

# Bezpečnostní obvody strojních zařízení

## *Safety circuits of machinery*

Tomáš Mlčák  
Katedra elektrotechniky  
VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Česká republika  
[Tomas.mlcak@vsb.cz](mailto:Tomas.mlcak@vsb.cz)

Roman Hrbáč  
Katedra elektrotechniky  
VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Česká republika  
[Roman.hrbac@vsb.cz](mailto:Roman.hrbac@vsb.cz)

Stanislav Zajaczek  
Katedra elektrotechniky  
VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Česká republika  
[Stanislav.zajaczek@vsb.cz](mailto:Stanislav.zajaczek@vsb.cz)

**Abstrakt**—Tento článek demonstruje průmyslovou technologii, skládající se ze dvou částí, je zde provedeno posouzení a analýza rizik, jsou zde navrženy a využity vhodné bezpečnostních komponenty, za účelem snížení identifikovaných rizik. Pro návrh bezpečnostních komponentů jsou použity komponenty od společnosti Allen-Bradley. Pro demonstraci hardwarové části jsou navrženy dva laboratorní panely, osazené bezpečnostními prvky a programovatelnými bezpečnostními řídicími jednotkami.

**Klíčová slova**—*bezpečnostní technika strojů, bezpečnostní modul.*

**Abstract**— I propose a industrial technology, consisting of two parts, I make an assessment and risk analysis, from the catalogue I suggest the use of appropriate safety components, for a purpose reduction the identified risks. I chose company Allen-Bradley for the design of safety components. For demonstration to the hardware part I suggest to assemble two laboratory panels, where are fitted used safety components and programmable safety controllers. Then I am making a suggestion software, electrical parts and constructions for both laboratory panels.

**Keywords**— *safety machinery, security module.*

### I. ÚVOD

Článek popisuje návrh a realizaci laboratorního stanoviště s využitím moderních systémů bezpečnostních obvodů. Toto stanoviště bude simulovat v dnešní době velice důležitou část moderního strojního zařízení, a to je funkční bezpečnost strojních zařízení. Postup stanovení úrovně vlastností PL podle normy ČSN EN ISO 13849-1 a úrovně integrity SIL dle ČSN EN 62061 pro návrh laboratorního modelu. V závěru je ověření navrženého modelu v rámci praktické realizace a uvedení do provozu. Následně je vypracováno zhodnocení a potvrzení celkové bezpečnosti s případnou možností jejich zdokonalení. Podkladem pro realizaci projektu jsou normy ČSN EN 61508-1, ČSN EN ISO 13849-1 a ČSN EN 62061.

### II. LABORATORNÍ PANELE

Laboratorní panely simulují výrobní proces. První část technologie slouží pro zpracování, porcování, plnění a balení zeleniny do sklenic. Jedná se o malou výrobní linku. Hlavním požadavkem je její plná automatická, tak aby obsluha pouze zajišťovala na začátku linky dostatečný přísun suroviny a sklenic pro plnění, na druhém konci již mohla

odebírat naplněné a zašroubované sklenice. Na začátku této linky se nachází zásobník, který obsluha ručně plní z předem připravených přepravek již očištěné kusové zeleniny. Přepravky obsluha vyprázdní do nerezového zásobníku, na jehož dně se nachází šnekový podavač, který zeleninu dopravuje ke struhadlu. Struhadlo zeleninu rozmělní na požadovanou velikost, ta je následně dopravená k druhému nerezovému zásobníku. Zde se tvoří zásoba zpracované zeleniny pro následné plnění do sklenic. Zásobník má na svém dně umístěnou měрку s váhou pro zajištění naplnění všech sklenic stejným množstvím. Sklenice jsou dopravovány pod zásobník pomocí robotického podavače. Podavač odebírá sklenice ze zásobníku a přemísťuje je do prostoru plnění zeleninou. Sklenice je naplněna zeleninou a potřebným lákem. Takto naplněná sklenice zeleninou je po krátkém dopravníku přivedena do prostoru, kde dochází k osazení a zašroubování víčka. Jakmile jsou sklenice naplněné a zašroubované, pásový podavač dopraví sklenice do prostoru, kde je odebírá obsluha. Ta je následně ukládá do připravených pojízdných regálů. Jakmile je regál zcela plný, obsluha odváží regály do místnosti, kde dochází ke sterilizaci naplněných sklenic. Po ukončení sterilizace a vychladnutí odváží obsluha sklenice k druhé části výrobní linky.

Druhá část technologie slouží pro olepení sklenic etiketami, vyskládání do bedny a následného balení pro snazší přepravu. Obsluha vyndává sklenice z pojízdných regálů do šikmých zásobníků představujících skluzavky s mantinely. Sklenice po rampě postupně sjíždějí dolů, podávací mechanismus sklenice po jedné odebírá a dopravuje do prostoru který je vyhrazen pro lepení etiket na sklenice a vrch víček. Ještě, než dojde k opuštění vymezeného prostoru, raznice natiskne na etiketu víčka údaje týkající se data minimální trvanlivosti. Hotový výrobek putuje po dopravníkovém pásu do prostoru, kde dochází k hromadění sklenic. Obsluha je postupně odebírá, ukládá do papírových krabic. Jakmile je krabice plná, obsluha ji po lince posílá dále. Naplněná krabice sklenicemi vjíždí do tunelu, zde se na bednu navlékne polyethylenová fólie, a následně tepelným účinkem dochází k jejímu smrštění, tím je zajištěna kompaktnost bedny pro snazší manipulaci a přepravu. Takto zabalená bedna sklenic vyjíždí z tunelu, po dopravníkovém pásu putuje na konec linky, zde je obsluha odebírá a rovná na palety. [2]

### III. URČENÍ RIZIK TECHNOLOGIE

Během chodu strojního zařízení může dojít ke stavům, kdy je ohroženo lidské zdraví. Pro minimalizaci úrazů, je nutné rizika posoudit, analyzovat a navrhnout taková opatření, aby k ohrožení lidského zdraví docházelo co nejméně. Při návrhu vycházím ze stavu, kdy, již byla provedena konstrukční opatření pro snížení rizik, nyní provádím snižování rizik pomocí bezpečnostní techniky. Rizika určuji od začátku technologického celku po jeho konec.

#### A. První riziko

První riziko určuji, když obsluha plní zásobník očištěnou kusovou zeleninou z přepravek. Konstrukčně je zásobník navržen tak, aby obsluha do zásobníku nemohla přepadnout, zároveň je navržen tak, aby obsluha při plnění zásobníku nemusela vykonávat příliš velkou námahu. Hmotnost bedýnek se pohybuje v rozmezí 4 až 6 kilogramů. Hrana zásobníku se nachází ve výšce 125 cm od úrovně podlahy. Při neopatrném pohybu může dojít ke ztrátě rovnováhy obsluhy a následnému přepadnutí na hranu zásobníku. Pokud by obsluha takto padla na hranu zásobníku, může dojít ke strčení prstů ruky do šnekového podavače, který je umístěn na dně zásobníku, a tím k úrazu ruky. Dále může dojít k pohmoždění těla obsluhy při pádu na hranu, to už ale není riziko způsobené rotující částí strojního zařízení.

#### B. Druhé riziko

Další riziko vzniká při údržbě a čištění strojního zařízení během pracovní doby. Jelikož je zpracovávána syrová zelenina příliš tvrdá, může docházet k usazování kousků zeleniny a zanášení pohyblivých částí stroje, při zanesení částí stroje může dojít k poškození technologie. Obsluha je povinna provádět v předem stanovených intervalech kontrolu pohyblivých a rizikových částí zařízení, kde může docházet k usazování sedimentu. Pokud je zapotřebí, musí obsluha přivolat technika a ten provede výměnu nožů struhadel. Před započetím kontroly musí obsluha zařízení vypnout a otevřít příslušná dvířka, která oddělují nebezpečný prostor. Pokud by stav otevření dvířek nebyl monitorován a zároveň by došlo k uvedení zařízení do provozu během kontroly, nejen že může dojít k poškození technologie, ale i k újmě na lidském zdraví. Obsluha může být pořezána, skřípnuta, v horším případě může dojít k amputaci částí prstů nebo ruky.

#### C. Třetí riziko

Třetí vznikající riziko, kterému může být obsluha vystavena vzniká při samotném chodu strojního zařízení. Jedná se o riziko spojené s robotem, který odebírá sklenice ze zásobníku a stará se o jejich přísun do prostoru, kde dochází k plnění sklenic zeleninou a lákem. Podavač se otáčí kolem své osy, pokud by se v nebezpečném prostoru nacházela obsluha či jiná osoba, v lepším případě může dojít jen k udeření dotyčného, v horším případě ke skřípnutí osoby. Zde již hrozí zlomení ruky, či její pohmoždění. Z hlediska konstrukce je robot oddělen polohou, nachází se na místě, kde by se obsluha neměla pohybovat, ale pokud obsluha nebude dbát nařízení a zákazů vystavuje se vzniklému riziku. Musíme počítat s tím, že neočekávaný rozběh robota může způsobit vážné zranění nebo smrt operátorovi linky. Dále předpokládáme, že operátor nemá možnost se vyhnout zranění, neboť robot se pohybuje velice rychle.

#### D. Čtvrté riziko

Druhé riziko spojené se samotným chodem strojního zařízení určuji při plnění sklenic a následnému nasazování víček. Po pádu víčka z podavače při nasazování na sklenici, musí obsluha technologii zastavit, spadlé víčko odebrat a následně uvést technologii zpět do provozu. Pokud by při této operaci došlo ke spuštění strojního zařízení, obsluha je vystavena riziku skřípnutí prstů strojem, jehož cílem je víčko správně nasadit, zašroubovat a dotáhnout. Konstrukčně je tato část vyřešena tak, aby v případě zásahu měla obsluha, co nejsnazší přístup k víčkovacímu prostoru, ale aby při běžném provozu nebyla nijak ohrožena a vystavena riziku.

#### E. Páté riziko

Nyní se s určením rizik přesouvám na druhou část technologie. Tak jako u rizika 3, i zde je občas nutný zásah obsluhy, konkrétně na zařízení, starající se o lepení etiket na sklenice. Pokud dojde ke spadnutí etikety je obsluha povinna technologii zastavit, etiketu odebrat a popřípadě očistit pohyblivé části znečištěné od lepidla. Pokud by došlo ke spuštění stroje při tomto úkonu, nebo by obsluha nedbala příkazu zařízení zastavit a snažila se odstranit etiketu za chodu, může dojít k úrazu ruky. Obsluha je v takovém případě vystavena nebezpečí popálení horkým lepidlem, které se na sklenice nanáší, popřípadě skřípnutí a zlomení prstů od pohyblivé části, starající se o lepení a tisknutí etikety na sklenice. Rotující a pohyblivé části jsou částečně konstrukčně odděleny za pevnou zábranou. Musí zde být zachován dostatečný prostor pro přístup obsluhy v případě zásahu.

#### F. Šesté riziko

Poslední vznikající riziko určuji při balení krabic do fólií. Jde o tunel, do kterého naplněná krabice vjíždí nezabalená a na konci vyjíždí zatavená do plastové fólie. Tunel je osazen servisními dvířky. Tavení fólie probíhá krátkodobě za vysoké teploty, a proto musí být vzniklé horké výpary odsávány. Pokud by obsluha tato dvířka otevřela v průběhu tavení fólie, může dojít k úrazu popálení vlivem horkých par nebo jinou teplou částí v tunelu. Při expanzi teplého vzduchu a špatně dovřených dvířek, může taktéž dojít k jejich vymrštění a zásahu obsluhy. [2]

## IV. HODNOCENÍ RIZIK

Při určování PLr určíme parametry S, F a P dle svého subjektivního uvážení. Při hodnocení bereme v úvahu důraz na minimalizaci veškerých úrazů, kterým může být obsluha a přítomné osoby vystaveny. U jednotlivých rizik následně navrhneme využití vhodných bezpečnostních opatření a navrhneme komponenty ovládacích částí pro snížení rizik.

#### A. Hodnocení prvního rizika

U vyhodnocování prvního rizika beru v úvahu, že úraz, který může být obsluze způsoben bude závažného charakteru. Při kontaktu prstů či ruky obsluhy se šnekovým podavačem na dně zásobníku, může dojít k pohmoždění, zlomení v horším případě i amputaci prstů. Pro závažnost zranění volím parametr S2. Pro četnost nebo vystavení nebezpečí volím parametr F2. Vycházím z faktu, že obsluha je povinna doplňovat zásobník častěji více než 1x za 15 minut. Obsluha plní zásobník v intervalech, aby zajistila kontinuální přísun suroviny. U posouzení možnosti vyloučení nebezpečí nebo omezení škody navazuji na konstrukční opatření realizována již při samotném návrhu konstrukce.

Zásobník je konstruován tak, aby při běžném provozu nemohlo dojít k přepadnutí přes hranu obsluhy do zásobníku za předvídatelných podmínek, a předpokladu že se obsluha plně soustředí na práci. Proto tedy volím parametr P1 – obsluha se může vyhnout vznikajícímu riziku. Po vyhodnocení se dostávám na PLr d. Pro eliminaci rizika využitím bezpečnostních komponentů je několik možností. První spočívá ve využití dodatkového víka, s kontaktem hlídající zavření poklopu. Obsluha by musela při každém dosypávání zeleniny podavač vypnout, dosypat surovinu a následně zapnout, tohle opatření ale zařízení činí méně efektivním ve finální produkci vzniklými prodlevami. Jako druhou možnost pro eliminaci rizika shledávám variantu využití světelné závory, z důvodu že je k zásobníku přístup ze tří stran, musely by se dodatečně udělat konstrukční opatření ve smyslu zábrany, aby k zásobníku byl přístup pouze z jedné strany. Tohle opatření může komplikovat výhled obsluhy na technologii a tím docházet ke snižování produkce. Obsluha by musela linku zastavit při každém plnění. U plnění zásobníku surovinami za chodu obsluha protíná paprsky světelné závory, dochází k vyhodnocení nebezpečného stavu a následnému vypnutí linky. Světelná závora může být vybavena automatickým restartem, to ale nese vyšší vstupní náklady na pořizované bezpečnostní komponenty. Jako vhodné opatření proti vzniklému riziku volím použití hrany citlivé na tlak. Bez dalších konstrukčních úprav ji lze umístit po obvodu zásobníku. Při běžném plnění není obsluha nijak limitována. Pokud dojde k přepadnutí na hranu zásobníku, dochází k vybavení bezpečnostní funkce, řídicí jednotka tento stav registruje a dochází k zastavení technologie.

#### B. Hodnocení druhého rizika

Tak jako u rizika 1, i zde určuji závažnost zranění S2. Pokud dojde k zapnutí technologie během čištění nebo kontroly, může tento stav vést ke zranění obsluhy. Jednalo by se buď o pořezání, pohmoždění, zlomení nebo amputaci prstů, popřípadě ruky osoby, která kontrolu provádí. Z tohoto hlediska volím závažnost zranění jako závažné. Četnost vystavení riziku není časté, jelikož kontrola strojního zařízení je plánována každé 4 hodiny. To znamená, že kontrola sedlin a ostrosti nožů provede obsluha v půlce pracovní doby, konečná kontrola a důkladné čištění probíhá na konci pracovní doby. Z této skutečnosti volím četnost vystavení nebezpečí na parametr F1, jelikož je obsluha během standartního provozu vystavena riziku pouze 2x za směnu. Posledním kritériem při určování je parametr pro možnost vyloučení nebezpečí. Ten volím na hodnotu P1, jelikož obsluha je povinna při veškerých úkonech spojených s údržbou tento stav vždy signalizovat. Po vyhodnocení určeného rizika, PLr spadá na hodnotu c. Eliminace rizika je již částečně provedena pomocí konstrukčních prvků, zejména se jedná o kryty a oddělení polohou nebezpečných částí. Zbylé riziko eliminuji pomocí bezpečnostních komponentů. Hlavní roli zde představuje monitorování stavů, zdali jsou servisní dvířka na svých místech a řádně zavřená. Jedná se o řadu bezpečnostních kontaktů. V naší technologii využívám kontakty pracující na dvou principech. První bezpečnostní prvek pracuje na mechanické bázi, jde o mechanický kontakt skládající se ze dvou kusů, které do sebe zapadají. Druhý využitý typ kontaktu pracuje na bezkontaktní bázi, skládá se z části připojené do bezpečnostního obvodu, druhá část je tvořena magnetem. Využitím kontaktů hlídajících servisní dvířka zajistím, že během servisních operací vykonávajících

obsluhou v nebezpečném prostoru nedojde ke spuštění technologie a následnému úrazu obsluhy. Pokud dojde k otevření dvířek během chodu, linka se zastaví. Kontakty je nutné umístit na veškerá dvířka, která může obsluha otevřít nejen během kontroly, ale i chodu a za kterými se nachází nebezpečný prostor, čímž by se obsluha vystavila riziku úrazu. Pro snížení cenové náročnosti těchto opatření je dobré dvířka, které nemá obsluha otevírat, zabezpečit zámkem. Klíče k těmto zámkům bude mít pouze servisní technik.

#### C. Hodnocení třetího rizika

U 3 rizika může být obsluha udeřena podavačem, což by k závažnějšímu úrazu nevedlo. Pokud ale dojde k nedbalému chování obsluhy, přítomné osobě může být skřípnutá ruka u stroje, a tím dojít k pohmoždění, popřípadě zlomení ruky. Parametr pro závažnost zranění volím na S2. Četnost vystavení riziku by teoreticky měla být minimální, jelikož se robot nachází v prostoru, kde se obsluha za provozu nemusí vůbec pohybovat, lidský faktor ale nelze ovlivnit, a do nebezpečného prostoru se může dostat jak obsluha, tak jiný zaměstnanec. Z této úvahy volím parametr četnosti vystavení se riziku do skupiny F2. Jelikož prostor nemůžeme dostatečně zabezpečit konstrukčně ani polohou je nutno prostor kontrolovat. Možnost vyloučení nebezpečí je následně ve skupině P1. U celkového vyhodnocení, PLr se dostává na hodnotu d. Jako nejvhodnější opatření se zde nabízí využití konstrukční zábrany tak, aby vstupu do nebezpečného prostoru bylo zabráněno všem přítomným osobám pohybujících se v okolí stroje. Takovéto opatření v daném prostoru ale nelze udělat, musím tedy přistoupit k využití bezpečnostní techniky. Jednoduchou a relativně levnou možností se nabízí využití světelné závory. Pokud by osoba prošla světelnou závorou do nebezpečného prostoru, došlo by k zastavení linky. Světelná závora, ale neřeší situaci, kdy se osoba bude v nebezpečném prostoru nacházet již před samotným uvedením linky do provozu. Lepší volbou je využití takové bezpečnostní techniky, která monitoruje plochu prostoru, a nejen její vstup. Navrhuji využití laserového skeneru, který dokáže detekovat přítomnost osoby ve střeženém prostoru. U skeneru lze nastavit několik zón, podle vzdálenosti dokážeme nejprve signalizovat pohyb osoby ve výstražné zóně, pokud se osoba bude nacházet příliš blízko nebezpečnému prostoru, dostává se do takzvané zakázané oblasti a dochází k zastavení technologie. Jako doplněk nebo i samostatně můžeme využít rohoží citlivých na tlak. Pokud dojde ke vstupu osoby na nášlapnou rohož, dojde opět k zastavení technologie. Pro demonstraci dostupných možností, využívám oba bezpečnostní prvky. Tímto eliminuji riziko úrazu způsobené vstupem osoby do zakázané oblasti robotického podavače.

#### D. Hodnocení čtvrtého rizika

Při hodnocení rizika číslo 4 určuji parametr týkající se závažnosti zranění na hodnotu S2. Pokud dojde k netypickému stavu při nasazování víčka, například spadnutí a obsluha tuto skutečnost zaregistruje, je povinna strojní zařízení zastavit, víčko odebrat, aby nedošlo ke způsobení větší škody na technologii. Při nedbalosti ostatních členů obsluhy může dojít ke spuštění stroje a obsluha se bude nacházet v nebezpečném prostoru, může nastat pohmoždění či zlomení prstů nebo zápěstí obsluhy. Četnost vystavení riziku obsluhy není velká. Pokud budou dodržovány intervaly na čištění a kontrolu mechanismu podavače a šroubováku víček, tak aby přísavky a objímky na víčka

nebyly znečištěné a měly dostatečnou sílu víčko správně a pevně uchytit. Během směny může dojít k upadnutí víčka jen zřídka, pokud by četnost byla větší, obsluha je povinna přivolat údržbu. Při této úvaze hodnotím četnost vystavení se nebezpečí na hodnotu F1. Parametr, který určuje možnost vyloučení rizika nebo omezení škod volím do skupiny P1. Vyloučení nebezpečí je možné při dodržení předepsaných postupů při zásahu obsluhy do nebezpečného prostoru. PLr určuji na hodnotu c. Už při návrhu, musí být konstrukce navržena tak, aby za chodu při běžném provozu nebyla obsluha vystavena žádnému riziku a nemohla přijít do styku s rotujícími částmi strojního zařízení. Pro správné zabezpečení je tedy nutné řádně zakrytovat nebo oddělit polohou nebezpečné části v dosahu obsluhy. Pro eliminaci rizika bezpečnostní technikou nejlépe vychází využití světelné závory. Světelná závora bude instalována v prostoru pro přístup obsluhy za účelem odebrání upadnutého víčka, popřípadě čištění. Při využití světelné závory dokážeme zajistit, že obsluha nebude zasahovat do nebezpečného prostoru a snažit se manipulovat s upadnutým víčkem, aniž by předtím zastavila technologii. Při návrhu světelné závory navrhuji rozlišení 14 mm, které dokáže zjistit i přítomnost prstů. Tím zajistím, že se obsluha nebude snažit dostat víčko z nebezpečného prostoru jakýmkoli způsobem a nástrojem. Dále dochází k zajištění nemožnosti spuštění linky, pokud obsluha bude zasahovat do nebezpečného prostoru nacházejícího se za paprsky světelné závory.

#### E. Hodnocení pátého rizika

Nyní hodnotím rizika technologie u 2 části výrobní linky. Riziko 5 jsem určil na místě, kde dochází k lepení etiket na sklenice. Toto riziko je velmi podobné riziku 4. Pokud při lepení etiket dojde k upadnutí etikety z podavače nebo sklenice a obsluha tuto skutečnost zaregistruje, musí strojní zařízení zastavit, etiketu odebrat, popřípadě očistit části znečištěné od lepidla, aby nedocházelo k zanášení a nadměrnému opotřebování stroje. Parametr závažnosti zranění volím na hodnotu S2, pokud nedojde k zastavení a obsluha bude chtít etiketu odebrat během chodu, může dojít k pohmoždění, popřípadě zlomení prstů rukou obsluhy. Dále může dojít k popálení od lepidla, které se na etikety nanáší. Četnost vystavení nebezpečí je nízká, zařízení je navrženo tak aby pracovalo spolehlivě a byla vyžadována minimální akce obsluhy. Pád etikety může nastat jen párkrát za směnu, při častějším problému je obsluha povinna tuto skutečnost nahlásit údržbě a následně provést servisní úkon, pro odstranění této závady. Parametr četnosti vystavení zranění volím na hodnotu F1. Pokud obsluha dodrží stanovený postup při odstraňování etiket a lepidla, možnost vyloučení nebezpečí a omezení škod je možná. Tento parametr tedy volím na hodnotu P1. Výsledkem je PLr c. Konstrukce části technologie je podobná jako u rizika 4. Žádné nebezpečné části během chodu zařízení nejsou obsluze volně přístupné, jsou důkladně zakrytovány a odděleny polohou. Dostupné jsou pouze části, které musí být přístupné v případě servisního zásahu. Pro omezení rizika se nabízí několik možností, první z nich je využití dvířek z plexiskla, oddělující rotující části lepícího stroje, na těchto dvířkách by byl umístěn bezpečnostní kontakt hlídající zavřená dvířka. Jelikož je nanášené lepidlo teplé, musel by být dále řešen odvod teplého vzduchu, aby nedocházelo k nadměrnému zahřívání technologie, to by vedlo k dalším konstrukčním úpravám zařízení. Pro zajištění dostatečné cirkulace vzduchu je prostor nezakrytován. Nabízí se možnost využití světelné

závory, jako u rizika 4, ta se ale může znečistit od lepidla. Volím tedy senzor detekce ruky. Pokud obsluha protne paprsek skeneru dojde k zastavení strojního zařízení, v případě že paprsek bude protínán během stavu, kdy technologie bude zastavená, nemůže dojít k uvedení do provozu.

#### F. Hodnocení pátého rizika

Nastává hodnocení posledního určeného rizika technologie, to se nachází u části linky, která zajišťuje balení krabic naplněných sklenicemi do fólie. Dochází krátkodobě k vývinu velké teploty, která může vést při neopatrném chování k popálení obsluhy, ať už by obsluha zasahovala přímo do nebezpečného prostoru, nebo by servisní dvířka nechala otevřená a pohybovala se v jejich blízkosti. Kontrola dvířek je nutná, jestli jsou řádně zavřená, pokud by tak nebylo, vlivem rychlého zahřátí vzduchu a následnému roztažení může dojít k prudkému otevření dvířek a udeření obsluhy stojící poblíž, v lepším případě dojde jen k lehkému udeření, v horším případě může dojít k sečnému zranění. Parametr závažnosti zranění volím na hodnotu S2. Kolem linky dochází k pohybu obsluhy, a tato část může být využívána nejen pro balení krabic se sklenicemi z první části technologie, ale i z jiné části výrobního závodu, potencionálnímu riziku je obsluha vystavena často. Parametr možnosti vyloučení nebezpečí s ohledem na nejhorší možný scénář volím na hodnotu F2. Možnost vyloučení nebezpečí volím na hodnotu P1. Pokud budou servisní dvířka řádně zavírány, vyhnoutí se riziku je možné. Po celkovém vyhodnocení rizika dostávám výsledek PLr d. K prvotnímu snížení rizika dojde již navržením vhodné konstrukce části stroje. Pokud bude požadavek na eliminaci možnosti rychlého otevření dvířek, je nutné použít monitorovaný zámek. Nebude zde umístěna klasická západka s monitorováním stavu, ale moderní elektronický bezpečnostní zámek. Jedna z možností je využití jazýčkového kontaktu, jako u rizika 2 ovšem s funkcí zamknutí jazýčkového kontaktu v mechanismu kontaktu. Tento zámek ale není příliš robustní, proto zde navrhuji umístění solenoidového zámku. Pokud budou dvířka řádně zavřená, dojde k zamknutí mechanismu a po potvrzení restartem je možný start technologie. Pokud nebude zámek zamknut, nemůže obsluha technologii uvést do provozu. Během chodu je zamezeno odemčení zámku a tím otevření servisních dvířek. [2]

#### V. NÁVRH VHODNÝCH BEZPEČNOSTNÍCH OPATŘENÍ

Pro snížení rizik využitím vhodných bezpečnostních komponentů jsem veškerá rizika vyhodnotil, nyní je posoudím jako jeden celek. Pro hodnotu PLr c, vychází rizika 2, 4 a 5, pro hodnotu PLr d vychází rizika 1, 3 a 6., hledám vhodné opatření tak, jako by veškerá rizika spadala do kategorie PLr = d. Z převodní tabulky číslo 1 určuji, že hodnota PL d odpovídá SIL 2. Vybírám tedy komponenty splňující tuto podmínku. Pro návrh vhodných bezpečnostních komponent jsem si vybral komponenty od firmy Allen-Bradley.

Při návrhu bezpečnostních komponent firmy Allen-Bradley vybírám průřezem nabízeného sortimentu pro lepší demonstraci, co společnost nabízí, zároveň ale dodrží podmínku, aby bezpečnostní komponenty spadaly minimálně pod kategorii SIL 2. Bezpečnostní komponenty navrhuji postupně od rizika 1 až po riziko 6.

## VI. NÁVRH MODELU TECHNOLOGIE

Pro výše uvedený technologický celek složený ze dvou částí navrhuji využití vhodných bezpečnostních komponentů a volím je tak, aby splňovaly potřebné náležitosti. Pro 1 a 2 část technologie navrhuji model formou dvou výukových panelů, osazených bezpečnostními řídicími jednotlivými a bezpečnostními prvky. Kromě dvou výukových panelů model obsahuje 4 samostatné stojany osazené bezpečnostními prvky, které nelze umístit přímo na panely. Jedná se o světelnou závoru, laserový skener, skener na detekci ruky a tlačítko E-STOP s tenzním vstupem. Tyto prvky pro zajištění plné funkčnosti vyžadují minimální předepsaný prostor, který je určen výrobcem. Panely a stojany jsou vyrobeny z hliníkových profilů.

Bezpečnostní prvky, které jsou osazeny na samostatných stojanech, připojují k panelům pomocí kabelů s konektory pro snazší manipulaci. Všechny kabely a konektory jsou řádně popsány. Kromě bezpečnostních komponentů a řídicích prvků každý panel obsahuje napájecí a jistící část. Návrh elektrické části, dispozice a konstrukce stojanů je součástí přílohy práce.

Výukový panel 1 reprezentuje druhou část technologie, je napájen zdrojem GU2, 24 V DC a navrhuji ho osadit bezpečnostní programovatelnou jednotku Compact GuardLogix 5380 Controller, (A1), která zpracovává nejen bezpečnostní vstupy pro 2 část technologie ale i stavové signály 1 části technologie. Jednotka A1 je spojena s I/O modulem 1734 POINT I/O (A2) přes switch 1783-US8T (AB1). Do switchu jsou připojeny ethernetové kabely z obou výukových panelů. Modul A2 je osazen bezpečnostními a klasickými DI a DO kartami pro PLC sběrnici, označené A3 až A10. Sběrnice pro PLC má na bezpečnostní vstupy připojeny prvky z druhé části technologie:

- bezpečnostní zámek (BZ1),
- senzor na detekci ruky (BS1),
- tlačítko E-STOP s tenzním vstupem (BS2).

Na bezpečnostní DO kartě připojují signály, ovládající dvojici bezpečnostních stykačů KA1 a KA2. Ty jsou zapojeny do série a je přes ně realizováno napájení motorku, demonstrující chod technologie. Motorek M1 je napájen zdrojem GU1, 12 V DC, nachází se v prostoru za senzorem pro detekci ruky a s výukovým panelem 1 je propojen konektorem K10.A/B. Pokud není technologie v chodu, může dojít k odemčení solenoidového zámku tlačítkem S2. Na klasickou DI kartu PLC sběrnice připojují tlačítka S1.1, S1.2 a S1.3 pro ovládání start, stop a reset. Z DO karty vedu signály pro panel 1: signalizace start, signalizace reset a signalizace solenoidový zámek lze odemknout, pro panel 2: signalizace start a signalizace reset.

Výukový panel číslo 2 prezentuje první část technologie, napájen je zdrojem GU4, 24 V DC. Panel je osazen jednotkou bezpečnostního programovatelného relé 440C-CR30-22BBB (A15), na jehož vstupy připojují:

- laserový skener (BS3),
- rohož citlivá na tlak (BR1), umístěna na podlaze, s výukovým panelem je připojena pomocí konektorů K1.A/B a K2.A/B,

- hrana citlivá na tlak (BH1), umístěna na rámu konstrukce panelu.

Dále panel osazují skladbou bezpečnostních relé Guardmaster pro sběrnici GuardLink obsahující:

- 440R-ENETR (GL1),
- 440R-DG2R2T (GL2),
- 440R-EM4R2 (GL3).

Na sběrnici GuardLink, která je připojena do GL2 připojují bezpečnostní komponenty:

- bezpečnostní E-STOP (BS4),
- jazýčkový blokovací zámek (BS5),
- bezkontaktní spínač vzájemného blokování (BS6),
- pár světelných závor (BS7.A a BS7.B).

Na výstupy z EM relé zapojují dvojici bezpečnostních stykačů KA3 a KA4, přes které je napájen motorek M2 simulující chod technologie. Motorek je napájen zdrojem GU3, 12 V DC a situován je v prostoru za světelnou závorou. S výukovým panelem 2 je spojen pomocí 2 pinového konektoru K11.A/B. Start a stop jsou realizovány tlačítky S3.1 a S3.2 zapojené do GL3. Tlačítko S3.3 pro reset je připojeno do GL2. Výukový panel 2 je s panelem 1 propojen kromě ethernetových kabelů také multikabelem pro přenos signalizačních signálů. Jedná se o kabel 12 x 0,5 a s výukovým panelem je připojen konektorem K20.A/B, jde o 12 pinový konektor.

Fotky výukových panelů a bezpečnostních prvků osazených na samostatných rámech jsou na následujících obrázcích.

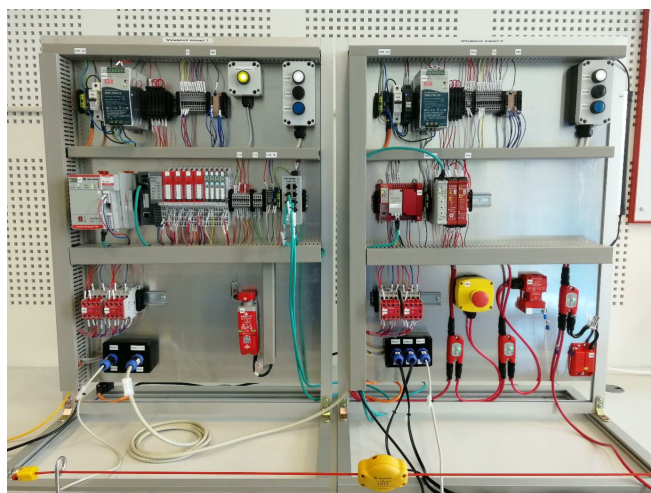


Fig. 1. Fotodokumentace vyrobených laboratorních panelů



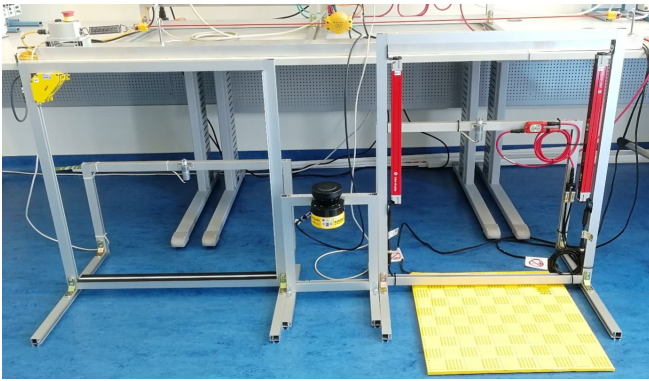


Fig. 2. Fotodokumentace příslušenství

## VII. KONTROLA NAVRŽENÉHO SYSTÉMU

Pro potvrzení celkové bezpečnosti navržených komponentů technologie, provádím ověření navrženého systému. To lze provést například za pomoci softwaru SISTEMA nebo Safety evaluation tool. Druhý zmíněný program má na výběr, zdali chceme provádět kontrolu dle normy ČSN EN ISO 13 849-1 nebo IEC 62061.

Kontrolu provádím pro obě části technologie – výukový panel 1 a 2. V projektu jsem založil 3 oblasti:

- Oblast pro Compact GuardLogix 5380
- Oblast pro CR30
- Oblast pro GuardLink

Každá oblast obsahuje bezpečnostní funkci, kde se zadávají hodnoty pro: detekci, hodnocení a reakci. Pro detekci v první oblasti využívám solenoidový zámek, senzor detekce ruky a E-STOP s tenzním vstupem. U všech prvků zadávám PL a PFH<sub>D</sub> – výsledkem pro detekci je součet PFH<sub>D</sub> využitých prvků, vycházející ze vztahu:

$$PFH_D = PFH_{D1} + PFH_{D2} + PFH_{D3} \quad (1)$$

$$PFH_D = 1,7 \cdot 10^{-9} + 3,2 \cdot 10^{-9} + 1,32 \cdot 10^{-9} \quad (2)$$

$$PFH_D = 6,22 \cdot 10^{-9} \quad (3)$$

Požadovanou hodnotu PL d plní všechny části bezpečnostního ovládacího systému. Technologie je správně navržena. [1], [2], [3], [4]

## VIII. ZÁVĚR

Ověřený návrh pomocí pravděpodobností a výpočtového nástroje odpovídá požadavků PL d požadovaném při analýze rizika. Po sestavení laboratorních modelů bylo nutno zařízení oživit a naprogramovat.

Každé riziko bylo posuzováno zvlášť a dospěli jsme k závěru, že tři rizika vyžadují bezpečnostní prvky spadající do PL d. Jelikož k technologii přistupujeme jako k celku, volíme bezpečnostní komponenty a řídicí systémy tak, aby všechny využitě bezpečnostní prvky plnily minimálně PL d, a to pro všechna posuzovaná rizika. Pro návrh bezpečnostních komponentů byly použity komponenty Allen-Bradley.

Použitím těchto komponentů je dosaženo požadovaných bezpečnostních funkcí v bezpečnostní části. Při testování hotového modelu byla ověřena správná funkce navržené bezpečnostní logiky. Při aktivaci jednoho z bezpečnostních prvků dojde k řízenému zastavení a odpojení technologie, pomocí bezpečnostních funkcí.

Pomocí ovládacích tlačítek jsou plněny požadované funkce a při deaktivaci bezpečnostního prvku, např. uvolněním tlačítka nouzového zastavení nedojde k samovolnému spuštění technologie. Navržením správné bezpečnostní funkce nedojde ke samovolnému spuštění laboratorního bezpečnostního modelu v nebezpečných situacích zjištěných při diagnostice rizika.

## PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl za podpory Institucionálního Rozvojového Projektu RPP-TO - 1a číslo 146 s názvem „Realizace laboratorního stanoviště s bezpečnostním programovatelným logickým automatem“.

Tento příspěvek vznikl za podpory projektu Technika pro budoucnost 2.0 s reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18\_058/0010212.

## ODKAZY

- [1] <https://ab.rockwellautomation.com/allenbradley/productdirectory.page> - Allen-Bradley: Product Directory [online] [cit.2020-08-24]

## LITERATURA

- [2] Jasinský, Jan.: Návrh bezpečnostní části ovládacích systémů strojního zařízení, Diplomová práce, VŠB – TU Ostrava, 2020
- [3] ČSN EN ISO 13849-1 Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 1: Obecné zásady pro konstrukci
- [4] ČSN EN ISO 13849-2 Bezpečnost strojních zařízení - Bezpečnostní části ovládacích systémů - Část 2: Ověřování platnosti
- [5] ČSN EN 62061 - Bezpečnost strojních zařízení - Funkční bezpečnost elektrických, elektronických a programovatelných elektronických řídicích systémů souvisejících s bezpečností