



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

BEZPEČNOST VYBRANÉHO VÝROBNÍHO UZLU AUTOMATIZOVANÉ LINKY PRO VÝROBU AUTOMOBILOVÝCH KAROSÉRIÍ

SAFETY OF A SELECTED PRODUCTION NODE OF AN AUTOMATED BODY PRODUCTION LINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Štěpán Plachý

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.

BRNO 2021

Zadaní diplomové práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	Bc. Štěpán Plachý
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Kvalita, spolehlivost a bezpečnost
Vedoucí práce:	doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Akademický rok:	2020/21

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

Bezpečnost vybraného výrobního uzlu automatizované linky pro výrobu automobilových karosérií

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Strojní zařízení uváděná na trh EU musí splňovat kromě požadavků zákazníků i požadavky harmonizačních právních předpisů EU. Výrobce musí provést a dokumentovat analýzu rizik při vývoji těchto zařízení, identifikovat potenciální nebezpečí, odhadnout rizika, navrhnout a verifikovat preventivních opatření použitá pro snížení nepřijatelných rizik.

Práce je zaměřena na analýzu požadavků na bezpečnost vybraného uzlu automatizované výrobní linky, identifikaci nebezpečí, odhad rizika a návrh preventivních opatření pro zajištění dostatečné úrovně bezpečnosti posuzované části automatizované linky.

Cíle diplomové práce:

Rešerše současného stavu požadavků plynoucích z relevantních směrnic Evropského parlamentu a Rady.

Systémový rozbor řešené problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu.

Analýza požadavků standardů – harmonizovaných norem – v oblasti bezpečnosti vybraného uzlu výrobní linky.

Identifikace nebezpečí, odhad a posouzení rizik.

Návrh variantních řešení layoutu pracoviště se zohledněním preventivních opatření pro snížení významných rizik.

Technicko–ekonomické posouzení variantních řešení.

Technické a bezpečnostní výpočty pro výslednou variantu pracoviště.

Vlastní závěry a/nebo doporučení.

Seznam doporučené literatury:

MAREK, Jiří, et al. Konstrukce CNC obráběcích strojů III. 1. Praha: MM publishing, s.r.o., 2014. MM speciál. ISBN 978-80-260-6780-1.

Infozdroje.cz. Infozdroje.cz [online]. Praha: Albertina icome Praha s.r.o., 2016 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: www.infozdroje.cz

MM Průmyslové spektrum. MM Průmyslové spektrum [online]. Praha: MM publishing, s. r. o., 2016 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com>

EUR-Lex: Přístup k právu Evropské unie [online]. Brusel: Úřad pro publikace, 2016 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu>

ČSN online [online]. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016 [cit. 2016-11-04]. Dostupné z: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá bezpečností vybraného výrobního uzlu automatizované linky pro výrobu automobilových karosérií. V první části práce je řešena rešerše relevantních směrnic Evropského parlamentu a Rady. Následuje systémový rozbor řešené problematiky a popis zařízení. V další části práce je provedena analýza harmonizovaných norem v oblasti bezpečnosti výrobní linky. Dále je provedena identifikace nebezpečí, odhad a posouzení rizik. V poslední části práce jsou vytvořeny variantní návrhy zabezpečení pracoviště, technicko-ekonomické posouzení variant a výpočty pro výslednou variantu pracoviště.

ABSTRACT

This master's thesis deals with the safety of a selected production node of an automated body production line. The first part is focused on a recherche of relevant directives by the Council and the European parliament. Follows a systems analysis of a solving issue and description of the production line. In the next part of the thesis, there is an accomplished analysis of harmonized standards in the safety of the production line. Furthermore, there is made hazard identification, risk estimation and risk assessment. The last part of the thesis is focused on a variants creation of safety of a workplace, technical-economic consideration of variants and computations for a final variant of the workplace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Automatizovaná linka, svařování karoserie automobilu, harmonizované normy, analýza rizik, bezpečnost výrobního uzlu.

KEYWORDS

Automated production line, car body welding, harmonized standards, risk analysis, safety of a production node.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PLACHÝ, Štěpán. *Bezpečnost vybraného výrobního uzlu automatizované linky pro výrobu automobilových karosérií*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132411>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky. Vedoucí práce Petr Blecha.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval doc. Ing. Petru Blechovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a věnovaný čas při vedení této diplomové práce. Dále bych rád poděkoval firmě Chropyňská strojírna, a.s., zvláště jejím vedoucím pracovníkům a ochotným zaměstnancům za umožnění zpracování této práce a veškerý věnovaný čas. Také bych rád poděkoval celé rodině, zvláště rodičům a dále všem blízkým a přátelům za veškerou podporu a pomoc při celém průběhu studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Petra Blechy, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20. 5. 2021

.....

Plachý Štěpán

OBSAH

1	ÚVOD	15
2	MOTIVACE	17
3	REŠERŠE SOUČASNÉHO STAVU POŽADAVKŮ	19
3.1	Směrnice Evropského parlamentu a Rady	19
3.1.1	Směrnice 2006/42/ES o strojních zařízeních.....	19
3.1.2	Směrnice 2014/35/EU o elektrických zařízeních nízkého napětí	22
3.1.3	Směrnice 2014/30/EU o elektromagnetické kompatibilitě (EMC)	23
3.1.4	Směrnice 2014/68/EU o tlakových zařízeních	23
4	SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	25
4.1	Kontext řešené problematiky	25
4.2	Meze strojního zařízení.....	26
4.2.1	Předpokládané použití	26
4.2.2	Důvodně předvídatelné nesprávné použití	26
4.2.3	Určení dalších mezí strojního zařízení	26
4.3	Popis linky a vybraného výrobního uzlu	27
4.3.1	Popis linky	27
4.3.2	Popis vybraného výrobního uzlu – oblast zařízení ARG1	27
4.4	Popis operací vybraného uzlu dle toku materiálu	29
4.4.1	Manuální operace	29
4.4.2	Robotické operace	30
4.5	Návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu	35
5	ANALÝZA POŽADAVKŮ STANDARDŮ	37
5.1	Harmonizované normy v oblasti bezpečnosti vybraného výrobního uzlu.....	37
5.1.1	ČSN EN ISO 12100:2011 Bezpečnost strojních zařízení – Všeob. zásady	37
5.1.2	ČSN EN ISO 13849-1:2017 Bezpečnostní části ovládacích systémů.....	41
5.1.3	ČSN EN ISO 10218-2:2011 Bezpečnost průmyslových robotů	43
5.1.4	ČSN EN 60204-1:2019 Elektrická zařízení strojů – Obecné požadavky	45
5.1.5	Další harmonizované normy.....	47
6	IDENTIFIKACE NEBEZPEČÍ, ODHAD A POSOUZENÍ RIZIK	49
6.1	Identifikace nebezpečí dle konstrukce pracoviště	49
6.2	Fáze životního cyklu strojního zařízení	51
6.3	Postup pro odhad rizika	53
6.4	Identifikace nebezpečí, odhad a posouzení rizik	56
7	NÁVRH ZABEZPEČENÍ PRACOVIŠTĚ	69
7.1	Návrh variantních řešení layoutu pracoviště	69
7.2	Technicko-ekonomické posouzení variantních řešení	72
7.2.1	Zhodnocení a výběr výsledné varianty	74
7.3	Technické a bezpečnostní výpočty pro výslednou variantu pracoviště	75
8	ZÁVĚR	77
9	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	79
10	SEZNAM ZKRATEK, OBRÁZKŮ A TABULEK	81
10.1	Seznam tabulek	81
10.2	Seznam obrázků.....	81

10.3 Seznam zkratek.....	82
11 SEZNAM PŘÍLOH.....	83

1 ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá bezpečností vybraného výrobního uzlu automatizované linky pro výrobu automobilových karosérií. Samotná strojní zařízení, která jsou uváděna na trh EU, musí splňovat mimo požadavků zákazníka také harmonizační právní předpisy EU. V práci je provedena v první části analýza požadavků na bezpečnost z hlediska relevantních směrnic Evropského parlamentu a Rady a z hlediska harmonizovaných norem v oblasti bezpečnosti daného uzlu výrobní linky. Dále je provedena identifikace nebezpečí, odhad rizik a návrh preventivních opatření, aby bylo docíleno dostatečné úrovně bezpečnosti v uzlu dané linky. V další části práce jsou navrhovány různé variantní řešení zabezpečení pracoviště a na základě technicko-ekonomického posouzení vybrána finální varianta řešení s provedením bezpečnostních výpočtů.

Popisovaná linka je určena konkrétně pro výrobu levého vnitřního rámu (postranice) automobilu. Linka samotná se dělí do 4 oblastí zařízení (tzv. ARG), z nichž každá oblast má zároveň samostatný ochranný okruh i přívod médií. Jako řešený výrobní uzel v této diplomové práci je volena jedna z oblastí zařízení, konkrétně první oblast ARG1. V této oblasti probíhá zakládání požadovaných dílů pracovníkem do zakládacích stolů přes dvě zakládací okna. Poté již pokračují automatizované operace pomocí otočných stolů a průmyslových robotů, kteří zajišťují plynulý materiálový tok, bodové robotické svařování, svařování pod stacionárními kleštěmi a transport do dalších částí linky. Ve zbývajících třech oblastech linky dochází k principiálně podobným operacím, které jsou doplněny o lepení, označování a transport přes dopravníky do navazujících linek.

2 MOTIVACE

V průmyslovém prostředí se vyskytují mnohá úskalí a nebezpečí pro samotné pracovníky. V poslední době je proto kladen stále větší důraz na samotnou bezpečnost provozů (např. i z důvodu snížení kvalifikace pracovníků – agenturní pracovníci), aby nedocházelo k žádným bezpečnostním incidentům a úrazům obsluhy. Samotná oblast automatizace, resp. robotizace v sobě skrývá další potenciální nebezpečí ve formě programovatelných pohybů robotů či jejich samotného řízení apod. S tím souvisí velké množství legislativy na úrovni Evropské unie, stejně tak i samotné České republiky, které je nutno brát v úvahu a plnit při uvádění na trh a provozování automatizovaných linek.

Stejně tak je dnes kladen stále větší důraz na produktivitu, což zahrnuje kompletní zajištění bezpečnosti a tím zmenšení prostojů a růst produkce firmy. Se zavedením robotů, resp. automatizací zefektivňujeme a zkvalitňujeme celý výrobní proces, a to díky vysoké přesnosti při manipulaci výrobků za využití velké rychlosti. Při zavedení robotizace plyne pro firmu celá řada výhod, např.: řešení nedostatku pracovních sil, namáhavé činnosti pro pracovníky jsou přesunuty na stroje, zvýšení kvality výrobků, vyšší efektivita stroje nebo linky, omezení práce v nebezpečném prostoru pro pracovníky, rychlejší a přehlednější materiálový tok atd [1].

Níže je uveden obrázek ilustrující svařovací automatizovanou linku na výrobu automobilových karosérií (viz Obr. 1) firmy Chropynská strojírna a.s.



Obr. 1) Svařovací automatizovaná linka na výrobu automobilových karosérií [2]

3 REŠERŠE SOUČASNÉHO STAVU POŽADAVKŮ

Při uvádění dané linky (strojního zařízení) na evropský trh je nutné prokázat její shodu s technickou dokumentací a se základními požadavky (na základě prohlášení o shodě) a je potřebné brát v úvahu harmonizační právní předpisy EU. Tato kapitola se zabývá analýzou požadavků na bezpečnost posuzované linky dle směrnic evropského parlamentu a Rady.

3.1 Směrnice Evropského parlamentu a Rady

Směrnice Evropského parlamentu a Rady jsou závazné pro členské státy, kterým jsou adresované, to však až na určité výjimky bývají všechny členské státy EU. V takovém případě musí daný stát implementovat danou směrnici do svého právního řádu v určitém časovém období, což je prováděno např. ve formě nařízení vlády. V opačném případě hrozí členské zemi soudní proces u Evropského soudního dvora.

3.1.1 Směrnice 2006/42/ES o strojních zařízeních

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/42/ES o strojních zařízeních a o změně směrnice 95/16/ES byla vydána dne 17. května 2006 a implementována 21. dubna 2008 do právního řádu České republiky ve formě nařízení vlády č. 176/2008 Sb. o technických požadavcích na strojní zařízení. [3]

Dle směrnice se mimo jiné rozumí [4]:

- „strojním zařízením: soubor, který je vybaven nebo má být vybaven poháněcím systémem, který nepoužívá přímo vynaloženou lidskou nebo zvířecí sílu, sestavený z částí nebo součástí, z nichž alespoň jedna je pohyblivá, vzájemně spojených za účelem přesně stanoveného použití“
- „bezpečnostní součástí: součást,
 - která plní bezpečnostní funkci,
 - která se uvádí na trh samostatně,
 - jejíž selhání nebo chybná funkce ohrožuje bezpečnost osob a
 - která není nezbytná k tomu, aby strojní zařízení fungovalo, nebo pomocí níž je možno nahradit běžné součásti nezbytné pro fungování strojního zařízení.“
- „uvedení na trh: první zpřístupnění strojního zařízení nebo neúplného strojního zařízení na trhu Společenství za účelem jeho distribuce nebo používání, ať za úplatu nebo bezplatně“
- „nebezpečím: možný zdroj poranění nebo poškození zdraví“
- „nebezpečným prostorem: každý prostor uvnitř nebo okolo strojního zařízení, ve kterém je osoba vystavena nebezpečí, které ohrožuje její zdraví nebo bezpečnost“
- „ohroženou osobou: osoba nacházející se se zcela nebo zčásti v nebezpečném prostoru“
- „obslouhou: osoba nebo osoby provádějící instalaci, obsluhu, seřizování, údržbu, čištění, opravu nebo přepravu strojního zařízení“
- „rizikem: kombinace pravděpodobnosti a závažnosti poranění nebo škody na zdraví, ke které může dojít v nebezpečné situaci“
- „ochranným krytem: část strojního zařízení, které se používá výhradně k zajištění ochrany pomocí fyzické bariéry“
- „ochranným zařízením: zařízení (vyjma ochranného krytu), které snižuje riziko, a to samotné nebo ve spojení s ochranným krytem“

- „předpokládaným použitím: *používání strojního zařízení v souladu s informacemi uvedenými v návodu k používání*“
- „důvodně předvídatelným nesprávným použitím: *použití strojního zařízení způsobem, který není uveden v návodu k používání, který však může vyplývat ze snadno předvídatelného lidského chování*“

Obecné zásady, které musí splnit strojní zařízení při uvedení na trh dle přílohy č.1 v této směrnici [4]:

- Výrobce nebo jeho zplnomocněný zástupce musí zajistit posouzení rizika a určit požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost, kde toto strojní zařízení musí být navrženo a konstruováno s přihlédnutím k daným výsledkům posouzení rizika

Při výše uvedeném postupu posuzování a snižování rizika výrobce či jeho zplnomocněný zástupce:

- určí meze strojního zařízení – předpokládané a důvodně předvídatelné nesprávné použití,
- určí nebezpečí vyplývající ze strojního zařízení,
- odhadne rizika se zohledněním k závažnosti poranění a pravděpodobnost jejich výskytu
- vyhodnotí rizika a určí, zda je v souladu se směrnicí nutné jejich snížení
- vyloučí nebezpečí či sníží rizika s nebezpečím spojená s použitím ochranných opatření
- uvědomí uživatele o případném přetrvávajícím nebezpečí či specifikuje nutnost ochranných osobních prostředků
- Strojní zařízení musí být konstruováno a navrženo, aby plnilo funkci a bylo provozováno či udržováno bez vystavení osob riziku, s přihlédnutím k předpokládanému, avšak i důvodně předvídatelnému nesprávnému použití
- Strojní zařízení musí při konstrukci a návrhu brát v úvahu omezení, jimž je obsluha vystavena při používání ochranných osobních prostředků
- Strojní zařízení musí být dodáváno s příslušenstvím a veškerým vybavením umožňujícím údržbu, seřízení a používání zařízení bez rizika

Vybrané základní požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost strojního zařízení dle přílohy č. 1 této směrnice [4]:

- Materiály a výrobky
 - Použité při výrobě zařízení nebo výrobky vytvářené během používání nesmí ohrožovat zdraví nebo bezpečnost osob.
- Osvětlení
 - Strojní zařízení se musí dodávat s vestavěným osvětlením, které je vhodné pro dané operace v případě, že osvětlení o běžné intenzitě by mohlo způsobit riziko
 - Nesmí se vyskytovat žádné oblasti rušivého stínu nebo oslnění, ani žádný stroboskopický jev na pohyblivých částech
 - Vnitřní části vyžadující kontrolu, seřízení či údržbu se musí vybavit vhodným osvětlením
- Konstrukce strojního zařízení z hlediska manipulace
 - Musí umožnit bezpečnou manipulaci a přepravu
 - Musí být zabaleno či upraveno tak, aby šlo bezpečně skladovat bez poškození

- Ergonomie
 - Při podmínkách používání stroje musí být únava, nepohodlí, fyzická a psychická zátěž obsluhy snížena na nejmenší možnou míru s přihlédnutím k ergonomickým zásadám (přizpůsobení se tělesným rozměrům a síle obsluhy, vyhnout se tempu práce udávající strojem, ...)
- Stanoviště obsluhy
 - Musí být navrženo a konstruováno s vyloučením jakéhokoli zdravotního rizika vyvolaného výfukovými plyny či nedostatkem kyslíku
 - Jeli zařízení určeno k používání nebo vytváří-li nebezpečné prostředí, musí být poskytnuty vhodné prostředky pro obsluhu k dosažení dobrých pracovních podmínek (např. kabina pro obsluhu)

Seznam dalších základních oblastí, na které se vztahují požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost strojního zařízení dle směrnice 2006/42/ES [4]:

- Sedadlo
- Bezpečnost a spolehlivost ovládacích systémů
- Ovládací zařízení
- Spouštění
- Zastavování (běžné zastavení, provozní zastavení, nouzové zastavení, soubor strojního zařízení)
- Volba ovládacích nebo pracovních režimu
- Výpadek dodávky energie
- Riziko ztráty stability
- Riziko destrukce během provozu
- Rizika způsobená padajícími nebo vymrštěnými předměty
- Rizika způsobená povrchy, hranami a rohy
- Rizika týkající se kombinovaného strojního zařízení
- Rizika související se změnami provozních podmínek
- Rizika způsobená pohybujícími se částmi
- Volba ochrany před riziky vyplývajícími z pohybujícími se částmi
- Pohybující se části převodů
- Pohybující se části přímo se podílející na pracovním procesu
- Riziko neřízených pohybů
- Zvláštní požadavky na ochranné kryty (pevné ochranné kryty, snímatelné ochranné kryty se zajištěním, nastavitelné ochranné kryty omezující přístup)
- Zvláštní požadavky na ochranná zařízení
- Přívod elektrické energie
- Statická elektřina
- Přívod jiné než elektrické energie
- Chybná instalace
- Extrémní teploty
- Požár
- Výbuch

- Hluk
- Vibrace
- Záření
- Vnější záření
- Laserové záření
- Emise nebezpečných materiálů a látek
- Riziko zachycení ve stroji
- Riziko uklouznutí, zakopnutí nebo pádu
- Úder blesku
- Údržba strojního zařízení
- Přístup ke stanovištím obsluhy a místům údržby
- Odpojení zdrojů energie
- Zásah obsluhy
- Čištění vnitřních částí
- Informace a výstrahy na strojním zařízení (informace a informační zařízení, výstražná zařízení)
- Výstraha před dalšími (zbytkovými) riziky
- Značení strojního zařízení
- Návod k používání

3.1.2 Směrnice 2014/35/EU o elektrických zařízeních nízkého napětí

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/35/EU o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se dodávání elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí na trh byla vydána dne 26. února 2014. Její implementace do právního řádu ČR byla provedena 30. března 2016 Nařízením vlády č. 118/2016 Sb. o posuzování shody elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí při jejich dodávání na trh. [5]

Základní prvky bezpečnostních zásad pro elektrická zařízení nízkého napětí dle přílohy č. 1 směrnice 2014/35/EU [6]:

- Nutnost uvádět základní údaje a pokyny (přímo na zařízení, případně výjimečně v příloženém dokladu), které je nutné znát a dodržovat, a tím užívat zařízení bezpečně a ke stanovenému účelu
- El. zařízení a jeho části musí mít provedení, aby je bylo možno správně a bezpečně připojit a smontovat
- El. zařízení musí mít zajištěnou ochranu před nebezpečími, která jsou uvedeny v následujících bodech:
 - Nebezpečí fyzického poranění nebo jiného poškození, které by mohlo být způsobené nepřímo nebo přímým dotykem
 - Vznik teploty, elektrického oblouku nebo záření, které mohou být potenciálně nebezpečné
 - Nebezpečí neelektrického charakteru, která by mohla být způsobena elektrickým zařízením
 - Nebezpečí neodpovídající izolace v předvídatelných podmínkách

- Nebezpečí ohrožení osob, domácích zvířat a majetku za předpokládaných podmínek mechanického namáhání
- Nebezpečí ohrožení osob, ... při působení jiných než mechanických vlivů za předpokládaných podmínek okolního prostředí
- Nebezpečí ohrožení osob, ... při předvídatelných podmínkách přetížení

3.1.3 Směrnice 2014/30/EU o elektromagnetické kompatibilitě (EMC)

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/30/EU o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se elektromagnetické kompatibility ze dne 26. února 2014 byla implementována do právního řádu ČR 18. 4. 2016 ve formě Nařízení vlády č. 117/2016 Sb. o posuzování shody výrobků z hlediska elektromagnetické kompatibility při jejich dodávání na trh. [7]

Základní požadavky na zařízení dle přílohy I zmíněné směrnice [8]:

- Zařízení musí být svým návrhem a výrobou uzpůsobena k tomu, že:
 - Elektromagnetické rušení, které budou způsobovat, nepřesáhne úroveň za níž by telekomunikační, rádiová a jiná zařízení nebyla schopna fungovat v souladu s určeným použitím
 - Dosahují dostatečné úrovně odolnosti vůči elmag. rušení při jejich provozu v souladu s určeným použitím, což jim umožní fungovat bez nepřijatelného zhoršení provozu v souladu s použitím
- Zvláštní požadavky na pevné instalace (sestava přístrojů, instalována a určena k trvalému používání na předem daném místě):
 - Pevná instalace musí být instalována při použití správné technické praxe a také s ohledem na údaje o určeném použití komponentů, aby byly požadavky v předešlém bodě splněny

3.1.4 Směrnice 2014/68/EU o tlakových zařízeních

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/68/EU o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se dodávání tlakových zařízení na trh ze dne 15. května 2014 byla implementována do právního řádu ČR dne 19. 7. 2016 jako Nařízení vlády č. 219/2016 Sb. o posuzování shody tlakových zařízení při jejich dodávání na trh. [9]

Základní bezpečnostní požadavky směrnice dle přílohy I [10]:

- Zařízení musí být navrženo pro zatížení odpovídající určenému použití a dalším předvídatelným provozním podmínkám. Nutno brát v úvahu zejména tyto činitele:
 - Vnitřní/vnější tlak
 - Pracovní teplotu a okolní teplotu
 - Statický tlak a hmotnost obsahu za zkušebních i provozních podmínek
 - Zatížení větrem, dopravou a zemětřesením
 - Reakční síly a momenty vyvozené upevněním, podporami, potrubím apod.
 - Únavu, erozi, korozi apod.
 - Rozklad nestabilních tekutin
- Návrh zabezpečující dostatečnou pevnost musí být založen na jedné z následujících metod:
 - Výpočtová metoda (počítána odolnost vůči vnitřnímu tlaku a dalšímu zatížení, pevnost, popř. zajištění konstrukce z hlediska stability)

- Experimentální metoda (doplněná v případě potřeby na reprezentativním vzorku)
- Zvláštní pozornost pro zajištění bezpečného provozu by měla být věnována mimo jiné:
 - Uzávěrům a otvorům
 - Nebezpečným výpustím z pojistných armatur
 - Zařízením bránícím fyzickému přístupu (v případě přetlaku či vakua)
 - Povrchové teplotě
 - Materiálům
- Další bezpečnostní požadavky dle směrnice týkající se oblastí:
 - Prostředky kontroly (fyzický přístup do vnitřku zařízení apod.)
 - Prostředky odvodnění a odvzdušnění
 - Koroze a jiné chemické účinky
 - Opatření
 - Sestavy
 - Plnění a vypouštění
 - Ochrana proti překročení dovolených mezí tlakových zařízení
 - Bezpečnostní výstroj
 - Vnější požár
 - Výrobní postupy
 - Konečné posouzení (konečná kontrola a tlaková zkouška)
 - Označování a opatření štítkem
 - Návod k použití

4 SYSTÉMOVÝ ROZBOR ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

4.1 Kontext řešené problematiky

Řešená problematika se zabývá bezpečností vybraného výrobního uzlu automatizované linky pro výrobu automobilových karosérií. Vybraný výrobní uzel konkrétní linky (resp. i linka samotná) je dle definice (viz kap. 3.1.1 této práce) strojním zařízením. Daná linka bude provozována zákazníkem v ČR, tedy výrobce (Chropýňská strojírna, a.s.) bude uvádět strojní zařízení na trh EU. Z toho důvodu je nutné postupovat dle harmonizačních právních předpisů EU, které budou konkrétně zmíněny dále.

Výrobce se tedy musí řídit Rozhodnutím Evropského parlamentu a Rady č. 768/2008/ES o společném rámci pro uvádění výrobků na trh [11]. Na základě tohoto právního předpisu jsou stanoveny mimo jiné následující povinnosti výrobců:

- Při uvádění výrobků na trh musí zajistit, aby byly vyrobeny a navrhovány v souladu s požadavky příslušných právních předpisů (uvedeny dále)
- Vyhotoví požadovanou technickou dokumentaci a provedenou příslušný postup posouzení shody (v případě prokázání souladu s požadavky, vypracují ES prohlášení o shodě a připojí označení shody)
- Předloží vnitrostátnímu orgánu na základě odůvodněné žádosti všechny informace a dokumentaci nezbytné k prokázání shody výrobku a spolupracují s tímto orgánem.

Na vybrané strojní zařízení se mimo jiné vztahují následující příslušné harmonizační právní předpisy (směrnice Evropského parlamentu a Rady; viz kap. 3 této práce):

- Směrnice 2006/42/ES o strojních zařízeních
- Směrnice 2014/35/EU o elektrických zařízeních nízkého napětí
- Směrnice 2014/30/EU o elektromagnetické kompatibilitě
- Směrnice 2014/68/EU o tlakových zařízeních

Výše zmíněná směrnice 2006/42/ES o strojních zařízeních [4] předepisuje, že strojní zařízení musí splnit při uvedení na trh mimo jiné následující (viz kap. 3.1.1):

- Výrobce musí zajistit posouzení rizika a určit požadavky na ochranu zdraví a bezpečnost, kde strojní zařízení musí být navrženo a konstruováno s přihlédnutím k daným výsledkům
- Musí být konstruováno a navrženo, aby plnilo funkci a bylo provozováno či udržováno bez vystavení osob riziku
- Musí být dodáno s veškerým příslušenstvím a vybavením umožňujícím údržbu, seřízení a používání zařízení bez rizika

Chce-li tedy výrobce uvést na trh EU strojní zařízení, musí splnit příslušné harmonizační právní předpisy týkající se tohoto zařízení. Za splnění těchto předpisů se bere splnění požadavků příslušných harmonizovaných norem. Při prokázání splnění příslušných norem může výrobce označit zařízení označením shody (CE). Následuje určení mezí a konkrétní popis vybraného strojního zařízení.

4.2 Meze strojního zařízení

Dle směrnice 2006/42/ES o strojních zařízeních a dle ČSN EN ISO 12100:2011 musí výrobce určit meze strojního zařízení – včetně předpokládaného a důvodně předvídatelného nesprávného použití. Tato kapitola 4.2 je zpracována na základě [12].

4.2.1 Předpokládané použití

Výrobní zařízení je určeno výhradně k výrobě dílu „vnitřní rám levý“ pro typy vozidel SK316x dle postupů a s vybavením popsanych v dalších kapitolách a v souladu s informacemi uvedenými v návodu k používání. (Jakékoli jiné použití nebo použití nad rámec platí jako v rozporu s určeným účelem. Výrobce neodpovídá za škody vyplývající z jednání v rozporu s pokyny.)

K použití k určenému účelu patří také:

- Dodržování všech pokynů uvedených v podkladech předávané dokumentace (provozovateli), zejména bezpečnostních pokynů.
- Dodržování intervalů uvedených v plánu údržby (předáno provozovateli).
- Dodržování firemních podkladů (interní předpisy provozovatele).

4.2.2 Důvodně předvídatelné nesprávné použití

Jako předvídatelné nesprávné použití platí například:

- Jakékoli použití odchylovající se od výše uvedeného používání k určenému účelu nebo použití tento rámec přesahující
- Jízda osob na dopravníku
- Vstup na bezpečnostní zařízení nebo přecházení po něm
- Nedodržení bezpečnostních pokynů
- Použití jiných než originálních náhradních dílů, resp. příslušenství
- Svévolné přístavování a přestavování zařízení, které by mohlo nepříznivě ovlivnit bezpečnost
- Pokud nebudou bez odkladu odstraněny poruchy, které by mohly nepříznivě ovlivnit bezpečnost
- Jakákoli manipulace se zařízením, sloužícím k bezvadnému fungování, neomezenému používání a aktivní nebo pasivní bezpečnosti
- Pokud není zařízení provozováno v technicky bezvadném stavu, s ohledem na bezpečnost a nebezpečí a při dodržení všech pokynů uvedených v dokumentaci

4.2.3 Určení dalších mezí strojního zařízení

Druhy provozu

- Jednotlivý pohyb (seřízení, opravy a údržba)
- Jednotlivý provoz (omezený automatický proces na stanici)
- Automatický provoz (sdružený provoz)

Možnosti zásahu uživatelem

- Vkládání dílů
- Poruchy v procesu
- Údržba / opravy

Prostorové meze

Rozsahy pohybů strojního zařízení, požadavky na prostor pro personál obsluhy stroje a vzájemné působení lidí (rozhraní obsluha- stroj) jsou uvedeny v předávané dokumentaci pro odběratele ve formě schémat bezpečnosti, plánů ergonomie, schémat zařízení, softwarových návrhů a simulací (RobCAD a Catia) či layoutu (viz Přílohy 1, resp. 2).

Časové meze

Celková předpokládaná životnost stroje je 7 let při třisměnném provozu denně. Díly řízení, které nedosahují životnosti stroje, jsou uvedeny v předávaném provozním návodu. Intervaly pro údržbu jsou rovněž popsány v provozním návodu, který obdrží odběratel zařízení.

Ostatní vymezení

Meze okolí jako teplota a vlhkost vzduchu jsou uvedeny v provozním návodu. Strojní zařízení se provozuje pouze v průmyslových halách. Na strojích se zpracovávají výlučně díly z oceli, hliníku, eventuálně plastu. Interval pro čištění stroje je popsán v předávaném plánu pro údržbu.

4.3 Popis linky a vybraného výrobního uzlu

Následuje stručný popis celé linky a poté detailnější rozbor řešeného výrobního uzlu. Tato kapitola je zpracována dle [12].

4.3.1 Popis linky

Výrobní zařízení (linka) slouží k výrobě levé vnitřní postranice pro model automobilu SK316/5 a SK316/6 a je dělena do 4 oblastí ARG (vždy se samostatným ochranným okruhem i přívodem médií):

- ARG1SK1 – odebrání Díl vnitřní, Postranice, Nástavek, Přepážky, Výztuha těsnění kanálu, Konzola upevňovací (stanice ST3210), dále odebrání Podběh zadní, Výztuha, Přepážka, Postranice, Výztuha těsnění kanálu, Nástavek postranic (stanice ST3230), poté transport dílů manipulačním robotem a bodové svařování (stanice ST3220), robot na sedmé ose pro transport dílů a stacionární svařování (stanice ST3260) a transport do svařovací stanice (ST3280).
- ARG2SK1 – odebrání Výztuhy sloupku A, Prahu, Díl výztužný a Přepážka (ST3320), Výztuha sloupku A, Sloupek B, Podélník horní a Přepážky (ST3330), roboty na sedmé ose k lepení (ST3340) a pro transport dílů do svařovací stanice (ST3360), a k bodovému svařování (ST3365).
- ARG3SK1 – odebrání svařené sestavy (ST3280) robotem na sedmé ose, k bodovému svařování (ST3370), pak transport dílů do odkládací stanice (ST3372UQ)
 - odebrání svařené sestavy (ST3367) pak sestavy z 3372UQ robotem na sedmé ose, pro transport dílů do svařovací stanice (ST3385).
- ARG4SK1 – robot na sedmé ose, pro transport dílů k bodovému svařování (ST3390) pak do dovářky (ST3400) a do označovače (ST3410), zakládání do Paletové věže (ST3425) a Dopravníku (ST3451/4).

4.3.2 Popis vybraného výrobního uzlu – oblast zařízení ARG1

V oblasti ARG1SK1 (zjednodušeně dále jen ARG1) vstupují příslušné díly do výrobní linky. Konstrukční díly jsou do výrobního procesu vkládány manuálně jedním operátorem.

Obsluhující operátor vkládá jednotlivé díly přes zakládací okna do zakládacích stolů. Během výrobního provozu dochází ke spojování jednotlivých dílů pomocí odporového bodového svařování. Díly jsou na paletách uloženy personálem logistiky na příslušné místa pomocí vysokozdvizného vozíku.

Pomocí signalizačního zařízení operátor rozpozná, který model je ve výrobním procesu a jaké je třeba vkládat díly. V oblasti ARG1 se nachází průmyslový robot na sedmé ose a dva manipulační roboty, které zajišťují plynulý materiálový tok. Dále dva otočné stoly pro svařování a čtyři svařovací roboty. Zakládané díly do zakládacích oken jsou během výrobního procesu spojeny pomocí odporového bodového robotického svařování a s pomocí svařování pod stacionárními kleštěmi. Layout vybraného uzlu ARG1 (bez ochranných zařízení) je uveden v přílohách (viz Příloha č. 1.).

Díly zakládané ve vybraném uzlu pro model SK316/5

ST3210 V01

- Díl vnitřní (5LG.809.353.A)
- Přepážka (5LG.864.637)
- Přepážka (5LG.864.629)
- Postranice (5LG.809.405)
- Nástavek (5LG.809.457)

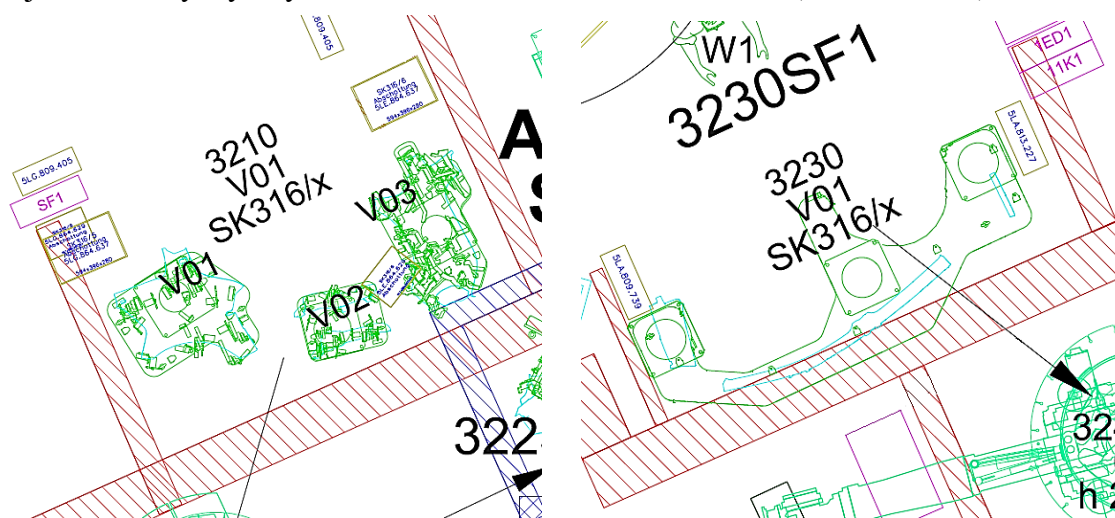
ST3210 V02

- Konzola upevňovací (5LG.803.427)

ST3230 V01

- Podběh zadní vnější (5LA.809.411.B)
- Nástavek postranic (5LA.813.227)
- Výztuha těsnění kanálu (5LG.813.481.A)
- Postranice (5LG.809.421)
- Výztuha (5LG.809.739)
- Přepážka (5LA.864.623)

Níže jsou uvedeny layouty zakládacích stanic ST3210 a ST3230 (viz Obr.2 a, b).



Obr. 2) Layout zakládací stanice a) ST3210, b) ST3230 [12]

Díly zakládáné ve vybraném uzlu pro model SK316/6

ST3210 V03

- Díl vnitřní (5LE.809.353.A)
- Přepážka (5LE.864.637)
- Přepážka (5LE.864.629)
- Postranice (5LE.809.405)
- Nástavek (5LE.809.457)
- Výztuha těsnění kanálu (5LE.813.481.A)

ST3210 V02

- Konzola upevňovací (5LE.803.427)

ST3230 V01

- Podběh zadní vnější (5LA.809.411.B)
- Nástavek postranic (5LA.813.227)
- Postranice (5LE.809.421)
- Přepážka (5LA.864.623)

4.4 Popis operací vybraného uzlu dle toku materiálu

Tato kapitola je zpracována dle [12].

4.4.1 Manuální operace

Operátor zakládá následující konstrukční díly manuálně ve dvou stanicích (ST3210 a ST3230 střídavě) do zakládacích stolů (V01 až V03).

Operátor W1, stanice 3210, model SK316/5

- Odebere konstrukční díl Přepážka (5LG.864.637 a 5LG.864.629) z KLT regálu a vloží jej do zakládacího stolu 3210V01
- odebere konstrukční díl vnitřní (5LG.809.353.A) z palety a vloží jej do zakládacího stolu 3210V01
- odebere konstrukční díl Postranice (5LG.809.405) z palety a vloží jej do zakládacího stolu 3210V01
- odebere konstrukční díl Nástavek (5LG.809.457) z palety a vloží jej do zakládacího stolu 3210V01
- odebere konstrukční díl Konzola upevňovací (5LG.803.427) z palety a vloží jej do zakládacího stolu 3210V02
- ukončení operací pomocí navrženého způsobu zabezpečení – stisknutí tlačítka uvolnění uzavře upínky a pohyblivý ochranný kryt s blokováním (vysvětleno v návrhu zabezpečení dále v práci)

Operátor W1, stanice 3210, model SK 316/6

- odebere konstrukční díl Výztuha těsnění kanálu (5LE.813.481.A) z palety a vloží jej do zakládacího stolu 3210V03
- odebere konstrukční díl Postranice (5LE.809.405) z palety a vloží jej do zakládacího stolu 3210V03

- odebere konstrukční díl Přepážky (5LE.864.637 a 5LE.864.629) z KLT regálu a vloží jej do zakládacího stolu 3210V03
- odebere konstrukční díl vnitřní (5LE.809.353.A) z palety a vloží jej do zakládacího stolu 3210V03
- odebere konstrukční díl Nástavek (5LE.809.457) z palety a vloží jej do zakládacího stolu 3210V03
- odebere konstrukční díl Konzola upevňovací (5LE.803.427) z palety a vloží jej do zakládacího stolu 3210V02
- ukončení operací pomocí navrženého způsobu zabezpečení – stisknutí tlačítka uvolnění uzavře upínky a pohyblivý ochranný kryt s blokováním (vysvětleno v návrhu zabezpečení dále v práci)

Operátor W1, stanice 3230, model SK316/5

- odebere konstrukční díl Postranice (5LG.809.421) z palety a vloží jej do zakládacího stolu 3230V01
- odebere konstrukční díl Výztuha a Přepážka (5LG.809.739, 5LA.864.623) z KLT regálu a vloží jej do zakládacího stolu 3230V01
- odebere konstrukční díl Podběh zadní vnější (5LA.809.411.B) z palety a vloží jej do zakládacího stolu 3230V01
- odebere konstrukční díl Výztuha těsnícího kanálu (5LG.813.481.A) z palety a vloží jej do zakládacího stolu 3230V01
- odebere konstrukční díl Nástavek postranic (5LA.813.227) z palety a vloží jej do zakládacího stolu 3230V01
- ukončení operací pomocí navrženého způsobu zabezpečení – stisknutí tlačítka uvolnění uzavře upínky a pohyblivý ochranný kryt s blokováním (vysvětleno v návrhu zabezpečení dále v práci)

Operátor W1, stanice 3230, model SK316/6

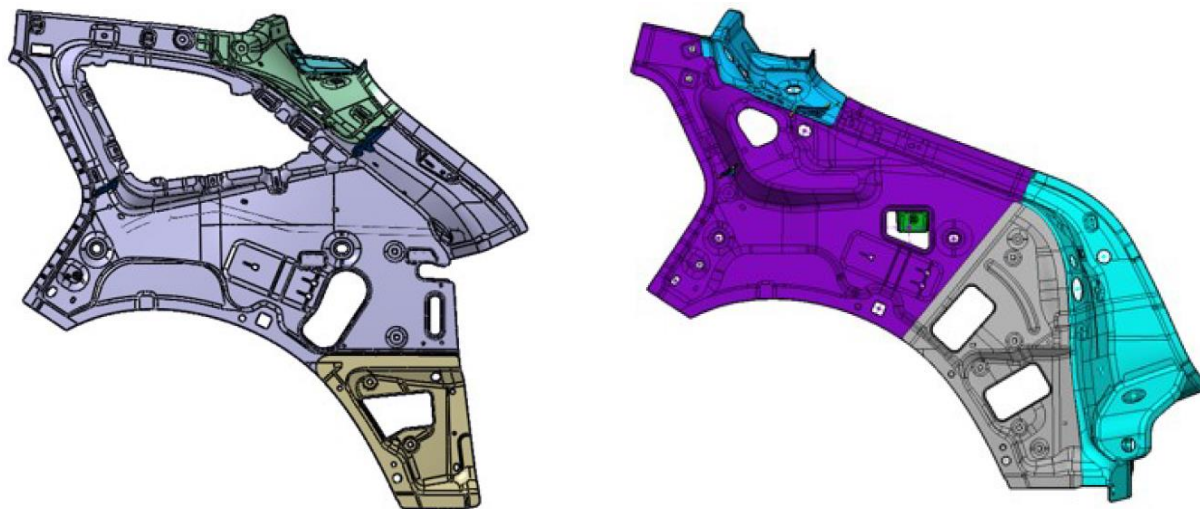
- odebere konstrukční díl Přepážka (5LA.864.623) z KLT regálu a vloží jej do zakládacího stolu 3230V01
- odebere konstrukční díl Postranice (5LE.809.421) z palety a vloží jej do zakládacího stolu 3230V01
- odebere konstrukční díl Nástavek postranic (5LA.813.227) z palety a vloží jej do zakládacího stolu 3230V01
- odebere konstrukční díl Podběh zadní vnější (5LA.809.411.B) z palety a vloží jej do zakládacího stolu 3230V01
- ukončení operací pomocí navrženého způsobu zabezpečení – stisknutí tlačítka uvolnění uzavře upínky a pohyblivý ochranný kryt s blokováním (vysvětleno v návrhu zabezpečení dále v práci)

4.4.2 Robotické operace

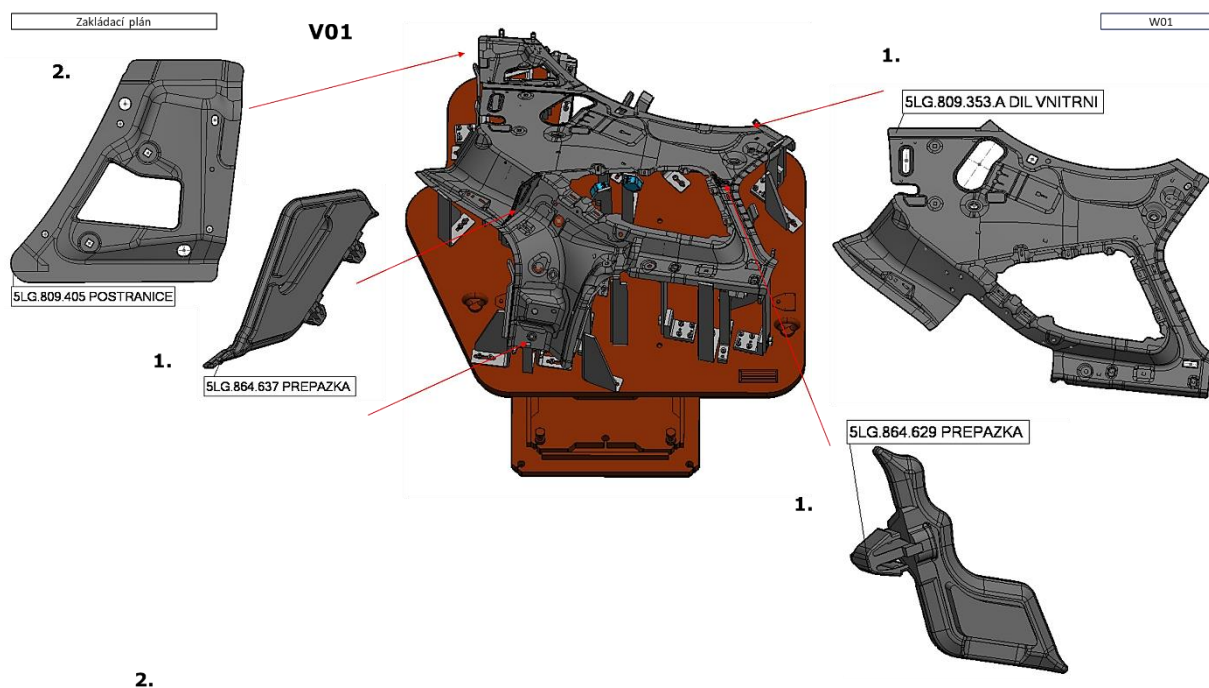
Po naložení dílů do zakládacího stolu ST3210 jsou díly přemístěny robotem 3215R01-G+G do otočného stolu 3220DT1, kde se vykoná robotické svařování robotem 3220R01-Z a 3220R02-Z, poté je díl umístěn do odkládací stanice 3225UQ1 robotem 3215R01-G+G. Díl je odebrán z odkládací stanice robotem 3260R01-G a provede stacionární dovařování, svařenec pak pokládá na otočný stůl 3280DT1 k dalšímu svařování.

Manuálně zakládání dílů ve stanici ST3210

Níže je uvedeno grafické znázornění zakládání dílů ve stanici ST3210 pro jednotlivé modely (viz Obr. 3 a, b) a zakládací plán pro obsluhu na stejné stanici (viz Obr. 4).



Obr. 3) Znáznornění zakládání dílů ST3210 a) SK316/5 b) SK316/6 [12]

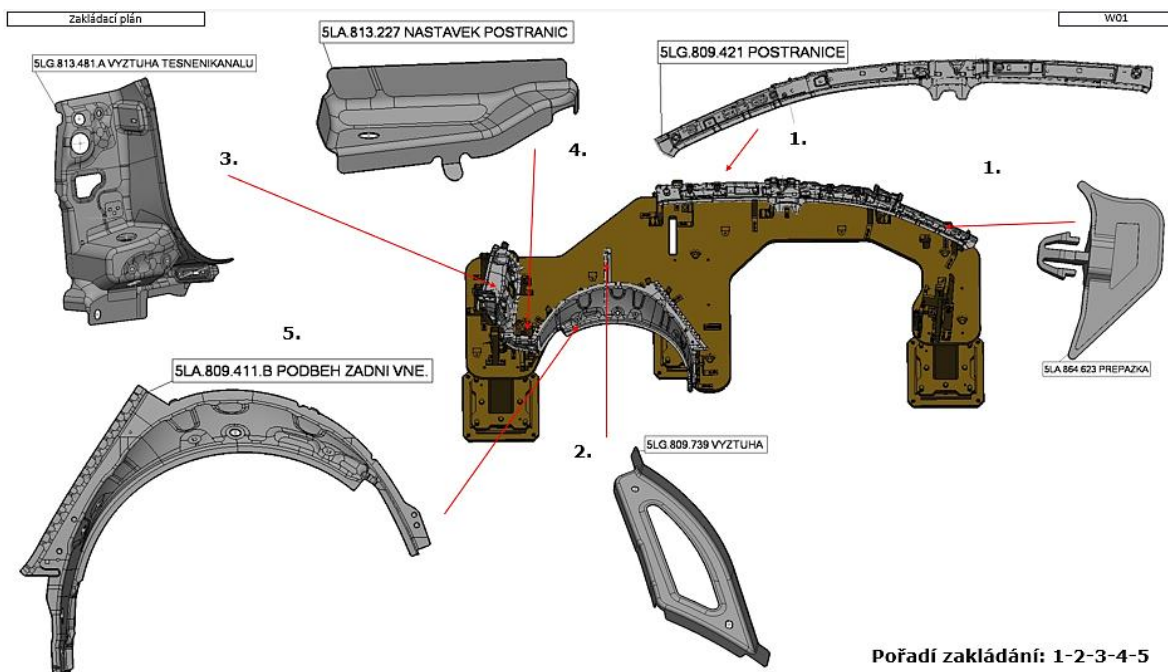


Obr. 4) Zakládací plán pro obsluhu ST3210, SK316/5 [13]

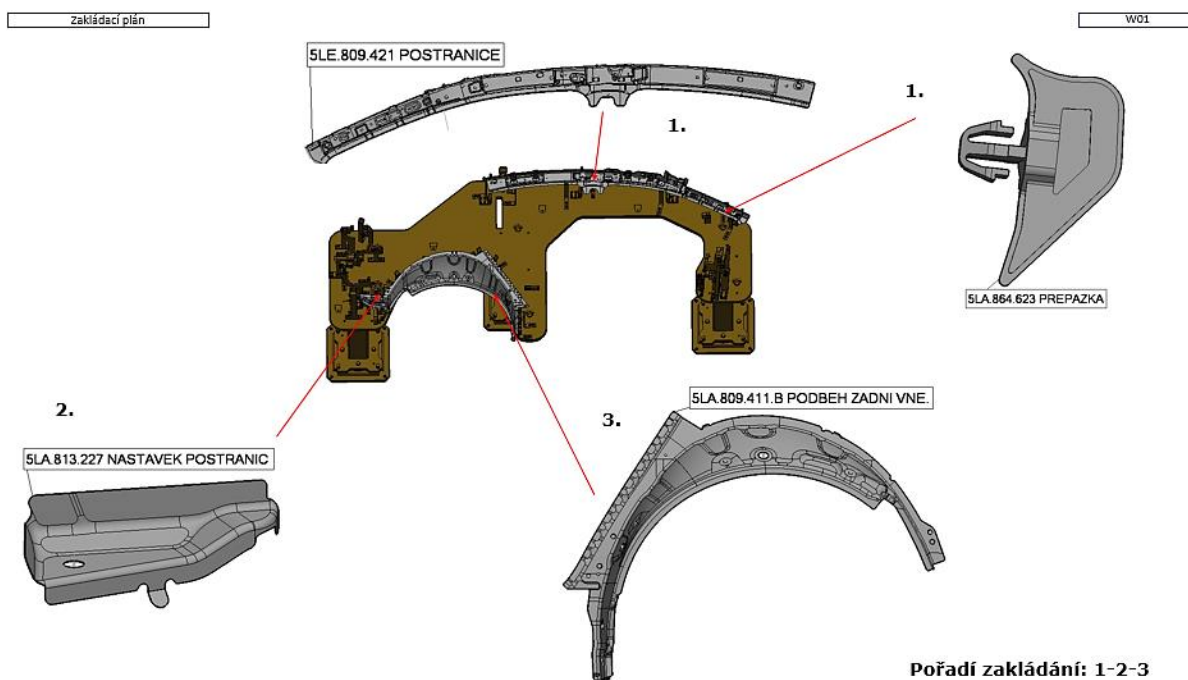
Manuálně zakládání dílů ve stanici ST3230

Po založení dílů do zakládacího stolu ST3230 jsou díly přemístěny robotem 3240R01-G do otočného stolu 3280DT1 ke svařování.

Níže jsou uvedeny zakládací plány pro obsluhu ve stanici ST3230 pro jednotlivé modely (viz. Obr. 5, Obr. 6)



Obr. 5) Zakládací plán pro obsluhu ST3230, SK 316/5 [13]

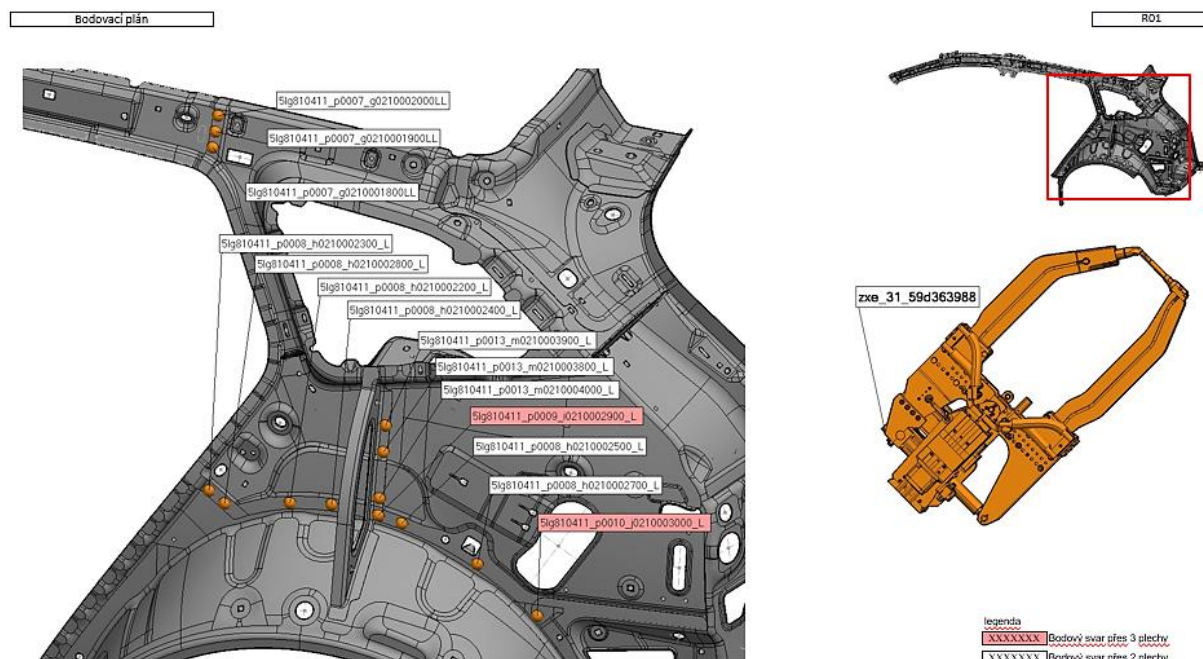


Obr. 6) Zakládací plán pro obsluhu ST3230, SK 316/6 [13]

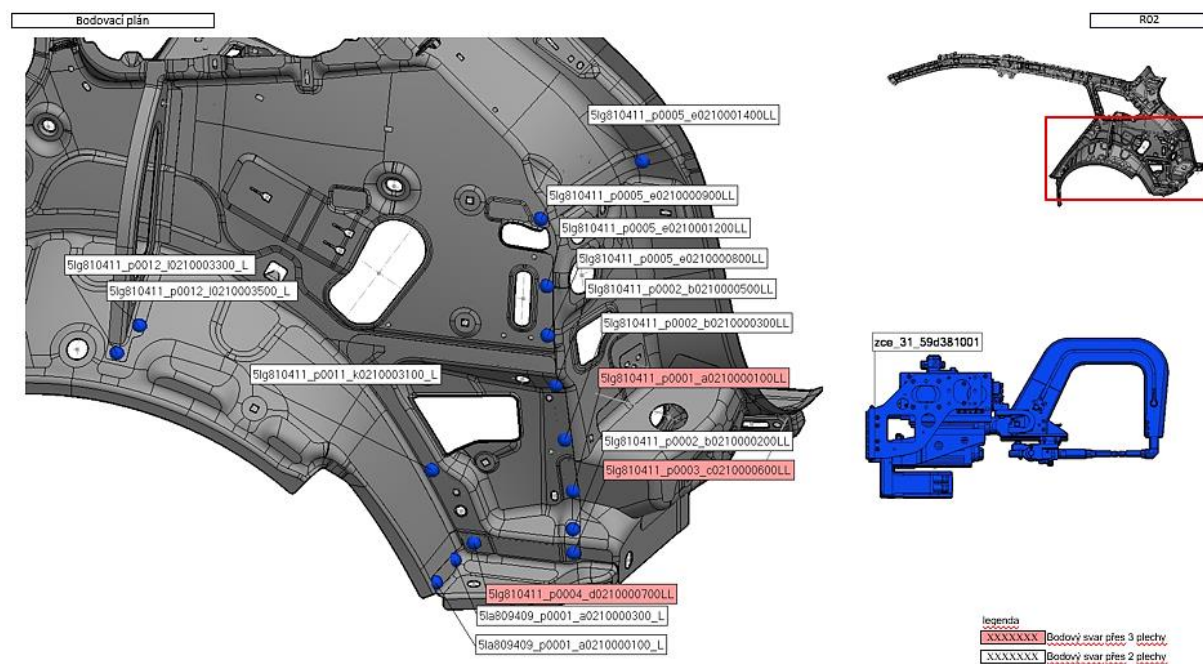
Roboticky svařované díly ve stanici 3280

Ve svařovací stanici 3280 robot 3280R01-Z a 3280R02-Z probíhá svařování odporovým bodovým svařováním.

Níže je uvedeno grafické znázornění bodového plánu pro odporového svařování na stanici 3280 pomocí svařovacích robotů 3280R01-Z a 3280R02-Z (viz Obr. 7, Obr.8)

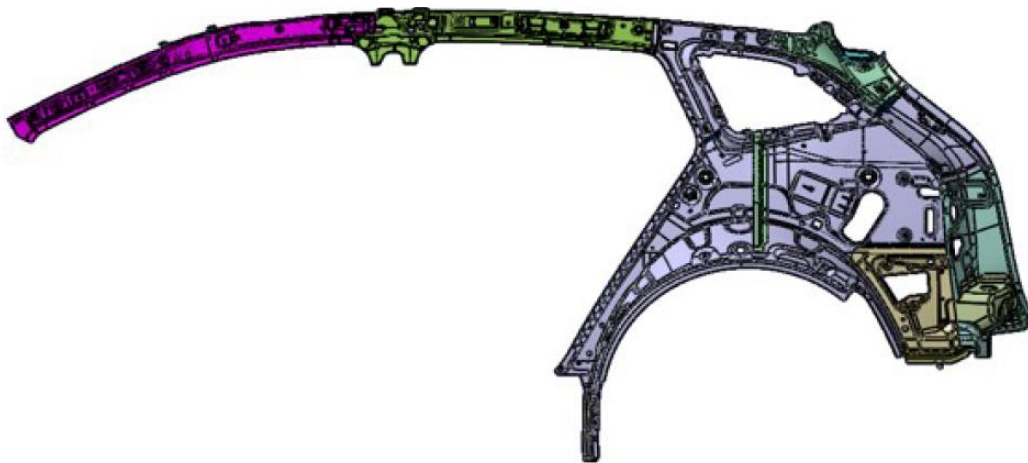


Obr. 7) Bodový plán robotického odporového svařování ve stanici 3280 (R01) [13]

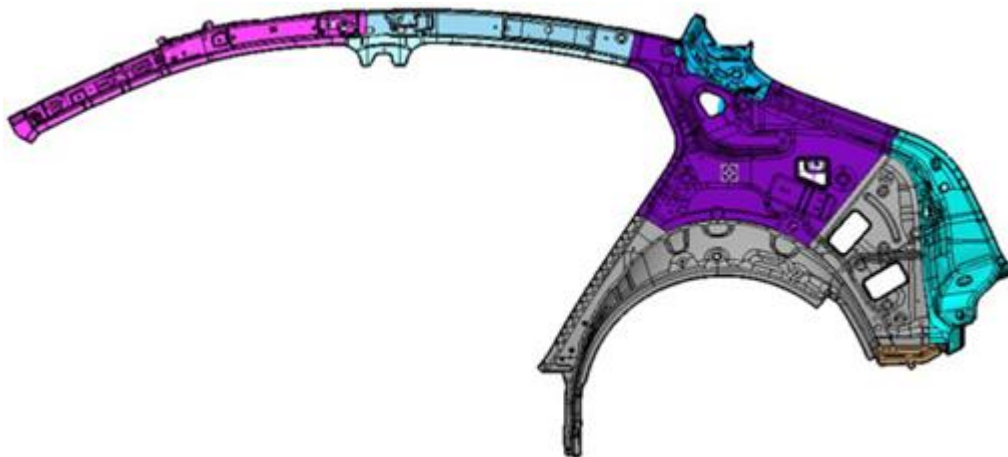


Obr. 8) Bodový plán robotického odporového svařování ve stanici 3280 (R02) [13]

Dále je uvedeno grafické znázornění roboticky svařených dílů jednotlivých modelů (viz Obr. 9, Obr. 10).



Obr. 9) Roboticky svařený díl ST3280, SK316/5 [12]



Obr. 10) Roboticky svařený díl ST3280, SK316/6 [12]

4.5 Návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení zadaného úkolu

V této diplomové práci navrhuji zvolený způsob řešení zadaného úkolu dle harmonizovaných norem a jejich požadavků. Harmonizované normy jsou ve své podstatě nezávazné, avšak splnění jejich požadavků se považuje za splnění příslušných evropských předpisů. Z hlediska plnění požadavků směrnic jsou tedy závazné zejména v případě, že chceme výrobek opatřit označením CE (značka shody).

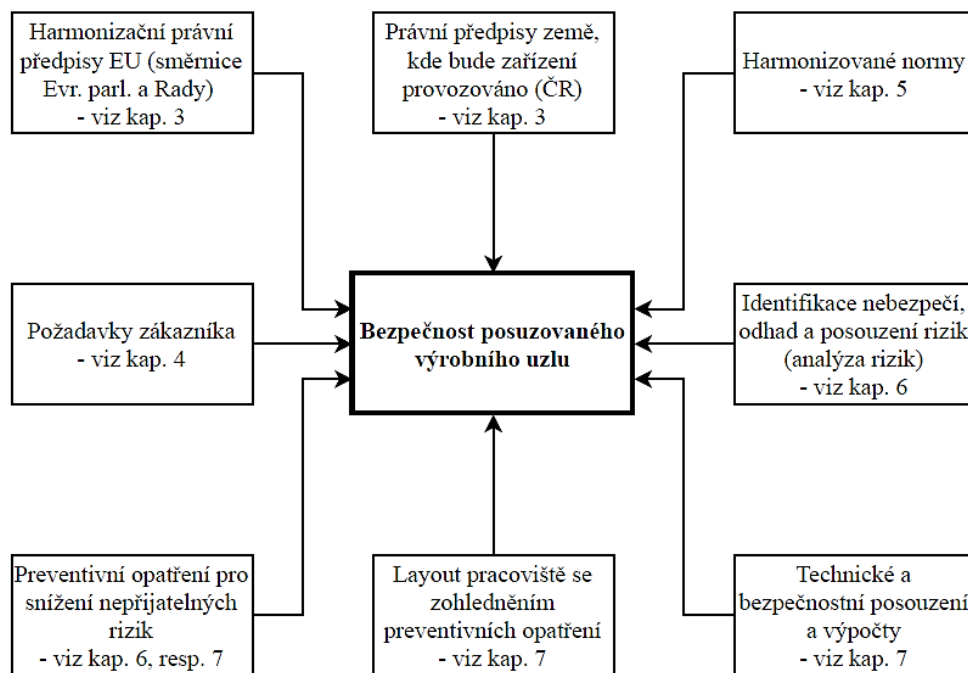
Na popsané strojní zařízení se vztahují mimo jiné zejména následující harmonizované normy v oblasti bezpečnosti (viz kap. 5 této práce):

- ČSN EN ISO 12100:2011 Posouzení rizika a snižování rizika
- ČSN EN ISO 10218-2:2011 Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů
- ČSN EN ISO 13849-1:2017 Bezpečnostní části ovládacích systémů
- ČSN EN ISO 60204-1:2019 Elektrická zařízení strojů

Popis metodiky zvoleného způsobu řešení:

- Určení mezních hodnot strojního zařízení
 - Předpokládané použití, důvodně předvídatelné nesprávné použití, další meze a popis strojního zařízení
- Identifikace nebezpečí
 - Dle konstrukce pracoviště a dle životního cyklu stroje
- Odhad rizik
 - Na základě kombinace závažnosti úrazu a pravděpodobnosti výskytu úrazu
- Zhodnocení rizik
 - Při určení požadavku na snížení rizika realizace vhodných ochranných opatření
- Vyloučení nebezpečí nebo snížení rizik ochrannými opatřeními
 - Snížení rizik dle metody tří kroků:
 - 1. Zabudovaná konstrukční bezpečnostní opatření
 - 2. Bezpečnostní ochrana a/nebo doplňková ochranná opatření
 - 3. Informace pro používání

Bezpečnost vybraného výrobního uzlu automatizované linky ovlivňuje celá řada faktorů. Dále je uveden rozbor vlivů na bezpečnost posuzovaného uzlu (viz, Obr. 11).



Obr. 11) Vlivy na bezpečnost posuzovaného výrobního uzlu

Dle schématu (viz Obr.11) můžeme vymezit vlivy na bezpečnost vybraného výrobního zařízení. Na základě těchto vlivů je odůvodněn a zvolen způsob řešení dané problematiky v této diplomové práci, a to následovně:

- harmonizační právní předpisy EU (směrnice Evropského parlamentu a Rady) – řešeno v kap. 3
- Právní předpisy země, kde bude zařízení provozováno (ČR) – řešeno v kap. 3 (v tomto případě ekvivalentní k předešlému bodu)
- Požadavky zákazníka – řešeno v kap. 4
- Harmonizované normy v oblasti bezpečnosti – řešeno v kap. 5
- Identifikace nebezpečí, odhad a posouzení rizik (analýza rizik) – řešeno v kap. 6
- Preventivní opatření pro snížení nepříjemných rizik – řešeno v kap. 6, resp. 7
- Layout pracoviště se zohledněním preventivních opatření – řešeno v kap. 7
- Technické a bezpečnostní posouzení a výpočty – řešeno v kap. 7

5 ANALÝZA POŽADAVKŮ STANDARDŮ

5.1 Harmonizované normy v oblasti bezpečnosti vybraného výrobního uzlu

Harmonizovanou normou se rozumí dle [4] „nezávislá technická specifikace přijatá normalizačním orgánem, tj. Evropským výborem pro normalizaci (CEN), Evropským výborem pro normalizaci v elektrotechnice (CENELEC) nebo Evropským institutem pro telekomunikační normy (ETSI), na základě pověření Komise ...“

Následuje analýza požadavků vybraných harmonizovaných norem v oblasti bezpečnosti vybraného výrobního uzlu.

5.1.1 ČSN EN ISO 12100:2011 Bezpečnost strojních zařízení – Všeob. zásady

Harmonizovaná norma ČSN EN ISO 12100:2011 z června 2011 (a revize - Oprava 1 z února 2020) s názvem „Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady pro konstrukci – Posouzení rizika a snižování rizika“ je základem pro tvorbu dalších používaných bezpečnostních norem.

Norma ČSN EN ISO 12100:2011 mimo jiné definuje pojmy [14]:

- „strojní zařízení (stroj) [machinery (machine)] – montážní celek sestavený z částí nebo součástí strojů, z nichž alespoň jedna je pohyblivá ...“
- „spolehlivost (reliability) – schopnost stroje, nebo jeho součástí nebo jeho vybavení vykonávat v daném časovém období a za specifikovaných podmínek požadovanou funkci bez poruchy“
- „úraz (harm) – fyzické zranění nebo poškození zdraví“
- „nebezpečí (hazard) – potenciální zdroj úrazu“
- „relevantní nebezpečí (relevant hazard) – nebezpečí, které je identifikováno jako existující u stroje nebo které je spojené se strojem“
- „významné nebezpečí (significant hazard) – nebezpečí, které bylo identifikováno jako relevantní, a které vyžaduje specifickou činnost (opatření) konstruktéra k vyloučení nebo snížení rizika podle posouzení rizika“
- „nebezpečná událost (hazardous event) – událost, která může způsobit úraz“
- „nebezpečná situace (hazardous situation) – okolnost, při které je osoba vystavena alespoň jednomu nebezpečí“
- „nebezpečný prostor (hazard zone; danger zone) – jakýkoli prostor uvnitř a/nebo kolem strojního zařízení, ve kterém může být osoba vystavena nebezpečí“
- „riziko (risk) – kombinace pravděpodobnosti výskytu úrazu a závažnosti tohoto úrazu“
- „zbytkové riziko (residual risk) – riziko, které zůstává i po použití ochranných opatření“
- „odhad rizika (risk estimation) – definovaný jako závažnost úrazu a pravděpodobnost jeho výskytu“
- „analýza rizika (risk analysis) – kombinace specifikace mezních hodnot stroje, identifikace nebezpečí a odhadu rizika“
- „hodnocení rizika (risk evaluation) – posouzení, na základě analýzy rizika, zda bylo dosaženo cílů snížení rizika“
- „posouzení rizika (risk assessment) – celkový proces zahrnující analýzu rizika a hodnocení rizika“

- „odpovídající snížení rizika (adequate risk reduction) – snížení rizika, které je alespoň podle zákonných požadavků, při uvážení současného stavu techniky“
- „ochranné opatření (protective measure) – opatření určené k dosažení snížení rizika, realizované konstruktérem (zabudovaná konstrukční bezp. opatření, bezp. ochrana a doplňková ochranná opatření, informace pro používání) a/nebo uživatelem“
- „zabudované konstrukční bezpečnostní opatření (inherently safe design measure) – ochranné opatření, které buď vylučuje nebezpečí nebo snižuje rizika spojená s nebezpečími změnou konstrukce nebo provozních vlastností stroje, bez použití ochranných krytů nebo ochranných zařízení“
- „bezpečnostní ochrana (safeguarding)– ochranné opatření používající bezpečnostní zařízení k ochraně osob před nebezpečími, která nemohou být dostatečně odstraněna nebo před riziky, která nemohou být dostatečně snížena zabudovanými konstrukčními bezpečnostními opatřeními“
- „informace pro používání (information for use) – ochranné opatření spočívající v komunikačních prostředcích (např. texty, slova, značky, signály, symboly, diagramy) používaných samostatně nebo v kombinaci, aby podávaly informace uživateli“
- „bezpečnostní zařízení (safeguard) – ochranný kryt nebo ochranné zařízení“
- „ochranný kryt (guard) [pevný/pohyblivý/nastavitelný/s blokováním/s blokováním a jištěním ochranného krytu/s blokováním se spouštěcí funkcí] – fyzická bariéra, konstruovaná jako část stroje, k poskytnutí ochrany“
- „ochranné zařízení (protective device) – jiné ochranné zařízení než ochranný kryt“
 - Příklady typů ochranných zařízení: blokovací zařízení; souhlasné povelové zařízení; ovládací zařízení vyžadující nepřetržité působení na ovládací prvek; dvouruční ovládací zařízení; snímací ochranné zařízení (SPE); aktivní optoelektronické ochranné zařízení (AOPD); mechanické zajišťovací zařízení; omezovací zařízení; krokovací ovládací zařízení
- „ochranná překážka (impeding device) – jakákoliv fyzická překážka (např. nízká bariéra, zábradlí atd.), která snižuje pravděpodobnost přístupu do nebezpečného prostoru tím, že volnému přístupu překáží, aniž by mu zcela bránila“
- „bezpečnostní funkce (safety function) – funkce stroje, jejíž porucha může vést k okamžitému zvýšení rizika (rizik)“
- „nebezpečná porucha (failure to danger) – jakékoliv selhání ve strojním zařízení nebo v dodávce energie, které zvyšuje riziko“
- „závada, poruchový stav (fault) – stav objektu charakterizovaný neschopností vykonávat požadovanou funkci, kromě neschopnosti při preventivní údržbě nebo jiných plánovaných činnostech, nebo způsobený nedostatkem vnějších zdrojů“
- „porucha (failure) – ukončení schopnosti objektu plnit požadovanou funkci“
- „poruchy se společnou příčinou (common mode failures) – poruchy různých objektů, vyplývající z jediné události, kde tyto poruchy nejsou vzájemným důsledkem každé z nich“
- „selhání (malfunction) – porucha stroje zabraňující vykonávání předpokládané funkce“
- „nouzová situace (emergency situation) – nebezpečná situace vyžadující bezodkladné ukončení nebo odvrácení“
- „nouzová činnost (emergency operation) – všechny činnosti a funkce určené k ukončení nebo odvrácení nouzové situace“

- „nouzové zastavení, funkce nouzového zastavení (emergency stop; emergency stop function) – funkce, která je určena:
 - k odvrácení vzniku nebezpečí nebo ke snížení existujících nebezpečí ...
 - k uvedení do činnosti jednoduchým lidským úkonem“

Strategie posouzení a snížení rizika (dle ČSN EN ISO 12100:2011), kterou se musí řídit konstruktér zařízení [14]:

- Určit mezní hodnoty strojního zařízení
- Identifikovat nebezpečí
- Odhadnout riziko
- Zhodnotit riziko
- Vyloučit nebezpečí nebo snížit riziko ochrannými opatřeními

Ochranná opatření jsou kombinací opatření, která realizuje konstruktér a uživatel. Opatření začleněná v konstrukci mají přednost a jsou obecně účinnější. Postup při snižování je opakovací a někdy je nezbytné ho použít několikrát za sebou. Při uskutečnění postupu je nutno vzít v úvahu následující faktory v uvedeném pořadí:

- Bezpečnost stroje během všech fází životnosti
- Schopnost stroje vykonávat svou funkci
- Použitelnost stroje
- Výrobní a provozní náklady stroje a náklady na jeho vyřazení

Odhad rizika [14]:

Riziko spojené s danou nebezpečnou situací závisí na prvcích:

- a) Závažnosti úrazu
 - b) Pravděpodobnosti výskytu tohoto úrazu, je funkcí
 - 1) Vystavení osoby nebezpečí
 - 2) Výskytu nebezpečné události
 - 3) Technických a lidských možností vyvarovat se úrazu nebo ho omezit
- Prvky rizika jsou znázorněny níže (viz Obr. 12).

Závažnost úrazu může být odhadnuta s přihlédnutím k:

- a) Závažnosti zranění nebo poškození zdraví, např.
 - Lehké
 - Těžké
 - Smrt
- b) Rozsahu úrazu, např.
 - U jedné osoby
 - U několika osob

Vystavení osob nebezpečí ovlivňují mimo jiné faktory:

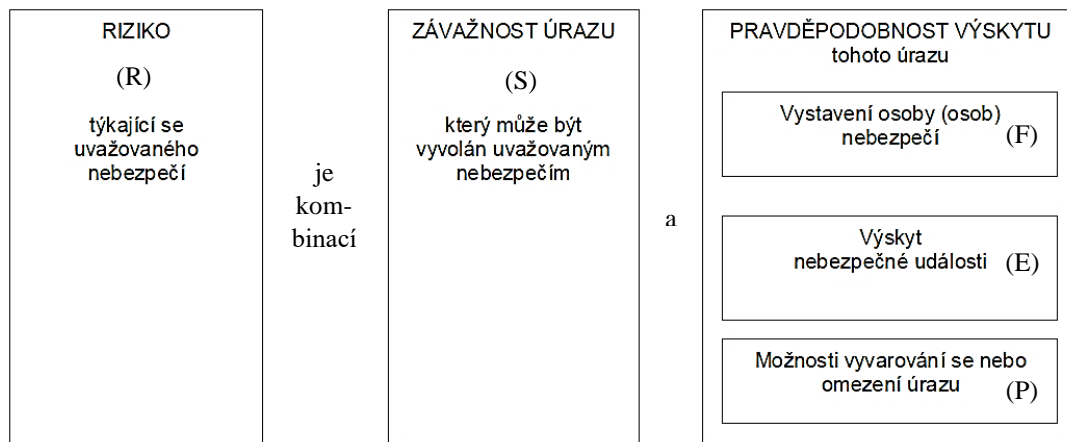
- a) Nutnost přístupu do nebezpečného prostoru
- b) Povaha přístupu
- c) Doba strávená v nebezpečném prostoru
- d) Počet osob jejichž přístup je vyžadován
- e) Četnost přístupu

Výskyt nebezpečné události ovlivňuje mimo jiné:

- a) Spolehlivost a jiné statistické údaje
- b) Historie úrazů
- c) Historie poškození zdraví
- d) Porovnání rizik

Možnost vyvarování se nebo omezení úrazu ovlivňují mimo jiné faktory:

- a) Různé osoby, které mohou být vystaveny nebezpečí
- b) Jak rychle vede nebezpečná situace k úrazu
- c) Uvědomění si rizika
- d) Lidské schopnosti vyvarování se nebo omezení úrazu
- e) Praktické zkušenosti a znalosti



Obr. 12) Prvky rizika [14], upraveno]

Snížení rizika [14]

Snížení rizika může být dosaženo pomocí vyloučení nebezpečí nebo snížením každého ze dvou prvků rizika (závažnost úrazu a pravděpodobnost výskytu úrazu).

Všechna ochranná opatření pro snížení rizik musí být použita v následujícím pořadí kroků (také uváděno jako *metoda tří kroků*):

- 1) Krok 1 - Zabudovaná konstrukční bezpečností opatření
 - Geometrické faktory (odstranění ostrých hran a rohů, návržení vhodného pracovního prostoru apod.)
 - Fyzikální hlediska (omezení působící síly, omezení rychlosti pohybů apod.)
 - Všeobecné technické znalosti konstrukce stroje (mechanické namáhání, materiály a jejich vlastnosti, hodnoty emisí apod.)
 - Volba vhodné technologie
 - Princip pozitivního (nuceného) mechanického působení
 - Opatření pro stabilitu
 - Opatření pro údržbu
 - Dodržování ergonomických zásad
 - Elektrická nebezpečí
 - Pneumatická a hydraulická nebezpečí
 - Používání zabudovaných konstrukčních bezpečnostních opatření pro ovládací systémy

- Atd.
- 2) Krok 2 - Bezpečnostní ochrana a/nebo doplňková ochranná opatření
 - Ochranné kryty
 - Snímací ochranné zařízení
 - Světelné clony
 - Skenovací zařízení (laser skenery apod)
 - Rohože citlivé na tlak
 - Bezpečnostní vypínací tyče, bezpečnostní vypínací lanka
 - Atd.
 - Zařízení pro omezení parametrů a pohybu
 - Zařízení pro omezení přetížení a momentu
 - Zařízení pro zamezení srážky nebo střetu s jinými stroji
 - Zařízení pro omezení tlaku nebo teploty
 - Místní odsávání s filtrací
 - Atd.
- 3) Krok 3 - Informace pro používání
 - Uvedení v případě nutnosti požadavku zaškolení obsluhy, nutnosti osobních ochranných prostředků a eventuálně dalších ochranných krytů nebo zařízení
 - Umístění na vlastním stroji, v průvodní dokumentaci (zvláště návod k používání), na obalech či jinými prostředky mimo stroj (signály a varování)
 - Signály a výstražná zařízení (blikající světlo, sirény apod.)
 - Značení, značky a piktogramy, psané výstrahy (jednoznačná identifikace stroje, označení shody, informace k bezpečnému používání)

5.1.2 ČSN EN ISO 13849-1:2017 Bezpečnostní části ovládacích systémů

Norma ČSN EN ISO 13849-1:2017 „Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečnostní části ovládacích systémů – Část 1: Obecné zásady pro konstrukci“ byla vydána v březnu 2017.

Norma definuje mimo jiné následující pojmy [15]:

- „úroveň vlastností (performance level) PL – *diskrétní úroveň používaná k specifikování schopností bezpečnostních částí ovládacích systémů k vykonávání bezpečnostní funkce při předvídatelných podmínkách*“
- „požadovaná úroveň vlastností (required performance level) PL_r – *úroveň vlastností (PL) používaná k tomu, aby bylo dosaženo pro každou bezpečnostní funkci požadovaného snížení rizika*“
- „střední doba do nebezpečné poruchy (mean time to dangerous failure) MTTF_D – *očekávaná střední doba do nebezpečné poruchy*“
- „diagnostické pokrytí (diagnostic coverage) DC – *míra účinnosti diagnostiky, která může být stanovena jako podíl intenzity poruch detekovaných nebezpečných poruch a intenzity poruch všech nebezpečných poruch*“
- „úroveň integrity bezpečnosti (safety integrity level) SIL – *diskrétní úroveň (jedna ze čtyř možných) pro specifikování požadavků integrity bezpečnosti bezpečnostních funkcí, ... , kde SIL 4 má nejvyšší úroveň integrity bezpečnosti a SIL 1 nejnižší úroveň integrity bezpečnosti*“

Dále je uvedena tabulka úrovně vlastností PL (viz Tab. 1). Následuje tabulka vztahu mezi úrovní vlastností (PL) a úrovní integrity bezpečnosti (SIL) (viz Tab. 2).

Tab 1) Úrovně vlastností (PL) [15]

PL	Průměrná pravděpodobnost nebezpečné poruchy za hodinu (PFH ₀) 1/h
a	$\geq 10^{-5}$ až $< 10^{-4}$
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$ až $< 10^{-5}$
c	$\geq 10^{-6}$ až $< 3 \times 10^{-6}$
d	$\geq 10^{-7}$ až $< 10^{-6}$
e	$\geq 10^{-8}$ až $< 10^{-7}$

Tab 2) Vztah mezi úrovní vlastností (PL) a úrovní integrity bezpečnosti (SIL) [15]

PL	SIL (pro informace IEC 61508-1) dlouhý/nepřetržitý režim provozu
a	Neodpovídá
b	1
c	1
d	2
e	3

Dále jsou uvedeny tabulky střední doby do nebezpečné poruchy MTTFD (viz Tab. 3), diagnostického pokrytí DC (viz Tab. 4) a zjednodušený postup pro hodnocení PL (viz Tab. 5).

Tab 3) Střední doba do nebezpečné poruchy každého kanálu (MTTF_D) [15]

Označení doby každého kanálu	MTTF _D Rozsah doby každého kanálu
Krátká	$3 \text{ roky} \leq \text{MTTF}_D < 10 \text{ roků}$
Střední	$10 \text{ roků} \leq \text{MTTF}_D < 30 \text{ roků}$
Dlouhá	$30 \text{ roků} \leq \text{MTTF}_D \leq 100 \text{ roků}$

Tab 4) Diagnostické pokrytí (DC) [15]

Označení	DC Rozsah
Žádné	$\text{DC} < 60 \%$
Nízké	$60 \% \leq \text{DC} < 90 \%$
Střední	$90 \% \leq \text{DC} < 99 \%$
Vysoké	$99 \% \leq \text{DC}$

Tab 5) Zjednodušený postup pro hodnocení úrovně vlastností (PL) [15]

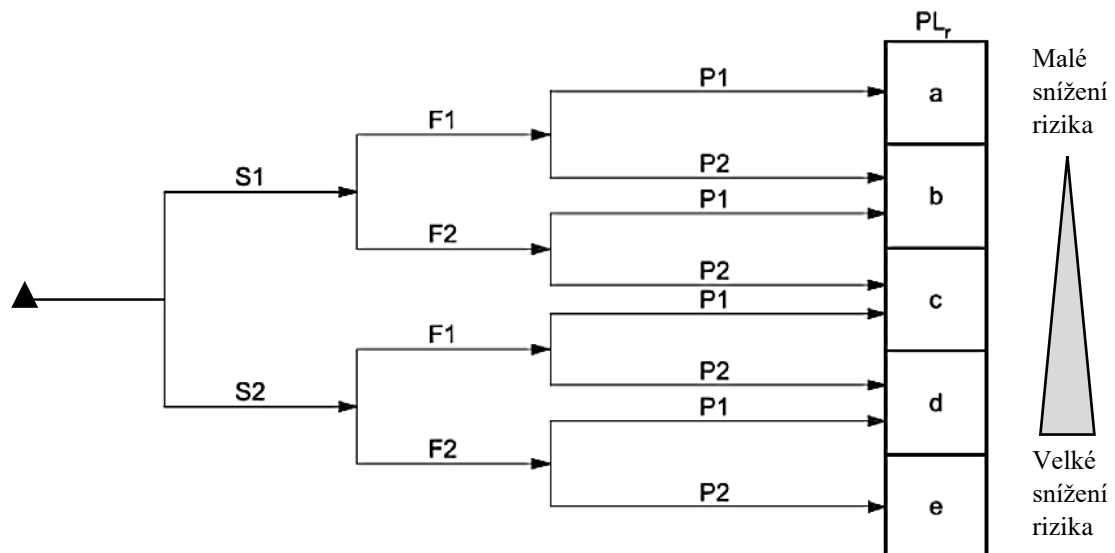
Kategorie	B	1	2	2	3	3	4
DC _{avg}	žádné	žádné	nízké	střední	nízké	střední	vysoké
MTTF _D každého kanálu							
Krátká	a	nepokryta	a	b	b	c	nepokryta
Střední	b	nepokryta	b	c	c	d	nepokryta
Dlouhá	nepokryta	c	c	d	d	d	e

Určení požadované úrovně vlastností (PL_r)

Dle přílohy A normy ČSN EN ISO 13849-1:2017 lze využít následujícího postupu pro výběr parametrů pro odhad rizika a určení požadované úrovně vlastností PL_r [15]:

- Závažnost zranění S
 - S1 = lehké (přechodné následky, např. pohmoždění bez komplikací)
 - S2 = závažné (trvalé následky, např. amputace nebo smrt)
- Četnost a/nebo doba vystavení nebezpečí F
 - F1 = řídká až málo častá /krátká (méně než 1x za 15 minut a méně než 1/20 provozní doby)
 - F2 = častá až nepřetržitá /dlouhá (více než 1x za 15 minut)
- Možnost vyloučení nebezpečné události P
 - P1 = možné za specifických podmínek
 - P2 = sotva možné

Následuje graf pro určení požadované úrovně vlastností PL_r pro bezpečnostní funkci (viz Obr. 13).



Obr. 13) Graf pro určení požadované úrovně vlastností PL_r pro bezpečnostní funkci [15], upraveno]

5.1.3 ČSN EN ISO 10218-2:2011 Bezpečnost průmyslových robotů

Harmonizovaná norma ČSN EN ISO 10218-2:2011 „Roboty a robotická zařízení – Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů – Část 2: Systémy robotů a integrace“ byla vydána v prosinci 2011 a zabývá se samotnou integrací robotů do robotických buněk a linek. [16]

Bezpečnostní požadavky a ochranná opatření [16]:

- Instalace robotu musí být integrována a navržena takovým způsobem, aby bylo omezeno potenciální vystavení osob nebezpečí
- Maximální prostor může být omezen pomocí integrálních nebo vnějších zařízení omezujících pohyb systému robotu (mezní prostor) – např. pomocí bezpečnostních „měkkých“ os, tvrdých dorazů, světelných clon atd.

- Tam, kde jde použít snímací ochranné zařízení pro detekci přítomnosti pro prevenci spuštění, musí být použito společně s ostatními bezpečnostními opatřeními (např. kryty s blokováním) pro zajištění bezpečného stavu stroje.
- Detekční zóna zařízení pro detekci přítomnosti musí být umístěna a konfigurována tak, aby osoba byla detekována uvnitř celé detekční zóny. V nezbytných případech je nutno realizovat doplňková opatření pro zamezení obejití detekční zóny (např. použití skloněných povrchů pro prevenci setrvání na rámu stroje apod.)
- U stanic s ručním zakládáním či vykládáním:
 - Musí být zajištěna opatření, aby operátoři nebili vystaveni dalším nebezpečím při ručním zásahu na rozhraní stanice
 - Musí být navrženy tak, aby operátor nemohl přijít do styku s nebezpečím uvnitř zabezpečeného prostoru
 - Pro výšky krytů až do 1400 mm mohou být přijata dodatečná ochranná opatření:
 - Prevence vystavení operátora nebezpečí v souvislosti s prováděnou aplikací uvnitř zabezpečeného prostoru
 - Zamezit operátorovi možnost dosažení nebezpečí uvnitř nebezpečného prostoru
 - Zamezit současnému sdílení pracovního prostoru robota a operátora (1. zamezení vstupu části systému robota do pracovního prostoru, pokud je obsazen operátorem, nebo uvedením robota do bezpečného stavu před dosažením operátora; 2. zamezení vstupu operátora do pracovního prostoru nebo docílení bezpečného stavu robota před vstupem)
- Bezpečnostní ochrana vícenásobných přilehajících buněk robotu:
 - Musí být přijata opatření, aby operátoři nebyli vystaveni nebezpečí ze sousedních buněk
 - Přijatá opatření musí zabránit vstupu operátora do sousedních buněk, nebo uvést nebezpečí v sousedních buňkách do bezpečného stavu
 - Pokud jsou použity pevné kryty, požadovaná výška musí být minimálně 1400 mm.
 - Mohou být použita i další opatření, např.:
 - Elektrické snímací ochranné zařízení
 - Rohože citlivé na tlak
 - Současné vypnutí sousedních buněk

Ověření a validace bezpečnostních požadavků a ochranných opatření [16]:

Výrobce systému robota nebo integrátor musí provést ověření a validaci návrhu a konstrukce systémů robota včetně příslušných zařízení bezpečnostní ochrany. Dané ověření a validace může být provedeno následujícími metodami:

- Vizuální kontrola
- Praktické zkoušky
- Měření
- Pozorování během provozu
- Revize aplikací schémat atd.

Ověření a validace ochranných zařízení:

- Prevence přístupu k nebezpečí musí být dosažena následovně:

- Ukončí nebezpečí před přístupem
- Zabrání vytvoření nebezpečí nechtěným provozem
- Přítomnosti částí a nástrojů (např. volných objektů, ...)
- Ovládním dalších nebezpečných procesů (např. hluku, laserového záření, ...)
- Instalované ochranné zařízení musí být ověřeno na:
 - Typ krytů, umístění krytů, velikost otvorů, správné bezpečnostní vzdálenosti, výšky
 - Nemožnost aktivace resetování z prostoru uvnitř zabezpečeného prostoru
 - Typy ochranných zařízení, možnosti detekce, umístění ochranných zařízení atd.
 - Možnosti obcházení a potlačení funkcí
- Musí být ověřeno, že doplňková ochranná opatření poskytují:
 - Instrukce
 - Zaškolovací materiály
 - Varování
 - Osobní ochranné zařízení
 - Postupy
 - Další příslušná opatření

5.1.4 ČSN EN 60204-1:2019 Elektrická zařízení strojů – Obecné požadavky

Norma ČSN EN 60204-1:2019 (ed. 3) „Bezpečnost strojních zařízení – Elektrická zařízení strojů – Část 1: Obecné požadavky“ byla vydána v únoru 2019 a zabývá se obecnými základními požadavky na elektrická zařízení strojů.

Obecné požadavky na el. zařízení strojů týkající se oblastí [17]:

- elektrické napájení
- pracovní prostředí a provozní podmínky:
 - elektromagnetická kompatibilita
 - teplota prostředí
 - vlhkost
 - nadmořská výška
 - znečišťující látky
 - ionizující a neionizující záření
 - vibrace, rázy a nárazy
- přeprava a skladování
- opatření pro manipulaci

Ukončení napájecího vodiče a přístroje pro odpojování a vypínání [17]:

- hlavní vypínač
 - musí bezpečně odpojit el. zařízení od el. napájení a mít jednu polohu „vypnuto“ (odpojeno) a jednu polohu „zapnuto“ s označením „O“ a „I“
 - musí mít viditelnou mezeru mezi kontakty nebo ukazatel polohy
 - musí mít ovládací prostředky (např. rukojeť)
 - musí umožňovat zablokování v poloze „vypnuto“ (např. visací zámek)
 - musí odpojovat všechny živé vodiče napájecího obvodu
- odpojovací přístroje zabraňující neočekávanému spuštění
- přístroje pro odpojování elektrických zařízení
- ochrana proti neoprávněnému, neúmyslnému a/nebo chybnému připojení

Ochrana před úrazem elektrickým proudem týkající se oblastí [17]:

- základní ochrana:
 - ochrana kryty
 - ochrana pomocí izolace živých částí
 - ochrana před zbytkovými napětími
 - ochrana přepážkami
 - ochrana umístěním mimo dosah nebo zábranami
- ochrana při poruše
 - zabránění výskytu dotykového napětí
 - ochrana automatickým odpojením od zdroje napájení
- ochrana použitím malého napětí (PELV)

Ochranná zařízení týkající se oblastí [17]:

- ochrana před nadproudem
- ochrana motorů před nadměrným oteplením
- ochrana před mimořádně vysokou teplotou
- ochrana před účinky přerušení zdroje el. napájení nebo poklesem a následným obnovením napětí
- ochrana motoru před nadměrnými otáčkami
- dodatečná ochrana proti zemnímu spojení/ reziduálnímu proudu
- ochrana před nesprávným sledem fází
- ochrana před atmosférickým a spínacím přepětím

Další požadavky normy [17]:

- pospojování (ochranný obvod, opatření pro omezení vlivů vysokého svodového proudu atd.)
- řídicí obvody a řídicí funkce (funkce nouzového zastavení, dvouruční ovládání, ochranné blokování, ochrana před chybnou funkcí řídicích obvodů atd.)
- rozhraní mezi obsluhou a řídicími přístroji umístěnými na stroji (ovládací prvky, světelné návěsti a zobrazovací jednotky atd.)
- řídicí zařízení: umístění, montáž a kryty
- vodiče a kabely
- provedení elektrické instalace
- elektromotory a přidružená zařízení
- zásuvky a osvětlení
- značení, výstražné značky a referenční označení
- technická dokumentace
- ověřování (zkoušky)

5.1.5 Další harmonizované normy

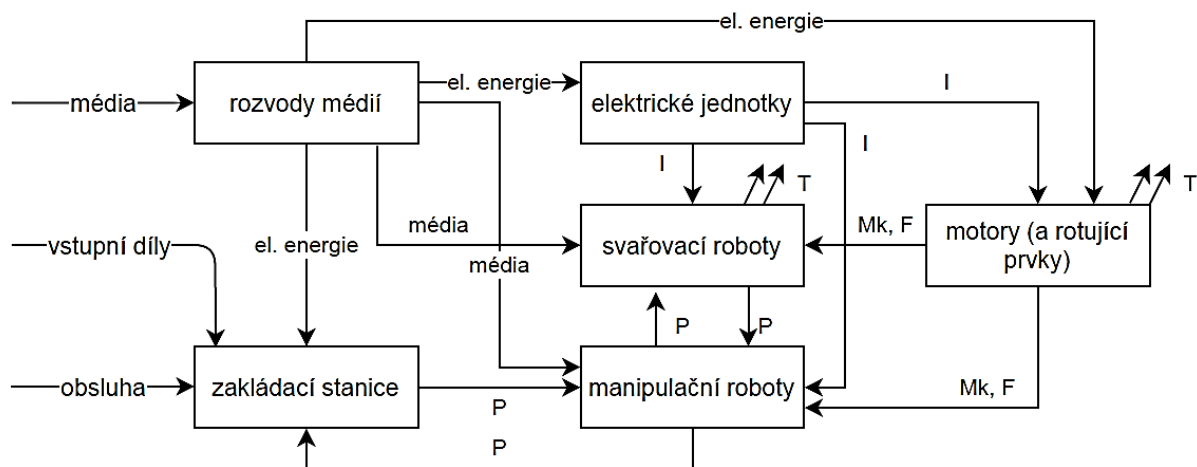
Při uvádění dané linky na trh můžeme brát v úvahu další harmonizované normy, např.:

- ČSN EN 62061:2005 A2:2016 Bezpečnost strojních zařízení – Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů souvisejících s bezpečností.
- ČSN EN ISO 13850:2017 Bezpečnost strojních zařízení – Funkce nouzového zastavení – Zásady pro konstrukci
- ČSN EN 60529 A2:2019 Stupně ochrany krytem (Krytí – IP kód)
- ČSN EN IEC 61000-6-4:2019 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 6-4: Kmenové normy – Emise – Průmyslové prostředí
- ČSN EN IEC 61000-6-2:2019 Elektromagnetická kompatibilita (EMC) – Část 6-2: Kmenové normy – Odolnost pro průmyslové prostředí
- ČSN EN ISO 4414:2011 Pneumatika – Všeobecná pravidla a bezpečnostní požadavky na pneumatické systémy a jejich součásti
- ČSN EN ISO 11161 A1:2010 Bezpečnost strojních zařízení – Integrované výrobní systémy – Základní požadavky
- ČSN EN 1993-1-9 Z2: 2013 Navrhování ocelových konstrukcí. Část 1-9: Únava.
- ČSN EN ISO 15607: 2020 Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů. Všeobecná pravidla.
- ČSN EN ISO 5817: 2014 Svařování – Svarové spoje zhotovené tavným svařováním- Určování stupňů kvality.
- ČSN EN ISO 13855:2010 Bezpečnost strojních zařízení – Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla.
- ČSN EN ISO 14118:2018 Bezpečnost strojních zařízení – Zamezení neočekávanému spuštění.
- ČSN EN ISO 13857:2021 Bezpečnost strojních zařízení – Bezpečné vzdálenosti k zabránění dosahu k nebezpečným místům horními i dolními končetinami.
- ČSN EN ISO 13854:2021 Bezpečnost strojních zařízení – Nejmenší mezery k zamezení stlačení částí lidského těla.
- ČSN EN ISO 14119:2014 Bezpečnost strojních zařízení – Blokovací zařízení spojená s ochrannými kryty – zásady pro konstrukci a volbu.
- ČSN EN ISO 14120:2015 Bezpečnost strojních zařízení – ochranné kryty.
- ČSN EN IEC 62046:2019 Bezpečnost strojních zařízení – Použití ochranných zařízení k detekci přítomnosti osob

6 IDENTIFIKACE NEBEZPEČÍ, ODHAD A POSOUZENÍ RIZIK

6.1 Identifikace nebezpečí dle konstrukce pracoviště

V této kapitole je uvedena identifikace nebezpečí dle konstrukce pracoviště (viz Tab. 6) na základě blokového diagramu pracoviště (viz Obr. 14).



Legenda: T - tepelná energie; P - polohová vazba; Mk - kroutící moment; F - síla; I - informace (řídící)

Obr. 14) Blokový diagram vybraného robotizovaného pracoviště

Tab 6) Identifikace nebezpečí dle konstrukce pracoviště

Název komponenty systému	Poloha komponenty v systému	Identifikace nebezpečí
Rozvody médií	Pracovní prostor	Nebezpečí vymrštění, stříhu, uhození, zachycení, vtažení, průniku či postříkání médii pod vysokým tlakem, zasažení el. proudem od dílů pod napětím, popálení, poškození zraku a kůže a infekce od médii.
Zakládací stanice	Pracovní prostor	Nebezpečí stříhu, pořezání, přiskřípnutí, odření a naražení od ostrých hran vkládaných konstrukčních dílů. Nebezpečí stříhu, stlačení, pořezání, naražení od ostrých hran přípravků (zakládacího stolu).

		Nebezpečí stlačení, pořezání nebo oddělení, stříhu, zachycení, naražení robotem a agregáty.
		Nebezpečí naražení, pořezání, uhození v případě uvolnění výrobního dílu robotem.
Elektrické jednotky	Pracovní prostor	Nebezpečí popálení, zasažení elektrickým proudem, smrti el. proudem při styku s díly pod napětím.
Motory (a rotující prvky)	Pracovní prostor	Nebezpečí popálení, pořezání nebo oddělení, vtažení nebo zachycení, navinutí, tření nebo odření od rotujících prvků zařízení.
Svařovací roboty	Pracovní prostor	Nebezpečí bolestí hlavy, závratí, omdlení, poruch zdraví od zdrojů záření při svařování.
		Nebezpečí dýchacích potíží, infekce a otravy od škodlivých plynů a výparů při svařování.
		Nebezpečí poškození očí, pokožky, popálení od odlétajícího materiálu při svařování.
Manipulační roboty	Pracovní prostor	Nebezpečí uhození, naražení, stlačení od robota v důsledku ztráty stability robota (statické a dynamické vlivy).
		Nebezpečí uhození, naražení, zachycení, stlačení od naprogramovaných pohybů robota (nebo neprogramovaných pohybů robota v případě závady).
		Nebezpečí naražení, stlačení, zachycení od robota během seřizování a programování (v seřizovacím provozu – programátor je v nebezpečné oblasti).
		Nebezpečí naražení, stlačení, zachycení od robotů a agregátů při možném přístupu do sousedních ochranných zón.
		Nebezpečí stlačení, pořezání, vtažení či zachycení, tření nebo odření, naražení, stříhu

		při údržbě, čištění, opravách nebo odstraňování poruch od robotů.
--	--	---

6.2 Fáze životního cyklu strojního zařízení

Dle ČSN EN ISO 12100:2011 je nutná po určení mezí strojního zařízení (viz. kap. 4.2 – Meze strojního zařízení) systematická identifikace rozumně předvídatelných nebezpečí ve všech fázích životního cyklu stroje. K provedení této identifikace nebezpečí je nutné identifikovat činnosti prováděné strojním zařízením a úkoly prováděné obsluhou (vzájemné působení člověka a stroje) během celého životního cyklu stroje [14]. Následuje seznam identifikovaných činností během celého životního cyklu stroje (viz Tab. 7) zpracovaný a upravený s využitím [14].

Tab 7) Seznam identifikovaných činností během životního cyklu stroje [14], upraveno]

	Životní fáze stroje	Činnosti
L1	Doprava	<ul style="list-style-type: none"> - nazdvižení - zabalení - uložení - transportování - vyložení - umístění na místo předpokládaného provozu - vybalení
L2	Montáž a instalace Uvedení stroje do provozu	<ul style="list-style-type: none"> - ustavení na místě předpokládaného provozu - nivelizování – přeměření - upevnění - namontování ochranných přípravků - odstranění ochrany proti vzniku koroze - montáž na místě předpokládaného provozu - instalace - provedení seřízení funkcí - připojení ke zdroji energie - připojení ke sběrným výstupním jednotkám (systém odvětrání, ...) - naplnění jednotky pomocnými médii (chladicí voda, ...) - přívod pomocných médií - zkušební/ testovací provoz - provoz stroje bez zatížení

		<ul style="list-style-type: none"> - kontroly - testovací běh jednotky při zatížení a pod nejvyšším výkonném zatížení (výkonnostní test)
L3	Seřízení Kalibrování Programování/ přestavba	<ul style="list-style-type: none"> - seřízení a nastavení či kontrola funkčních parametrů (rychlost, tlak, síla, omezovače výkonu, ...) - nasazení či výměna nástrojů či montážních skupin - kontrola naprogramování - kontrola ochranných přípravků/ seřízení - seřízení a zajištění - vložení materiálových surovin
L4	Provoz	<ul style="list-style-type: none"> - namontování nástrojů - výměna nástrojů (např. čelistí robota, ...) - upnutí montážních dílů - další seřizovací a nastavovací procesy u funkčních parametrů stroje (např. rychlost, tlak, síla, pojezdové ohraničení) - další zásahy během provozu (např. vyjímání odpadu, odstranění příčin blokování, lokální čištění) - opětný rozběh jednotky/ stroje po provozní odstávce/ přerušení - dozor - kontroly výstupních dílů - řízení/ inspekce - dodání či vložení surovin - manuální nakládka
L5	Čištění Opravy a údržba	<ul style="list-style-type: none"> - údržba a kontrola dílů jednotky (např. na netěsnosti, ...) - výměna filtrů - výměna médií příp. jejich doplnění - kontrola ochranných přípravků - mazání: promazávání; doplnění maznic - čištění (např. prach po sváření, ...) - odstranění zbytků po sváření/ nečistot apod. - výměna opotřebovaných dílů - vymontování/ namontování konstrukčních dílů - přerušení dodávek energie a odvod energie - obnova seřízení - výměna nástrojů

L6	Hledání závad a jejich odstranění	<ul style="list-style-type: none"> - hledání závad (pohyb je zaseknutý, koncový spínač je defektní, zásobování médií není v pořádku, ...) - oprava - jsou vloženy špatné díly/ materiál - díly jsou poničené a případně vypadávají z linky - vymontování a namontování konstrukčních dílů - opětný rozběh jednotky po výpadku řídicích systémů stroje a ochranných zařízení - přerušení přívodu energie a jeho odvod - záchrana zachycených osob - opětný rozběh po zablokování - výměna dílů, konstrukčních dílů, zařízení stroje - seřízení
L7	Demontáž, uvedení činnosti mimo provoz	<ul style="list-style-type: none"> - odpojení od napájení a svodu energie (např. dodávka napětí, dodávka tlakového vzduchu, dodávka chladicí vody,) - demontáž - nadzdvižení - naložení - transportování - vyložení - přerušení dodávek surovin - odklizení

6.3 Postup pro odhad rizika

Odhad rizika je proveden na základě [14] - ČSN EN ISO 12100:2011 (více viz kap. 5.1.1: „ČSN EN ISO 12100:2011 Bezpečnost strojních zařízení – Všeobecné zásady“).

Prvky rizika dle výše zmíněné normy [14] jsou uvedeny ve stejné kapitole (5.1.1) této práce (viz Obr. 12 - Prvky rizika). Následuje popis jednotlivých prvků využitých pro odhad rizika.

- **Závažnost úrazu (S):**
 - Závažnost zranění nebo poškození draví
 - Lehké (S1)
 - Těžké/ smrt (S2)
 - Rozsah úrazu
 - U jedné osoby (S1)
 - U několika osob (S2)
 - Ustanovení: Je-li výsledkem byť jen jednou (S2), platí (S2) i pro graf.

- Vystavení osoby/ osob nebezpečí (F)
 - Nutnost přístupu do nebezpečného prostoru
 - Při údržbě, opravě, programování apod. (F1)
 - Při normálním provozu (F2)
 - Povaha přístupu
 - Bez ručního zásahu do výrobního materiálu (F1)
 - Ruční zásah (zakládání apod.) do výrobního materiálu (F2)
 - Doba strávená v nebezpečném prostoru
 - Méně než 1/20 provozní doby (F1)
 - Více než 1/20 provozní doby (F2)
 - Počet osob, jejichž přístup je vyžadován
 - Jedna osoba (F1)
 - Dvě a více osob (F2)
 - Četnost přístupu
 - Méně než 1x za 15 minut (F1)
 - Více než 1x za 15 minut (F2)
 - Ustanovení: Je-li výsledkem byť jen jednou (F2), platí (F2) i pro graf.

- Výskyt nebezpečné události (E)
 - Spolehlivostní údaje
 - Nízká pravděpodobnost poruchy (E1)
 - Vysoká pravděpodobnost poruchy (E2)
 - Historie úrazů
 - Nebezpečné události vedoucí k úrazu jsou řídké (E1)
 - Nebezpečné události vedoucí k úrazu jsou časté (E2)
 - Historie poškození zdraví
 - Nebezpečné události vedoucí k poškození zdraví způsobují lehká zranění (E1)
 - Nebezpečné události vedoucí k poškození zdraví způsobují těžká zranění (E2)
 - Porovnání rizik
 - Osvědčené součásti, resp. stroj (E1)
 - Dosud nepoužité součásti, resp. nová technologie (E2)
 - Ustanovení: Je-li výsledkem, byť jen jednou (E2), platí (E2) i pro graf.

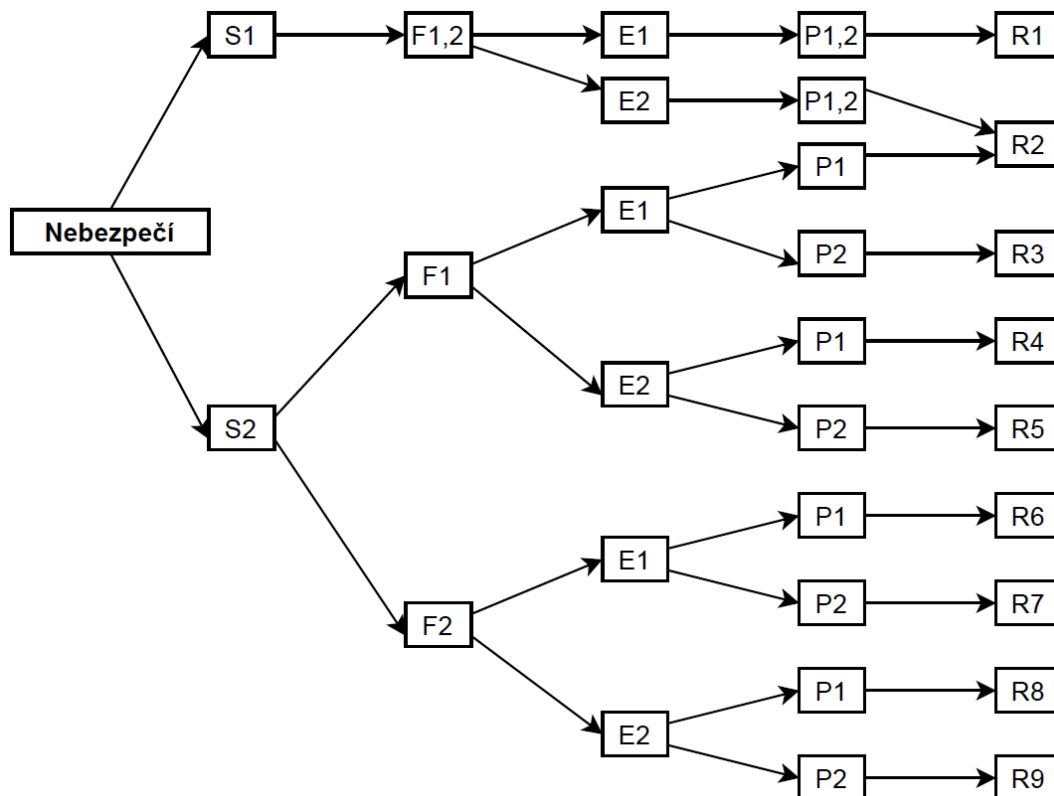
- Možnosti vyvarování se nebo omezení úrazu (P)
 - Osoby, které mohou být vystaveny nebezpečí
 - Kvalifikované (P1)
 - Nekvalifikované (P2)
 - Rychlost výskytu nebezpečné situace
 - Pomalu (P1)
 - Rychle (nečekaně) (P2)
 - Uvědomění si rizika
 - Pomocí výstražných značek a sdělovacích zařízení či přímým pozorováním (P1)

- Všeobecnými informacemi, zejména informacemi v návodu pro používání (P2)
- Možnost zamezení škody (reflexy, hbitostí, možností útěku)
 - Možné za určitých okolností (P1)
 - Stěží možné (P2)
- Praktické zkušenosti a znalosti osob
 - Předchozí zkušenost a znalost stroje či obdobných zařízení (P1)
 - Neznalost a nezkušenost (P2)
- Ustanovení: Je-li výsledkem, byť jen jednou (P2), platí (P2) i pro graf.

Odhad rizika vzhledem k uvažovanému nebezpečí (R)

- Nízké riziko (R1 – R2)
 - Opatření ke snížení rizika nejsou nutná
 - Riziko poranění nebo poškození zdraví je málo pravděpodobné
- Střední riziko (R3 – R6)
 - Opatření ke snížení rizika jsou žádoucí
 - Riziko poranění nebo poškození zdraví je pravděpodobné
- Vysoké riziko (R7 – R9)
 - Opatření ke snížení rizika jsou naléhavě nutná
 - Riziko poranění nebo poškození zdraví je velmi pravděpodobné

Následuje graf, dle kterého je proveden odhad rizika (viz Obr. 15 – Graf odhadu rizika).



Obr. 15) Graf odhadu rizika [18], upraveno]

Určení požadované úrovně vlastností PL_r

Určení PL_r je provedeno dle [15] - ČSN EN ISO 13849-1:2017 jak je uvedeno v této práci v kapitole 5.1.2. „ČSN EN ISO 13849-1:2017 Bezpečnostní části ovládacích systémů“.

6.4 Identifikace nebezpečí, odhad a posouzení rizik

V této kapitole je provedena samotná identifikace nebezpečí, odhad a posouzení rizik vybraného strojního zařízení (viz Tab. 8). Vše je uvedeno v přehledné tabulce, kde jsou postupně uvedeny funkční jednotky a zdroje nebezpečí, stanice, životní fáze stroje, identifikace nebezpečí, odhad prvotního rizika bez ochranných opatření a prvky tohoto rizika, požadovaná úroveň vlastností, učiněná ochranná opatření (seřazená postupně dle metody tří kroků – viz kap. 5.1.1), odhad rizika po použití ochranných opatření a prvky tohoto rizika, upozornění a další informace a validace rizika (viz „Legenda k provedené analýze“ níže).

Legenda k provedené analýze

- L Životní fáze stroje (L1 – L7)
- R Odhad prvotního rizika bez ochranných opatření (R1 – R9)
- P Prvky prvotního rizika (S – závažnost úrazu, F – vystavení osoby/ osob nebezpečí, E – výskyt nebezpečné události, P – možnosti vyvarování se nebo omezení úrazu; více viz kap. 6.3 „Prvky rizika“)
- PL_r Požadovaná úroveň vlastností (a – e)
- R* Odhad rizika po použití ochranných opatření (R1 – R9)
- P* Prvky rizika po použití ochranných opatření (viz kap. 6.3 „Prvky rizika“)
- V Validace rizika (✓ - opatření jsou dostatečná; x – opatření nejsou dostatečná)

Tab 8) Identifikace nebezpečí, odhad a posouzení rizik vybraného strojního zařízení

Funkční jednotka a zdroje nebezpečí	Stanice	L	Identifikace nebezpečí	R	P	PLr	Učiněná ochranná opatření	R*	P*	Upozornění a další informace	V	
Transport												
Nakládka, vykládka stroje	Všechny stanice	L1	Nebezpečí stlačení a naražení od padajícího či převrhnutého stroje a dílů jednotky při nakládce, vykládce a transportu stroje	R9	S2	d	Navržení základu stroje a rozložení hmotnosti k maximální stabilitě	R2	S2	Návod k obsluze: „Transport je možné provádět pouze odborným personálem!“	✓	
					F2		Umístění dorazových bodů na spodní stěnu stroje		F1			
					E2		Transport pouze odborným personálem		E1			Návod k obsluze: „Při transportu nutné používat ochranné rukavice a pracovní oděv!“
					P2		Nutný pracovní oděv a ochranné rukavice		P1			
Rozmístění												
Montáž stroje na uvedeném místě	Všechny stanice	L1, L2	Nebezpečí přiskřípnutí, naražení, stříhu, pořezání, uklouznutí, zakopnutí a pádu při odstraňování obalového materiálu	R5	S2	c	Odstranění ostrých hran a rohů	R2	S2	Návod k obsluze: „Při odstraňování obalového materiálu nutné používat ochranné rukavice a pracovní oděv!“	✓	
					F1		Umístění dorazových bodů na spodní stěně		F1			
					E2		Nutné ochranné rukavice a pracovní oděv		E1			
					P2				P1			

			Nebezpečí přiskřípnutí, stlačení, naražení, stříhu, uklouznutí, zakopnutí a pádu při ruční manipulaci a montáži dílů jednotky	R9	S2	d	Odstranění ostrých hran a rohů	R2	S2	Návod k obsluze: „Při ruční manipulaci a montáži nutné používat ochranné rukavice a pracovní oděv!“	✓
					F2		Umístění dorazových bodů na spodní stěnu stroje		F1		
					E2		Nutné ochranné rukavice a pracovní oděv		E1		
					P2				P1		
			Nebezpečí přiskřípnutí, naražení, stlačení při přemístění těžiště během montáže dílů jednotky	R9	S2	d	Opatření dílů jednotky proti změnám těžiště	R2	S2	Návod k obsluze: „Montáž jednotky smí provádět pouze odborně kvalifikovaný personál!“	✓
					F2		Montování dílů jednotky až po pevném ukotvení základny		F1		
					E2		Pouze odborný personál		E1		
					P2				P1		
Uvedení stroje do provozu											
Připojení stroje k médiím	Všechny stanice	L2, L3	Nebezpečí vymrštění, stříhu, uhození, zachycení, vtažení, průniku či postříkání médií pod vysokým tlakem, zasažení el. proudem od dílů pod napětím, popálení, poškození zraku a kůže a infekce od médií	R9	S2	d	Umístění proudového chrániče v obvodu	R3	S2	Návod k obsluze: „Připojení k médiím smí provádět pouze kvalifikovaný personál! Při úkonu použijte ochranu zraku, ochranné rukavice a pracovní oděv!“	✓
					F2		Umístění zařízení pro omezení a kontrolu tlaku a teploty		F1		
					E2		Pouze odborný personál		E1		
					P2		Nutná ochrana zraku, rukavice a prac. oděv		P2		

Provoz												
Hluk	Všechny stanice	L3, L4, L5, L6	Nebezpečí poškození sluchu, nepohodlí, únavy, ztráty vědomí a ztráty rovnováhy od hluku výrobního procesu stroje (od 80, resp. 85 dB)	R9	S2	d	Izolace zdroje hluku v konstrukci stroje pomocí tlumící vrstvy	R2	S2	Návod k obsluze: „Nutné použití ochrany sluchu při pohybu v pracovišti s hladinou hluku nad 85 dB! (Do 85 dB na zvážení obsluhy.)“	✓	
					F2		Použití ochranných krytů pro snížení emisí hluku		F1			
					E2		Nutná ochrana sluchu		E1			
					P2				P1			
Vkládání výrobních dílů ručně	Zakládací stanice (ST3210, ST 3230)	L3, L4, L5, L6	Nebezpečí stříhu, pořezání, přiskřípnutí, odření a naražení od ostrých hran vkládaných konstrukčních dílů	R6	S2	c	Dostatečný pracovní prostor vně i vevnitř zakládací stanice	R1	S1	Návod k obsluze: „Při ručním vkládání výrobních dílů nutné používat ochranné rukavice a pracovní oděv!“	✓	
					F2		Nutné ochranné rukavice a pracovní oděv		F2			
					E1				E1			
					P1				P1			
		L3, L4, L5, L6	Nebezpečí stříhu, stlačení, pořezání, naražení od ostrých hran přípravků (zakládacího stolu)	R6	c	S2	R1	Odhrotování všech hran, které neplní konstrukční funkci	R1	S1	Návod k obsluze: „Při ručním vkládání výrobních dílů nutné používat ochranné rukavice a pracovní oděv!“	✓
						F2		Tlačítko uvolnění pro uzavření upínek zakládacího stolu (vně stanice)		F2		
						E1		Nutné ochranné rukavice a pracovní oděv		E1		
						P1				P1		

Zakládací oblast – průmyslový robot	Zakládací stanice (ST3210, ST 3230)	L3, L4, L5	Nebezpečí stlačení, pořezání nebo oddělení, stříhu, zachycení, naražení robotem a agregáty	R9	d	S2	Rozložení pracoviště s neomezenými únikovými a průchodovými komunikacemi	R1	S1		✓
						F2	Dvoukanálové řízení (pneumatické, elektrické) robotů		F2		
						E2	Pohyblivý ochranný kryt (např. ochranná brána) nebo snímací ochranné zařízení (např. světelná závora) jako ochrana vstupu obsluhy		E1	Výpočet bezpečné vzdálenosti dle ČSN EN ISO 13855:2010	
						P2	Snímací ochranné zařízení (např. laser skener) jako ochrana zadního přístupu		P1	Výpočet Bezpečné vzdálenosti dle ČSN EN ISO 13855:2010	
							Snímací ochranné zařízení (např. světelná závora) jako ochrana průniku robota do zakládací oblasti (popř. nahrazeno vypnutím pohonů robota během zakládání dílů)				

				R9	d	<p>Tlačítko uvolnění pro obsluhu (vně stanice)</p> <p>Světelná signalizace – maják pro obsluhu</p> <p>Piktogram „Vstup zakázán!“ při zavřeném ochranném krytu</p> <p>Na podlaze výstražné žlutočerné značení (čára) před vstupem do zakládací oblasti</p> <p>Upozornění v návodu k obsluze</p>	R1	<p>S1</p> <p>F2</p> <p>E1</p> <p>P1</p>	<p>Návod k obsluze: „Zakázáno se zdržovat v zakládací oblasti mimo nezbytně nutnou dobu při vkládání dílů do zakládacích stolů!“</p>	✓
			Nebezpečí naražení, pořezání, uhození v případě uvolnění výrobního dílu robotem	R5	c	<p>Tvarovaná bezpečná zakládací lůžka dílů (zabezpečení proti pádu)</p> <p>Uchopovač robota má 2 řízené ventily pro upínače, zapojené vzájemně do kříže (bezpečné zachycení i při výpadku médií)</p> <p>Nutné ochranné rukavice a pracovní oděv</p>	R1	<p>S1</p> <p>F1</p> <p>E1</p> <p>P1</p>	<p>Návod k obsluze: „Při zakládání výrobních dílů nutné používat ochranné rukavice a pracovní oděv!“</p>	✓

Prům. robot – ochranná oblast obecně	Všechny stanice	L3, L4, L5	Nebezpečí uhození, naražení, stlačení od robotů v důsledku ztráty stability robotů (statické a dynamické vlivy)	R9	S2	d	Navržení základu stroje k maximální stabilitě	R1	S1	✓
					F2		Bezpečné upevnění kotevními šrouby		F1	
					E2				E1	
					P2				P1	
	L3, L4, L5, L6	Nebezpečí uhození, naražení, zachycení, stlačení od naprogramovaných pohybů robotů (nebo neprogramovaných pohybů robotů v případě závady)	R9	d	S2	Dělicí ochranné zařízení (ochranné kryty)	R1	S1	Návod k obsluze: „Zakázáno se zdržovat v ochranné oblasti v době provozu stroje mimo programování, údržbu, opravy či seřízení odborně kvalifikovaným personálem!“	✓
					F2	Zastavení všech pohybů a vypnutí napětí (robotů i agregátů) při narušení ochranných zařízení (dělicích i nedělitelných) robotem i osobou		F1		
					E2	Na podlaze výstražné žlutočerné či žluté značení (čáry) okolo ochranné oblasti		E1		
					P2	Piktogram na ochranných krytech: „Nepovolaným vstup zakázán!“		P1		
					Upozornění v návodu k obsluze					

Programování robota	Všechny stanice	L3, L4, L5, L6	Nebezpečí naražení, stlačení, zachycení od robota během seřizování a programování (v seřizovacím provozu – programátor je v nebezpečné oblasti)	R5	d	Pohyb robota při otevřených ochranných dveřích možný jen pomocí uzamykatelného spínače E2.	R1	S1	Návod k obsluze: „Programování robotů smí provádět pouze odborně kvalifikovaný personál!“	✓
						Rychlost robota (při využití spínače E2) je redukována na 10 %.		F1		
						K pohybům robota smí dojít pouze se stišťeným ovladačem na panelu robota.		E1		
						Funkce nouzového stopu – vypnutí náhonů všech robotů.		P1		
						Pouze odborný personál.				
Ochranná dělicí oblast vně stroje	Všechny stanice	L3, L4, L5, L6	Nebezpečí naražení, stlačení, zachycení od robotů a agregátů při možném přístupu do sousedních ochranných zón	R9	d	Při pobytu v jedné ochranné zóně se musí zastavit pohyb komponentů v sousední ochranné zóně vně oblasti při dělitelném ochranném zařízení	R1	S1	Výpočet bezpečné vzdálenosti od ochranné konstrukce dle ČSN EN ISO 13857:2021	✓
						Dělicí ochranné zařízení		F1		

					E2		Při překročení bezpečnostních zařízení umístěn piktogram: „Pozor – Ochranná oblast končí zde. Nevstupovat!“	E1	Návod k obsluze: „Při pohybu v ochranné oblasti nevstupovat do sousedních ochranných oblastí a nepřekračovat ochranná zařízení!“		
					P2		Upozornění v návodu k obsluze	P1			
Vyzařování elmag. nízkofrekvenční, rádiové vlny, mikrovlny	Všechny svařovací stanice	L3, L4, L5, L6	Nebezpečí bolestí hlavy, závratí, omdlení, poruch zdraví od zdrojů záření při svařování	R9	S2	d	Odstínění zdrojů záření	R2	S2	Návod k obsluze: „Přístup do oblastí s výskytem elmag. záření osobám s kardiostimulátorem zakázán!“	✓
					F2		Umístění piktogramu na zařízení: „Přístup osobám s kardiostimulátorem zakázán!“	F1			
					E2		Upozornění v návodu k obsluze	E1			
					P2			P1			
Škodlivé plyny a páry (kouř ze svařování a výpary z ředitel)	Všechny svařovací stanice	L3, L4, L5, L6	Nebezpečí dýchacích potíží, infekce a otravy od škodlivých plynů a výparů při svařování	R6	S2	d	Přívod čerstvého vzduchu do svařovacích oblastí	R1	S1		✓
					F2		Odsávání u vzniklých míst (např. v místě svařovacích kleštín)	F1			
					E1		Odsávání celkové oblasti stanice v okolí vzniku	E1			
					P1			P1			

Odlet materiálu při svařování	Všechny svařovací stanice	L3, L4, L5, L6	Nebezpečí poškození očí, pokožky, popálení od odlétajícího materiálu při svařování	R9	S2	d	Umístění clony proti odlétajícímu materiálu	R1	S1	Návod k obsluze: „Při pohybu v blízkosti svařovacích stanic použijte ochranné brýle, ochranné rukavice a pracovní oděv!“	✓
					F2		Nutná ochrana zraku, ochranné rukavice a pracovní oděv		F1		
					E2				E1		
					P2				P1		
Elektrické jednotky	Všechny stanice	L2, L3, L4, L5, L6	Nebezpečí popálení, zasažení elektrickým proudem, smrti el. proudem při styku s díly pod napětím	R9	S2	d	Uzemnění jednotky (a jednotlivých částí)	R1	S1	Návod k obsluze: „Práci na elektrických jednotkách zařízení smí provádět pouze odborně kvalifikovaný personál!“ „Při údržbě či opravách se ujistěte, že je jednotka bez napětí!“	✓
					F2		Umístění proudového chrániče v obvodu		F1		
					E2		Izolace dílů vodících napětí		E1		
					P2		Otevření elektrických jednotek je možné pouze speciálním klíčem		P1		
							Umístění piktogramu: „Pozor elektrické napětí!“				
							Pouze odborný personál				

Nečekaný rozběh pohybu při/po poruchách (po výpadku energie opět její návrat)	Všechny stanice	L2, L3, L4, L5, L6	Nebezpečí stlačení, pořezání, vtážení či zachycení, tření nebo odření, naražení, stříhu při údržbě, čištění, opravách nebo odstraňování poruch od robotů a agregátů	R9	d	Po výpadku pneum. energie (min. tlak) jsou všechny pohyby zastaveny. Po obnovení tlaku se však jednotka automaticky nespustí.	R1	S1		✓
						Po výpadku elektrické energie jsou všechny pohyby zastaveny. Po obnovení energie se však jednotka automaticky nespustí.		F1		
						Po přerušení činnosti ochranných zařízení jsou všechny pohyby jednotky zastaveny. Nutné uzavření okruhu (či obnova/oprava ochranných zařízení) a kvitování.		E1	Návod k obsluze: „Po aktivaci nouzového zastavení se jednotka po kvitování musí uvést do provozu ještě pomocí manuálního definování stavu.“	
						Po aktivaci nouzového zastavení a následného kvitování se jednotka nespustí. Musí být uvedena pomocí manuálního definovaného stavu.		P1		

Setrvačnost motorů a strojních dílů	Všechny stanice	L2, L3, L4, L5, L6	Nebezpečí popálení, pořezání nebo oddělení, vtažení nebo zachycení, navinutí, tření nebo odření od rotujících prvků zařízení	R9	S2	d	Motory jsou vybaveny provozní brzdou (která je např. při otevření ochranného zařízení aktivována).	R2	S2	Návod k obsluze: „Obsluhovat zařízení a provádět údržbu, opravy či seřizování smí pouze kvalifikovaný zaškolený personál!“	✓
					F2		Motory a rotující prvky jsou opatřeny kryty.		F1		
					E2		Pouze kvalifikovaný zaškolený personál obsluhy a údržby.		E1		
					P2				P1		
Používání funkce nouzového stopu	Všechny stanice	L2, L3, L4, L5, L6	Nebezpečí stlačení, pořezání, vtažení nebo zachycení, naražení či stříhu od robotů a agregátu po použití funkce nouzového stopu	R9	S2	d	Všechny pohyby v jednotce jsou vhodným způsobem zastaveny, aby nezpůsobily další ohrožení.	R1	S1	✓	
					F2		Jedna osoba nemá v rámci svého rozhodnutí při znovuspuštění možnost nouzový vypínač kvitovat. (Nutná další osoba)		F1		
					E2		U každé ovládací jednotky a základacích pracovišť je k dispozici spínač		E1		
					P2				P1		

Údržba											
Odstraňování poruch, opravy	Všechny stanice	L3, L4, L5, L6	Nebezpečí stlačení, pořezání, stříhu, zachycení, naražení navinutí, odření, popálení, nepohodlí, únavy při opravách a odstraňování poruch od zařízení jednotky	R5	S2	c	Navržení přístupnosti stroje s přihlédnutím k rozměrům lidského těla	R1	S1	Návod k obsluze: „Údržbu smí provádět pouze odborně kvalifikovaný personál s ochrannými rukavicemi a pracovním oděvem!“	✓
					F1				F1		
					E2				E1		
					P2				P1		
Uvedení stroje mimo provoz											
Uvedení stroje mimo provoz, demontáž	Všechny stanice	L7	Nebezpečí stlačení, pořezání, zachycení, naražení, odření, popálení, poškození očí a pokožky a postříkání médií, při uvádění stroje mimo provoz od jednotlivých zařízení	R5	S2	c	Navržení základu stroje a rozložení hmotnosti k maximální stabilitě	R1	S1	Návod k obsluze: „Zdvih těžkých břemen možný jen pomocí jeřábu či vysokozdvížného vozíku.“ „Uvedení stroje mimo provoz smí provádět jen odborně zaškolený personál s pomocí ochranných brýlí, ochranných rukavic a pracovního oděvu!“	✓
					F1		Umístění dorazových bodů na spodní stěnu stroje		F1		
					E2		Pouze odborný personál		E1		
					P2		Nutná ochrana zraku, ochranné rukavice a pracovní oděv		P1		

7 NÁVRH ZABEZPEČENÍ PRACOVIŠTĚ

V této kapitole je proveden samotný návrh zabezpečí vybraného výrobního uzlu automatizované linky. Návrh se skládá v první části z variantních řešení layoutu pracoviště, v druhé části následuje technicko-ekonomické posouzení variantních řešení, a nakonec technické a bezpečnostní výpočty pro výslednou variantu pracoviště.

7.1 Návrh variantních řešení layoutu pracoviště

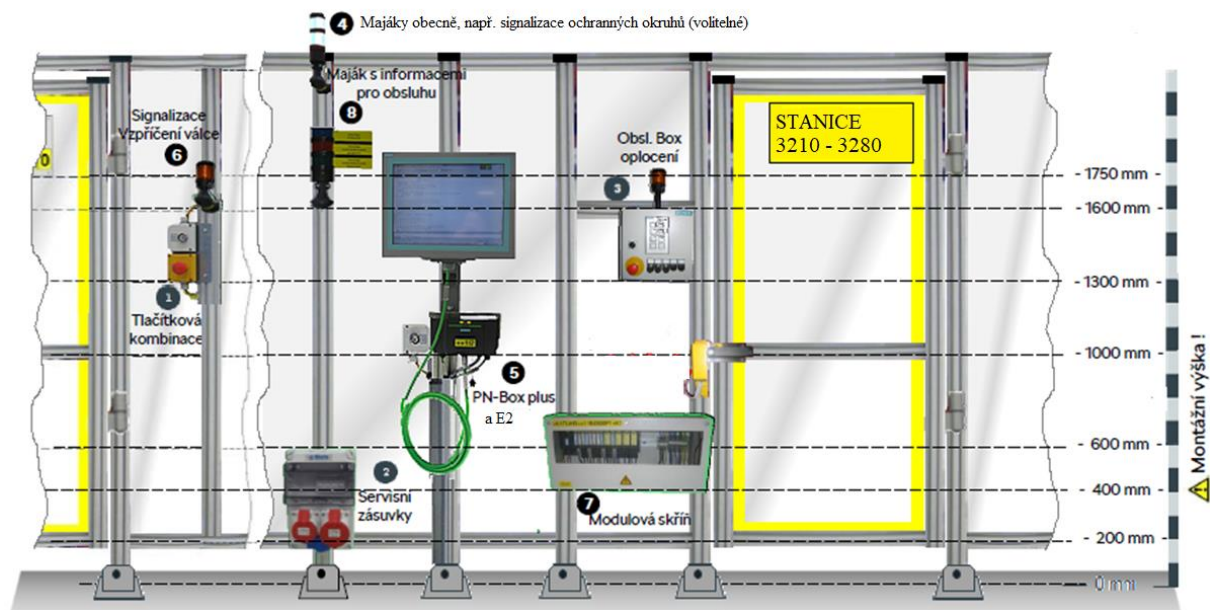
Návrh zabezpečení společný pro všechny varianty:

- Pevný ochranný kryt - ochranné oplocení (provedení dle specifikace zákazníka, v tomto konkrétním případě - hliníkový profil s makrolonovou výplní)
- Bezpečnostní dveře ochranného plotu s uzamykáním a bezpečnostním senzorem
- Tlačítko nouzového zastavení (u všech vkládacích oblastí, ochranných dveří či ovládacích pultů)
- Světelná signalizace (majáky pro obsluhu či údržbu)
- Uzamykatelný spínač E2 (údržba, opravy, programování)
- Odsávání u svařovacích oblastí (tvorba jedovatých plynů při svařování – ochrana zdraví obsluhy)

Proces při vstupu do ochranné zóny:

- Pracovník stiskne tlačítko „Žádost o vstup“ vedle ochranných dveří (na ovládacím panelu).
- Pracovník vyčká, až všechny automatické pohyby budou ukončeny.
- Uvolnění pro vstup do stanice je indikováno trvalým světlem na světelné signalizaci (pracovník se ujistí pohledem na signalizaci, že vstup je povolen).
- Pracovník otevře ochranné dveře (pozn.: osobní zámek zavěsí k zámku dveří - aby ostatní pracovníci byli obeznámeni, že se uvnitř ochranné zóny nachází osoba a nemohli spustit výrobní proces).
- Pracovník zajistí vše potřebné v ochranné zóně.
- Pracovník opustí ochrannou zónu a stiskne tlačítko uvolnění ochranného okruhu (na ovládacím panelu).

Následuje schématické znázornění ochranných dveří s obslužnými prvky (viz Obr. 16).



Obr. 16) Schématické znázornění ochranných dveří s obslužnými prvky

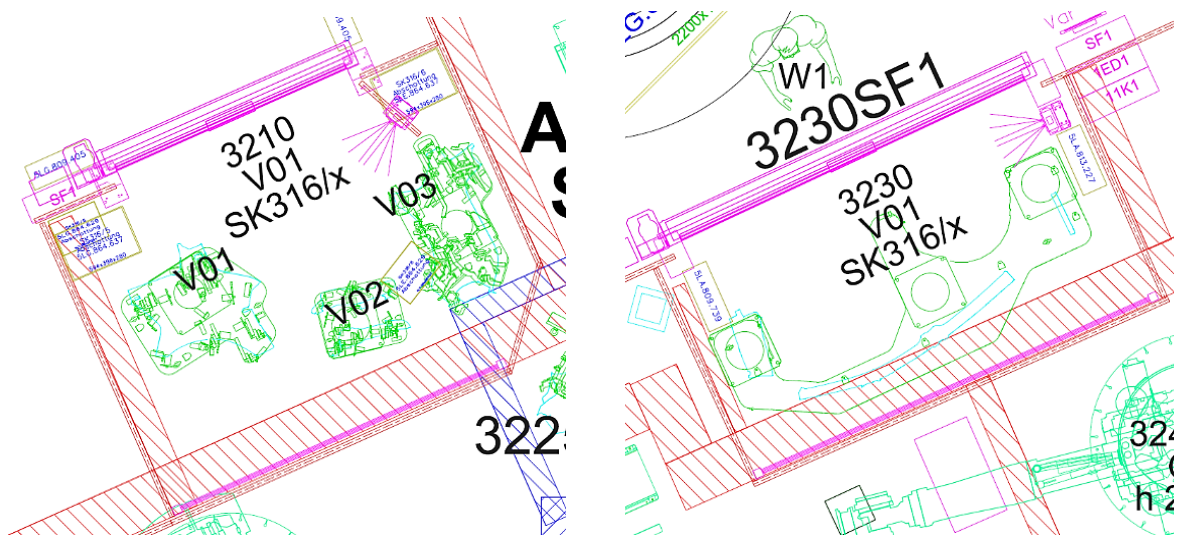
Variantní návrhy zabezpečení se budou zabývat pouze dvěma základními pracovišti (princiálně podobnými – ST3210 a ST3230), kde probíhá manuální zakládání dílů pracovníkem a následně odebrání a manipulace průmyslovým robotem. Společný návrh zabezpečení bude v layoutu viditelný až u výsledné varianty (viz Příloha č. 2).

Varianta 1

Návrh zabezpečení zakládacího pracoviště:

- Pohyblivý ochranný kryt s blokováním (ochranná brána)
- Laserový scanner (horizontální poloha, ochrana zadního vstupu)
- Světelná závora (vertikální, ochrana před vstupem robota do sdílené oblasti)
- Pevná zábrana za vkládacím stolem proti neoprávněnému vstupu do robotické části
- Tlačítko uvolnění (po každé straně ochranné brány, spolu s tlačítkem nouzového zastavení)

Následuje layout zakládacích pracovišť varianty 1 (viz Obr. 17).



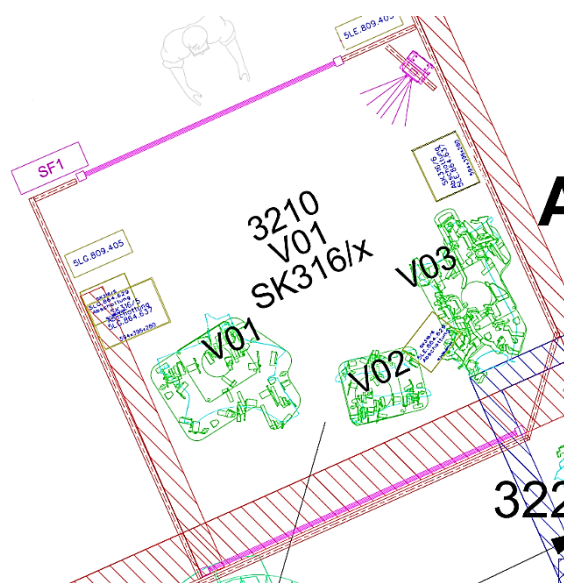
Obr. 17) Layout základacích pracovišť varianty 1 a) ST3210 b) ST3230

Varianta 2

Návrh zabezpečení základacího pracoviště:

- Světelná závora (vertikální, ochrana před vstupem obsluhy do sdílené oblasti)
- Laserový scanner (horizontální poloha, ochrana zadního vstupu)
- Světelná závora (vertikální, ochrana před vstupem robota do sdílené oblasti)
- Pevná zábrana za vkládacím stolem proti neoprávněnému vstupu do robotické části
- Tlačítko uvolnění (po každé vstupní straně, spolu s tlačítkem nouzového zastavení)

Při použití světelné závory jako ochrany před vstupem obsluhy do sdílené oblasti, je nutné předsadit závoru z důvodu výpočtu bezpečné vzdálenosti. Předsazení světelné závory je znázorněno u stanice ST3210. Následuje layout základacího pracoviště varianty 2 (viz Obr. 18).



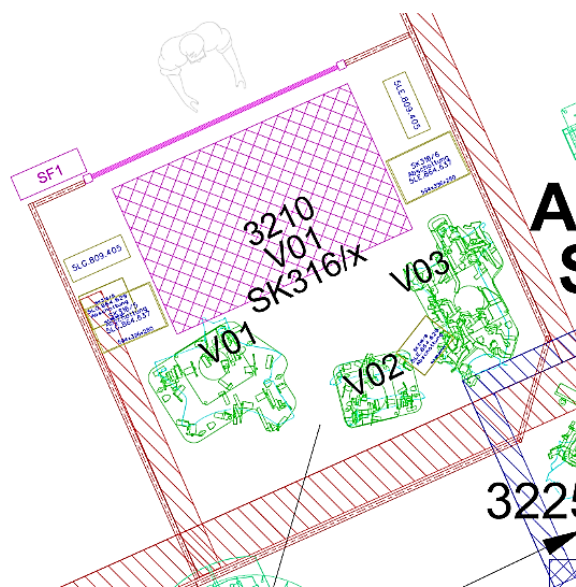
Obr. 18) Layout základacího pracoviště ST3210 varianty 2

Varianta 3

Návrh zabezpečení zakládacího pracoviště:

- Světelná závora (vertikální, ochrana před vstupem obsluhy do zakládací oblasti)
- Bezpečnostní nášlapná rohož (v zakládací oblasti)
- Vypnutí pohonů robota po celou dobu vkládání do zakládacího stolu
- Pevná zábrana za vkládacím stolem proti neoprávněnému vstupu do robotické části
- Tlačítko uvolnění (po každé vstupní straně, spolu s tlačítkem nouzového zastavení)

Při použití světelné závory a nášlapné rohože je stejně jako v minulém případě nutné předsadit závoru z důvodu výpočtu bezpečné vzdálenosti. Tato varianta je znázorněno u stanice ST3210. Následuje layout zakládacího pracoviště varianty 3 (viz Obr. 19).



Obr. 19) Layout zakládacího pracoviště ST3210 varianty 3

7.2 Technicko-ekonomické posouzení variantních řešení

Technicko-ekonomické posouzení variantních řešení je přehledně znázorněno ve formě následující tabulky (viz Tab. 9). Dále je uvedeno slovní zhodnocení jednotlivých variant návrhu.

Tab 9) Technicko-ekonomické posouzení variantních řešení zabezpečení základacích pracovišť

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3
Pohyblivý ochranný kryt	2x 15 000 €	---	---
Laserový scanner	2x 4 500 €	2x 4 500 €	---
Světelná závora	2x 4 500 €	4x 4 500 €	2x 4 500 €
Nášlapná rohož	---	---	2x 3 000 €
Pevný ochranný kryt (oplocení)	12 x 150 €	18 x 150 €	18 x 150 €
Cena celková	49 800 €	29 700 €	17 700 €
Bezpečnost pracoviště	Bezpečné	Bezpečné	Bezpečné
Použitelnost varianty v konkrétní hale	Vyhovuje	Částečně vyhovuje (viz komentáře dále)	Nevyhovuje (viz komentáře dále)

Variantní návrh 1 zabezpečení základacích pracovišť se skládá z kombinace pohyblivého ochranného krytu s blokováním (ochranné brány – sloužící jako ochrana vstupu obsluhy do nebezpečné oblasti, případně jako ochrana obsluhy při průniku robota bránou), laserového scanneru (sloužícímu jako ochrana zadního vstupu obsluhy) a světelné závory (jako ochrany před vstupem robota do sdílené oblasti). Varianta je doplněna o pevnou zábranu za vkladacím stolem proti neoprávněnému vstupu do robotické části a tlačítka uvolnění po každé straně ochranné brány. Tato varianta s celkovou cenou cca 50 tis. € je nejdražší navrhnoutou variantou, která jediná zabraňuje fyzickému vstupu do nebezpečné oblasti. Důvodem je instalování pohyblivého krytu s blokováním, který zamezuje přímému vstupu, na rozdíl od zbývajících variant (které pouze detekují vstup do oblasti a zastaví nebezpečné pohyby). Tento kryt slouží zároveň i jako ochrana před nežádoucím průnikem robota mimo základací stanici, a to díky bezpečnostním koncovým snímačům v konstrukci krytu (viz Obr. 19). Varianta je plně použitelná v konkrétní hale, vyhovuje jak všem požadavkům zákazníka, tak i prostorovému uspořádání haly.

Varianta 2 navrhuje zabezpečení pracovišť pomocí snímacích ochranných zařízení – světelných závor (jako ochrany před vstupem obsluhy do sdílené oblasti a dále jako ochrany před vstupem robota do sdílené oblasti) a laserového scanneru (jako ochrany před zadním vstupem). Dále je varianta doplněna o pevnou zábranu za vkladacím stolem a o tlačítka uvolnění po každé vstupní straně. Tato varianta s ohodnocenou cenou cca 30 tis. € je levnější alternativou k první variantě, a to o více než 20 tis. €. I když tato varianta vyhovuje plně bezpečnostním normám, ve srovnání s 1. zmíněnou variantou umožňuje samotný vstup do nebezpečné oblasti, a až poté následuje zastavení nebezpečných pohybů po sejmutí vstupu obsluhy snímacími ochrannými zařízeními. Dále je nutné u této varianty počítat s předsazením

světelné závory (jako ochrany před vstupem obsluhy do sdílené oblasti), tím dojde k nutnosti prostorově rozšířit zakládací stanici (o cca 1,5 m). Toto rozšíření je v případě použití v konkrétní hale problémem u zakládací sanice ST3230, jelikož hala není vzhledem k prostorovým mezím tomuto uzpůsobena. Rozšíření lze provést pouze u ST3210.

Zabezpečení zakládacích pracovišť u varianty 3 je řešeno pomocí světelné závory (jako ochrany před vstupem obsluhy do zakládací oblasti), bezpečnostní nášlapnou rohoží (v zakládací oblasti) a vypnutím pohonů robota po celou dobu vkládání dílů do zakládacího stolu. Dále je varianta doplněna o pevnou zábranu za vkládacím stolem a tlačítka uvolnění po každé vstupní straně jako u předešlých variant. S ohodnocením na cca 18 tis. € se jedná o nejlevnější variantu z navržených, o cca 32 tis. € levnější oproti prvnímu a o 12 tis. € levnější oproti druhému návrhu. Tato cena je však vykoupena absencí světelné závory jako ochrany před vstupem robota do sdílené oblasti a jejím nahrazením pomocí vypnutých pohonů robotů v době zakládání. Takové řešení však naráží v konkrétním případě na následující problém – časové narušení výrobního taktu, což je prvním důvodem k nemožnosti využití této varianty. Druhým problémem je nutnost předsadit světelnou závoru i rohož z důvodu výpočtu bezpečné vzdálenosti stejně jako u minulé varianty. Použitelnost v konkrétní hale tedy z důvodu omezeného prostoru není možná u stanice ST3230. Posledním problémem navrhované varianty jsou požadavky zákazníka – dle vnitřních předpisů neumožňuje použití nášlapné rohože pro svařovnu (z důvodu nevhodného prostředí, umožněno v čistějších provozech – např. tzv. finish linka).

7.2.1 Zhodnocení a výběr výsledné varianty

Na základě technicko-ekonomického posouzení variantních řešení je poslední navržená varianta 3 (se světelnou závorou a nášlapnou rohoží) zejména z hlediska požadavků zákazníka (i narušení výrobního taktu) v konkrétní hale nevyhovující. Druhá navržená varianta (se dvěma světelnými závorami a laserovým scannerem) je z důvodu prostorových mezí haly použitelná pouze u jedné zakládací stanice. První varianta (s pohyblivým ochranným krytem s blokováním, laserovým scannerem a světelnou závorou) je plně vyhovující všem požadavkům při použití v konkrétní hale.

Nabízela by se možnost kombinace varianty č. 1 u jedné stanice a levnější varianty č. 2 u druhé zakládací stanice (s možností prostorového rozšíření). Tato možnost se však nejeví jako nejlepší, a to z toho důvodu, že provedení první varianty neumožňuje přímý vstup obsluhy do nebezpečného prostoru na rozdíl od varianty č. 2. Dalším důvodem je, že jeden pracovník obsluhuje obě stanice zároveň, a rozdílné zabezpečení stanic by mohlo znamenat potenciální riziko úrazu obsluhy při zakládání dílů, z důvodu nedostatečné koncentrace a zmatení obsluhy.

Jako výslednou vybranou variantu tedy volím variantní návrh č. 1. Tzn. zakládací stanice budou zabezpečeny: pohyblivým ochranným krytem s blokováním, laserovým scannerem, světelnou závorou, pevnou zábranou za vkládacím stolem a tlačítka uvolnění po stranách pohyblivého krytu. Dále bude vybraný výrobní uzel zabezpečen pevným ochranným krytem (ochranným oplocením), bezpečnostními dveřmi s uzamykáním a bezpečnostním senzorem, tlačítka nouzového zastavení (po stranách vkládacích oblastí, u ochranných dveří a ovládacích panelů), světelnou signalizací (majáky pro obsluhu a údržbu), uzamykatelnými spínači E2 (pro programování, údržbu či opravy) a odsáváním u svařovacích oblastí.

7.3 Technické a bezpečnostní výpočty pro výslednou variantu pracoviště

Výpočet bezpečné vzdálenosti – předsazení vertikální závory

Níže je proveden výpočet bezpečné vzdálenosti – předsazení vertikálních závor u stanic ST3210 a ST3230 (resp. robotů 3215R01 a 3240R01) dle ČSN EN ISO 13855:2010 [19].

Doba odezvy systému řízení:	cca 100 ms	
Doba odezvy světelné závory:	18 ms	(SICK C4C, rozlišení 14 mm)
Doba zastavení robota:	1016 ms	(Kuka KR420R3330)

$$S = (K \times T) + C \quad (1)$$

$$S = (K \times T) + 8(d - 14) \quad (2)$$

$$S = (2000 \times 1,134) + 8(14 - 14) \text{ mm}$$

$$S = 2268 \text{ mm}$$

Dle normy [19], jestliže je výsledek $S > 500 \text{ mm}$, může být použita hodnota $K = 1600 \text{ mm/s}$
Pak tedy platí:

$$S = (K \times T) + 8(d - 14) \quad (2)$$

$$S = (1600 \times 1,134) + 8(14 - 14) \text{ mm}$$

$$S = 1815 \text{ mm}$$

Kde:

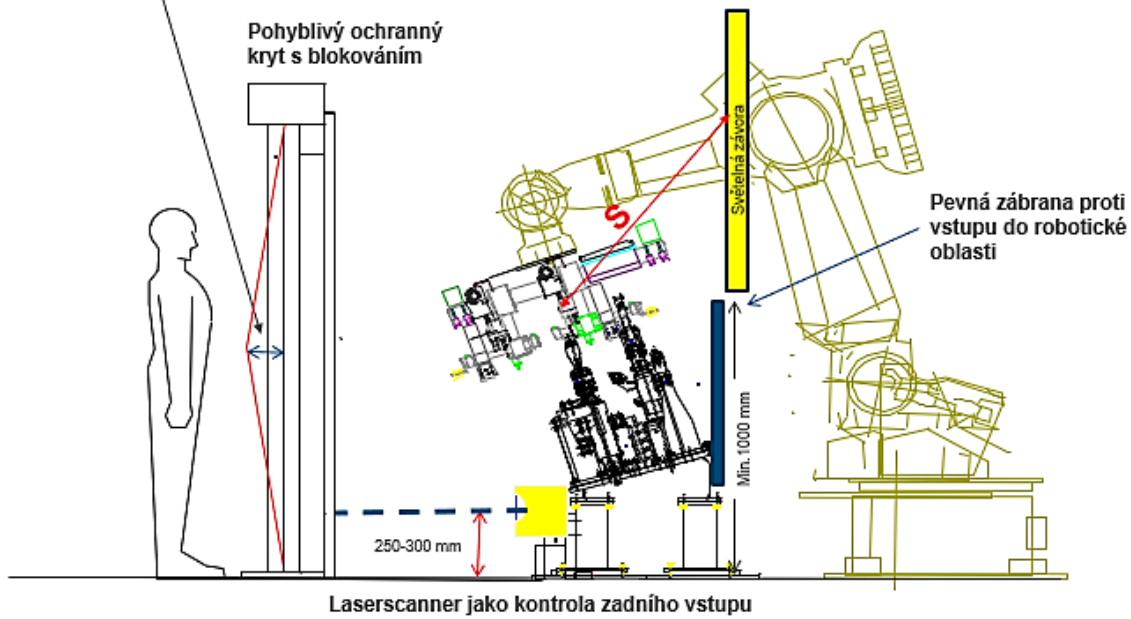
S (mm)	... minimální bezpečná vzdálenost mezi robotem (resp. světelnou závorou) a základacím stolem
K (mm/s)	... rychlost přiblížení lidského těla
T (s)	... celková doba zastavení systému
C (mm)	... vzdálenost vniknutí (ne menší než 0)
d (mm)	... detekční schopnost senzoru zařízení (rozlišení)

Dle výpočtů vyšla minimální bezpečná vzdálenost (předsazení vertikální závory) na hodnotu $S = 1815 \text{ mm}$. Dráha, doba doběhu a bezpečná vzdálenost bude po montáži ověřena přeměřením - protokolem o správné instalaci vydaným certifikovanou osobou.

Následuje schématické znázornění základací stanice s robotem, bezpečnostními opatřeními a bezpečnou vzdáleností (viz Obr. 20).

V případě nežádoucího průniku robota přes ochranný kryt, se bezpečnostní okruh vypne prostřednictvím bezpečnostních koncových snímačů v konstrukci krytu.

Snímání robota pomocí světelné závory. Vzdálenost mezi závorou a základacím stolem stanovena dle ČSN EN ISO 13855:2010



Obr. 20) Schématické znázornění základací stanice

8 ZÁVĚR

Tato diplomová práce se zabývala bezpečností vybraného výrobního uzlu automatizované linky pro výrobu automobilových karosérií. Konkrétní linka byla určena pro výrobu levého vnitřního rámu (postranice) automobilu a vybraným výrobním uzlem byla první ze čtyř oblastí zařízení, do kterých se celá linka dělila. V první části práce byla provedena rešerše současného stavu požadavků plynoucích z relevantních směrnic Evropského parlamentu a Rady. Byly provedeny rozbory následujících směrnic: 2006/42/ES o strojních zařízeních, 2014/35/EU o elektrických zařízeních nízkého napětí, 2014/30/EU o elektromagnetické kompatibilitě a 2014/68/EU o tlakových zařízeních.

Následovala kapitola systémového rozboru řešené problematiky, kde byl uveden kontext problematiky, návrh a zdůvodnění zvoleného způsobu řešení a zejména popis linky a vybraného výrobního uzlu. Byly uvedeny a znázorněny výrobní díly a popsány manuální i robotické operace v daném výrobním uzlu.

Další kapitola se zabývala analýzou požadavků standardů - harmonizovaných norem v oblasti bezpečnosti vybraného výrobního uzlu. Zejména byly analyzovány následující harmonizované normy: ČSN EN ISO 12100:2011 Posouzení rizika a snižování rizika, ČSN EN ISO 13849-1:2017 Bezpečnostní části ovládacích systémů, ČSN EN ISO 10218-2:2011 Bezpečnost průmyslových robotů a ČSN EN 60204-1:2019 Elektrická zařízení strojů.

Dále se práce zabývala identifikací nebezpečí, odhadem a posouzením rizik strojního zařízení. Nejdříve proběhla identifikace nebezpečí dle konstrukce pracoviště. Poté byl vytvořen seznam identifikovaných činností během fází životního cyklu stroje. Na základě těchto činností byla provedena identifikace nebezpečí, dále odhad a posouzení rizik a byla učiněna ochranná opatření pro snížení nepřijatelných rizik.

V poslední části této práce byl proveden návrh zabezpečení pracoviště. Ten se skládal v první části z návrhu variantních řešení layoutu pracoviště se zohledněním preventivních opatření pro snížení rizik. Byly vytvořeny 3 variantní návrhy zabezpečení základacích pracovišť a dále návrh zabezpečení společný pro všechny varianty. Následovalo technicko-ekonomické posouzení variantních řešení a výpočet bezpečné vzdálenosti u vybrané varianty – předsazení vertikální závory.

Na základě zhodnocení byla finálně vybrána varianta 1., kde základací stanice byly zabezpečeny následovně: pohyblivým ochranným krytem s blokováním (jako ochrana vstupu obsluhy do nebezpečné oblasti), laserovým scannerem (sloužícím jako ochrana zadního vstupu obsluhy), světelnou závorou (jako ochrany před vstupem robota do sdílené oblasti), pevnou zábranu za vkládacím stolem (proti neoprávněnému vstupu do robotické části) a tlačítka uvolnění po každé straně pohyblivého ochranného krytu. Tato varianta s odhadnutou cenou cca 50 tis. € byla nejdražší navrhnoutou variantou. Důvodem bylo instalování zmíněného pohyblivého krytu s blokováním, který zamezoval přímému vstupu do nebezpečné oblasti, na rozdíl od zbývajících variant (které pouze detekovaly vstup do oblasti a následně zastavily nebezpečné pohyby). Tento kryt sloužil díky bezpečnostním koncovým snímačům zároveň i jako ochrana před nežádoucím průnikem robota mimo základací stanici. Varianta vyhovovala jak všem požadavkům zákazníka, tak i prostorovému uspořádání haly (na rozdíl od dalších variant, které měli s nedostatečným prostorem haly v důsledku nutného předsazení světelných závor potíže). Dále byl vybraný výrobní uzel zabezpečen pevným ochranným krytem (ochranným oplocením), bezpečnostními dveřmi s

uzamykáním a bezpečnostními senzory, tlačítky nouzového zastavení, světelnou signalizací (majáky pro obsluhu a údržbu), uzamykatelnými spínači E2 (pro programování, údržbu či opravy) a odsáváním u svařovacích oblastí.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Marek Jiří, et. al. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha : MM Publishing, s.r.o., 2014. ISBN 978-80-260-6780-1.
2. Svařovací linky. *Chropynská strojírna a.s.* [Online] [Citace: 19. 02 2021.] Dostupné z: <http://www.chropynska.cz/24766-svarovaci-linky>.
3. 176/2008 Sb. Nařízení vlády o technických požadavcích na strojní zařízení. *Zákony pro lidi*. [Online] 2008. [Citace: 11. 02 2021.] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-176>.
4. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/42/ES ze dne 17. května 2006 o strojních zařízeních a o změně směrnice 95/16/ES. *EUR-Lex: Přístup k právu Evropské unie*. [Online] Brusel: Úřad pro publikaci, 2006. [Citace: 11. 02 2021.] Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32006L0042&from=GA>.
5. 118/2016 Sb. Nařízení vlády o posuzování shody elektrických zařízení určených pro používání v určitých mezích napětí při jejich dodávání na trh. *Zákony pro lidi*. [Online] 2016. [Citace: 12. 02 2021.] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-118>.
6. 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. *EUR-Lex: Přístup k právu Evropské unie*. [Online] Brusel: Úřad pro publikaci, 2014. [Citace: 12. 02 2021.] Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0035&from=HU>.
7. 117/2016 Sb. Nařízení vlády o posuzování shody výrobků z hlediska elektromagnetické kompatibility při jejich dodávání na trh. *Zákony pro lidi*. [Online] 2016. [Citace: 12. 02 2021.] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-117>.
8. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/30/EU ze dne 26. února 2014 o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se elektromagnetické kompatibility. *EUR-Lex: Přístup k právu Evropské unie*. [Online] Brusel: Úřad pro publikaci, 2014. [Citace: 12. 02 2021.] Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0030&from=HU>.
9. 219/2016 Sb. Nařízení vlády o posuzování shody tlakových zařízení při jejich dodávání na trh. *Zákony pro lidi*. [Online] 2016. [Citace: 18. 02 2021.] Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-219>.
10. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2014/68/EU ze dne 15. května 2014 o harmonizaci právních předpisů členských států týkajících se dodávání tlakových zařízení na trh. *EUR-Lex: Přístup k právu Evropské unie*. [Online] Brusel: Úřad pro publikaci, 2014. [Citace: 18. 02 2021.] Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32014L0068>.
11. Rozhodnutí Evropského parlamentu a Rady č. 768/2008/ES ze dne 9. července 2008 o společném rámci pro uvádění výrobků na trh a o zrušení rozhodnutí Rady 93/465/EHS. *EUR-Lex: Přístup k právu Evropské unie*. [Online] Brusel: Úřad pro publikaci, 2008. [Citace: 14. 05 2021.] Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32008D0768&qid=1620996652273>.

12. Chropyňská strojírna, a.s. Návod k obsluze. *Popis linky: Výrobní zařízení STI, Postranice vnitřní levá*. Chropyně, 2021.

13. Chropyňská strojírna, a.s. Obrazový pracovní návod. *Výrobní zařízení STI, Postranice vnitřní levá*. Chropyně, 2021.

14. ČSN EN ISO 12100:2011, R1:2020 Bezpečnost strojních zařízení - Všeobecné zásady pro konstrukci - Posouzení rizika a snižování rizika. *ČSN online*. [Online] Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020. [Citace: 25. 02 2021.] Dostupné z: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>.

15. ČSN EN ISO 13849-1:2017 Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Obecné zásady pro konstrukci. *ČSN online*. [Online] Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017. [Citace: 04. 03 2021.] Dostupné z: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>.

16. ČSN EN ISO 10218-2:2011 Roboty a robotická zařízení - Požadavky na bezpečnost průmyslových robotů - Část 2: Systémy robotů a integrace. *ČSN online*. [Online] Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. [Citace: 04. 03 2021.] Dostupné z: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>.

17. ČSN EN 60204-1:2019 ed.3 Bezpečnost strojních zařízení - Elektrická zařízení strojů - Část 1: Obecné požadavky. *ČSN online*. [Online] Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019. [Citace: 23. 04 2021.] Dostupné z: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>.

18. TNI ISO/TR 14121-2 Bezpečnost strojních zařízení - Posouzení rizika - Část 2: Praktický návod a příklady metod. *ČSN online*. [Online] Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020. [Citace: 15. 03 2021.] Dostupné z: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>.

19. ČSN EN ISO 13855:2010 Bezpečnost strojních zařízení - Umístění ochranných zařízení s ohledem na rychlosti přiblížení částí lidského těla. *ČSN online*. [Online] Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. [Citace: 01. 05 2021.] Dostupné z: <https://csnonline.agentura-cas.cz/>.

10 SEZNAM ZKRATEK, OBRÁZKŮ A TABULEK

10.1 Seznam tabulek

TAB 1) ÚROVNĚ VLASTNOSTÍ (PL) [15]	42
TAB 2) VZTAH MEZI ÚROVNÍ VLASTNOSTÍ (PL) A ÚROVNÍ INTEGRITY BEZPEČNOSTI (SIL) [15]	42
TAB 3) STŘEDNÍ DOBA DO NEBEZPEČNÉ PORUCHY KAŽDÉHO KANÁLU (MTTF _D) [15]	42
TAB 4) DIAGNOSTICKÉ POKRYTÍ (DC) [15]	42
TAB 5) ZJEDNODUŠENÝ POSTUP PRO HODNOCENÍ ÚROVNĚ VLASTNOSTÍ (PL) [15]	42
TAB 6) IDENTIFIKACE NEBEZPEČÍ DLE KONSTRUKCE PRACOVIŠTĚ.....	49
TAB 7) SEZNAM IDENTIFIKOVANÝCH ČINNOSTÍ BĚHEM ŽIVOTNÍHO CYKLU STROJE [14], UPRAVENO]	51
TAB 8) IDENTIFIKACE NEBEZPEČÍ, ODHAD A POSOUZENÍ RIZIK VYBRANÉHO STROJNÍHO ZAŘÍZENÍ.....	57
TAB 9) TECHNICKO-EKONOMICKÉ POSOUZENÍ VARIANTNÍCH ŘEŠENÍ ZABEZPEČENÍ ZAKLÁDACÍCH PRACOVIŠŤ	73

10.2 Seznam obrázků

OBR. 1) SVAŘOVACÍ AUTOMATIZOVANÁ LINKA NA VÝROBU AUTOMOBILOVÝCH KAROSÉRIÍ [2].....	17
OBR. 2) LAYOUT ZAKLÁDACÍ STANICE A) ST3210, B) ST3230 [12]	28
OBR. 3) ZNÁZORNĚNÍ ZAKLÁDANÝCH DÍLŮ ST3210 A) SK316/5 B) SK316/6 [12]	31
OBR. 4) ZAKLÁDACÍ PLÁN PRO OBSLUHU ST3210, SK316/5 [13]	31
OBR. 5) ZAKLÁDACÍ PLÁN PRO OBSLUHU ST3230, SK 316/5 [13]	32
OBR. 6) ZAKLÁDACÍ PLÁN PRO OBSLUHU ST3230, SK 316/6 [13]	32
OBR. 7) BODOVÝ PLÁN ROBOTICKÉHO ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ VE STANICI 3280 (R01) [13]	33
OBR. 8) BODOVÝ PLÁN ROBOTICKÉHO ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ VE STANICI 3280 (R02) [13]	33
OBR. 9) ROBOTICKY SVAŘENÝ DÍL ST3280, SK316/5 [12].....	34
OBR. 10) ROBOTICKY SVAŘENÝ DÍL ST3280, SK316/6 [12].....	34
OBR. 11) VLIVY NA BEZPEČNOST POSUZOVANÉHO VÝROBNÍHO UZLU.....	36
OBR. 12) PRVKY RIZIKA [14], UPRAVENO]	40
OBR. 13) GRAF PRO URČENÍ POŽADOVANÉ ÚROVNĚ VLASTNOSTÍ PL _R PRO BEZPEČNOSTNÍ FUNKCI [15], UPRAVENO].....	43

OBR. 14)BLOKOVÝ DIAGRAM VYBRANÉHO ROBOTIZOVANÉHO PRACOVÍŠTĚ.....	49
OBR. 15)GRAF ODHADU RIZIKA [18], UPRAVENO].....	55
OBR. 16)SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ OCHRANNÝCH DVEŘÍ S OBSLUŽNÝMI PRVKY.....	70
OBR. 17)LAYOUT ZAKLÁDACÍCH PRACOVÍŠŤ VARIANTY 1 A) ST3210 B) ST3230.....	71
OBR. 18)LAYOUT ZAKLÁDACÍHO PRACOVÍŠTĚ ST3210 VARIANTY 2	71
OBR. 19)LAYOUT ZAKLÁDACÍHO PRACOVÍŠTĚ ST3210 VARIANTY 3	72
OBR. 20)SCHÉMATICKÉ ZNÁZORNĚNÍ ZAKLÁDACÍ STANICE	76

10.3 Seznam zkratek

ARG	pracovní oblast / oblast zařízení (Arbeitsgruppe)
SK	ochranný okruh (Schutzbereich)
ST	stanice (Station)
EMC	elektromagnetická komptabilita (Electromagnetic compatibility)
KLT	regál na drobné díly (kleine Ladungsträger)
R	robot [následuje číselné označení robota]
-G	uchopovač (Greifer) [možnost označení robota]
-G+G	kombinace dvou uchopovačů na jednom robotu
-Z/-SZ	svařovací kleště (Zange / Schweißzange) [možnost označení robota]
DT	otočný stůl (Drehtisch)

Zkratky všeobecně známé a další zkratky již vysvětlené v textu práce zde nejsou uvedeny.

11 SEZNAM PŘÍLOH

- 1) Layout vybraného výrobního uzlu ARG1SK1 před použitím ochranných zařízení [12], upraveno]
- 2) Layout vybraného výrobního uzlu ARG1SK1 po použití ochranných zařízení

2) Layout vybraného výrobního uzlu ARG1SK1 po použití ochranných zařízení

