézá v automatickém režimu a ovládání pohybů je v tu chvíli řízeno manuálně obsluhou, která se nachází v nebezpečném prostoru. Pohyblivé části strojního zařízení se v tu chvíli pohybují pouze omezenou rychlostí. Obsluha v tomto případě drží tlačítko ve střední poloze, stisknutí nebo naopak uvolnění tlačítka mimo tuto polohu vede k okamžitému zastavení stroje. Tlačítko může být samostatné nebo může být také součástí mobilního ovládacího panelu.



Obr. 29 Třípolohové tlačítko ABB JSHD4 [26]



Obr. 30 Mobilní ovládací panel HMI SIMATIC s třípolohovým tlačítkem [27]

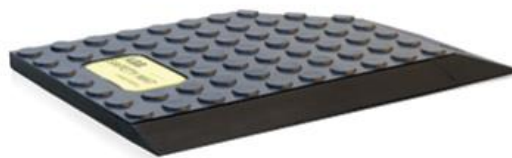
6.5 Zařízení citlivá na tlak

6.5.1 Nášlapné rohože

Rohože se používají v okolí strojů s nebezpečnými pohyby (robotické buňky, lisy apod.). Po sešlápnutí dojde ke spojení elektrických kontaktů uvnitř sendvičové rohože a dojde k okamžitému zastavení nebezpečných pohybů stroje. U rohoží se počítá nejmenší vzdálenost okraje rohože od nebezpečné části stroje tímto způsobem:

$$S = K \times T + C$$

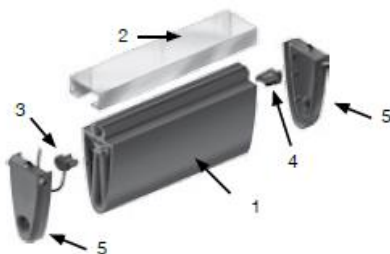
$$S = 1600 \times T + 1200 \quad [1]$$



Obr. 31 Nášlapná bezpečnostní rohož ABB ASK1T [28]

6.5.2 Bezpečnostní hrany

Používají se u různých pohyblivých dvířek nebo jiných pohyblivých částí strojního zařízení jako ochrana před stlačením nebo drcením. Většinou se jedná o pryžový profil, uvnitř kterého je kontaktní pásek (stykový člen) a kontaktní hrana je opatřena hliníkovým profilem. [1]



- 1 - pryžový profil s integrovaným kontaktním páskem
- 2 - hliníkový profil
- 3 - přípojovací vidlice
- 4 - ukončovací odpor
- 5 - ukončovací víčko

Obr. 32 Bezpečnostní kontaktní hrana [1]

6.5.3 Nárazníky

Tyto nárazníky nacházejí uplatnění u dopravních vozidel s obsluhou i bez obsluhy. Po kontaktu nárazníku s překážkou dojde ke spojení kontaktů uvnitř nárazníku a k okamžitému zastavení vozidla. Standardně jsou provedeny s černožlutým šikmým šrafováním. [1]



Obr. 33 Nárazník [1]

7 Návrh robotického pracoviště s ohledem na bezpečnost

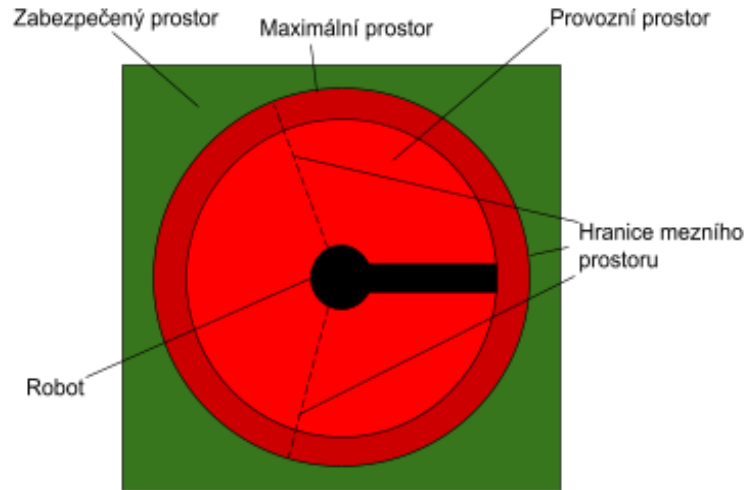
V této části bude proveden koncepční návrh robotického pracoviště s ohledem na bezpečnost. Základní požadavky týkající se bezpečnosti průmyslových robotů jsou specifikovány v normě ČSN EN ISO 10218-1 Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů, Část 1: Roboty. V normě ČSN EN ISO 10218-2 Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů, Část 2: Systémy robotů a integrace jsou pak uvedeny požadavky na instalaci systému robotu do robotických buněk. [31]

Robotická pracoviště jsou jedním z nejvíce rizikových strojních zařízení, protože pohyb robotu je většinou veden s vysokou energií a rychlostí, aby se dosáhlo co nejvyšší efektivity výrobního procesu. Rizika se však mohou lišit podle typu použitého robotu, jeho účelu a podle způsobu jeho začlenění do robotické buňky nebo linky.

Průmyslový robot vykonává pohyb většinou ve třech nebo více osách a jeho pohyb je tak pro člověka obtížně předvídatelný. Robot se pohybuje v tzv. nebezpečném prostoru a v automatickém režimu nesmí dojít ke kontaktu mezi robotem a člověkem. V manuálním režimu, kdy je robot ovládán pomocí ručního ovládacího panelu, nesmí rychlost robotu přesáhnout 250 mm/s. Bezpečnostní části ovládacích systémů robotu musí mít PL v souladu s normou 13849-1 minimálně hodnotu **d** se strukturou kategorie 3.

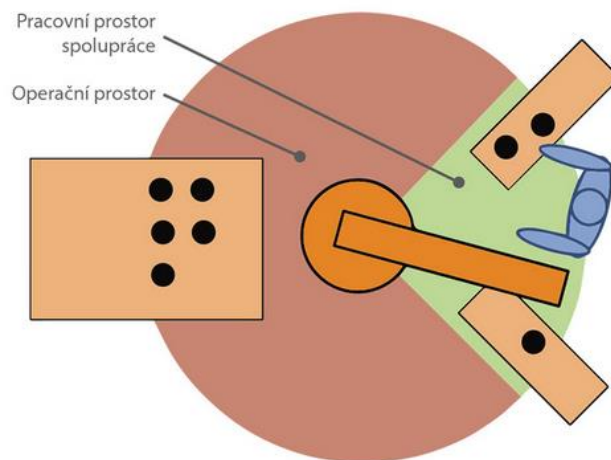
Prostor robotického pracoviště je rozdělen do několika částí:

- zabezpečený prostor - daný hranicí bezpečnostní ochrany
- maximální prostor - daný maximálním možným dosahem robotu včetně efektoru s obrobkem
- mezní prostor - část maximálního prostoru, kterou vymezují prvky omezující pohyb robotu
- provozní prostor - část mezního prostoru, ve kterém se robot s obrobkem skutečně pohybuje [30]



Obr. 34 Robotické pracoviště

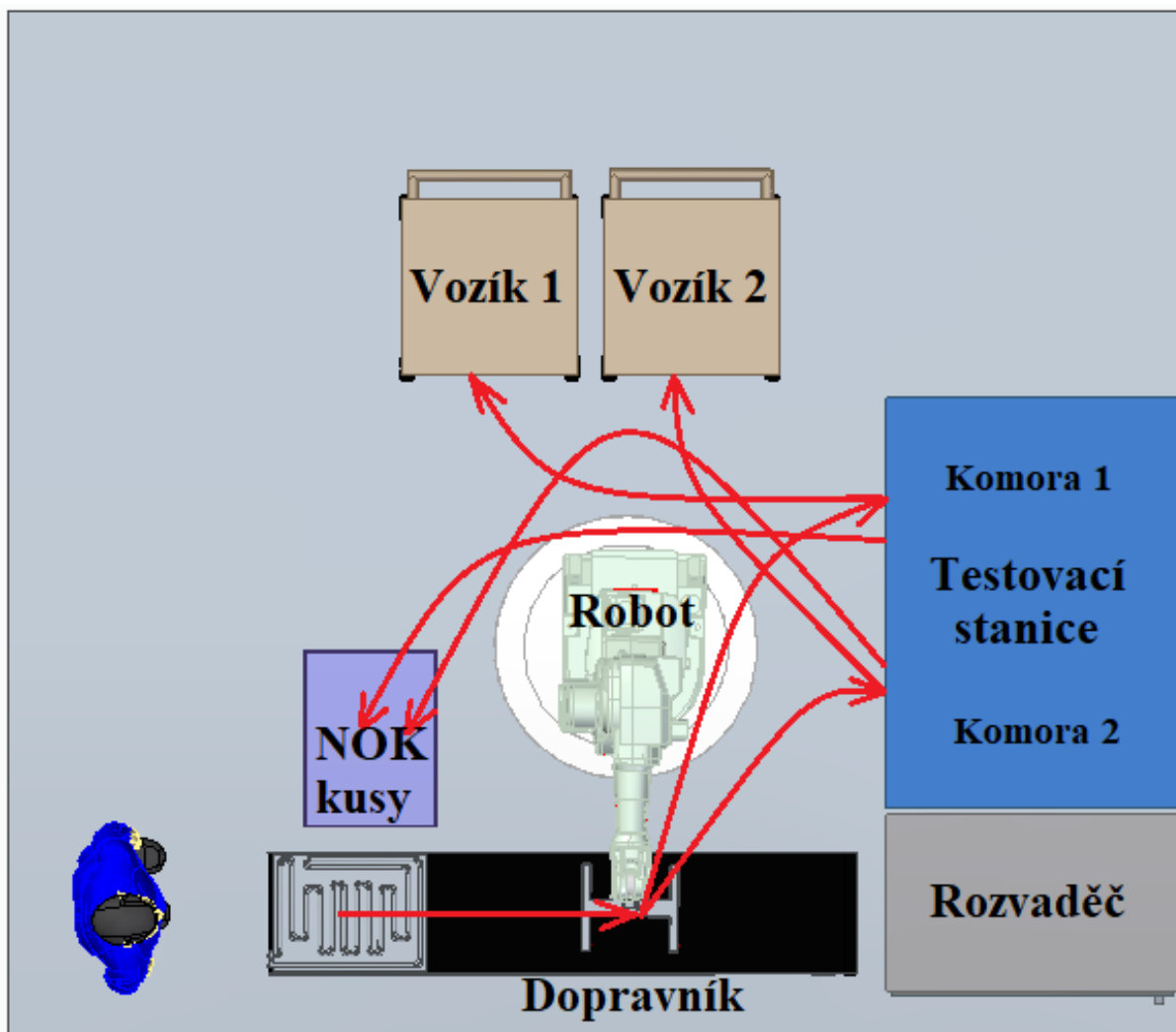
Výjimkou, která dovoluje přítomnost člověka a robotu ve společném prostoru, jsou spolupracující (kolaborativní) roboty - tzv. coboty (z anglického collaborative robots). Společný prostor, kde současně provádí úkony robot s člověkem, se nazývá pracovní prostor spolupráce. Problematika bezpečnosti kolaborativních robotů je okrajově řešena v normách ČSN EN ISO 10218-1 a ČSN EN ISO 10218-2, další technické požadavky na bezpečný provoz jsou uvedeny ve specifikaci ISO/TS 15066 z roku 2016. Tato specifikace byla vytvořena komisí, která sdružuje nejvýznamnější výrobce kolaborativních robotů a blíže popisuje např. požadavky na maximální rychlosti, tlaky a síly s ohledem na kontakt s konkrétní částí lidského těla, při jejichž překročení dojde k zastavení pohybu robotu. Roboty jsou vybaveny senzory, které zaznamenávají případný kontakt a jejich konstrukce je provedena tak, aby nepředstavovala pro člověka riziko. Na robotech nejsou ostré hrany a v některých případech je také jejich povrch z materiálů, které pohlcují náraz. Důležitým prvkem kolaborativního robotu z hlediska bezpečnosti je koncový efektor, který může představovat značné riziko. Výhodou těchto robotů je absence pevných krytů a z toho plynoucí prostorová úspornost a flexibilita. Tyto roboty lze jednoduše přemístit a také jejich programování je v porovnání s tradičními roboty jednodušší.



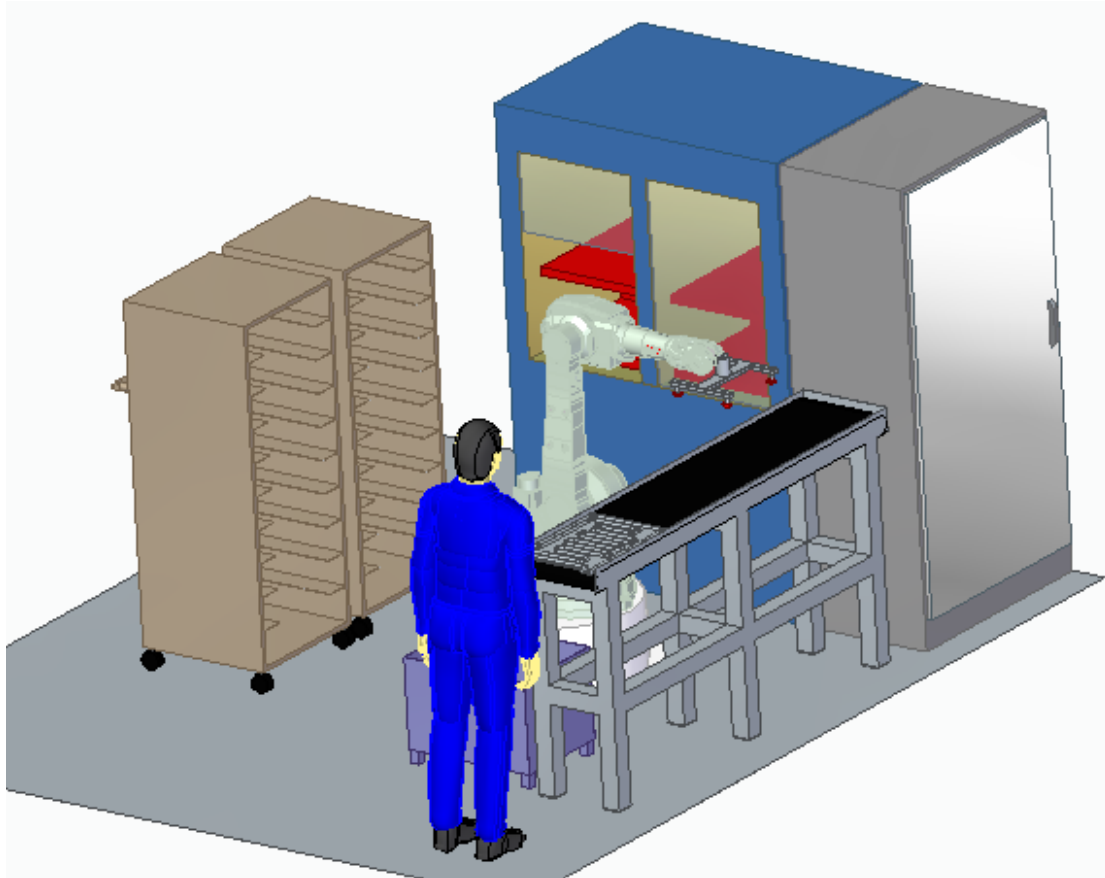
Obr. 35 Pracoviště kolaborativního robotu s operátorem [44]

7.1 Návrh pracoviště

Navrhovaná robotická buňka slouží k testování těsnosti chladičů, které po testování robot ukládá do přepravních vozíků. Obsluha pokládá chladič na dopravník a po položení inicializuje pohyb dopravníku dotykovým tlačítkem. Po dopravníku chladič dojde na předvolenou pozici, kde ho odebírá robot a vkládá ho do jedné ze dvou testovacích komor. Správná pozice chladiče na dopravníku pro odebrání robotem je hlídána čidlem. V testovací komoře je do chladiče pod tlakem vpuštěn plyn pod tlakem 2 MPa a pokud čidlo nedetekuje žádný únik plynu, robot vyjme chladič z komory a umístí ho do jednoho ze dvou připravených vozíků. Dva vozíky jsou zde z důvodu zachování kontinuity procesu, kdy je možné nakládat chladiče do vozíku i ve chvíli, kdy je druhý vozík po naplnění měněn obsluhou za prázdný. Vozíky jsou plněny odspodu směrem nahoru. Pokud je v testovací komoře po natlakování chladiče zaznamenán únik plynu, je tento kus vyhodnocen jako vadný a robot ho odkládá do připravené bedny na vadné kusy (NOK). Robot uchopuje chladiče pomocí efektoru se čtyřmi přísavkami, ve kterých je vytvářen podtlak po jejich přitlačení na chladič.



Obr. 36 Konceptní návrh robotické buňky- půdorys



Obr. 37 Konceptní návrh- model

7.2 Posouzení rizik navrhovaného robotického pracoviště

7.2.1 Určení mezních hodnot

Určení mezních hodnot vychází ze specifikací daného pracoviště. Pro robotickou buňku je vyhrazen prostor 4x4 m a bude se nacházet uvnitř průmyslové výrobní haly. V místě instalace jsou k dispozici rozvody elektrické energie dle českých standardů a jsou zde k dispozici dva rozvody stlačeného vzduchu s provozními tlaky 0,6 MPa a 2 MPa. Hala je osvětlena svítidly s intenzitou 400 lx. Hala je vytápěná, stálá teplota se pohybuje mezi 18° až 28°C. Výměna vzduchu je zajištěna prostřednictvím vzduchotechnických jednotek. Vlhkost vzduchu se pohybuje v rozmezí 40% až 65%. Prašnost prostředí je běžná, nevyskytují se zde žádné nebezpečné chemické látky.

V hale se pohybuje manipulační technika a jiná strojní zařízení, mohou se zde tudíž vyskytovat mírné rázy a vibrace. Podlaha je betonová o tloušťce 280 mm, vyztužená kari sítí. Obsluhu pracoviště budou vykonávat muži i ženy ve věku minimálně 18 let. Údržbu budou vykonávat kvalifikovaní zaměstnanci s odbornou způsobilostí v elektrotechnice min. § 6 vyhlášky č. 50/1978 Sb. Plánován je třisměnný provoz pouze v pracovních dnech bez víkendů. Pro stálou obsluhu pracoviště je určen jeden operátor, který bude pokládat produkty na pás dopravníku. Výměnu a odvoz vozíků a výměnu bedny s NOK kusy bude zajišťovat druhý operátor, který bude zároveň obsluhovat i jiné pracoviště. V okolí pracoviště se mohou vyskytovat ostatní zaměstnanci nebo externí dodavatelé. Plánovaný provoz pracoviště je 10 let.

7.2.2 Identifikace nebezpečí

Je zřejmé, že nejvyšší riziko představuje pohyb robotu a testování chladičů vysokým tlakem plynu v komoře. Veškeré identifikované zdroje nebezpečí jsou uvedeny v následující tabulce:

Druh nebezpečí	Zdroj nebezpečí	Možné následky
Mechanická nebezpečí	<ul style="list-style-type: none"> - ostré hrany - pohyblivé části - dopravníku, robotu a - testovacích komor - pád výrobků - tlak plynu ve výrobku - během testování - zbytková energie - kluzký povrch 	<ul style="list-style-type: none"> - pořezání - zachycení nebo vtažení - strojem - stlačení - naražení - zasažení tlakem plynu nebo - vymrštěnou částí výrobku - uklouznutí, pád
Elektrická nebezpečí	<ul style="list-style-type: none"> - dotyk živých částí částí - elektrického rozvodu - elektrostatické jevy - zkrat 	<ul style="list-style-type: none"> - zásah elektrickým proudem - požár
Ergonomická nebezpečí	<ul style="list-style-type: none"> - poloha těla operátora - námaha - osvětlení 	<ul style="list-style-type: none"> - nepohodlí - svalově kosterní poškození - poškození zraku
Nebezpečí hluku	<ul style="list-style-type: none"> - pohybující se části - hluk při případné - destrukci výrobku během - testování 	<ul style="list-style-type: none"> - poškození sluchu - nepohodlí
Nebezpečí materiálů/ látek	<ul style="list-style-type: none"> - kontakt se škodlivými - kapalinami, plyny 	<ul style="list-style-type: none"> - dýchací potíže - udušení - otrava

Tab.6 Identifikace nebezpečí navrhovaného pracoviště [9]

7.2.3 Posouzení rizik

Posouzení rizik zahrnuje odhad rizika, zhodnocení rizika, navržení ochranných opatření a vyhodnocení ochranných opatření.

Posouzení rizik strojního zařízení podle ČSN EN ISO 12100:2011

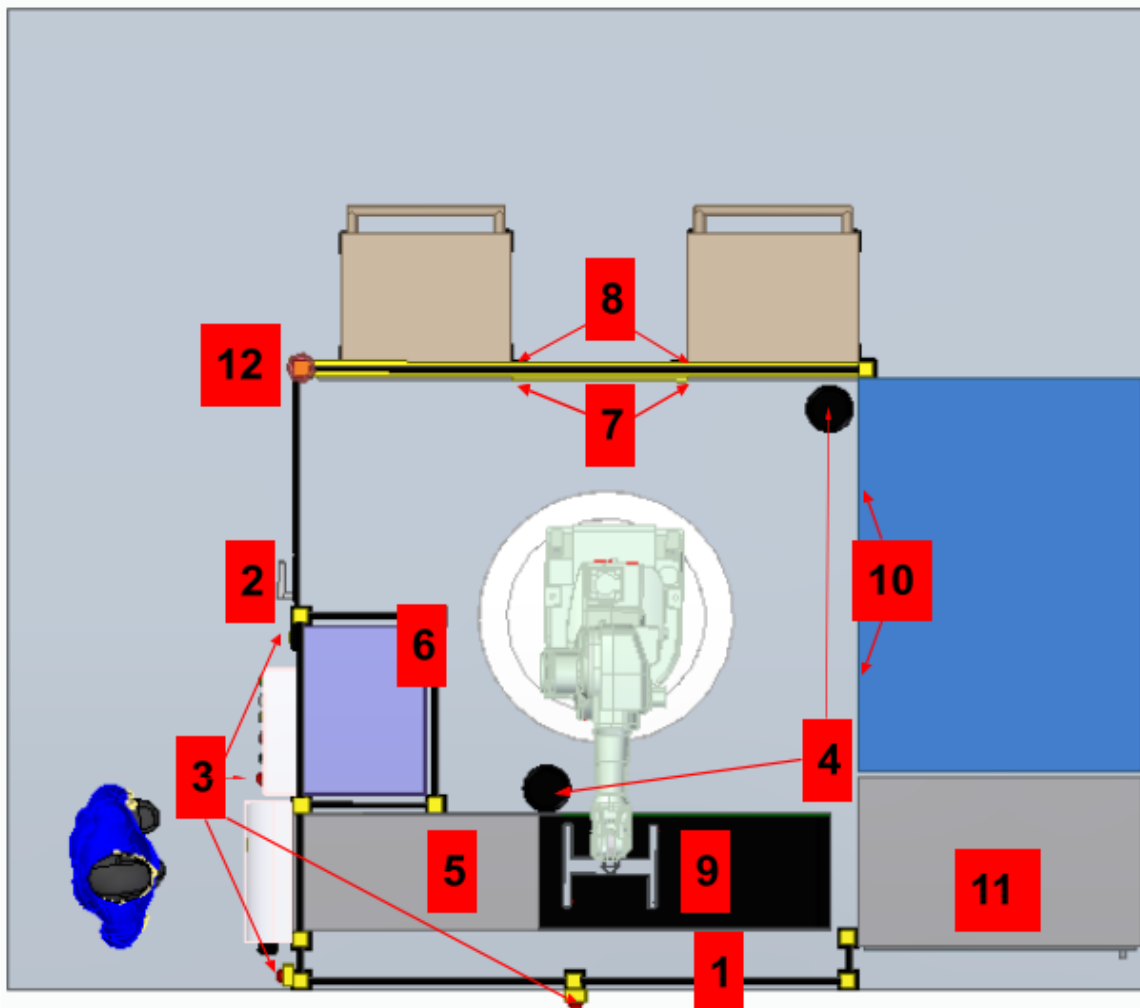
Robotická buňka- Test těsnosti		Vypracoval: Martin Duspíva Datum: 21.3.2021															
Druh nebezpečí	Fáze výskytu rizika				Odhad rizika					Snížení rizika							
	Doprava	Instalace	Provoz	Likvidace	Popis nebezpečí a možných následků	Se	Fr	Pr	Av	CI	Popis opatření ke snížení rizika	Se	Fr	Pr	Av	CI	
1	Mechanická nebezpečí																
1.1	Ostré hrany	x	x	x	x	Požerání nebo odření o ostré hrany.	2	4	3	3	10	Na všech částech zařízení a na přepravních obalech budou odstraněny všechny ostré hrany a rohy.	2	1	1	1	3
1.2	Pohyblivé části robotu		x		x	Nebezpečí zachycení, stlačení, naražení, drcení.	4	5	3	3	11	Zabezpečený prostor robotické buňky bude vymezen ochranným oplocením. Vstup do robotické buňky bude možný pouze vstupní brankou s elektronickým dveřním systémem. Při otevřené brance budou zastaveny veškeré pohyby uvnitř buňky. Součástí oplocení kolem robotické buňky budou 2 vozíky a bedna na NOK kusy. Přítomnost vozíků i bedny budou hlídány čidly. Z vnitřní strany budou u vozíků přejížděcí kryty, které umožní pokračovat robotu v pracovním cyklu i během výměny vozíků. Poloha krytů bude hlídána čidly. Na vstupním dopravníku bude nainstalován tunel v souladu s normou ČSN EN ISO 13857:2008. Bezpečnostní prvky budou řízeny prostřednictvím bezpečnostního PLC. Pro potřeby seřizování a údržby robotu bude v manuálním režimu využíván mobilní ovládací panel. Manuální režim je možný pouze po zadání hesla a smí být prováděn pouze pověřenými osobami. V robotické buňce budou nainstalovány dva podlahové skenery, které vyloučí přítomnost osob při pohybu robotu. Na oplocení budou nainstalována tlačítka nouzového zastavení, která zastaví	4	1	1	1	3

	Fr 6	interval mezi expozicemi nebezpečné události je kratší nebo roven jedné hodině
Pr (Probability) - pravděpodobnost výskytu nebezpečné události.	Pr 1	zanedbatelná
	Pr 2	výjimečná
	Pr 3	možná
	Pr 4	pravděpodobná
	Pr 5	velmi pravděpodobná
Av (Avoidance) - možnost zabránění nebezpečné situaci	Av 1	velmi pravděpodobná
	Av 3	možná
	Av 5	velmi nepravděpodobná, nemožná
Cl (Class) - třída rizika	Cl	součet Fr, Pr, Av

Se	Cl (Fr + Pr + Av)					Vysvětlivky
	3-4	5-7	8-10	11-13	14-15	
4						
3						
2						
1						

Tab.7 Posouzení rizik navrhovaného robotického pracoviště [9] [43]

7.3 Aplikace bezpečnostních prvků

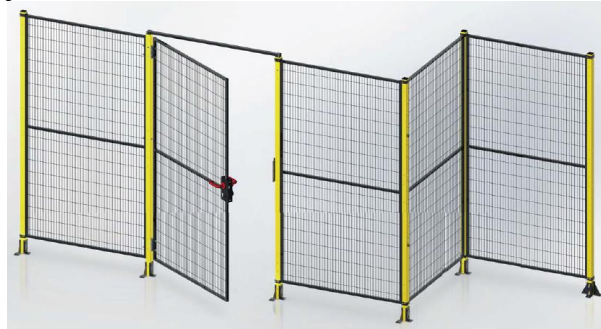


Obr. 38 Návrh robotické buňky- půdorys

1. Oplocení
2. Elektronický dveřní systém
3. Tlačítka nouzového zastavení
4. Bezpečnostní laserové skenery
5. Tunel na dopravníku
6. Senzor přítomnosti bedny na NOK kusy
7. Senzor polohy pojížděcích dveří
8. Senzor přítomnosti vozíků
9. Senzor polohy produktu na dopravníku
10. Sensory polohy dvířek u komor
11. Bezpečnostní PLC
12. Maják

1. Oplocení

Kolem robotické buňky bude nainstalováno, v souladu s normou ČSN EN ISO 14120 - Ochranné kryty, průmyslové oplocení Satech Strong, výška panelů 2080 mm (barva RAL 9005), výška sloupků 2200 mm (barva RAL 1021). Šířka mezer mezi jednotlivými dráty pletiva je 19 mm, což umožňuje dle normy ČSN EN ISO 13857 umístění nebezpečných částí strojního zařízení do vzdálenosti ≥ 120 mm od oplocení. Toto oplocení splňuje odolnost nárazu min. 1600J.



Obr. 39 Bezpečnostní oplocení [32]

2. Elektronický dveřní systém

Dveře oplocenky budou vybaveny elektronickým dveřním systémem MGB2-H-BA1A3-L-156394. Tento systém je vybaven vnitřní klikou, která umožňuje kdykoliv opustit nebezpečný prostor v případě nechtěného uzavření osoby uvnitř oplocení. Dveřní systém obsahuje dvě potvrzovací tlačítka a tlačítko nouzového zastavení.

PLr graf	PLr		PL
	d		e

Tab.8 Elektronický dveřní systém [33]

3. Tlačítka nouzového zastavení

V souladu s normou ČSN EN ISO 13850 - Funkce nouzového zastavení, bude robotická buňka vybavena čtyřmi tlačítky nouzového zastavení kategorie 0. Na oplocení budou nainstalována dvě tlačítka nouzového zastavení Schneider Harmony XALK 178. První tlačítko bude u stanoviště obsluhy a druhé bude na oplocení podél dopravníku. Další tlačítko nouzového zastavení je součástí elektronického dveřního systému Euchner MGB2 a jedno tlačítko nouzového zastavení je součástí ovládacího panelu.

PLr graf	PLr		PL
	d		e

Tab.9 Tlačítka nouzového zastavení [33] [34]

4. Bezpečnostní laserové skenery

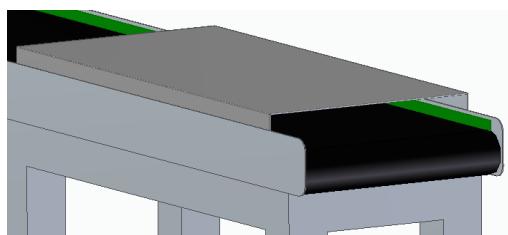
Prostor robotické buňky bude chráněn dvěma podlahovými skenery SICK MICS3-CCAZ55PZ1P01 s dosahem 5,5 m, které vyloučí uzavření osob uvnitř oplocení během výrobního cyklu.

PLr graf	PLr		PL
	d		d

Tab.10 Bezpečnostní laserové skenery [35]

5. Tunel na dopravníku

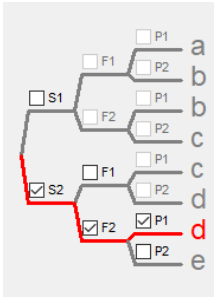

Na dopravníku bude nainstalován tunel, který zamezí dosahu paží do nebezpečného prostoru. V souladu s normou ČSN EN ISO 13857 - Bezpečné vzdálenosti k zamezení dosahu k nebezpečným místům horními a dolními končetinami, bude výška vstupního otvoru ≤ 120 mm, délka tunelu bude ≥ 850 mm.



Obr. 40 Tunel dopravníku

6. Senzor přítomnosti bedny na NOK kusy

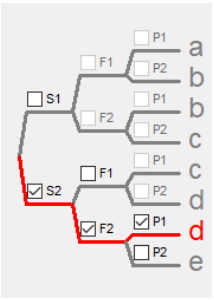

Stěna bedny bude tvořit kryt, který bude součástí oplocení robotické buňky. Přítomnost bedny bude hlídána čidlem SICK IN40-D0303K, které splňuje PL e. V případě nepřítomnosti bedny na své pozici nebude možné spustit výrobní cyklus, pokud bude bedna přesunuta během cyklu, všechny pohyby v buňce budou okamžitě zastaveny.

PL graf	PLr		PL
	d		e

Tab.11 Senzor přítomnosti bedny na NOK kusy [36]

7. Senzory polohy pojížděcích dveří

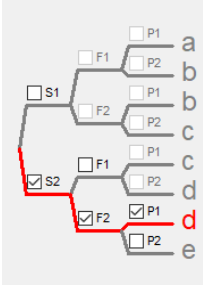

V případě, že budou oba vozíky, na svém místě, pojížděcí dveře budou na pozici mezi vozíky. V případě potřeby výměny plného vozíku za prázdný, obsluha stiskne tlačítko u příslušného vozíku, pojížděcí dveře přejedou před vozík a vytvoří kryt robotické buňky. Poté je možné plný vozík odvézt. Pozice dveří bude hlídána prostřednictvím senzorů SICK STR1-SAFM0AC5.

PLr graf	PLr		PL
	d		e

Tab.12 Senzory polohy pojížděcích dveří [37]

8. Senzor přítomnosti vozíků

V případě, že vozíky budou na své pozici, budou tvořit součást oplocení robotické buňky. Přítomnost vozíků na svých pozicích bude hlídána prostřednictvím senzorů SICK IN40-D0303K.

PLr graf	PLr		PL
	d		e

Tab.13 Senzor přítomnosti vozíků [38]

Senzor polohy produktu na dopravníku

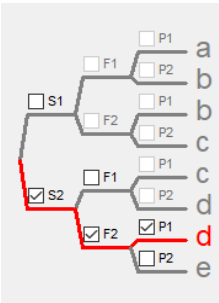

Po položení výrobku na dopravník stiskne obsluha dotykové tlačítko a dopravník se dá do pohybu. Po přerušení paprsku se výrobek zastaví na předvolené pozici. Pozice produktu bude hlídána optoelektronickým snímačem s infračerveným paprskem SICK WTB12-3P1711.



Obr. 41 Optoelektronický snímač SICK WTB12-3P1711[39]

9. Sensory polohy dvířek u komor

Dvířka testovacích komor se budou pohybovat vertikálně. Test bude spuštěn pouze při zavřených dvířkách, poloha dvířek bude hlídána senzory RE21-SA05.

PLr graf	PLr		PL
	d		e

Tab.14 Sensory polohy dvířek u komor [40]

10. Bezpečnostní PLC

Bezpečnostní vstupy a výstupy celého systému bude vyhodnocovat a ovládat bezpečnostní logická jednotka Allen - Bradley CompactLogix 5380.

PLr graf	PLr		PL
	d		e

Tab.15 Bezpečnostní PLC [41]

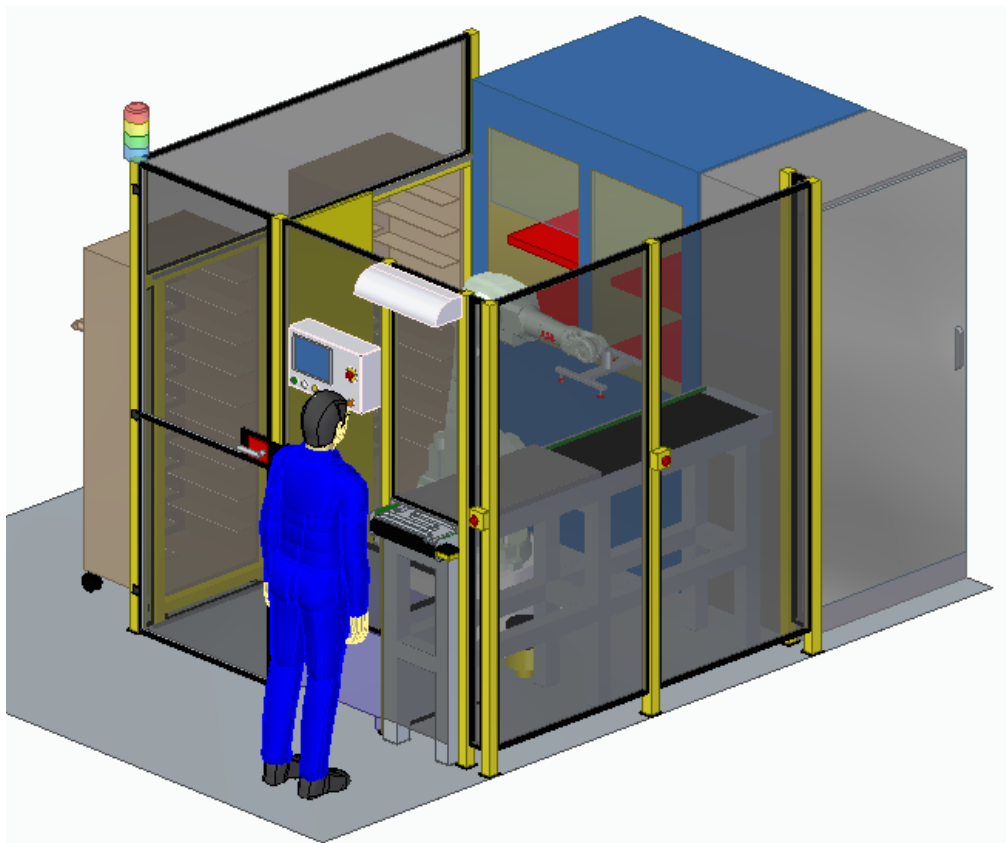
11. Signalizační maják

Na oplocení bude umístěn signalizační maják Schneider Electric XVC4B4K se čtyřmi barvami v souladu s normou ČSN EN 60204-1:2019 Elektrická zařízení strojů - Část 1: Obecné požadavky:

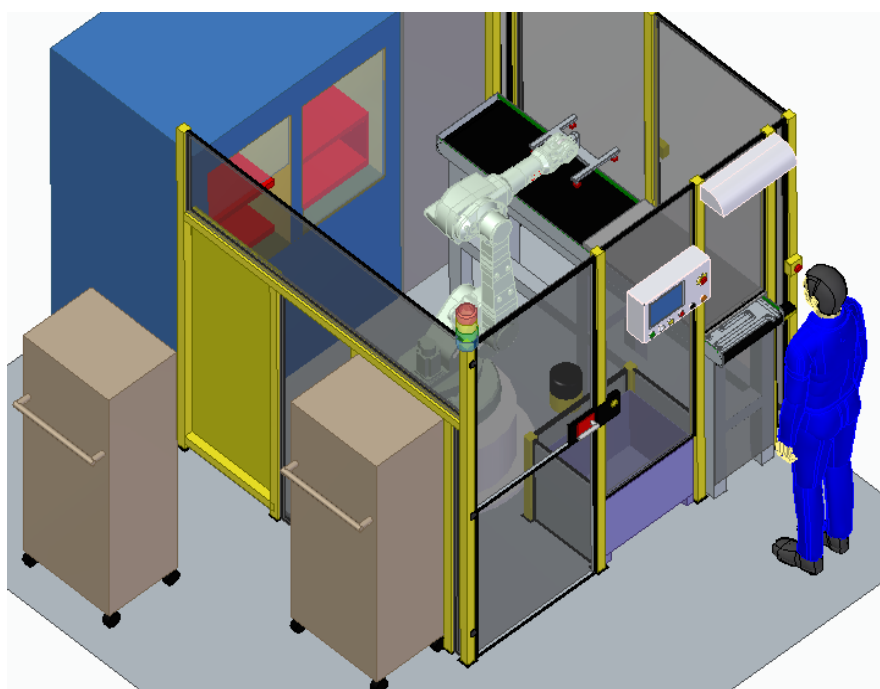


- červená- nebezpečný stav, potřeba okamžitého zásahu
- žlutá- výstraha, hrozící nebezpečný stav, nutnost zásahu nebo monitorování
- zelená- normální stav
- modrá- oznámení, potřeba zákroku obsluhy

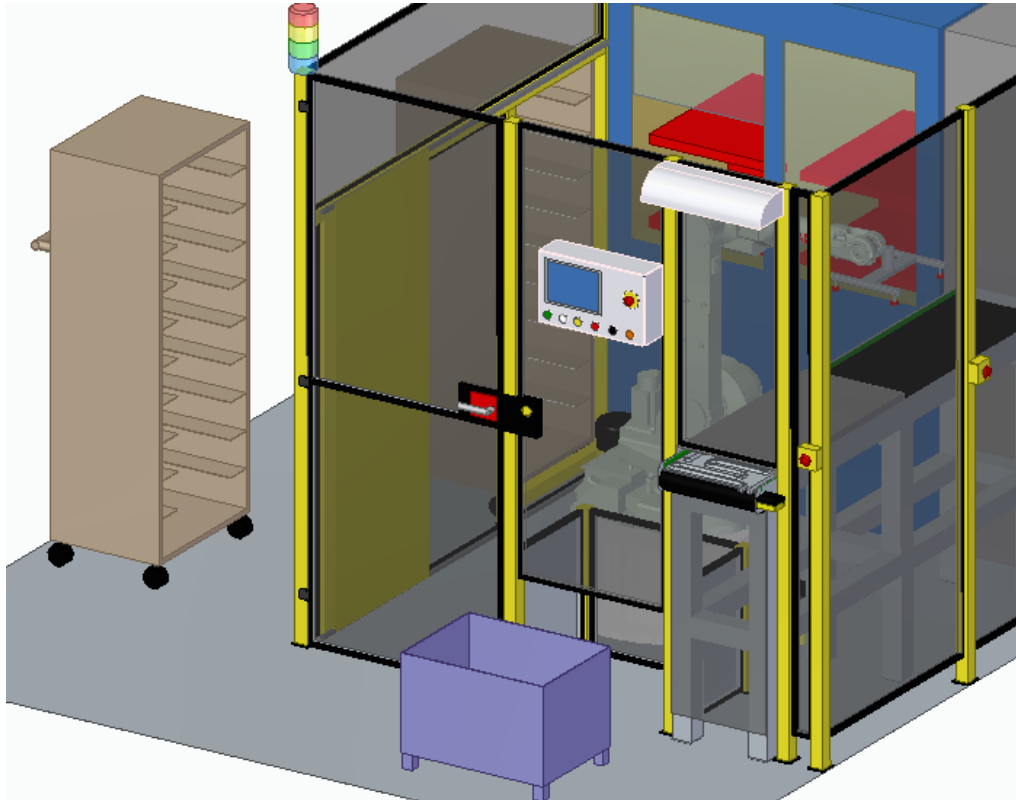
Obr. 42 Maják Schneider Electric XVC4B4K [42]



Obr. 43 Návrh robotické buňky- model



Obr. 44 Návrh robotické buňky- model



Obr. 45 Návrh robotické buňky- model

8 Závěr

Cílem této práce bylo popsat způsob návrhu strojního zařízení se zvláštním ohledem na jeho bezpečnost. V první části jsem se zaměřil na legislativní požadavky na uvedení strojního zařízení na trh Evropské unie a provedl jsem rešerši relevantních legislativních předpisů. Podrobněji jsem rozebral Nařízení vlády č.176/2008 Sb., kterým byla do české legislativy začleněna zásadní evropská směrnice z hlediska bezpečnosti 2006/42/ES. Také jsem se zaměřil na základní technické normy použitelné pro potřeby posouzení shody strojního zařízení. Detailněji jsem popsal normy ČSN EN ISO 13849-1 a ČSN EN 62061 a snažil jsem se vysvětlit možnosti jejich použití.

V další části jsem se věnoval postupu návrhu strojního zařízení a vysvětlil jsem důležitost procesu posouzení rizik a s ním související pojmy.

V další kapitole jsem vytvořil přehled možností použití bezpečnostních prvků u strojních zařízení.

V praktické části jsem se zaměřil na návrh fiktivní robotické buňky s důrazem na bezpečnostní prvky. Nejprve jsem vytvořil návrh robotického pracoviště, poté jsem provedl posouzení rizik a na jeho základě jsem aplikoval bezpečnostní prvky. Pro každou bezpečnostní funkci jsem určil požadovaný Performance level a definoval jsem vyhovující bezpečnostní prvky. Po aplikaci těchto prvků lze považovat toto pracoviště za bezpečné.

Cílem této práce bylo zdůraznit důležitost posouzení rizik strojního zařízení ve všech fázích jeho životního cyklu. Z vlastní zkušenosti mohu říci, že bezpečnost strojních zařízení se stále vyvíjí a provozatelé a výrobci kladou na bezpečnost stále větší důraz. To co bylo před časem přípustné je z dnešního pohledu nemyslitelné.

9 Seznam použité literatury a zdrojů

- [1] ABB- Příručka bezpečnosti-Bezpečnost strojů-JOKAB safety, 2013
<https://docplayer.cz/68274153-Katalog-prirucka-bezpecnosti-bezpecnost-stroju-jokab-safety.html>
- [2] Zákon 22/1997- Zákon o technických požadavcích na výrobky
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1997-22>
- [3] Zákon č.90/2016 Sb.
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-90>
- [4] Nařízení vlády č. 378/2001 Sb.
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-378>
- [5] Nařízení vlády č. 176/2008 Sb
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-176>
- [6] Nařízení vlády č. 117/2016 Sb.
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-117>
- [7] Nařízení vlády č. 118/2016 Sb
<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-118>
- [8] Technické normy ČSN
<https://csnonline.agentura-cas.cz>
- [9] ČSN EN ISO 12100 Bezpečnost strojních zařízení- Všeobecné zásady pro konstrukci- Posouzení rizika a snižování rizika. Zpracovatel: Výzkumný ústav bezpečnosti práce Praha IČ 00025950, Václav Svoboda Pracovník Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví: Ing. Josef Vašák,<https://csnonline.agentura-cas.cz>
- [10] ČSN EN ISO 13849-1 Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Obecné zásady pro konstrukci. Zpracovatel: Svaz strojírenské technologie IČ00548871, Ing.Leoš Mačák, Pracovník Úřadu pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví: Ing Jaroslav Zajíček.,<https://csnonline.agentura-cas.cz>
- [11] ČSN EN ISO 13855:2010- Bezpečnost strojních zařízení- Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení lidského těla,<https://csnonline.agentura-cas.cz>
- [12] ČSN EN ISO 14120:2015- Bezpečnost strojních zařízení- Ochranné kryty- Obecné požadavky pro konstrukci a výrobu pevných a pohyblivých ochranných krytů,
<https://csnonline.agentura-cas.cz>
- [13] Strojní zařízení
<https://www.elektroprumysl.cz/legislativa/uplatneni-strojirenske-smernice-2006-42-es-a-postup-pri-vyrobe-strojního-zarizeni>
- [14] Čerpadlový systém- autocisterna- Využití LNG v dopravě a energetice a jeho bezpečnost.
<https://docplayer.cz/171747760-Vyuziti-Ing-v-doprave-a-energetice-a-jeho-bezpecnost-zdenek-dufek-petr-benes-jiri-pospasil-jiri-skorpik-vaclav-zivec-milan-martinka.html>
- [15] Strojní zařízení- řetězový zvedák
<https://domacitechnika.cz/cb-02-p18319/>
- [16] Pottinger Novadisc
https://www.zvagro.cz/files/2878-0-012.08.1211_Novacat_disc_cz.pdf
- [17] ABB Bezpečnostní systémy
<https://new.abb.com/low-voltage/cs/nizke-napeti/produkty/bezpecnostni-systemy>
- [18] Příslušenství pro zdvihání
https://www.lana-pecko.cz/PDF/katalog_Pecko.pdf
- [19] Řetěz pro zdvihání
<http://www.retezarna.cz/cz/katalog-produktu/21-retezy-pro-ucely-zdvihani-csn-en-818-3-jakost-40.html>
- [20] Odnímatelné mechanické převodové zařízení

- <https://www.prostrojecz.cz/produkt/zavesne-vrtaci-zarizeni-za-traktor-l-30/>
[21] Neúplné strojní zařízení- robotické rameno ABB IRB 6620
<https://new.abb.com/products/robotics/cs/prumyslove-roboty/irb-6620>
[22] Příklady piktogramů zdrojů nebezpečí
<https://www.reoamos.cz/znacky-vystrahy-symboly-bez-textu/c-201/>
[23] Bezdotykové blokovací zařízení SICK STR1
<https://www.sick.com/cz/cs/blokovaci-zarizeni/bezdotykova-blokovaci-zarizeni/str1/c/g353451>
[24] Světelná závora
<https://automatizace.hw.cz/bezpecnost-stroju/bezpecnost-stroju-a-zarizeni-realizovana-svetelnymi-zavesy>
[25] Světelná závora s funkcí MUTING
<https://www.sick.com/cz/cs/nase-kompetence-voblasti-bezpecnosti-stroju/rozlisovani-meziclovekem-a-materialem/w/man-material-differentiation/>
[26] Třípolohové tlačítko ABB JSHD4
<https://new.abb.com/low-voltage/products/safety-products/safety-control-devices/jshd4>
[27] Mobilní ovládací panel HMI SIMATIC s třípolohovým tlačítkem
<https://new.siemens.com/global/en/products/automation/simatic-hmi/panels/mobile-panels.html>
[28] Nášlapná bezpečnostní rohož ABB ASK1T <https://new.abb.com/low-voltage/cs/nizke-napeti/produkty/bezpecnostni-systemy/bezpecnostni-kontakti-hrany-narazniky-a-bezpecnostni-rohoze/ask-1t>
[29] ČSN EN ISO 13850:2017- Bezpečnost strojních zařízení- Funkce nouzového zastavení- Zásady pro konstrukci, <https://csnonline.agentura-cas.cz>
[30] ČSN EN ISO 10218-1 Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů, Část 1: Roboty, <https://csnonline.agentura-cas.cz>
[31] ČSN EN ISO 10218-2 Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů, Část 2: Systémy robotů a integrace, <https://csnonline.agentura-cas.cz>
[32] Bezpečnostní oplocení
<https://www.schmachtl.cz/oploceni>
[33] Elektronický dveřní systém
<https://www.euchner.de/cs-cz/vyrobky/multifunctional-gate-box-mgb2/mgb2-l-hr-br/mgb2-11h-br-u-s0-db-l-161775/#description-tab>
[34] Tlačítka nouzového zastavení
<https://www.se.com/cz/cs/product/XALK178/žlutá-skříňka---1-červené-hřibové-tlač.-nouz.-zastav.-ø40-uvolnění-otočením-1v>
[35] Bezpečnostní laserové skenery
<https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicka-ochranna-zarizeni/bezpecnostni-laserove-skenery/microscan3/c/g295657>
[36] Senzor přítomnosti bedny na NOK kusy
<https://www.sick.com/cz/cs/blokovaci-zarizeni/bezdotykova-blokovaci-zarizeni/in4000-standard/in40-d0303k/p/p41312>
[37] Senzory polohy pojížděcích dveří
<https://www.sick.com/cz/cs/blokovaci-zarizeni/bezdotykova-blokovaci-zarizeni/str1/c/g353451>
[38] Senzor přítomnosti vozíků
<https://www.sick.com/cz/cs/blokovaci-zarizeni/bezdotykova-blokovaci-zarizeni/in4000-standard/in40-d0303k/p/p41312>
[39] Senzor polohy produktu na dopravníku
https://www.sick.com/cz/cs/optoelektronicke-snimace/c/g172752?q=:Def_Type:Product

[40] Senzory polohy dvířek u komor

<https://www.sick.com/cz/cs/blokovaci-zarizeni/bezdotykova-blokovaci-zarizeni/re2/c/g274654>

[41] Bezpečnostní PLC

<https://www.rockwellautomation.com/en-id/products/hardware/allen-bradley/programmable-controllers/small-controllers/compactlogix-family/compactlogix-5380-controllers.html>

[42] Maják

<https://www.se.com/cz/cs/product/XVC4B4K>

[43] ISO/TR 14121-2 Bezpečnost strojních zařízení - Posouzení rizika - Část 2: Praktický návod a příklady metod

[44] Pracoviště kolaborativního robotu s operátorem

<https://www.elektroprumysl.cz/automatizace/implementace-kolaborativnich-robotu-z-pohledu-legislativy>