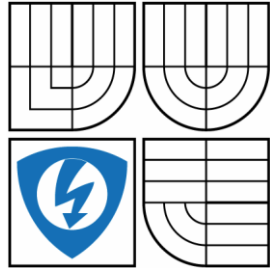


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ŘÍZENÍ MONTÁŽNÍ LINKY SVĚTLOMETŮ

CONTROL OF HEADLIGHT ASSEMBLY LINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

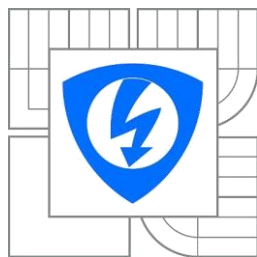
Bc. MARTIN SIKORA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RADEK ŠTOHL, Ph.D.

BRNO 2015



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií
Ústav automatizace a měřicí techniky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor

Kybernetika, automatizace a měření

Student: Bc. Martin Sikora **ID:** 136582

Ročník: 2 **Akademický rok:** 2014/2015

NÁZEV TÉMATU:

Řízení montážní linky světlometů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Proveďte analýzu zadávací dokumentace linky na výrobu světel, tvorba funkčního popisu.
2. Nastudujte a popište Poka-Yoke, FMEA.
3. Realizujte řídicí systém výrobní linky.
4. Realizujte příslušné softwarové vybavení PLC.
5. Realizujte vizualizaci.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

DUDEK-BURLIKOWSKA, M. a D. SZEWIECZEK. The Poka-Yoke method as an improving quality tool of operations in the process. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* [online]. 2009, č. 36, s. 8

PETRAŠOVÁ, Ivana. ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST. *Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA): referenční příručka: Kapitola I: Všeobecný návod FMEA: Úvod: Postup FMEA*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. ISBN 978-80-02-02101-8.

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 9.2.2015

Termín odevzdání: 18.5.2015

Vedoucí práce: Ing. Radek Štohl, Ph.D.

Konzultanti semestrální práce: Ing. Robert Kolek

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem montážního pracoviště na výrobu světlometů. Dokument obsahuje rozbor zadávací dokumentace montážní linky. Ve stručnosti je také popsáno, jak probíhá montáž světlometů. Dále je podrobně vysvětlena metoda Poka-Yoke, určená pro návrh opatření, která se pokoušejí co nejvíce snížit rizikovost chybné manuální montáže součástí světlometů operátorem výroby. Analýzy důsledků možných chyb FMEA a PFMEA jsou teoreticky rozebrány spolu s postupem vypracování těchto analýz. Dle těchto metod a podle požadavků zákazníka je navržena a realizována instrumentace vybraného montážního pracoviště. Ke zhodnocení, zda bylo navržené Poka-Yoke opatření účinné, je provedeno pomocí OEE ukazatele. Dalším cílem této práce bylo provést návrh a realizaci konkrétního řídicího systému linky z vybraných PLC. Na základě požadavků analýzy chyb operátora je provedena realizace řídicího programu a je zdokumentována pomocí vývojových diagramů spolu s příloženým popisem využitých programových konstrukcí. Vizualizace pro vybraný operátorský panel montážního pracoviště je v této práci rovněž podrobně zdokumentována.

Klíčová slova

Světlomet, FMEA, Poka-Yoke, analýza poruch, PLC, vizualizace, OEE

Abstract

This thesis deals with design of the reflector assembly line. The document contains the analysis of the customer requirements sheet. In short there is written how to put the parts of the reflector together. The Poka-Yoke method is properly described in this work too. This method is used to design of the actions, which are trying to decrease the risk level of wrong reflector composition as low as it is possible. FMEA and PFMEA methods are explained in theory. There is the plan how to make the analysis too. The instrumentation of one part of the line is designed according to this analysis and according to the customer requirements. The OEE pointer is used to test the right effect of the Poka-Yoke method. The next aim of this thesis is to compare chosen PLCs for control of the assembly line and to choose one of them. On the base of the analysis there is designed the control program in the flowcharts form. One part of this thesis is focused on design of the visualization for the chosen operational panel.

Keywords

Reflector, FMEA, Poka-Yoke, risc analysis, PLC, visualization, OEE

Bibliografická citace:

SIKORA, M. *Řízení montážní linky světlometů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 77 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radek Štohl, Ph.D..

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Řízení montážní linky světlometů vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v této práci a jsou uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních, a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 18.5. 2015

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji tímto panu Ing. Radku Štohlovi, Ph.D., panu Ing. Robertu Kolkovi a panu Ing. Robertu Štáblovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

V Brně dne: 18.5. 2015

.....

podpis autora

Obsah

1	Úvod	9
2	Analýza zadávací dokumentace linky	10
2.1	Montáž světlometů	10
2.2	Uspořádání montážní linky	11
3	Metody eliminace výrobních vad.....	12
3.1	Poka-Yoke.....	12
3.2	FMEA.....	13
3.2.1	Rozdělení FMEA	14
3.2.2	Postup vypracování FMEA.....	14
3.3	PFMEA	17
3.3.1	Postup vypracování PFMEA	18
3.4	Aplikace Poka-Yoke v automobilovém průmyslu	23
4	Návrh montážního stolu	25
4.1	Analýza záměru procesu	25
4.2	Vývojový diagram procesu	25
4.3	PFMEA	29
4.3.1	Volba instrumentace montážního pracoviště dle PFMEA analýzy	30
4.3.2	Volba instrumentace montážního stolu podle požadavků zákazníka	32
5	Návrh koncepce řídicího systému linky	35
5.1	Požadavky na řídicí systém.....	35
5.1.1	Technologické požadavky	35
5.1.2	Požadavky zákazníka.....	35
5.2	Průzkum trhu řídicích systémů.....	36
5.2.1	PLC Siemens SIMATIC S7-300.....	36
5.2.2	PLC Siemens SIMATIC S7-1200.....	36
5.2.3	PLC Rexroth Bosch	36
5.2.4	PLC ABB	37
5.2.5	PLC Rockwell.....	37
5.3	Výběr řídicího systému	37
6	Řídicí software.....	42

6.1	Funkční popis	42
6.2	Řešení software PLC	42
6.2.1	Hlavní smyčka programu PLC	42
6.2.2	Automatický cyklus montážního pracoviště	44
6.2.3	Kroky automatického cyklu	46
6.2.4	Kontrola DTM kódu	47
6.3	Základní programové konstrukce vývojového prostředí IndraLogic	48
6.3.1	Členění programu	49
6.3.2	Proměnné	49
6.3.3	Struktury	50
6.3.4	Logické funkce	51
6.3.5	Sekvenční funkce	51
6.3.6	Ostatní funkce	53
6.3.7	Řízení pneumatických fixačních válců	54
7	Vizualizace	57
7.1	Nabídka MENU	57
7.1.1	Struktura MENU	57
7.2	Nastavení parametrů	58
7.3	Výběr režimů	59
7.4	Správa uživatelů	59
8	Klíčové ukazatele výkonnosti	61
8.1	Celková výrobní efektivita OEE	62
8.1.1	Dostupnost (Availability)	62
8.1.2	Výkon (Performance)	63
8.1.3	Kvalita (Quality)	63
8.2	Ztráty OEE	63
9	Výkonnost montážní linky světlometů	64
9.1	Sledované veličiny výrobní linky	64
9.2	Výkonnost linky před aplikací Poka-Yoke	65
9.3	Výkonnost linky po aplikaci Poka-Yoke	65
10	Závěr	67

1 ÚVOD

Cílem této diplomové práce je provést návrh řešení montážní linky světlometů pro osobní automobily a uvést tuto linku do funkčního stavu, pro její reálný provoz.

Práce se zaměřuje na analýzu zadávací dokumentace, od které se odvíjejí další potřebné kroky k dokončení projektu. Tato specifikace požadavků na montážní linku byla přijata od firmy, která distribuuje reflektory do automobilek po celém světě a v jejichž výrobních prostorách je tato montážní linka instalována.

Nedílnou součástí návrhu pracovišť s operátorem obsluhujícím stroj je analýza možných chyb, kterých by se mohl pracovník při montáži dopustit. Řešením těchto problémů je předcházet výskytu chyb a navrhnout opatření, která podstatně sníží riziko chybné montáže. Vybranou metodou Poka-Yoke, podrobně zdokumentovanou v této práci, je možné eliminovat vznik výrobních vad způsobených operátorem.

Z analýzy možných výrobních vad vyplývá podoba montážní linky ve smyslu jejího softwarového vybavení a její instrumentace.

O návrhu provedení řídicího systému linky pojednávají další kapitoly. V nich se čtenář seznámí s popisnou částí zvolených řídicích systémů. Zejména podle výkonnostních, cenových a dalších požadavků, především podle kritérií zákazníka, je vybrán nejvhodnější řídicí systém linky.

Na koncepci konkrétní podoby řídicího softwaru dílčího pracoviště montážní linky se zaměřují následující kapitoly diplomové práce. V podobě diagramů a schémat se zde vyskytují popisy programu jak pro automatický, tak i pro manuální režim stroje. V základních programových konstrukcích jsou uvedeny použité syntaktické náležitosti, potřebné k naprogramování funkcí montážní linky.

Provedení vizualizace vybrané části montážní linky řeší následující kapitola, v níž je popsána nabídka uživatelského menu spolu s charakteristikou jednotlivých obrazovek.

Poslední kapitoly práce se nejdříve teoreticky zabývají problematikou klíčových ukazatelů výkonnosti KPI, z nichž podrobněji dokumentují OEE ukazatel, který je dále využit ke zhodnocení úspěšnosti aplikovaných Poka-Yoke opatření.

2 ANALÝZA ZADÁVACÍ DOKUMENTACE LINKY

Zadavatel v předložené dokumentaci uvedl charakteristiku montážní linky světlometů. Soubor strojů výrobní linky měl být koncipován jako samostatně stojící pracoviště s návazností na předchozí a následnou výrobu a měl být součástí technologie s dopravníkovým systémem.

Zpracovávané typy světlometů touto linkou jsou ve verzi s hlavním LED zdrojem světla nebo ve variantě s xenonovou žárovkou. Základní rozdělení reflektorů je na levý a na pravý světlomet. Další členění je podle destinace, do které má být daný světlomet exportován. Z tohoto ohledu je rozdělení na pravostranný a levostranný provoz.

2.1 Montáž světlometů

Světlomet se skládá z hlavního plastového krytu těla světlometu, mnoha vnitřních komponent se specifickým uspořádáním daným technologickými požadavky a z průhledného ochranného krytu pro výstup světla. Vnitřní součásti mohou být moduly s řídicí elektronikou, čočky, odrazné plochy, akční členy, převodová ozubení a dále pak elektromechanické a pomocné mechanické součásti.

Upevnění vnitřních dílů do hlavního těla světlometu je prováděno manuálně operátorem výroby, a to kombinací šroubových spojů a zacvakávacích mechanických prvků. Elektronické komponenty, akční členy a zdroje světla jsou mezi sebou propojeny vodiči, které jsou opatřeny konektory. Veškerá kabeláž světla je manuálně svazována a vyvedena centrálním konektorem, umístěným na zadní straně těla světlometu. Světlomet v řezu je uveden na *obrázku 1*.



Obrázek 1: Řez světlometem [1]

2.2 Uspořádání montážní linky

Vzhledem k tvaru těla světlometu je nemožné vertikálně položit tuto základní součást na horizontální plochu bez pomocných mechanických prvků. Proto byly navrženy speciální zakládací přípravky, určené pro fixaci světlometu pro pohodlnou montáž součástí světlometu. Přípravek je součástí každého montážního pracoviště linky. Linka má být řešena soustavou montážních stolů, vybavených přípravkem pro upevnění těla světlometu. Tato filosofie zakládacích přípravků již byla použita na jiné řadě světlometů v této formě a vycházelo se z ní při návrhu této linky pro montáž požadovaného typu světlometu.

Základní dělení linky spočívá v rozdělení na fáze výroby do přípravy na montážní operace, do označení základního dílu světlometu vypalovacím strojem a do fáze sestavení světlometu. Na předmontážní pracoviště jsou vyčleněny dva montážní stoly. Pro montážní pracoviště je rozvrženo devět montážních stolů. Toto rozdělení vychází rovněž z požadavků zákazníka. Protože jde o velkoobjemovou výrobu a za cíl je kladena nejvyšší jakost výrobků, měl být každý montážní stůl opatřen kontrolním řídicím automatem. Návrh a popis vypalovacího pracoviště identifikačního DTM kódu světlometu není předmětem této práce.

3 METODY ELIMINACE VÝROBNÍCH VAD

Předmětem této části práce je rozbor metody Poka-Yoke, která je využívanou metodou pro zmírnění nebo zamezení chyb a neshod ve výrobním procesu.

3.1 Poka-Yoke

Důležitým faktorem správného fungování firmy by měl být výběr zlepšovací strategie výrobních procesů, která klade zvláštní důraz na prevenci proti vyrobení závadného výrobku. Metoda Poka-Yoke [2], vynalezená japonským inženýrem Shigeo Shingem v roce 1961, má za cíl předcházet výrobním vadám a zjišťuje příčiny vzniku chyby. Japonský výraz Poka-Yoke může být přeložen jako chybová odolnost nebo vyhýbání se chybám pramenících z nepozornosti.

V případě opakujících se operací, které závisí na pozornosti a zapamatování, například montážní úkony v případě montážního pracoviště, může metoda ušetřit pracovníkům čas zjednodušením jejich rozhodování, čímž jim usnadňuje výrobu a zefektivňuje jednotlivé úkony výroby.

V každé etapě životního cyklu výrobku a v každém procesu a elementární operaci se naskýtá možnost vzniku chyby. V důsledku vzniku defektu při výrobě je výsledný produkt závadný. Mezi základní principy metody patří neakceptování byť jen sebemenšího množství produktů se závadou. Tento princip nepřipustění žádné chyby je nejenom výzva podniků, ale je v dnešní době nutností. Právě takové produkce jsme schopni docílit s popisovanou metodou nulových chyb.

Technika Poka-Yoke může být použita k prevenci nepřesných úkonů, které ve výsledku vedou ke vzniku chyby. Zároveň se vyhýbá nákladnému předvídání, zda přijmout nebo nepřijmout výrobek k expedici zákazníkovi nebo do další fáze výroby. Namátkovými kontrolami nelze dosáhnout omezení vzniku výrobních vad. Proto, je nutná stoprocentní kontrola. Není vždy možné eliminovat naprosto všechny chyby ve všech případech, ale podstatou metody Poka-Yoke je zjistit možnost vzniku chyby co nejdříve je to možné a provést co nejjednodušší a nejlevnější řešení.

Předpoklady nulové chyby:

- použití statistického řízení procesu je z důvodu rozptylu hodnot neefektivní,
- monitorování a řízení pomocí Poka-Yoke by mělo být:
 - nezávislé – operace prováděné dodavatelem by měly být bez zásahu zvenčí,
 - celkové – monitorování a řízení celé technologie tímto způsobem,
 - levné.

Autor metody analyzoval proces vzniku chyby od příčiny do důsledku. Zaměřil se na problém, kdy kromě zřejmé chyby vyplývající přímo ze vzniklé vady, existuje ještě další potenciální možnost jejího vzniku. Způsob návrhu pro snížení pravděpodobnosti vad proto uvažuje i stavy v procesu výroby, ve kterých se chyba ještě neobjeví, ale může být zavčasu zpozorována a zachycena před poškozením výrobku.

Poka-Yoke [2] je tedy metodou, která umožňuje předvídat chyby operátora výroby. Výsledná vada může mít dvojí podobu. Kontrolní systém analyzuje proces výroby a zasahuje detektorem chyby, pokud se chyba objevila nebo pokud se může objevit, aplikuje se prediktor chyby.

Existují tři základní funkce prevence a redukce vzniku vady:

- vypnutí,
- řízení,
- upozornění.

Kontrola chyby operátora se musí aktivovat již od začátku spuštění stroje, aby byl kontrolován celý proces již od první operace. Metoda může vyhodnocovat součásti podle rozměrů, tvarů, hmotností, procesních odchylek a odklonu od klasických postupů a norem.

3.2 FMEA

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) [3] je početní metoda, která je používána k řešení možných problémů, souvisejících s návrhem výrobního procesu nebo vývojem výrobku. Jedná se o analýzu a zhodnocení rizik, přičemž se berou v potaz postupy návrhu produktu nebo procesu. Touto metodou se přezkoumávají funkce procesů po aplikaci postupů snižujících riziko možné poruchy. Mezi takové postupy patří i metoda Poka-Yoke. Nástroj FMEA se kromě identifikace závažnosti důsledků poruchy používá k odhadu pravděpodobnosti výskytu příčin poruchy a jejich výsledných způsobů selhání. Uživatel metody tak získává přehled o míře pravděpodobnosti poruchy. Ve snaze je dosáhnout co možná nejnižší pravděpodobnosti výskytu chyby, čímž se zvýší bezporuchovost výrobku.

Cílem metody je rozložit zkoumaný výrobek nebo proces na elementární části. Prioritní záležitosti jsou kritické a bezpečnostní komponenty produktu. Za cíl je rovněž kladeno včasné zmírnění pozdějších komplikovaných změn, uvažováním o možných snadnějších a levnějších variabilních řešeních.

Použití metody je doporučeno při úplném návrhu nového produktu, i při nové technologii nebo procesu. Přezkoumání nástrojem FMEA je přínosné také při modifikaci stávajícího návrhu výrobku či procesu, kde se metoda zaměřuje na možnosti interakce vzniklé změnou návrhu, se zohledněním případných změn na požadavky předpisů. V neposlední řadě lze tuto metodu uplatnit při návrhu stávajícího procesu

v novém prostředí, na novém místě, pro novou aplikaci nebo pro odlišný charakter použití. Analýza se pak soustřeďuje na dopady takových změn.

3.2.1 Rozdělení FMEA

Existuje několik typů rozdělení FMEA [4] analýzy. Převážně se využívá prvních třech typů:

- **Systémová analýza (S/CFMEA – System/ Concept FMEA):**

Zaměřuje se na celkovou funkčnost systému. Systém je obvykle rozdělen do částí nebo subsystémů za účelem splnění jedné nebo více funkcí. Analýza se používá v rané fázi vývoje výrobku.

- **Analýza výrobku (DFMEA – Design FMEA):**

Zabývá se komponenty a subsystémy výrobku. Součást výrobku je považována za prvek, který je výměnným dílem z hlediska opravy. Tato analýza se používá později v procesu vývoje, kdy už je stanovena základní specifikace výrobku.

- **Analýza procesu (PFMEA – Process FMEA):**

Předmětem analýzy je výroba výrobku a proces jeho sestavování. Proces je posloupnost úkonů, které jsou uspořádány tak, aby umožnily výrobu výrobku nebo poskytovaly služby. PFMEA může zahrnovat zhotovení, montáž nebo transakci služeb.

- **Analýza služeb:**

Zaměřuje se na fungování služeb.

- **Softwarová analýza:**

Předmětem je analýza software.

3.2.2 Postup vypracování FMEA

Analýzu lze rozdělit do několika částí [5]:

Složení týmu:

K řešení konkrétní úlohy návrhu je zapotřebí tým odborníků znalých předmětu návrhu. Tito odborníci by měli mít moderátorské dovednosti a znalosti pro aplikaci FMEA. Důležitá je kooperace členů týmu, jimž vedoucí týmu FMEA přiděluje témata, která konzultují se zákazníkem, programovým managementem, s pracovníky výroby a montáže, s pracovníky logistiky a balení výrobku, se členy údržby a s lidmi zajišťujícími kontrolu kvality. Témata mohou být nároky na funkčnost výrobku, analýza selhání procesu, důsledky a následky interních i externích poruch, analýza příčin poruch, četnost výskytu poruch a jejich prevence, používání nástrojů detekce a vydávání doporučených opatření.

Definice předmětu FMEA:

Definice určuje, jaké dílčí části procesu nebo výrobku budou do analýzy zahrnuty a které budou vyjmuty ze sledování. Před vypracováním analýzy se musí dohodnout hodnotící kritéria podle důležitosti. Nejčastěji se předmět FMEA definuje pomocí:

- funkčního modelu,
- blokových diagramů vztahů,
- diagramu parametrů,
- diagramu rozhraní,
- vývojových diagramů procesu,
- matice vzájemných vztahů,
- základních schémat,
- a pomocí rozpisky materiálů.

Výsledný definovaný systém se rozkládá do subsystémů, které se sestávají z komponent. Úkolem FMEA analýzy je vyřešit všechna rozhraní a vzájemná působení mezi systémy, subsystémy, komponenty subsystému, prostředím a zákazníkem.

Definice zákazníka:

Nezanedbání specifikace zákazníka, může být užitečné pro konkrétní definice funkcí a požadavků a z nich vyplývají důsledky možných poruch.

Z tohoto hlediska rozdělujeme hlavní zákazníky na konečného uživatele, který může být osobou nebo organizací využívající produkt. Analýza pro takového zákazníka bere v úvahu například životnost.

Montážní a výrobní centra výrobců originálních zařízení jsou další kategorií zákazníka, která jsou velice důležitou položkou FMEA analýzy.

Analýza by se z pohledu zákazníka měla zabývat také postupem zpracování v rámci dodavatelského řetězce provádějícího technologii zpracování, vyhotovování nebo sestavování výrobních materiálů.

Posledním zákazníkem jsou kompetentní orgány, definující požadavky a kontrolující bezpečnostní a environmentální předpisy.

Identifikace funkcí, požadavků a specifikací:

Cílem těchto činností je definovat, co má být záměrem návrhu nebo účelem procesu, což usnadňuje určit poruchu pro každou součást výrobku.

Formulace možných způsobů poruch:

Způsob poruchy je postup nebo forma, jakou by mohl výrobek nebo proces selhat při vykonávání účelu návrhu výrobku nebo kritérií procesu. Chyba se však nemusí objevit. Existuje pouze pravděpodobnost jejího výskytu. Formulace musí být postížena technickými termíny a nikoliv zákazníkem, který nemusí chybu správně identifikovat.

Identifikace možných důsledků:

Jedná se o zpracování důsledků způsobu poruchy z pohledu a vjemu zákazníka. Mohou být zpozorovány jak interním, tak i konečným uživatelem.

Definice možných příčin:

Možná příčina je formulována jako naznačení možnosti vzniku poruchy, která lze napravit nebo řídit. Pokud se objeví příčina, vyskytne se i způsob poruchy. Jestliže je příčina poruchy dostatečně identifikována, může se přistupovat k volbě nástroje řízení a k akčním plánům. Analýza se musí věnovat všem příčinám, pokud je příčin více.

Specifikace nástrojů řízení:

Nástroje řízení jsou procesy zabraňující vzniku příčiny poruchy nebo odhalující příčinu či způsob poruchy. Při jejich návrhu je nezbytné zmínit, co se nedělá korektně, proč se tak děje a jak by tomu dalo zabránit nebo jakým způsobem by se mohl problém odhalit. Cílem této prevence je co nejvyšší návratnost.

Zjištění a posuzování rizika:

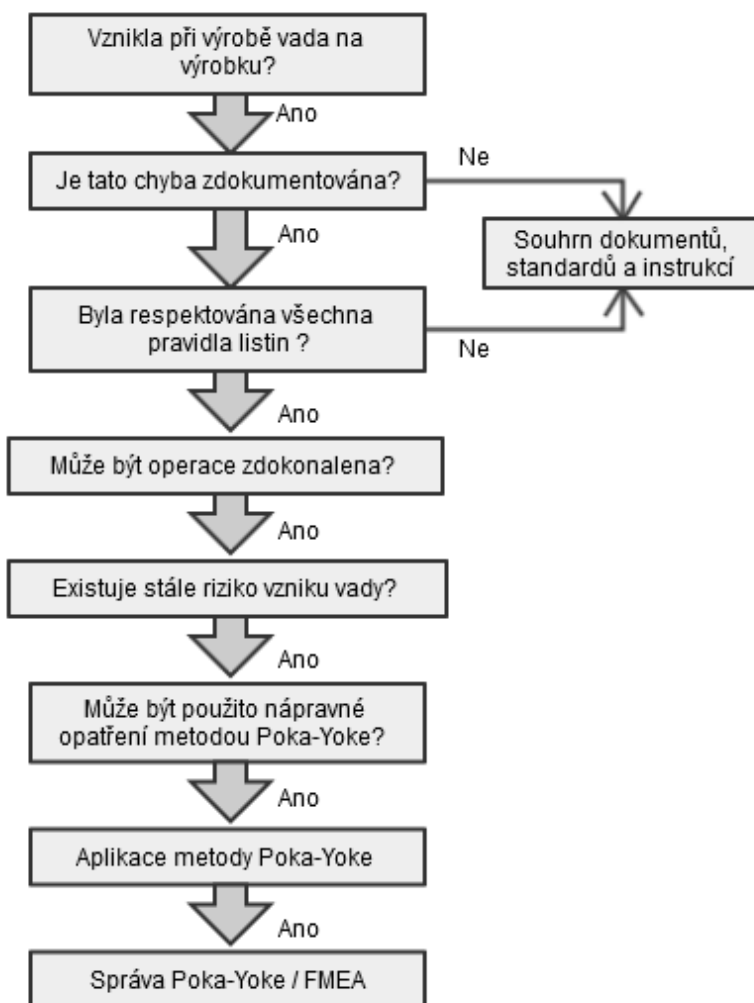
Riziko se hodnotí podle tří charakteristik:

- podle závažnosti, kde se posuzuje úroveň dopadu poruchy na zákazníka,
- podle výskytu, kde se hodnotí, jak často se může porucha vyskytnout
- a podle detekce, zkoumající, jak dobře nástroje řízení produktu nebo procesu odhalí příčinu či způsob poruchy.

Doporučená opatření a výsledky:

V této konečné fázi procesu analýzy FMEA se doporučená opatření zabývají snižováním závažnosti chyb, eliminací výskytu chyb a zlepšením způsobu detekce. Pokud mají být opatření přijata, musíme se ujistit, že jsou splněna kritéria návrhu produktu i s požadavky na bezporuchovost. Dále se kontrolují technické výrobní podklady a specifikace. Následně je důležité začlenit aplikace do procesu montáže nebo výroby a nakonec zkontrolovat související FMEA, plány kontroly a řízení a provozní instrukce. Termíny ukončení příslušných doporučených opatření se zaznamenávají. Po aplikaci nástroje zlepšení nezbyvá než aktualizovat hodnocení závažnosti, výskytu a detekce poruch, pokud opatření splňuje očekávání. Pokud tomu tak není, přistupuje se k volbě jiného nástroje zlepšení.

Postup FMEA a řešení problému metodou Poka-Yoke lze shrnout následujícím diagramem na *obrázku 2*.



Obrázek 2: Postup FMEA a aplikace metody Poka-Yoke [2]

3.3 PFMEA

PFMEA [6] je označení FMEA procesu, který podporuje vývoj výrobního procesu za účelem zmírnění rizik poruch. Náležitosti spadající pod tento proces jsou:

- definice a hodnocení funkcí procesu a kritérií kladených na proces,
- identifikace a evaluace možných způsobů poruch souvisejících s procesem a výrobkem s hodnocením možných důsledků poruch beroucí ohled na proces a zákazníka,
- zjištění a objasnění možných příčin poruch ve výrobním nebo montážním procesu,

- analýza variabilních veličin procesu, na které je potřeba fokusovat nástroje řízení procesu vedoucích k eliminaci výskytu poruch nebo ke zvýšení citlivosti detekce podmínek poruchy,
- stanovení prioritního systému preventivních opatření nebo takových opatření, která vedou k vylepšení nástrojů řízení.

Zpráva o PFMEA [6] je neustále se vyvíjejícím živým dokumentem, jehož vypracování se zpravidla provádí před proveditelností procesu nebo za jeho chodu. Vypracování by mělo být započato před vybavením výroby nástroji. Měly by být uváženy všechny výrobní operace včetně jednotlivých komponent a montážních celků. Dokument PFMEA by měl zohlednit všechny procesy probíhající v závodu, které by mohly mít vliv na výrobní a montážní operace. Může se jednat o vliv expedice, přijímání a přesun materiálu a jeho skladování. Pro predikci, monitorování či řešení probíhajícího procesu při plánování použití nových komponentů je doporučeno zavčas zkontrolovat nové nebo revidované procesy.

Stejně jako v případě postupu návrhu FMEA analýzy se PFMEA skládá z níže upřesněné sekvence pro použití metody [6]:

Definice zákazníka:

Pro PFMEA je zákazníkem obvykle konečný uživatel výrobku. Záleží ovšem na fázi výroby, neboť v mnoha případech může být výrobek pouze připraven pro další výrobní a montážní operace.

Vytvoření týmu:

Jako u FMEA je i zde nutné začlenit všechny obory, které se týkají dotčených oblastí souvisejících s výrobkem a procesem. Oblastmi mohou být konstrukce, montáž, výroba, materiály, služby a dodavatelé. Metoda PFMEA je v tomto případě jakýmsi „komunikačním rozhraním“ mezi jednotlivými oblastmi.

Úvahy o návrhu výrobku:

Během vypracovávání PFMEA může tým hledat určité možnosti návrhu výrobku, které jsou-li použity, vyloučí nebo sníží výskyt způsobu poruchy v procesu. Například pokud se přidá dílu nebo výrobku určitá vlastnost, obdobná vlastnost se přidá i upínacímu přípravku. To má za následek snížení rizika špatného založení dílu nebo výrobku operátorem. Tato opatření musí akceptovat konstruktér výrobku a návrhář upínacích nástrojů stroje.

3.3.1 Postup vypracování PFMEA

Technik odpovědný za proces začíná vypracováním předpokladů toho, co bude a nebude vykonávat proces na základě využitelných dokumentů. Postup vypracování PFMEA [7] začíná provedením analýzy záměru procesu. Diagram obecného procesu,

tedy vstup pro PFMEA, je následující úloha k řešení, která má charakterizovat proces a výrobek v každé operaci a má také identifikovat dopad na výrobek. Dokumentování analýzy možných poruch bývá pro zpřehlednění vypracovááno do vzorových formulářů.

Vývojový diagram procesu

Jedná se o zobrazení toku výrobku procesem ve směru od vstupu na výstup. Do tohoto schématu, označovaného PFD, by měl být zaveden každý krok v rámci výrobního či montážního procesu spolu s průběžnými výstupy, jako jsou charakteristiky výrobku, požadavky a nové výsledné výrobky. Dále jsou zde zahrnuty zdroje možných změn. Vývojový diagram se postupně mění. Inicializační diagram je rámcovou mapou procesu. Z toho vyplývá nutnost nejpodrobnější analýzy procesu při prvním návrhu diagramu. Již u tohoto diagramu se může předběžně zjistit, která operace nebo který krok procesu bude mít dopad na výrobu a montáž výrobku. Toto zjištění musí být uvedeno ve vstupu PFMEA. Jednotlivé žádoucí změny výrobku dávají popis, čeho by se mělo dosáhnout po elementárním kroku. Tento popis je základem pro identifikaci poruch. Další požadavky na proces mohou být ze strany DFMEA, výkresové dokumentace, rozpisky procesu, matice vztahů, vnitřní a vnější neshody podle již známých způsobů poruch a údajů o kvalitě a bezporuchovosti.

Předzpracování vývojového diagramu:

V odstavci výše jsme se dozvěděli o postupu určení předmětu analýzy. Tento předmět bychom měli dále přezkoumat podle získaných informací z předchozího návrhu procesu a výrobku a podle vhodných směrnic, norem, standardních dílů a metod ochrany proti chybám.

Pokud je dostupný předchozí návrh výrobku a procesu a je k němu vypracována charakteristika kvality, můžeme z ní využít informace o výtěžnosti procesu, způsobilosti napoprve, dílu na milion, ukazatele způsobilosti procesu a garanční metriku. Na základě tohoto kvalitativního hodnocení můžeme přidělovat známky hodnocení závažnosti, výskytu poruchy a její detekce.

Náležitosti PFMEA [7] formuláře:

1) Záhloví:

Je to oblast formuláře, která jednoznačně definuje předmět PFMEA a informace o procesu řízení a vypracování dokumentů. Následující body by se měly vyskytovat v záhlaví formuláře:

a) Číslo FMEA

Je to charakteristické označení dokumentu PFMEA kombinací čísel a písmen.

b) Objekt

Obsahuje název a číslo systému, subsystému nebo komponentu, který je předmětem analýzy.

c) Odpovědnost za proces

Na tomto místě je uvedena odpovědná skupina nebo organizace, odpovědná za návrh procesu.

d) Rok výroby modelu nebo programu

Toto pole v dokumentu patří údajům o předpokládaném roce výroby produktu a programu, kdy se bude využívat analyzovaný proces.

e) Rozhodné datum

Je datum ukončení inicializační PFMEA. Nemělo by být pozdější než plánované datum zahájení výroby. Pokud se jedná o dodavatelské organizace, nemělo by toto datum překročit termín schvalování součástí k výrobě.

f) Originální datum vypracování PFMEA

Tato položka obsahuje datum dokončení originální PFMEA a datum poslední revize.

g) Řešitelský tým

Obsahuje jména řešitelského týmu PFMEA.

h) Vypracoval

Poslední pole záhlaví nese jméno a kontaktní údaje a jméno organizace nebo jméno pracovníka, pro kterého pracuje.

2) Hlavní část formuláře:

Je samotnou analýzou rizik v rozsahu polí a až n:

a) Krok procesu/ funkce procesu/ požadavky

a1) Krok procesu

Pole uvádí krok procesu nebo analyzované operace na základě číslování procesu a terminologií ve vývojovém diagramu procesu. Obsahuje také údaje o operacích oprav a přepracováních.

a1/2) Funkce procesu

Zde se uvádí funkce procesu, odpovídající každému analyzovanému kroku procesu nebo testované operaci. Z důvodu minimalizace počtu kroků se pro analýzu volí pouze zásadní kroky, mající dopad na produkt.

a2/3) Požadavky

K jednotlivým funkcím procesu nebo k operaci jsou přiřazeny požadavky. Jsou to vstupy do procesu za účelem splnění záměru návrhu výrobku a splnění požadavků zákazníka.

b) Možný způsob poruchy

Je definován jako způsob selhání procesu při plnění jeho požadavků. Vychází se z předpokladu, že vstupní díly jsou správné, stejně tak je předpokládán správný základní návrh produktu. Ve výjimečných případech tým FMEA posílá návrh na přepracování výrobku projektovému týmu, pokud zjistí nedostatky.

Po předložení požadavků lze snadno identifikovat podmínky nesplnění těchto požadavků. Jakýkoliv požadavek může mít mnoho způsobů poruch. Postih všech možných způsobů poruch se ověřuje přezkoumáním předchozích omylů a zpráv.

c) Možný důsledek poruchy

Jsou to důsledky způsobu poruchy z pohledu zákaznickova vnímání. V tomto případě může být zákazníkem jak konečný uživatel, tak i další operace a jiné procedury. Pro konečného uživatele by měly být důsledky uváděny jako technické parametry produktu nebo systému.

d) Závažnost

Je prostor tabulky pro kritérium hodnocení podle nejzávažnějšího důsledku v případě daného způsobu poruchy. Doporučuje se dohoda týmu FMEA o kritériích hodnocení. Doporučenou tabulkou je *tabulka PFMEA 1* na listu 3 v *příloze 1*.

e) Klasifikace

Do tohoto sloupce tabulky se umisťují způsoby poruchy s vysokou prioritou, vyžadující dodatečné technické posouzení nebo doplňující nástroje řízení u závažných, kritických a významných komponent, systémů a subsystémů.

f) Možná příčina způsobu poruchy

Jde o specifikaci toho, co může způsobit výskyt poruchy. Pole zároveň obsahuje popis opravy poruchy a způsob řízení výskytu poruchy. Je nutný detailní popis každé příčiny u každého způsobu poruchy. Projev poruchy může mít za následek mnoho příčin, které se na této pozici musí co nejlépe zdokumentovat.

g) Výskyt (O)

Je pravděpodobnost, s jakou se vyskytnou určité příčiny poruchy. Známkování této pravděpodobnosti je spíše relativní a odhaduje se na stupnici od 0 do 10, a proto nemusí mít exaktně vypovídající hodnotu. Kvůli relativitě by se měl používat neměnný hodnotící systém. Doporučený hodnotitelský systém je dán *tabulkou PFMEA 2* na listu 3 v *příloze 1*.

V průběhu procesu se počítá počet případů poruch ze statistických údajů.

h) Nástroje řízení pro stávající proces

Popisují nástroje řízení, kterými lze do jisté míry zabránit výskytu příčiny poruchy, nebo ji oddálit, pokud se již vyskytla.

Existují dva způsoby řízení:

- 1) prevence: odstranění výskytu příčiny, snížení četnosti jejího výskytu nebo odebrání způsobu poruchy,
- 2) detekce: spočívá v metodě odhalování příčin nebo způsobů poruchy.

i) Detekce (D)

Váže se na pole nástroje řízení detekce a hodnotí známkou podle kritéria nejlepšího nástroje řízení. Hodnocení detekce je doporučeno provádět podle *tabulky PFMEA 3* na listu 3 v *příloze 1*.

j) Hodnocení rizika: ukazatel priority rizika (RPN)

Ukazatel priority rizika je jeden z přístupů k určení priorit opatření.

Tento ukazatel odpovídá vztahu (1):

$$RPN = \text{závažnost} \cdot \text{výskyt} \cdot \text{detekce} \quad [-] \quad (1)$$

Mezní hodnoty ukazatelů se běžně pohybují od 1 do 1000. Na základě odhadu této hodnoty není doporučeno provádět analýzu přijetí opatření. Důvodem může být zanedbání jedné nebo dvou z výrazných položek na úkor jejich součinu.

k) Doporučená opatření

Doporučené opatření snižuje známku hodnocení závažnosti, výskytu a detekce.

U hodnocení závažnosti dokáže snížit známku hodnocení pouze revize návrhu výrobku nebo procesu.

Snížení známky hodnocení výskytu poruchy lze dosáhnout odstraněním nebo řízením jedné nebo několika příčin poruchy na základě revize návrhu výrobku nebo procesu.

Přepracovaný návrh metodiky detekce může mít za následek snížení známky hodnocení detekce.

l) Odpovědnost a termín dokončení

Položka tabulky obsahuje jméno osoby a organizace, které jsou odpovědné za splnění doporučeného opatření. Uvádí se zde i odpovědný technik a vedoucí týmu, který nařídil tato opatření.

m) Přijatá opatření a datum ukončení

Po uskutečnění opatření se do tohoto místa tabulky uvede stručný popis přijatého opatření spolu se skutečným datem dokončení.

n) Závažnost, výskyt detekce a RPN

Jakmile je opatření k nápravě nebo preventivní opatření dokončeno, zaznamená se výsledná známka hodnocení závažnosti, výskytu a detekce a vypočítá se ukazatel priority opatření RPN.

Je doporučena kontrola všech známek hodnocení, která prošla revizí. Pokud je potřeba dalších opatření, nastupuje opakovaná analýza. Cílem je neustálé vylepšování.

3.4 Aplikace Poka-Yoke v automobilovém průmyslu

Metoda Poka-Yoke [2] byla poprvé aplikována v japonských firmách v padesátých letech dvacátého století, zejména v automobilovém průmyslu. Důvodem byla rostoucí složitost zařízení a zvyšování nároků na objem produkce a její kvalitu. Automobilový průmysl má z ohledu využití metody Poka-Yoke dvě hlavní odvětví. Jsou jimi samotná výroba a montáž komponent automobilu a sestavování převodových skříní. Vlastní skupinu tvoří sestavování pohonných jednotek pro automobily.

Systém výroby je založen na fungování mnoha sekcí, vedle nichž operuje oddělení řízení kvality. Experti tohoto oddělení vytváří standardy a metody, s cílem dosáhnout co nejvyšší jakosti výrobku. Kromě používání základních nástrojů řízení kvality jako jsou diagramy, histogramy, testovací zařízení vzorků a vývojové diagramy řízení kontroly jakosti, používají i metodu Poka-Yoke.

Tento průmysl rozvinul metody, které vykazují schopnost detekce jakékoliv chyby, která je výsledkem lidského selhání. Obor řízení kvality a technika Poka-Yoke mají za cíl stoprocentní kvalitu všech výrobků a jejich dodání v co nejkratším čase za co nejnižší cenu.

Zavedení Poka-Yoke do firmy se řídí následujícími principy:

- Výrobní vada vzniká nejčastěji selháním lidského faktoru.

Typy chyb způsobené operátorem mohou být:

- soustavné dopouštění se chyb, i když o nich pracovník ví,
- chyby z nedorozumění,
- špatná identifikace,
- zapomínání,
- nedostatek školení,
- nesprávné provedení záměru.

Všechny případy chyb bývají zaznamenávány a následně analyzovány. Většina z nich může být napravena díky metodě Poka-Yoke.

- Pokud se objeví porucha, je nutné okamžitě zasáhnout.
- Metody Poka-Yoke jsou způsobem odezvy na poruchu v krátkém čase. Reagující nástroj musí být umístěn na přesném místě, kde se chyba objevila nebo se může objevit.
- Při správné aplikaci této metody se očekává méně častý výskyt poruch.
- Využité nástroje musí být co nejjednodušší, nejlevnější a především efektivní.

V automobilovém průmyslu existují tři úrovně Poka-Yoke:

1) Upozornění

Tato metoda dává přibližně 30% záruku nezávadného výrobku. Spočívá v informovanosti obsluhy o vzniku chyby, což ovšem nezaručuje kvalitu výrobku, tedy správnou reakci obsluhy. Pro sdělení informace o poruše může zařízení vystavit poruchové hlášení a rozsvítit výstražný signalizační indikátor chyby.

2) Řízení

Vhodně navrženým nástrojem řízení již lze dosáhnout zaručenou kvalitu výrobku oproti podobě výsledného výrobku při použití pouhého upozornění obsluhy. Pokud se operátor výroby dopustí chyby na výrobku, produkt nepokračuje dál procesem výroby a nedostane se tak zákazníkovi.

3) Preventivní opatření

Dávají rovněž záruku kvalitního výrobku, přičemž není připuštěno vyrobení špatného kusu. Jedná se například o zařízení pro sledování průchodu součásti při montáži. Může se detekovat odebrání správné součásti, která má být namontována do výrobku. Součást je tedy dána stranou a obsluha neztrácí čas přemýšlením, zda provedla montážní úkon správně.

Operátoři a tým jsou vedeni k nepřetržité inovaci montážní technologie, což je v automobilovém průmyslu nazýváno japonským termínem Kaizen [8]. Obecně jde o proces neustálého zlepšování a netýká se pouze tohoto odvětví.

4 NÁVRH MONTÁŽNÍHO STOLU

Pro návrh montážních stolů byla použita metoda podpory výrobního procesu PFMEA. Na každém montážním stole se má provádět unikátní operace potřebná pro montáž dílu světloometu do těla světloometu. Z důvodu velkého počtu montážních stolů je v této práci popsáno pouze jediné pracoviště, na kterém se montují moduly zdrojů světla a pomocné komponenty.

4.1 Analýza záměru procesu

Montážní stůl pro kompletaci světlometů by měl být navržen tak, aby kontroloval operátora výroby a vyloučil nebo co největší měrou snížil riziko chybné montáže nebo poškození světloometu. Minimalizace chybné montáže by měla spočívat v nedovolení provedení chybného úkonu nebo zamítnutí pokračování v chybné činnosti. Další požadavky jsou na upozornění obsluhy jak světelným indikátorem, tak zobrazením konkrétní chyby či upozornění na zobrazovači.

4.2 Vývojový diagram procesu

Podle dokumentace montážních úkonů na světlometu ve fázi montáže jednotek světelných zdrojů byl vypracován následující návrh montážního postupu s ohledem na možnosti vzniku chybné montáže.

V *tabulce 1* a v *tabulce 2* je uveden vývojový diagram procesu pro montáž světloometu s xenonovým zdrojem světla pro vybrané montážní pracoviště a v *tabulce 3* a v *tabulce 4* je zdokumentován postup montáže LED zdrojů světla do základního dílu na tomtéž montážním pracovišti.

Tabulky se skládají ze čtyř sloupců. V prvním sloupci jsou zdroje variability se základním popisem možnosti selhání montážní operace. Schematický diagram operace je uveden ve druhém sloupci. Vysvětlivky jednotlivých symbolů jsou uvedeny v posledním řádku všech tabulek. Kruh s číslem pořadí operace je symbolem pro operaci obsluhy nebo montážního stolu. Pokud má být operace provedena operátorem, je k symbolu operace přidružen symbol operátora, což je kruh se dvěma černě a dvěma bíle vybarvenými a rovnoměrně a symetricky rozdělenými plochami. Čtverec označuje vizuální nebo strojní kontrolu produktu nebo meziprojektu v prováděné montážní sekvenci. Trojúhelník je značka typu skladování součástí na začátku a na konci montážního procesu na tomto pracovišti. Třetí sloupec uvádí označení výsledného produktu nebo meziprojektu po operaci. V posledním sloupci je uveden popis jednotlivých operací s definicí jednotlivých dílů.

Tabulka 1: Vývojový diagram procesu montáže na xenonovém světlometu – 1. část

Útvar: P6XEN1MP

Strana: 1 ze 2

Výrobek/služba: Montáž zdrojů světla do ZD

Id. číslo: 384

Datum: 5.12.2014

Zdroje variability	Tok procesu	Výsledné produkty	Popis operace/součásti
<p>Neštrné zacházení, otěr</p> <p>Správné umístění podpěrných sloupků přípravku a založení</p> <p>Nedetekování přítomnosti základního dílu</p> <p>Fixační západka nezasunuta do oka základního dílu</p> <p>ZD neidentifikován čtečkou/ založen opačný ZD/ jiný druh/ selhání čtení</p> <p>Nedetekování přítomnosti dílu</p> <p>Fixační západka blokována špatným založením dílu, založen opačný díl</p> <p>Nezavaknutí, ulomení krytu, ohyb</p>		<p>BX601L, BX602P P1OPX5, P250, P1200, P930, P980, P740</p> <p>FP1</p> <p>FFP1</p> <p>FFFP1, správné umístění poloha západka – oko P1</p> <p>RDP1</p> <p>CRDP1</p> <p>FP250</p> <p>FFP250</p> <p>FFFP250, správné umístění natočení krytu</p> <p>PP250, PP1200 CV2512</p>	<p>naskladnění součástí P1OPX5 – základní díl předzpracovaný pracovištěm 5</p> <p>P250 – odrazný kryt pro zdroj světla P1200 – stínící plech P930 – držák P980 – pojistný kroužek P740 – žárovka PY24W</p> <p>založení základního dílu P1OPX5</p> <p>kontrola správného založení základního dílu P1OPX5</p> <p>fixace základního dílu P1OPX5</p> <p>čtení DTM kódu ZD P1OPX5</p> <p>kontrola identifikace základního dílu P1OPX5</p> <p>Založení dílu P250 (odrazný kryt) do pomocného přípravku</p> <p>kontrola správného založení dílu P250</p> <p>fixace dílu P250</p> <p>zavaknutí dílů P250 a P1200 (spojení odrazného krytu s plechem)</p>
<p>Operace: ○ Kontrola: □ Skladování: ▽ Směr toku materiálu: ↓ Operátor: ⊗</p>			

Tabulka 2: Vývojový diagram procesu montáže na xenonovém světlometu - 2. část

Útvar: P6XEN1MP

Strana: 2 ze 2

Výrobek/služba: Montáž zdroje světla do ZD

Id. číslo: 384

Datum: 5.12.2014

Zdroje variability	Tok procesu	Výsledné produkty	Popis operace
Nesprávné zacvaknutí, poškození		OKP2512	kontrola správného zacvaknutí
Blokace uvolnění dílu		PCV2512 UNF2512	uvolnění krytu s plechem (P1225)
Opačné navlečení pojistného kroužku, ulomení držáku		CV9893	navlečení pojistného kroužku na držák (P980->P930)
Nedodržení moment		SR9893	šroubování 1 (P9893 -> P1OPX5) (montáž kroužku s držákem) kontrola šroubování 1 (P9893)
Nedostatečné zacvaknutí žárovky ke kontaktu Neopatrné zacházení, rozbití		SRMP740	instalace žárovky (P740 -> P1OPX5)
Nesprávný počet šroubů, nedodržení moment		SR2512	šroubování 2 (P2512 -> P1OPX5) (odrazný kryt s plechem) kontrola šroubování 2 (P2512)
ZD se zasekl v přípravku, opatrná manipulace		UFPIOPX5	uvolnění ZD (P1OPX5) kontrola uvolnění ZD umožnění vyjmutí ZD obsluhou
Nesprávné upevnění komponent/jejich poškození		CGX1006	celková vizuální kontrola stavu světlometu operátorem
		P1OP6	přesun světlometu na další montážní stůl
		601 FIFO	

Operace: ○ Kontrola: □ Skladování: ▽ Směr toku materiálu: ↓ Operátor: ⊗

Pro světlomet s xenonovým zdrojem světla spočívají montážní operace v následujících krocích. Nejprve obsluha stroje obdrží díly ke smontování pomocí dopravníku v krabicích. Základní díl světlometu operátor výroby založí do správně nastaveného přípravku a načte čtecím systémem jeho DTM kód. Po úspěšné fixaci základního dílu obsluha založí odrazný kryt do pomocného přípravku. Po zafixování krytu do tohoto dílu pracovník zacvakne stínicí plech. Po správném zacvaknutí dílů systém stolu uvolní pomocný přípravek a operátor pokračuje navlékáním pojistného kroužku na držák. Tyto spojené díly jsou pak operátorem zašroubovány jedním šroubem na příslušné místo základního dílu světlometu. Umístění žárovky na zadané místo v těle světlometu je dalším krokem montážní operace, po které následuje proces šroubování odrazného krytu s plechem do základního dílu. Kryt s plechem posléze obsluha stroje převezme z pomocného přípravku. Systém po této konečné operaci na montážním stole umožní vyjmout světlomet a předat jej na další dopravníkový systém. Jednotlivé požadavky na kontrolní procesy jsou podrobně rozebrány v kapitole 4.3.

Tabulka 3: Vývojový diagram procesu montáže části LED světlometu - 1. část

Útvar: P6LED1MP

Strana: 1 ze 2

Výrobek/služba: Montáž zdrojů světla do ZD

Id. číslo: 384

Datum: 5.12.2014

Zdroje variability	Tok procesu	Výsledné produkty	Popis operace/součásti
<p>Nešetrné zacházení, ořez</p> <p>Správné umístění podpěrných sloupků přípravku a založení</p> <p>Nedetekování přítomnosti základního dílu</p> <p>Fixační západka nezasunuta do oka základního dílu</p> <p>ZD neidentifikován čtečkou/ založen opačný ZD/ jiný druh/ selhání čtení</p> <p>Nezavaknutí, ulomení krytu, ohyb</p> <p>Neopatrné zacházení, rozbití</p> <p>Díl neidentifikován čtečkou/ založen špatný díl/ selhání čtení</p>		<p>BX601L, BX602P P1OP5, P620, P970, P350, P900, P390</p> <p>FP1</p> <p>FFP1</p> <p>FFFFP1, správné umístění poloha západka – oko P1</p> <p>RDP1</p> <p>CRDP1</p> <p>PP620, PP970 CV6297</p> <p>CV6297P1</p> <p>RDP350</p> <p>CRDP350</p>	<p>naskladnění součástí P1OP5 – základní díl předzpracovaný pracovištěm 5</p> <p>P620 – držák P970 – krytka čočky P350 – modul zdroje světla LED1 P900 – krycí plech P390 – modul zdroje světla LED2</p> <p>založení základního dílu P1OP5</p> <p>kontrola správné fixace základního dílu P1OP5</p> <p>fixace základního dílu P1OP5</p> <p>čtení DTM kódu ZD P1OP5</p> <p>kontrola identifikace základního dílu P1OP5</p> <p>zavaknutí dílů P620 a P970</p> <p>zavaknutí dílu (P6297 -> P1OP5)</p> <p>čtení dílu 1 (P350)</p> <p>kontrola identifikace dílu 1 (P350)</p>
<p>Operace: ○ Kontrola: □ Skladování: ▽ Směr toku materiálu: ↓ Operátor: ⊗</p>			

Tabulka 4: Vývojový diagram procesu montáže části LED světlometu - 2. část

Útvar: P6LED1MP

Strana: 2 ze 2

Výrobek/služba: Montáž zdrojů světla do ZD

Id. číslo: 384

Datum: 5.12.2014

Zdroje variability	Tok procesu	Výsledné produkty	Popis operace
Nesprávný počet šroubů, nedodžený moment		SRP350, CSR350	šroubování 1 (P350 → P1OP5) kontrola šroubování 1 (P350)
Neopatrné zacházení, rozbití		RDP390	čtení dílu 2 (P390)
Díl neidentifikován čtečkou/ založen špatný díl/ selhání čtení		CRDP390	kontrola identifikace dílu 2 (P390)
Nesprávný počet šroubů, nedodžený moment		SR900, CSR900	šroubování 2 (P390 → P1OP5) kontrola šroubování 2 (P390)
Nesprávný počet šroubů, nedodžený moment		SR350, CSR350	šroubování 3 (P900 → P1OP5) kontrola šroubování 3 (P900)
ZD se zasekl v přípravku, opatrná manipulace		UFP1OP5	uvolnění ZD (P1OP5) kontrola uvolnění ZD umožnění vyjmutí ZD obsluhou
Nesprávné upevnění komponent/jejich poškození	CGL1006	celková vizuální kontrola stavu světlometu operátorem	
	P1OP6	přesun světlometu na další montážní stůl	
<p>Operace: ○ Kontrola: □ Skladování: ▽ Směr toku materiálu: ↓ Operátor: ●</p>			

Velice podobný montážní postup se dodržuje při montáži LED zdrojů světla do těla světlometu. Shoda je ve způsobu přijetí dílů, v systému fixace základního dílu a ve způsobu jeho odebrání a poskytnutí dalšímu pracovišti. První odlišnou operací v pořadí je zacvaknutí držáku s krytkou čočky. Následné operace jsou načítání DTM kódu modulu LED 1, jeho zašroubování do základního dílu, načtení identifikátoru LED 2 modulu a opět jeho montáž do těla světlometu. Poslední operace před automatickým uvolněním základního dílu je montáž krycího plechu třemi šrouby.

4.3 PFMEA

Tato kapitola popisuje dokument analýzy možných způsobů a důsledků procesních poruch [9] vybraného montážního pracoviště. Dokument byl získán ze zdroje ve formě tabulkového procesoru.

V jednotlivých řádcích tabulky v příloze 1 jsou zobrazeny požadavky, důsledky poruch, opatření jednotlivých procesních kroků a další náležitosti dokumentu.

Byla navržena a přijata nová opatření, která obsluze usnadňují pohodlnou montáž a zajišťují prevenci proti znehodnocení dílů světlometu.

V procesním kroku 1, kde se vykonává naskladnění součástí, bylo vzhledem k požadavku na opatrné zacházení přijato preventivní opatření. Spočívá v umístění přepravky do blízkosti základacího přípravku a přidání změkčující vystýlky na dno krabice. Toto opatření tak snižuje pravděpodobnost rozbití komponent světlometu.

Bylo navrženo a přijato další opatření, které zasahuje do všech kroků šroubování. Preventivním opatřením, snižujícím pravděpodobnost selhání správného utahovacího momentu, je pravidelná kontrola momentu jednou za měsíc. V případě, kdy by se projevilo toto opatření jako neúčinné, mohlo by se postupovat zvýšením frekvence opakování kontrol šroubováku nebo by se šroubovák mohl vyměnit za spolehlivější typ.

Další navržené a přijaté opatření je očištění veškerých optických snímačů a ploch od prachu na pracovišti po ukončení práce pracovníka obsluhujícího stroj pomocí příručního vysavače, jehož sací hadice je pověšena na pravé straně stroje pod deskou stolu.

V procesních krocích 2 a 11 bylo navrženo a přijato opatření výměny demontovatelných dosedacích ploch základacího přípravku za novější typy těchto součástí jednou za dva měsíce. Pro pohodlnou montáž byla změněna doba fixace z času 500 ms na 1,5 s.

4.3.1 Volba instrumentace montážního pracoviště dle PFMEA analýzy

Instrumentace vybraného montážního pracoviště, vycházející z provedené analýzy, zahrnuje fixační válce dílů a základních dílů světlometu a snímače založení základního dílu a dílu určeného k montáži.

Detekce založení levého a pravého základního dílu světlometu

Zda je založen základní díl, snímá dvojice limitních reflexních optických snímačů *O7P202* [10] od firmy *IFM*. Rozmístění těchto dvou prvků na přípravku detekuje založení levé nebo pravé varianty základního dílu. Použití principu optické závory je zvoleno s ohledem na cenu a jednoduchost provedení.

Kryt snímače je v plastovém provedení se závity pro šrouby na základací přípravek. Rozsah správné funkčnosti snímače je od 3 cm do jednoho metru, což je optimální pro naši aplikaci. Tento detektor založení svým vysílačem generuje světlo o vlnové délce 633 nm a snímač detektoru reaguje pouze na tuto vlnovou délku. Kabel snímače je zakončen konektorem M8. Výstupním signálem je standardní unifikované napětí. Při přítomnosti základního dílu je na výstupu snímače logická jednička.

Fixace levého a pravého základního dílu světlometu

K pohodlné montáži do těla světlometu (základního dílu) je nutné zajistit díl proti pohybu. Zároveň je nutné nepovolit obsluhu vyjmutí dílu v případě, kdy není dokončena montáž. Na základním dílu je umístěno oko k tomuto účelu.

Pístní tyč dvojitinného pneumatického válce *FESTO ADN-16-15-I-P-A* [11] fixuje správně založený základní díl světlometu, a to zasunutím pístnice do připraveného oka. Pístní tyč je pro požadavek dlouhé životnosti hladce eloxovaná z hliníkového materiálu. Parametry zdvihu jsou 15 mm a průměr pístu činí 16 mm. Z důvodu požadavku snímání základní polohy pístu je pro tento účel ve válci umístěn magnet a místo pro snímač je v připravené T-drážce těla válce. Pro levou i pravou variantu základního dílu jsou k dispozici samostatné fixační válce.

Detekce založení levého a pravého dílu

Stejně optické detekce založení dílu jako u detekce základního dílu je využito i při zjišťování, zda obsluha umístila díl do pomocného přípravku. Tvar přípravku je uzpůsoben tak, aby se minimalizovala pravděpodobnost záměny pravého dílu za levý nebo naopak.

Fixace levého a pravého dílu

Opět z důvodu pohodlné montáže zajištění proti pohybu zprostředkovává pneumatický válec *FESTO ADN-12-30-K10*. Fixace je zároveň opatřením proti vyjmutí dílu obsluhou zaseknutím pístnice o hranu dílu v případě, kdy obsluha neprovede správnou montážní operaci.

Detekce polohy fixačního válce pro levý a pravý základní díl světlometu

Jelikož může dojít ke špatnému založení základního dílu, je možné tento stav detekovat na základě polohy pístnice příslušného válce. Limitní magnetický snímač polohy válce *FESTO SME-8-K* [12] detekuje polohu pístní tyče v základní poloze. Pokud byl proveden povel k fixaci a hřídel válce nevyjede do otvoru, zasekne se, je detekována chyba. Selhání tohoto mechanismu kontroly může nastat, pokud bude vysunuta pístní tyč mimo oko bez mechanického odporu. Tento stav není detekován.

Magnetický snímač je provozován ve spínacím režimu. Indikátor dosažení blízkosti magnetu je žlutá LED. Kabel tohoto snímače je zakončen opět standardním konektorem M8.

Detekce polohy fixačního válce pro levý a pravý díl

Stejného principu, jako při detekování správné fixace základního dílu, je využito pro detekování dílu na pneumatickém válci v pomocném přípravku. Je použit stejný limitní magnetický snímač.

4.3.2 Volba instrumentace montážního stolu podle požadavků zákazníka

Detekce zacvaknutí levého a pravého dílu

Je vyžadována detekce správného zacvaknutí dvou dílů světlometu na pomocném přípravku. Bylo navrženo uspořádání laserového vysílače *IFM OJ5072* [13] a přijímače *IFM OJ5042* [14] se soustavou odrazek. Tenký paprsek laseru o průměru 0,5 mm tak při správném zacvaknutí dílů prosvítí ta místa dílu, kde vzniknou miniaturní mezery o průměru 1 mm. Při správném zacvaknutí dílů tak bude nepřerušovaný tok světla ze zdroje odrážen soustavou odrazek a dopadne na snímač správného zacvaknutí.

HMI panel VCP05

Montážní stůl měl být vybaven zobrazovacím panelem *Rexroth Bosch VCP05.2* [15], jehož součástí jsou funkční klávesy F1 až F6, alfanumerická klávesnice, šipky pro pohyb v menu a klávesy se speciálními funkcemi. K funkčním klávesám jsou přiřazeny programovatelné LED indikátory. Displej má úhlopříčku velikosti 7,7 cm a rozlišení 160 x 80 bodů. Rozhraní pro programování a pro komunikaci s PLC je port ETHERNET. Napájecí stejnosměrné napětí je výrobcem stanoveno na 24 V. Na obrázku 3 je popisovaný HMI panel zobrazen.



Obrázek 3: Operátorský panel Bosch Rexroth VCP05 [15]

RFID čtečka

K identifikaci pracovníka, vedoucího směny a jiných osob slouží čtečka karet *UNI-READER-Ts* [16]. Tato čtečka podporuje karty a přívěsky s čipy *Unique H4102 125 kHz* a jejich ekvivalenty. Je vybavena akustickým a optickým (zelená LED) indikátorem načtení čipu. Rozhraní pro konfiguraci a komunikaci je RS485 nebo RS232. Napájecí napětí je stejnosměrné a je přípustné v rozsahu od 10 V do 15 V.

Čtečka DTM kódu

Načítání DTM kódu základního dílu a kódu ostatních označených dílů slouží dvě čtečky *Sick Lector 620* [17]. Čtecí zařízení je uzpůsobeno ke čtení jednorozměrných i dvojrozměrných obrazců. Je vybaveno VGA kamerou (CMOS maticový senzor) s automatickým ostřením a čtyřmi osvětlovacími LED, které jsou aktivní při detekci přítomnosti předmětu ve čtecí zóně čtečky. Pro manuální vystředění snímaného obrazu je čtečka vybavena laserovým zaměřovačem. Komunikačním a programovacím rozhraním je ETHERNET. Je požadováno napájecí stejnosměrné napětí v rozsahu od 10 V do 30 V. Typ napájecího konektoru je sedmnácti pinová vidlice M12. Na *obrázku 4* se nachází čtečka *Sick Lector 620*.



Obrázek 4: Čtečka kódu Sick Lector 620 [18]

Elektrický šroubovák

K rychlé kontrole dosaženého momentu zašroubování slouží elektrický šroubovák *EBL25-SS-RE* [19]. Ten je kromě samotného elektrického šroubováku s rukojetí a spouští, se sklíčidlem, s momentovou kontrolou a reverzací, vybaven také vlastní řídicí jednotkou. Ta umožňuje propojení s nadřazeným řídicím systémem, kterému posílá informace o dotažení šroubu ve formě signalizačních impulsů a je také umožněno povolování spouště šroubování prostřednictvím signálu z nadřazeného systému. Nastavitelný utahovací moment je možný sklíčidlem v mezích od 1 do 2,5 N cm. Rychlost otáčení šroubovacího bitu je 930 otáček za minutu. Sklíčidlem šroubováku je šestihran o velikosti 1/4 palce. Podoba elektrického šroubováku je na *obrázku 5*.

Pokud se operátor výroby pokusí zašroubovat již plně dotažený šroub, elektronika tuto skutečnost vyhodnotí a nepovolí obsluhu tuto operaci, která by zmátla nadřazený systém špatným počtem již zašroubovaných šroubů. Před detekcí správného utahovacího momentu se totiž musí bit šroubováku otáčet.



Obrázek 5: Elektrický šroubovák EBL [20]

Indikátory stavu procesu

V blízkosti operátorského panelu a čtečky jsou umístěny indikátory stavu procesu. Pokud bude základní díl správně zafixován, má svítit bílý indikátor s popisem „Zafixováno“. Zbývající dvě indikační LED svým rozsvícením mají sloužit jako ukazatel vadného výrobku červenou barvou (popis „NOK“) a ukazatel správně vyrobeného kusu (popis „OK“) zelenou barvou.

Přepínač s hlavicí na klíč

Pokud nastane programem definovaná porucha, bude stroj zablokován až do příchodu vedoucího směny. Tato osoba bude vlastnit klíč k odblokování stroje. Opatření tak kontroluje obsluhu při montáži.

Hlavice *ZB5AG6* [21] od firmy Schneider, vybavená zámkem se dvěma pozicemi s návratem doleva bude, osazena vedle indikátorů stavu procesu. Je určena k zabudování do panelu rozváděče do otvoru o průměru 22 mm. K hlavicí byla vybrána spínací jednotka *ZB5AZI01 IZAP* [22].

5 NÁVRH KONCEPCE ŘÍDICÍHO SYSTÉMU LINKY

Čtvrtá kapitola popisuje návrh nejvhodnějšího řídicího systému pro vybraný montážní stůl. Tento návrh je proveden v souladu s níže uvedenými požadavky. Výběr PLC je důležitou částí návrhu montážního pracoviště, ze kterého vyplývají softwarové a hardwarové možnosti řídicího systému. Z tohoto důvodu byla tomuto návrhu věnována velká pozornost.

5.1 Požadavky na řídicí systém

Z návrhu montážního stolu, uvedeného v kapitole 4, vycházejí základní požadavky na řídicí systém. Ty se skládají z technologických požadavků, které jsou dány zejména navrženou instrumentací a z požadavků, které na systém řízení montážní linky klade zákazník.

5.1.1 Technologické požadavky

Základním parametrem řídicího systému je počet vstupů a výstupů. V tomto projektu je maximální počet vstupů a výstupů řídicího systému dán instrumentací montážního stolu s nevyšším počtem snímačů a akčních členů. Takovým pracovištěm je stůl předmontážního pracoviště montážní linky světlotetu. Ten obsahuje 13 digitálních vstupů, 17 digitálních výstupů a 4 analogové vstupy. Z tohoto hlediska je malé kompaktní PLC dostačující pro všechny montážní pracoviště. Pro uložení receptu procesu montáže světlotetu, dále pro uložení záznamu osob s jejich právy a jejich dalšími údaji a pro ukládání údajů o aktivitě osob na montážní lince je rozhodujícím parametrem optimální velikost paměťového média, která je odhadována na 500 kB. Dále je pak důležitá optimální velikost paměti programu, která je odhadována na 200 kB. Důležitým parametrem je rychlost cyklu PLC.

5.1.2 Požadavky zákazníka

Zadavatel částečně specifikoval požadované vybavení montážního pracoviště.

Prvním z požadavků je použití čtečky RFID čipu. Ta je vybavena rozhraním RS232. Tato skutečnost si žádá použití vhodné komunikační karty. Dalším požadavkem je posílání informací o světlotetu na centrální sběr dat po rozhraní ETHERNET. Operátorský panel obsluhy linky má být s PLC také propojen kabelem pro ETHERNET. Vzhledem k požadavku na přenos 368 bajtů dat je důležitý parametr rychlosti a kvanta přenosu.

Důležitým parametrem pro zákazníka a jedním z hodnotících kritérií je pořizovací cena řídicího systému a panelu.

5.2 Průzkum trhu řídicích systémů

Tato kapitola je věnována analýze dostupných řídicích systému pro použití na řízení montážního stolu. Návrh se zaměřuje pouze na hardwarově nejnáročnější pracoviště předmontážního stolu. Vybrané řídicí systémy jsou porovnány v kapitole 5.3. Kvůli jinak velké spotřebě kabeláže a z důvodu přehlednosti a vhodnosti byl vybrán přepínač (ETHERNET switch) do každého montážního stolu.

5.2.1 PLC Siemens SIMATIC S7-300

Firma *Siemens* nabízí velmi široký sortiment řídicích systémů. Tento model je již dlouholetým a ověřeným řídicím systémem. Navržené uspořádání modulů začíná zdrojem *PS307*. Byl vybrán procesor s rozhraním PROFINET *CPU 315-2 PN/DP*. Jako komunikační karta s rozhraním RS232 byl vybrán modul *CP340 RS232*. Navržená karta digitálních vstupů *6ES7 SM321* obsahuje 16 vstupů. Z důvodu požadavku sedmnácti výstupů jsou vyžadovány dvě karty. První je *6ES7 SM322 (6ES7 322-1BH01-0AA0)* se šestnácti vstupy a druhou je verze s osmi vstupy *6ES7 SM322 (6ES7 322-8BF00-0AB0)*. Hardwarovou konfiguraci této verze řídicího systému uzavírá dostupná karta analogových vstupů s osmi vstupy *SM331 8AI (6ES73317KF020AB0)*. Vhodná paměťová karta k uložení receptu je MMC (*6ES7953-8LJ30-0AA0*) o velikosti 512 kB. [23], [24]

5.2.2 PLC Siemens SIMATIC S7-1200

Jedná se o novější a modernější řídicí systém firmy *Siemens*. Byla zvolena centrální procesorová jednotka *CPU 1212 C* s jedním portem ETHERNET. Tato procesorová jednotka nabízí 8 interních vstupů, 6 interních výstupů a dva analogové vstupy. Dále byly zvoleny rozšiřující karty digitálních vstupů a výstupů *SM1223 (6ES7223-1PL30-0XB0)* ve verzi s šestnácti vstupy a šestnácti výstupy. Následuje karta s osmi digitálními výstupy *SM1222 (6ES7222-1XF30-0XB0)*. Analogová karta s označením *SM1234 (6ES7234-4HE32-0XB0)* má 4 vstupy. Komunikační modul s rozhraním RS232 pro propojení se čtečkou RFID nese označení *CM 1241 RS232*. Paměťová karta je opět typu MMC (*6ES7953-8LJ30-0AA0*) a optimální velikost je 512 kB. Napěťový zdroj, vybraný pro zvolené uspořádání, je *PM1207*. [25], [26]

5.2.3 PLC Rexroth Bosch

Druhým kandidátem pro výběr nejlepšího PLC pro řízení montážní linky je kompaktní PLC firmy *Rexroth Bosch* ve verzi *L10*. Řídicí systém má v základní konfiguraci 8 digitálních vstupů a 4 digitální výstupy. Je dostupné rozšíření o vstupní a výstupní karty na žádanou maximální konfiguraci pro nejrozsáhlejší pracoviště. PLC je vybaveno rozhraním ETHERNET, které je určeno jak k přenosu dat, tak i k programování. V přední části PLC je dostupný slot pro kompaktní paměťovou kartu FLASH o velikosti 128 MB pro uložení dat pro konfiguraci PLC a pro uživatelskou paměť. Tato karta je

součástí balení s PLC. Navržené a dostupné karty pro tento řídicí systém jsou karta osmi analogových vstupů *R-IB IL AI 8/SF-PAC*, karta osmi digitálních vstupů *R-IB IL 24 DI 8-PAC*, dva moduly osmi digitálních výstupů *R-IB IL 24 DO 8-PAC* a komunikační karta *R-IB IL RS232-PRO-PAC* pro přenos dat mezi řídicím systémem a čtečkou RFID. Byl vybrán napájecí zdroj *MDR-100-24 Meanwell* pro napájení řídicího systému. Uvedené komponenty jsou vybaveny vhodným upínacím příslušenstvím pro klasickou DIN lištu. [27], [28], [29]

5.2.4 PLC ABB

Byl vybrán vhodný řídicí systém také od této firmy. Rozložení karet začíná zdrojem *SD831* a pokračuje procesorovou jednotkou *CPU PM564-R-ETH* s rozhraním ETHERNET s šesti digitálními vstupy a výstupy a dvěma analogovými vstupy a výstupy. Dalšími moduly jsou karta čtyř analogových vstupů *AI825*, dvě karty s osmi digitálními výstupy *DO561*, karta osmi digitálních vstupů *DI561* a soubor modulů uzavírá komunikační karta *CM574-RS--V14x*. Paměťová karta *SD M502*, doporučená k PLC o velikosti 512 MB, musí být vybavena pomocným adaptérem *M503*. Uvedené komponenty jsou stejně jako u předchozího řídicího systému vybaveny upínacím příslušenstvím vhodným pro klasickou DIN lištu. [30], [31], [32]

5.2.5 PLC Rockwell

Řídicí systém společnosti *Allen Bradley* nabízí řešení pro aplikaci řadou *CompactLogix*. Bylo vybráno PLC *CompactLogic 1769-L35E*. Modul je vybaven portem ETHERNET a rozhraním RS232. Napájecím zdrojem pro řídicí systém je *1769-PA3*. Kompaktní FLASH pro uchování dat pro montáž může velikost mít až 128 MB a je doporučeným paměťovým médiem. Navrženým řešením sady karet je použití digitálních vstupních karet s šestnácti vstupy *1769-IQ16*, dvou na trhu dostupných výstupních karet *1769-OB16* a karty se čtyřmi analogovými vstupy *1769-IF4I*. Veškeré uvedené moduly jsou uzpůsobeny k upnutí na DIN lištu. [33], [34], [35], [36]

5.3 Výběr řídicího systému

Výběr nejvhodnějšího řídicího systému linky je velice důležitá část návrhu každého stroje, kterým má být řízen výrobní proces. Při volbě nejvhodnějšího systému jsou nejdůležitější vlastnosti procesorové jednotky. V *tabulce 5* jsou uvedeny parametry procesorů řídicích systémů vybraných výrobců. Rychlosti výpočetních jednotek jsou srovnatelné, z čehož nejrychlejší je *Siemens S7-300* s *CPU315-2PN/DP*. Ve výsledku čas zpracování informace závisí na době zpracování signálu vstupní nebo výstupní kartou PLC a na rychlosti čtení z paměti. Limity počtu maximálního počtu vstupů a výstupů nejsou pro výběr řídicího systému směrodatné. Z pohledu přenosových parametrů je nejvhodnější použít PLC *Allen Bradley* pro danou aplikaci, z důvodu vysokého počtu opakování přenosu a z důvodu podpory značné délky datového paketu.

Tabulka 5: Porovnání parametrů CPU vybraných výrobců

PLC	Siemens	Siemens	Bosch	ABB	Allen Bradley
	Simatic	Simatic	Rexroth		CompactLogix
	S7-300 [23], [24], [25]	S7-1200 [26], [27]	L10 [28], [29], [30]	AC500 [31], [32], [33]	[34], [35], [36], [37]
CPU	CPU315- 2PN/DP	CPU 1212C	L10	PM564-R-ETH	L35-E
Velikost interní paměti	384 kB	25 kB	1 MB program, 2 MB data	128 kB	1,5 MB
Max. velikost paměťové karty	MMC 8 MB	MMC 24 MB	kompaktní FLASH karta 128 MB	MC 502, SD karta, 512 MB	1784-CF64 kompaktní FLASH karta 128 MB
Binární*	0,05 μ s	0,1 μ s	0,15 μ s	0,08 μ s	-
Word*	0,09 μ s	12 μ s	0,15 μ s	0,1 μ s	0,013 μ s
Fixed point*	0,12 μ s	2,3 μ s	-	-	0,33 μ s
Floating point*	0,45 μ s	18 μ s	-	1,2 μ s	-
Maximální počet skupin	4	3	(maximální konfigurace 128 digitálních kanálů)	Max. konfigur. 320+6 digitálních vstupů a 240+6 digitálních výstupů	3
Počet modulů na skupinu	8	(maximálně 1024 vstupů a 1024 výstupů na PLC)	63	10	16
Maximální délka UDP paketu	254 B	1472 B	4096 B	2048 B	3840 B
Minimální čas pro cyklické posílání dat	512 ms	acyklická komunikace	-	-	32 ms závisí na nastavení časového prostoru podílem cyklu PLC
Počet zabudovaných vstupů a výstupů	0	8 digitálních vstupů, 6 digitálních výstupů, 2 analogové vstupy	8 digitálních vstupů, 4 digitálních výstupy,	6 digitálních vstupů, 6 digitálních výstupů, 2 analogové vstupy, 2 analogové výstupy	0

Z uvedených parametrů nelze jednoznačně říci, že systémy *Siemens Simatic S7-1200* a *ABB AC 500* nevyhovují požadavkům, kvůli nedostatečné velikosti paměti programu, z důvodu individuální správy této paměti u každého řídicího systému. Nejvhodnější řídicí systém je od firmy *Allen Bradley*, zejména díky přenosovým vlastnostem rozhraní ETHERNET a rychlosti prováděných operací CPU za sekundu. V tomto případě je možnost použití paměťové karty FLASH o velikosti 128 MB zbytečné, avšak důležitějším požadavkem byla přenosová rychlost a schopnost přenesení zadáním specifikovaného objemu dat přes rozhraní ETHERNET na centrální sběr dat.

Druhým rozhodujícím faktorem pro výběr řídicího systému je cena navrženého systému, operátorského panelu a jejich příslušenství. Do následující kalkulace cen v *tabulkách 6,7 a 8* nejsou zahrnuty ceny aplikačních software panelů a PLC.

Tabulka 6: Cenová kalkulace řídicích systémů Siemens S7-300 a S7-1200

PLC	Siemens, Simatic S7-300 [38], [39]		Siemens, Simatic S7-1200 [38], [39]	
	Typ	Cena v Kč	Typ	Cena v Kč
CPU	CPU315-2PN/DP (6es7315-2eh13-0ab0)	11812,5	CPU 1212C (6es7212-1ae40-0xb0-dcdc)	5770
Analogové vstupy	SM331 (8AI)	15826,26	SM1234 (4 AI)	9152,9
Digitální výstupy (8)	SM322 (8DO) (6ES7 322-8BF00-0AB0)	5744	SM1222 (8DO) (6ES7222-1XF30-0XB0)	2817,24
Digitální vstupy (16)	SM321 (6es7223-1pl30-0xb0)	8564	SM1223 (16DI,16DO)(6es7223-1pl30-0xb0)	7638
Digitální výstupy (16)	SM322 (6ES7 322-1BH01-0AA0)	7118		
Komunikační karta RS232	CP340 RS232	22676,02	CM1241-RS232	3590
Montážní lišta	délka: 480 mm (6ES7390-1AE80-0AA0) [42]	609,8	délka: 480 mm (6ES7390-1AE80-0AA0) [42]	609,8
Zdroj	PS307 (6ES7307-1EA00-0AA0) (24VDC/5A)	3591,8	PM1207 (6EP1332-1SH71) (24VDC/2,5A)	1905,78
Paměťová karta	MMC, 512 kB Nflash (6ES7953-8LJ30-0AA0)	12999,5	MMC, 512 kB Nflash (6ES7953-8LJ30-0AA0)	8800,8
Operátorský panel	SIMATIC HMI KTP400 BASIC MONO PN	6905	SIMATIC HMI KTP400 BASIC MONO PN	6905
Licence panelu	WINCC FLEXIBLE 2008 Runtime 128 Power Tags	11342,4	WINCC FLEXIBLE 2008 Runtime 128 Power Tags	11342,4
Celkem [Kč]		107089,28		58531,92

Tabulka 7: Cenová kalkulace řídicích systémů od firem Bosch a ABB

PLC	Bosch		ABB	
	Rexroth		ABB diatrib	
	[40], [41], [42]		AC500 [42], [43]	
	Typ	Cena v Kč	Typ	Cena v Kč
CPU	L10	11812,5	PM564-R-ETH	8653,5
Analogové vstupy (4/8)	R-IB IL AI 8/SF-PAC	21882,15	ABB AI825 3BSE036456R1 (4 vstupy)	21703,5
Digitální vstupy (8)	R-IB IL 24 DI 8-PAC	3764,25	ABB DI561 AC500- ECO	18000
Digitální výstupy (8)	2x R-IB IL 24 DO 8-PAC	10413,9	2x ABB DO561 1TNE968902R2201	6282
Komunikační karta RS232	R-IB IL RS232-PRO-PAC	11996,55	CM574-RS-V14x	18048,6
Montážní lišta	DIN lišta 530 mm	500	DIN lišta 530 mm	500
Zdroj	MDR-100-24 Meanwell	1255	SD831 (3BSC610065R1) (24V, 3A)	7753,5
Paměťová karta	Kompaktní FLASH karta 128MB je součástí balení PLC L10	-	SD MC502, adaptér MC503	4865,96
Operátorský panel	VCP 05.2	26209,58	CP430T-RTH, 5,7"	18000
Licence panelu	Lite CE, Runtime for WinCE	5199,2	PS541-HMI	7498,6
Celkem		93033,17		111305,66

Tabulka 8: Kalkulace navrženého řídicího systému Allen Bradley

PLC	Allen Bradley	
	CompactLogix [43], [44], [45]	
	Typ	Cena v Kč
CPU	1768-L35-E	37228,5
Analogové vstupy (4/8)	1769-IF4I	14728,5
Digitální vstupy (16)	1769-IQ16	4702,725
Digitální výstupy (16)	2x 1769-OB16	11852,1
Komunikační karta RS232	součástí modulu CPU	-
Montážní lišta	DIN lišta 530 mm	500
Zdroj	1768-PA3	4409,1
Paměťová karta	Kompaktní FLASH karta 128MB	2251,07
Operátorský panel	PanelView Plus 400 (2711P-K4M20D)	6252,53
Licence panelu	PanelView Plus media 2711P-RU310	6845,2
Celkem		88769,73

Mimo uvedené elektronické ceníky bylo čerpáno z ceníků *ABB* a z ceníku *Controltech* pro řídicí systém od firmy *Allen Bradley*. Nejlevnějším řídicím systémem z uvedených pěti zástupců je podle výše uvedených tabulek PLC *Siemens Simatic S7-1200*. Vzhledem k úzké spolupráci zadávající firmy s firmou *Bosch* a z důvodu slev je však uvedená cena řídicího systému nižší, což stačí k volbě řídicího systému *Bosch Rexroth L10*. Zákazník také trval na použití tohoto řídicího systému, vzhledem k servisním možnostem.

Vybrané PLC je ve své základní konfiguraci na *obrázku 6*.



Obrázek 6: Vybraný řídicí systém PLC Bosch Rexroth L10 [46]

6 ŘÍDICÍ SOFTWARE

Kapitola se zabývá provedením řídicího programu pro vybrané PLC. Specifikace řídicího software je v této práci rozdělena do fáze funkčního popisu a do popisu pomocí vývojových diagramů, objasňujících činnost hlavního programu, podprogramů a funkcí. Dále jsou zde popsány vybrané části řídicího kódu vybraného montážního stolu.

6.1 Funkční popis

Vybrané montážní pracoviště má z hlediska programu požadavky na řízení automatického cyklu a manuálního ovládnání ventilů, čteček DTM kódu a šroubováku. Dále bylo nutné implementovat funkci pro uvedení pneumatických válců stroje do základní polohy, funkci systému práce s recepty a kontrolu DTM kódu. Automatický cyklus vyplývá z analýzy PFMEA, provedené ve stejnojmenné kapitole 4.3.

6.2 Řešení software PLC

Pro co nejjednodušší provedení programu a pro co nejlepší orientaci v programu je vhodné rozdělit program do programových bloků, které vykonávají příslušné činnosti.

Programovací jazyk je volen podle požadavků zákazníka. Část kódu, kde se vyskytuje sekvence operací, jako například automatický cyklus, je psána v sekvenčním jazyce SFC (Sequential function chart). Logické operace řízení pohybů pneumatických válců jsou naprogramovány v jazyce LD (Ladder diagram). Ostatní části kódu jsou psány ve strukturovaném jazyce ST (Structured text).

6.2.1 Hlavní smyčka programu PLC

Smyčka programu, popsaná v této kapitole, postupně obsluhuje programové bloky uvedené na *obrázku 7*.

Prvním blokem je volání správy identifikace obsluhy stroje. V této části jsou umístěny funkce pro komunikaci se čtečkou RFID přes rozhraní RS232. Nacházejí se zde inicializační fáze zahájení komunikace, kontroly správnosti dat, části parametrizace datových bloků a především funkce přijetí dat o načteném RFID čipu.

Následujícím blokem je jednoduchá funkce pro zajištění distribuce stavů snímačů na místa v programu.

Výběr pracovního režimu probíhá na základě uživatelské volby na operátorském panelu.

Obsluha komunikace se čtečkami DTM kódu základního dílu a ostatních identifikovaných dílů k montáži je následující volanou funkcí.

Samostatný blok pro obsluhu pohybů pneumatických válců na hlavním základním přípravku a pomocném přípravku je vybaven ručním a automatickým režimem. V obou

režimech funkce přijímá povely zasunutí pístnice do základní polohy a povely k vysunutí ze základní polohy. Zvlášť funkce přijímá povel k zasunutí všech válců do základní polohy. Detailní popis řízení pneumatických válců je uveden v kapitole 6.3.7.

Pro obstarání komunikace PLC s operátorským panelem slouží bloky správy proměnných panelu, programové bloky výpisu textových zpráv na panel a také část programu pro ovládání navigačních LED podle zobrazené obrazovky panelu.

Indikátory stroje jsou rozsvěceny na základě přiřazení výstupů LED k odpovídajícím stavovým proměnným v následujícím bloku.

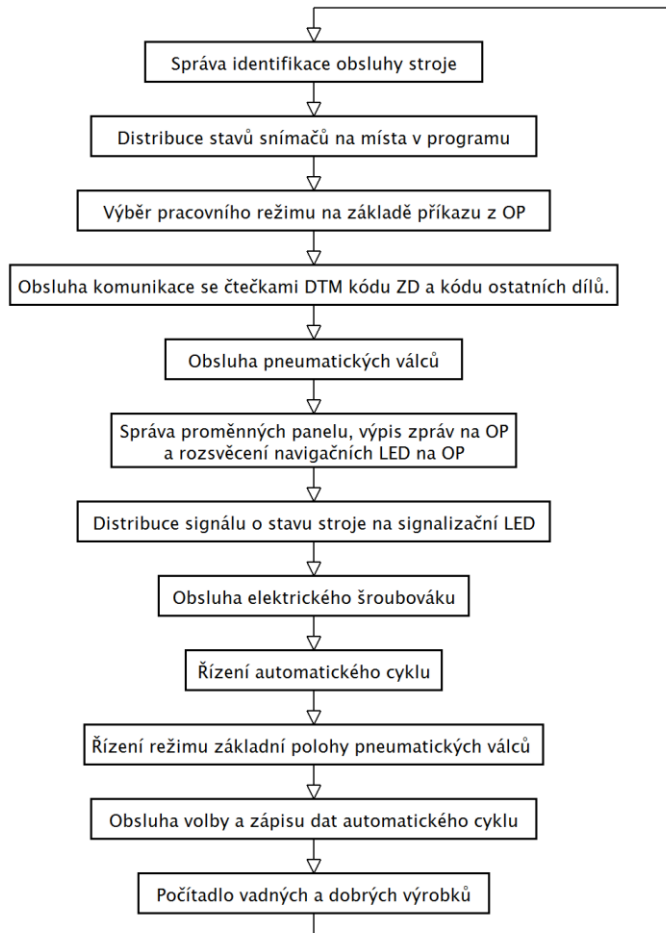
Obslužné funkce šroubováku umožňují manuální a automatický režim šroubování. Program zasahuje do povolení spouště šroubování. V automatickém režimu program přijímá signál o dosaženém momentu a podle něj zjišťuje počet zašroubovaných šroubů.

Automatický cyklus stroje je popsán na *obrázku 8* a je také volán z hlavní smyčky.

Režim základní polohy přistupuje k ovládání pneumatických válců a na vyžádání z operátorského panelu je uvede do základní polohy.

K editaci montážních postupů slouží programový blok zápisu dat automatického cyklu.

Poslední volanou částí programu PLC z hlavní smyčky je počítadlo správně smontovaných kusů a vadných kusů.



Obrázek 7: Hlavní smyčka programu PLC pro montážní stůl

6.2.2 Automatický cyklus montážního pracoviště

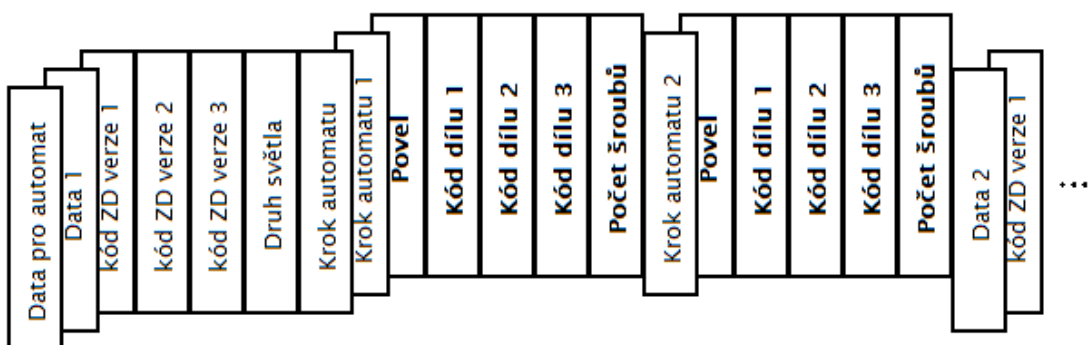
Tato kapitola znázorňuje vývojovým diagramem na *obrázku 8* funkce automatického cyklu montážního pracoviště.

Je-li přijat požadavek na vykonání automatického cyklu stroje, a jsou-li také splněny veškeré podmínky pro chod tohoto cyklu, naprogramovaný cyklus začíná vynulováním pomocných stavových proměnných. Počátek cyklu je podmíněn nepřítomností základního dílu v přípravku a neaktivitou poruchy některého pneumatického válce nebo jiné poruchy.

V první části montážní stůl očekává založení základního dílu do hlavního přípravku a po detekci založení optickým snímačem a po uplynutí časové prodlevy od založení vysune jistící píst do oka základního dílu. Výzvu založení základního dílu stroj zobrazí na operátorském panelu. Pokud pístnice válce nevyjede ze základní polohy, je pravděpodobně uvězněná v této poloze a obsluha špatně založila tento díl. Stroj na tuto událost reaguje výpisem poruchového hlášení a nepovolí další operaci, dokud se ke stroji nedostaví vedoucí směny s klíčem pro odblokování a dokud neuvolní zablokovaný stroj.

6.2.3 Kroky automatického cyklu

Ze všeho nejdříve je nutno definovat struktury uložení montážních receptur v paměti FLASH. Bylo zvoleno pole Data pro automat, jehož struktura je znázorněna na obrázku 9. Z levé strany doprava je znázorněna pozice ve struktuře, přičemž překrývající se pole udávají hierarchii prvků této struktury. Data 1 až 8 v poli slouží k uložení jednotlivých receptů k načtenému základnímu dílu. Data obsahují tři verze základních dílů, informaci o druhu světla, kde je číselný údaj odpovídající verzi s xenonovým nebo s LED zdrojem světla světlometu a poslední pole krok automatu obsahuje instrukci povelu automatu, kódy kontrolovaných dílů a počet šroubů k zašroubování v daném kroku.



Obrázek 9: Struktura receptů pro práci se světlometem na montážním pracovišti

Jednotlivé, uživatelem volitelné kroky automatu jsou pro tento montážní stůl následující.

- Čtení DTM kódu dílu 1.

Zde je uložen povel k aktivaci čtečky dílu a je zde uloženo kontrolované číslo v aktuálním kroku. Obsluze se na displeji zobrazí výzva k přiložení DTM kódu montovaného dílu. Pokud dojde k neshodě načteného kódu dílu, aktivuje se poruchové hlášení a zablokuje se stroj.

- Čtení DTM kódu dílu 2.

Tento povel s kontrolou je volán při aktivaci druhého čtení dílu, se stejnými vlastnostmi jako u čtení 1.

- Šroubování

Tento krok povoluje spoušť šroubováku v automatickém režimu. Z karty s receptem se načte počet šroubů k zašroubování v daném kroku. Operátor během tohoto kroku může na operátorském panelu vidět údaj o zbývajícím počtu šroubů k zašroubování.

- Čekání na založení dílu.

Po detekci založení dílu a po uplynutí nastavené časové prodlevy, se přejde k dalšímu kroku.

- Upnutí a kontrola upnutí levého nebo pravého dílu.

Podle založené verze základního dílu se automaticky upíná díl v pomocném přípravku. Pokud nevyjede fixační válec dílu ze základní polohy do definovaného času po požadavku automatu, zobrazí se chybové hlášení o špatném založení a zablokuje se stroj.

- Odepnutí levého nebo pravého dílu.

V tomto kroku se uvolňuje díl z pomocného přípravku. Při problémech s odepnutím se zablokuje stroj v důsledku zjištění nedojetí fixačního válce do základní polohy.

- Detekce správného zacvaknutí.

V tomto kroku kontrolní automat testuje, zda došlo ke správnému zacvaknutí dílu. Pokud dojde do nastavené doby ke zjištění správného zacvaknutí dílu, přechází se na další krok. V opačném případě se vypíše poruchové hlášení a zablokuje se stroj do doby, než se uvolní klíčem.

6.2.4 Kontrola DTM kódu

Uložené části DTM kódu na kompaktní kartě FLASH automatu se porovnávají s načítanými kódy v krocích automatu.

Kontrola probíhá postupným procházením všech typů světlometu v poli a hledáním shody uloženého DTM kódu s načteným DTM kódem. Diagram kontrolní funkce je uveden na *obrázku 10*. Systém kontroly DTM, se volá pro každý typ světlometu. Pro každý typ světlometu se nejprve otestuje délka načteného řetězce. Ta by měla být delší než 34 znaků. Pokud je tato délka menší nebo pokud bude jakákoliv další neshoda porovnávaných kódů, přejde se na porovnávání kódu v další buňce pole uložených kódů.

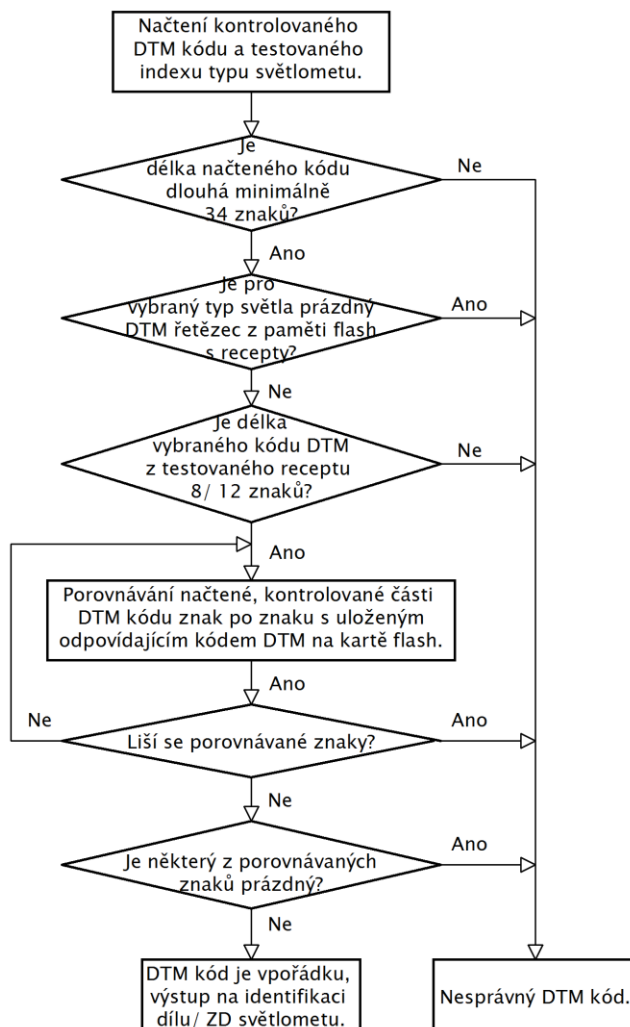
Kontrola DTM kódu na dané pozici v poli se nevykonává pouze v případě nevyplněných pozic řetězců DTM kódu na kartě FLASH.

Následuje kontrola délky kódu receptu. Délka kódu základního kódu světlometu je 12 znaků a délka kódu ostatních dílů činí 8 znaků.

V další operaci kontroly se cyklicky porovnávají části načteného DTM kódu s uloženými kódy. Pokud se znaky liší, výsledkem funkce je neshoda a pokračuje se kontrolou shody v dalším poli.

Poslední kontrola automatu je na prázdný znak v uloženém DTM kódu. Tato kontrola detekuje jeden z nejčastějších způsobů chybného vložení kódu do receptu.

Výsledkem funkce je shoda nebo neshoda pro aktuální položku procházeného místa pole k porovnání. Pokud nedojde ke shodě ani v jednom testovaném případě, vypíší se příslušná poruchová hlášení na operátorský panel.



Obrázek 10: Systém kontroly DTM kódu světlometu

6.3 Základní programové konstrukce vývojového prostředí IndraLogic

Vývojové prostředí *IndraLogic* je součástí programové sady *IndraWorks*. Celá tato sada s postupy jak se připojit k PLC a jak jej úspěšně naprogramovat, je popsána v příloze 2 této práce. Tato část práce popisuje použité programové konstrukce, vycházející z výše uvedených vývojových diagramů.

6.3.1 Členění programu

V první řadě je třeba rozlišovat mezi hlavní funkcí, programem, funkcí, funkčním blokem a akcí.

Hlavní funkce je v prostředí funkce označena jako *Main*. Vykonává se ihned po spuštění PLC. Z tohoto místa se cyklicky volají uvedené funkce a funkční bloky.

Funkce, programy a funkční bloky mohou mít i návratové hodnoty, pokud jsou při zakládání programátorem zvoleny. Příklad takové funkce, která realizuje počítání dobrých a špatných kusů, je uveden v kapitole 6.3.6.

Je možno používat i akce, které se využívají ke zvýšení přehlednosti programu. Ta se dosahuje přesunutím části kódu do bloku zvaného akce. Tato akce se pak volá z původního místa v programu napsáním názvu žádané akce. V akci se vykonávají tamější instrukce a po poslední instrukci se provede návrat z akce na místo za voláním skončené akce, pokud v akci nedošlo ke změně adresy místa v programu.

6.3.2 Proměnné

Vývojové prostředí, sloužící pro tvorbu aplikačního software, nabízí standardní proměnné ve formě datových typů BOOL, BYTE, INTEGER, STRING, REAL, DOUBLE a mnohé další.

Při programování je důležitá volba místa uložení proměnných a volba následného přístupu k nim při jejich používání. Z tohoto hlediska je základní dělení na globální proměnné, přístupné z kteréhokoliv místa v programu a lokální proměnné funkcí a funkčních bloků, které slouží k ukládání stavů vstupů do funkcí, výstupu z funkcí a interních proměnných funkce nebo funkčního bloku. K těmto proměnným můžeme přistupovat ze záložky *Resources* v levé části pracovní plochy programového prostředí.

Globální proměnné jsou uvozeny textem VAR_GLOBAL a ukončeny slovem END_VAR. Nacházejí se opět v jedné z položek záložky *Resources*.

Proměnné funkčního bloku Sroubovak, pro obsluhu elektrického šroubováku, se nacházejí v sekci pro proměnné a jsou uvozeny textem VAR_INPUT v případě vstupních parametrů funkce, textem VAR_OUTPUT pro výstupní parametry funkce a textem VAR pro interní proměnné funkce. Ukončení sektoru všech proměnných je provedeno pomocí zápisu textu END_VAR.

```
FUNCTION_BLOCK Sroubovak
VAR_INPUT
    Cmd_Run      : BOOL;      (* Povel pro chod šroubováku *)
    Cmd_Count    : INT;       (* Požadovaný počet šroubování *)
    In_Sroub     : BOOL;      (* Vstup od šroubováku *)
END_VAR
VAR_OUTPUT
```

```

    Akce_OK      : BOOL; (* Šroubování úspěšně ukončeno *)
    Out_Poc      : BOOL; (* Výstup na počítadlo pro šroubovák *)
    Out_Reset    : BOOL; (* Výstup pro reset počítadla *)
END_VAR
VAR
    Count       : INT; (* Počítadlo zašroubovaných šroubů *)
    Pom_P       : R_TRIG; (* Pomocná hrana *)
    Pom_P1      : R_TRIG; (* Pomocná hrana 1 *)
    Timer       : TOF; (* Timer pro zpoždění nového pulzu *)
END_VAR

```

Důležitými interními strukturami v tomto příkladu jsou deklarace typu R_TRIG a TOF. Pom_P, která je typu R_TRIG, slouží k detekci nástupné hrany. Podobně struktura typu F_TRIG slouží k detekci sestupné hrany.

V uvedeném příkladu je Timer deklarací objektu časovače typu TOF, což označuje časovač se zpožděným vypnutím. Konkrétní využití časovače se zpožděným zapnutím TON je uvedeno v kapitole 6.3.5.

6.3.3 Struktury

Vývojové prostředí pro tvorbu aplikačního software umožňuje vytváření struktur. Struktury mohou být i víceúrovňové. Podle kapitoly 6.2.3, je níže uvedeno použití struktury uloženého receptu na kompaktní kartě FLASH. Klíčovou strukturou je struktura Str_Auto, která obsahuje řetězce Maska_Hous_V1 až V3 pro uložení DTM kódu tří verzí základních dílů světlometu, integer Druh_svetla, jehož hodnota odpovídá typu montovaného světlometu a pole Krok_Dilu, ve kterém je uložena struktura Str_Automat_Krok pro definici montážních operací.

```

TYPE Str_Auto :
STRUCT
    Maska_Hous_V1      : STRING [12]; (* Verze 1 dílu *)
    Maska_Hous_V2      : STRING [12]; (* Verze 2 dílu *)
    Maska_Hous_V3      : STRING [12]; (* Verze 3 dílu *)
    Druh_svetla: INT; (* Typ světla (LED, Xenon) *)
    Krok_Dilu: ARRAY [1..10] OF Str_Automat_Krok; (* Kroky *)
END_STRUCT
END_TYPE

```

Ve struktuře Str_Automat_Krok je položkou Povel uvedeno, jaký krok se má z dostupných kroků, uvedených v kapitole 6.2.3, vykonat při aktuální montážní operaci. V dalších položkách Maska_Dilu_V1 až V3 jsou uloženy kontrolované DTM kódy dílů, pokud je kontrola automatem vyžádána nastavením stroje. Pokud se objeví povel k zašroubování, počet šroubů je uveden v poslední položce struktury Count .

```

TYPE Str_Automat_Krok :
STRUCT
    Povel      : INT;      (* Jaký povel se má provést *)
    Maska_Dilu_V1 : STRING [8]; (*DTM kód dílu *)
    Maska_Dilu_V2 : STRING [8]; (*DTM kód dílu *)
    Maska_Dilu_V3 : STRING [8]; (*DTM kód dílu *)
    Count      : INT;      (* Počet šroubů pro montáž*)
END_STRUCT
END_TYPE

```

Poslední v práci zdokumentovaná struktura Str_Automat obsahuje pole o dvanácti prvcích struktury Str_Auto.

```

TYPE Str_Auto :
STRUCT
    Data : ARRAY [1..12] OF Str_Auto;
END_STRUCT
END_TYPE

```

6.3.4 Logické funkce

Logické funkce jsou základními stavebními bloky každého programu. Umožňují vytvořit požadované chování systému na určité stavy proměnných v programu.

AND, OR, XOR, Negace

Na příkladu je uvedena část programu, která řeší podmínku automatického chodu stroje.

```

Podm_Chod_Auto :=( NOT I0_1_SA2_Uvolneni)
AND (NOT Pneumatika.Flt) AND ((NOT Sts_Flt) OR
Automat_Chod)AND Rezim_Automat;

```

Priorita logických operátorů je dána závorkami. Operátor přiřazení výsledku logické funkce je v tomto případě symbol :=. Pokud je proměnná Podm_Chod_Auto v logické jedničce, je povolen automatický chod stroje. V opačném případě je automatický režim stroje blokován. Pro povolení spuštění automatického chodu stroje je tedy zapotřebí, aby proměnná odpovídající stavu přepínacího klíče I0_1_SA2_Uvolneni nebyla aktivní, dále nesmí být detekována chyba pneumatického okruhu, anebo jakákoliv jiná chyba, nebo již aktivní příznak automatického chodu Automat_Chod, a současně musí být obsluhou, prostřednictvím panelu, vydán požadavek na automatický režim proměnnou Rezim_Automat.

6.3.5 Sekvenční funkce

V případě programů, kde se nachází posloupnost operací, se využívá sekvenčních funkcí. Jedním z příkladů je použití konstrukce SWITCH-CASE a časovače.

SWITCH-CASE a časovač

Jako příklad je uvedena část automatického cyklu stroje, jehož řídicí kód vypadá následovně:

```
IF (Automat_Chod = TRUE)
THEN
    CASE Krok_Auto OF
        0: (* Inicializace automatu *)
            Krok_Auto := 1; Krok_Dilu := 1;
            A_Povel_Zajistit_LH := FALSE;
            (*...reset dalších stavů a povelů...*)
            Sts_Dil_NOK := FALSE;
            Sts_Upnuto := FALSE;
            Sts_Dil_OK := FALSE;
            Sts_Automat_Info := 1;
        1: (* Čekání na založení dílu *)
            T_Sn_zalozeno( In:=I0_4_Sn_Zalozeno_Leve OR
I0_6_Sn_Zalozeno_Prave, PT:=Time_Zalozeni );
            IF T_Sn_zalozeno.Q THEN Krok_Auto :=2;
            END_IF
            Sts_Automat_Info := 2;
        (*...kroky 2 - n...*)
    ELSE
        Automat_Chod:= FALSE;
        A_Povel_Sroub_Count :=0; Krok_Auto := 0;
    END_CASE;
ELSE
    Krok_Auto := 0; A_Povel_Zajistit_LH := FALSE;
    (*...reset dalších stavů a povelů...*)
    Sts_Dil_NOK := FALSE;
    Sts_Upnuto := FALSE;
    Sts_Dil_OK := FALSE;
    Sts_Automat_Info := 0;
END_IF
```

Pokud je splněna podmínka automatického chodu stroje odpovídajícím stavem proměnné `Automat_Chod`, provádí se SWITCH-CASE struktura, jejíž chod je řízen proměnnou `Krok_Auto`. Z počátku je řídicí proměnná nulová a tak se vykonává inicializace stavů průběhu automatického cyklu, jako jsou stavy upnutí základního dílu a pomocných dílů, stav kvality montáže a resetují se všechny povely automatického cyklu, jako jsou povely čtení čtečkami DTM kódu a povolení šroubováku. Proměnná `Sts_Automat_Info` obsahuje číselný údaj pro HMI, který odpovídá informativnímu textu, který se má vypsát na obrazovku. V kroku nula je po provedení výše uvedených

operací inkrementována řídicí proměnná automatického cyklu, což způsobí přechod na případ (case) 1, ve kterém se čeká na založení základního dílu.

Protože bylo požadováno fixovat základní díl se zpožděním, byl použit časovač s označením `T_Sn_zalozeno` se zpožděným zapnutím (typ TON). Přechod do dalšího kroku 2 nastane, pokud bude detekováno založení levého nebo pravého základního dílu do přípravku pomocí proměnných `IO_4(6)_Sn_Zalozeno_Leve(Prave)`, sledujících stavy optických snímačů založení a pokud dojde k uplynutí nastavené doby prodloužení fixace proměnné `Time_Zalozeni`. Doba zpoždění upevnění základního dílu světlometu je uživatelsky upravovatelná v editačním režimu stroje.

V krocích dva až n se provádějí další potřebné operace pro automatický chod montážního stolu.

Posledním krokem, po ukončení automatického režimu montážního stolu, je opětovné resetování požadavků na upnutí dílů, vynulování stavů kvality montáže a též se nakonec resetují všechny příznaky povelů automatického cyklu.

6.3.6 Ostatní funkce

V této části jsou na příkladech popsány využití ostatní programovací funkce, jako jsou detekce hran a rozdělení řetězce.

Na příkladu funkce počítadla dobrých a špatných kusů je vysvětlena funkce detekování nástupných a sestupných hran a je zde uveden příklad užití podmínky IF.

```
(*----- Počítadlo dobrých kusů -----*)
fbIncOk(CLK:=Automat.Sts_Dil_OK = TRUE);
IF ( fbIncOk.Q = TRUE )
THEN
    Count_Dobre := Count_Dobre + 1;
END_IF
(*----- Počítadla vadných kusů -----*)
fbIncNok(CLK:=Automat.Sts_Dil_NOK = FALSE);
IF ( fbIncNok.Q = TRUE )
THEN
    Count_Vadne := Count_Vadne + 1;
END_IF
```

Ve výše uvedeném příkladu funkce počítadla vystupuje v proměnných programu definovaná struktura `fbIncOk` typu `R_TRIG`, do které vstupuje sledovaný signál z programu `Automat` (`Automat.Sts_Dil_OK`). Pokud je zjištěna náběžná hrana tohoto signálu, položka struktury `Q` (`fbIncOk.Q`) je nastavena do logické jedničky a tím je v těle podmínky `IF` inkrementován stav počítadla dobrých kusů `Count_Dobre`.

Funkce pro počítání špatně vyrobených kusů je obdobná, jako při počítání dobrých kusů. Opět se detekuje nástupná hrana signálu, v tomto případě `Automat.Sts_Dil_NOK`.

Pro načtení směrodatných dat k porovnání ze čtečky DTM kódu světlometu, byla použita funkce `MID` pro rozdělení řetězce. Vstupními parametry této funkce jsou:

- řetězec `str2Dcode` určený k rozkladu,
- počet znaků, které se mají načíst,
- startovní pozice čtení řetězce.

Výsledný řetězec je uložen do proměnné `Housing_Zakazn_Cislo`.

```
Housing_Zakazn_Cislo := MID (str2Dcode,10,1);
```

6.3.7 Řízení pneumatických fixačních válců

Pohyby pneumatických fixačních válců jsou řízeny prostřednictvím elektricky ovládaných ventilových terminálů z řídicího systému.

Níže uvedený popis programu z *obrázku 11* v jazyce LAD dokumentuje funkci funkčního bloku, který je společným objektem pro všechny válce. Například pro vysunutí levého válce na hlavním přípravku dojde při příkazu z HMI: `Valec_LH.HMI_Cmd_Vysunout:= true;`, při všech povoleních a bez poruch.

Větev 1: Tato větev nastavuje bit `Sts_Vysunuto`, který je využit k indikaci stavu válce ve vysunuté poloze. Pro aktivaci výstupu této příčky nesmí být aktivní porucha a zároveň nesmí být indikace stavu zasunuto bitem `Sts_Zasunuto`, jehož stav je odvozen od stavu magnetického snímače na pístu. K aktivaci příčky dojde po čase 100 ms, pokud jsou zmíněné podmínky splněny.

Větev 2: Funkce větve je totožná s funkcí větve 1, vztažena je však k bitu `Sts_Zasunuto`, nikoliv k bitu `Sts_Vysunuto` a je aktivní při bitu `Sn_Zasunuto` v logické jedničce.

Větev 3: Pokud není povolen pohyb válců bitem poruchy `Sts_Flt` nebo bitem `InLck_Ovl_HMI`, jsou v této větvi resetovány požadavky na vysunutí nebo zasunutí od panelu HMI VCP 05.

Větev 4: Vyvolání poruchy od válce, který přes požadavek na vyjetí ze základní polohy nejede vpřed, je zajištěno touto větví. Pokud je aktivní požadavek na vysunutí válce bitem `Cmd_vysunout`, stav `Sts_Vysunuto` od příčky 1 je neaktivní a zároveň je neaktivní i bit `Flt` z bloku `Flt_Nejede_vpřed`, aktivuje se vstup `In` bloku `Time_Flt_vpřed`. Ve zmíněném bloku je funkce, očekávající potvrzení poruchy z HMI nástupnou hranou od signálu `Ack` na vstupu bloku `Ack` a vstup bloku `Tim` slouží k nastavení hodnoty časovače prodlevy pro nastavení příznaku `Out_Flt_Nejede_vpřed` výstupem bloku `Out_Flt`, pokud by válec nevyjel

vpřed. Prodlevou je určen čas, do kdy musí válec vyjet do přední polohy, jinak bude vyvolána porucha. Pokud porucha trvá nebo je porucha nepotvrzena, trvá příznak chyby válce.

Větev 5: Tato větev je svou funkcí obdobná jako větev 4, ale nastavuje bit `Out_Flt_Nejede_vzad`, pokud by válec při požadavku na zasunutí do základní polohy zůstal vysunut.

Větev 6: Příklad mimo první scan PLC monitoruje, zda kontrolovaný válec setrvává v požadované přední, vysunuté poloze. Pokud byl válec zasunut a byla detekována nástupná hrana informující o zasunutí, a zároveň není porucha snímače `Flt_Sn.Flt` a přitom nebyl vyvolán požadavek na zasunutí, vyvolává se poruchový příznak `Out_Flt_Sjel_Vpredu`. Po odstranění poruchového stavu a jeho potvrzení na vstupu `Ack` v bloku `Flt_Sjel_Vpredu` se zruší i příznak informující o této poruše.

Větev 7: Pro detekci setrvání pneumatického válce v zadní, zasunuté poloze, slouží tato příčka, která má obdobnou funkci, jako příčka předchozí.

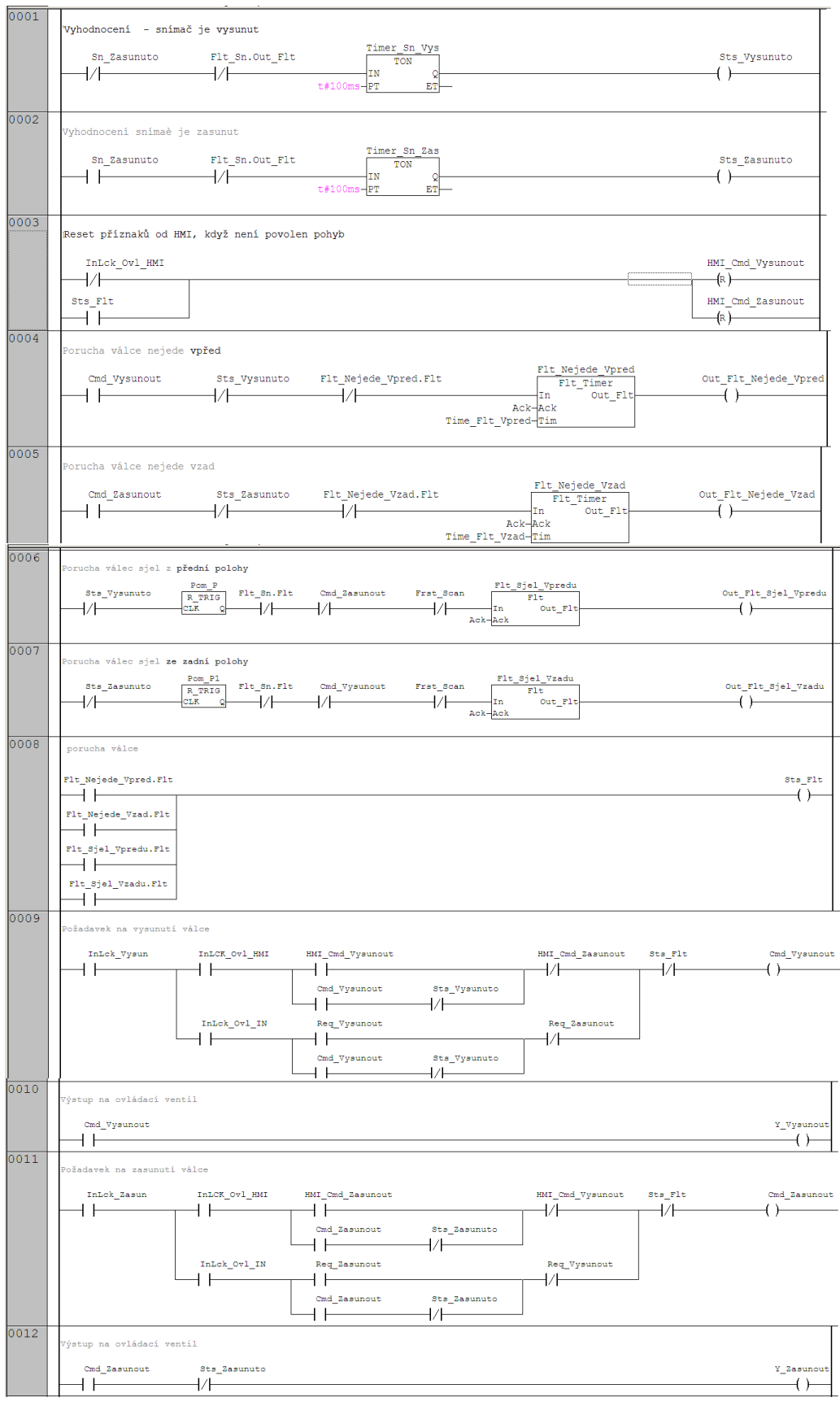
Větev 8: Zde se monitorují dílčí poruchy. Pokud je jedna nebo více poruch aktivní, globální bit `Sts_Flt` je rovněž touto příčkou aktivován.

Větev 9: Tato větev slouží ke zpracování požadavku na vysunutí válce. Testuje se globální zamknutí pohybu válce `InLck_Vysun` a dále pak zakázání vysunutí prostřednictvím funkčního tlačítka na HMI panelu `In_LCK_Ovl_HMI` a nakonec i zakázání pohybu válce v automatickém režimu `InLck_Ovl_I`. Pokud se jedná o příkaz na vysunutí válce v ručním režimu z panelu, aktivační signál, který povoluje bit `Cmd_Vysunout`, postupuje přes vrchní větev přes bit `HMI_Cmd_Vysunout` a tento stav se přidrží paralelně řazeným bitem `Cmd_Vysunout` v tomto kontaktním uspořádání. Pokud je již válec vysunut, přidržovací větev k bitu `Cmd_Vysunout` je deaktivována. Podobně je větev deaktivována v případě požadavku na zasunutí válce z HMI v ručním režimu nebo v případě aktivního poruchového bitu `Sts_Flt`. Pokud se jedná o signál požadavku na vysunutí v automatickém režimu, aktivační signál k bitu příkazu vysunout postupuje přes bit `Req_Vysunout`. Opět zde vystupuje přidržný bit v paralelní větvi `Cmd_vysunout`. Větev s bitem `Req_Vysunout` může být blokována bitem, přijímací požadavek na zasunutí a bitem `Sts_Vysunuto`.

Větev 10: Větev provádí přenos požadavku `Cmd_vysunout` na vysunutí válce bitem `Y_Vysunout`, který nastavuje ovládací ventil válce podle tečkového operátoru příslušnosti k válci.

Větev 11: Zpracování povelů k zasunutí pneumatického válce a k ověření povolení těchto povelů stejně jako v segmentu 9, se provádí na tomto místě programu.

Větev 12: Výstupní bit `Cmd_zasunout` od příčky 11 se zpracovává v této příčce, kde dochází k přiřazení signálu k bitu `Y_zasunout`, opět podle příslušnosti k válci.



Obrázek 11: Program v jazyce LAD pro ovládání pneumatického válce

7 VIZUALIZACE

Tato část práce popisuje vytvořenou vizualizaci pro vybraný operátorský panel VCP05. Kapitola se skládá z popisu hlavního menu a jednotlivých jeho částí.

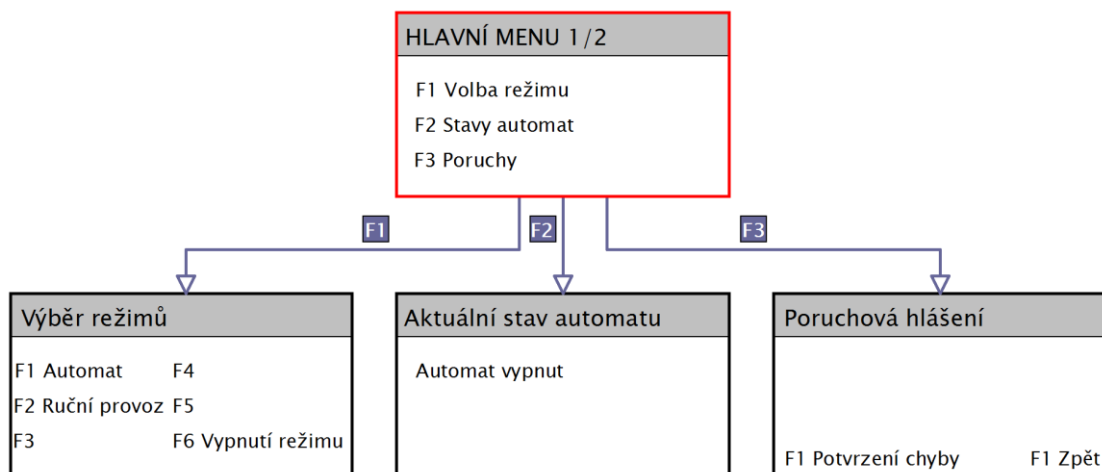
7.1 Nabídka MENU

Z důvodu velikosti zobrazovací plochy operátorského panelu a též z důvodu požadovaného počtu položek menu, bylo menu pro přehlednost rozděleno na několik stran.

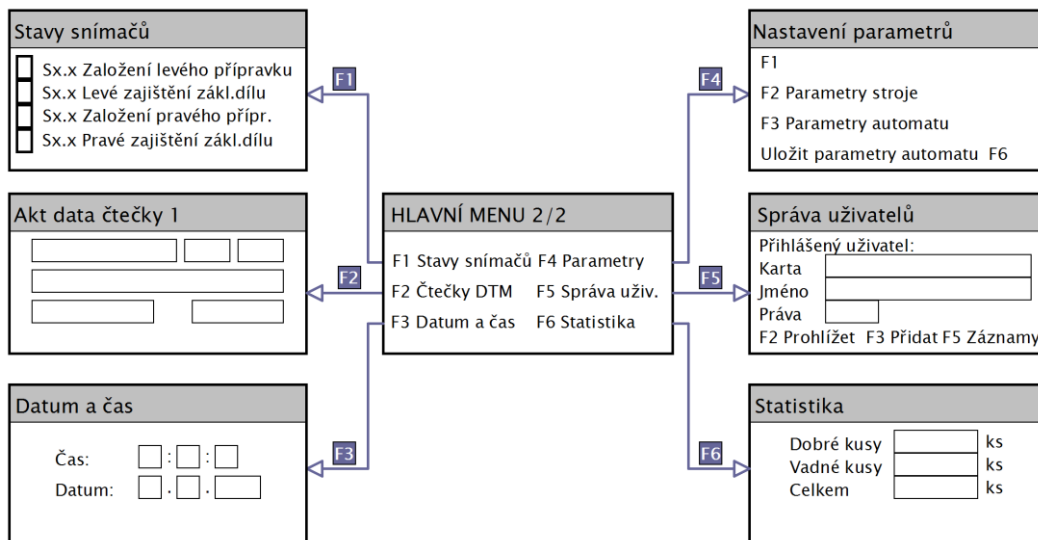
Po zapnutí stroje se uživateli zobrazí první strana hlavního menu. Ta obsahuje odkaz na volbu režimu stroje, odkaz na obrazovku stavu automatu a na zobrazení poruchových zpráv. Druhá část MENU má volbou zobrazení stavu snímačů a stavu čteček kódu DTM, pokud jsou na pracovišti přítomny a odkazuje též na nastavení data a času. Výčet dostupných položek MENU ještě nabízí tři volná místa, která nabízí uživateli vstup do parametrů stroje, správu parametrů uživatele a zobrazení statistických údajů o počtu správně a špatně vyrobených kusů.

7.1.1 Struktura MENU

Podle šipek a jejich klávesových specifikací se větví MENU 1 a 2 podle *obrázku 12* a *obrázku 13*.



Obrázek 12: Struktura obrazovek Menu 1 vizualizace montážního stolu



Obrázek 13: Struktura obrazovek Menu 2 vizualizace montážního stolu

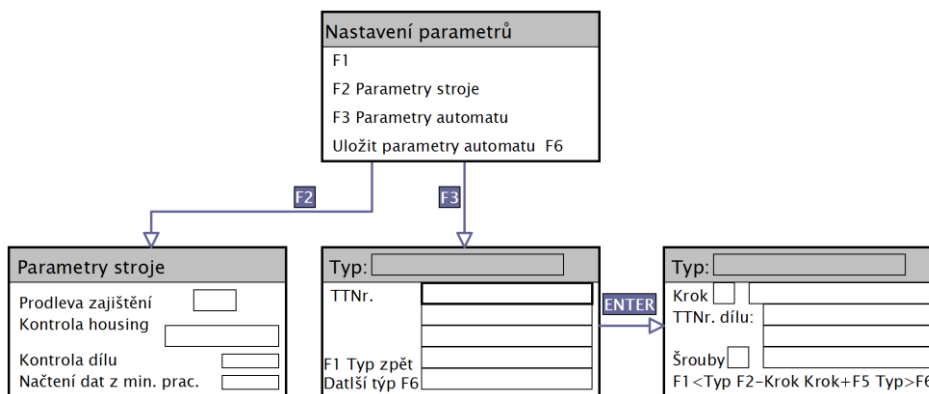
Mezi obrazovkami se MENU se přepíná klávesami s šipkami nahoru a dolů.

Obrazovka volby režimu nabízí uživatelské nastavení automatického a ručního módu stroje. Po zvolení ruční volby se přepne zobrazení na ovládání ventilů, čteček a šroubováku.

7.2 Nastavení parametrů

Do této nabídky se uživatel dostane z MENU 2 stiskem klávesy F4. Z *Nastavení parametrů*, uvedeného na obrázku 14, je na výběr editace parametrů stroje, mezi které patří čas prodlevy zajištění dílů, vypínání a zapínání kontroly DTM kódu základního a pomocného dílu a aktivace či deaktivace přijetí dat z předchozího pracoviště. Pro editaci těchto parametrů musí mít přihlášený uživatel příslušné oprávnění dané uživatelskými parametry.

Parametry automatu zobrazují dostupné typy světlometů a po vybrání daného typu je zpřístupněn náhled do nastavených kroků sekvence automatu. Editace těchto parametrů je umožněna opět oprávněným uživatelům.

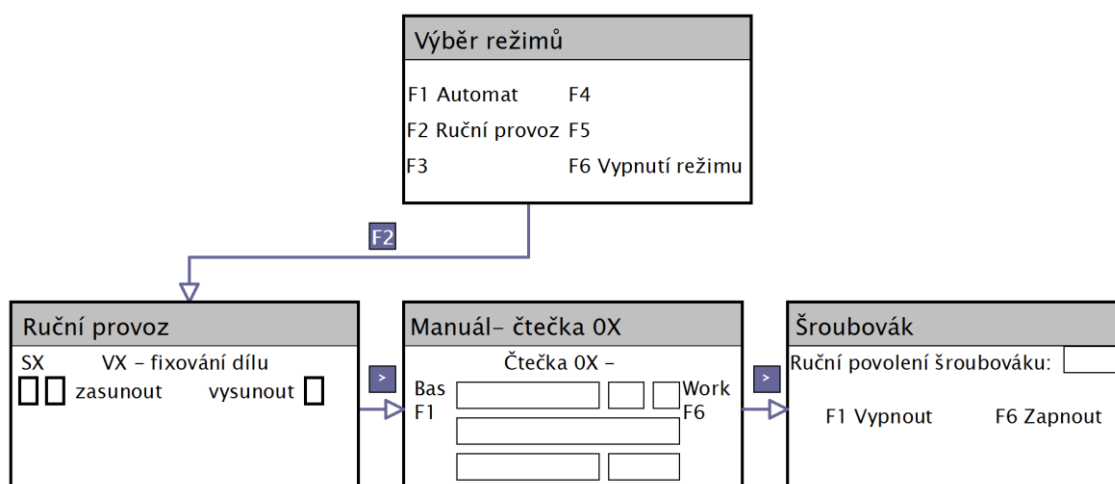


Obrázek 14: Struktura obrazovek vizualizace volby nastavení parametrů montážního stolu

7.3 Výběr režimů

Hlavní okno výběru režimů je dostupné z MENU 1 klávesou F1. Stroj se uvádí do automatického chodu stiskem klávesy F1. Po vypnutí režimu auto klávesou F6 jsou dostupné obrazovky Ručního provozu pod tlačítkem F2.

První obrazovkou ručního provozu má uživatel přístup k ovládání pneumatického válce pod klávesou F1 a F6 pro první pneumatický člen a pod klávesami F2 a F5 pro druhý pneumatický člen. Indikace požadavku na změnu polohy a indikace dosažení polohy je znázorněna obdélníkovým indikátorem u popisu ovládaného členu. Plný obdélník signalizuje dosažení přední koncové pozice válce a prázdný informuje o pozici válce mimo ni.



Obrázek 15: Uspořádání obrazovek vizualizace montážního stolu pro výběr režimů stroje

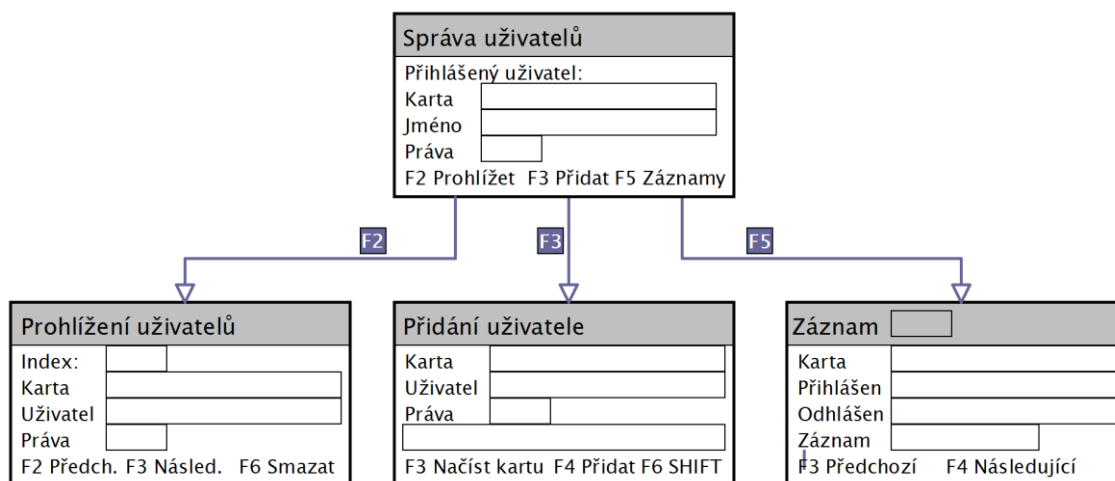
Na obrazovku po stisku šipky dolů navazuje obrazovka manuálního ovládání čtečky DTM kódu. Po stisku F6 se zadá příkaz čtečce ke čtení předloženého kódu, který následně zobrazí na této obrazovce. Čtečka se uvede do klidového stavu nenačítání po stisknutí klávesy F1.

Poslední obrazovkou v rámci ručního režimu je ruční povolení šroubování. To se provádí z obrazovky *Šroubovák*, která je dostupná opět stisknutím klávesy šipky dolů ze zobrazení manuálního řízení čteček. Zobrazuje se okamžitý stav povolení a klávesami F1 a F6 šroubování se povoluje a zakazuje. Veškeré zmíněné obrazovky v této kapitole jsou uvedeny na *obrázku 15*.

7.4 Správa uživatelů

Poslední důležitou částí menu stroje je správa uživatelů, která umožňuje zobrazení aktuálně přihlášeného uživatele, prohlížení všech uživatelů v paměti stroje, přidávání nového uživatele a prohlížení o aktivitě všech uživatelů, kteří se kartou identifikovali na stroji. Schéma správy uživatelů je uvedeno na *obrázku 16*.

Z první obrazovky s informací o právě přihlášeném uživateli s identifikátorem karty, jménem a právy je možné přepnout se klávesou F2 na prohlížení uživatelů v databázi stroje. Klávesou F3 se aktivuje obrazovka *Přidání uživatele*. Do této sekce může vstoupit pouze oprávněná osoba. Po přiložení karty a zadání parametrů uživatele, práva a po potvrzení klávesou F4, je možné nového uživatele přidat do databáze stroje. Klávesou F6 může uživatel přepínat mezi poli nabídky. Poslední nabídka správy uživatelů umožňuje oprávněné osobě nahlédnout do záznamu aktivit uživatelů stroje. Je zde k nahlédnutí čas přihlášení a odhlášení uživatele. Klávesami F3 a F4 je možno posouvat se v položce záznamu.



Obrázek 16: Uspořádání vizualizace správy uživatelů stroje

8 KLÍČOVÉ UKAZATELE VÝKONNOSTI

Jedním z mnoha ukazatelů, udávající míru úspěšnosti firmy nebo organizace, je klíčový ukazatel výkonnosti KPI [47]. Mimo zmíněný ukazatel existují i ukazatele výsledků KRI a ukazatele výkonnosti PI.

KRI [48] je ukazatel, který sleduje výsledné zprávy o výkonu firmy, ale nevyovídá nic o tom, co by měla organizace provést pro zvýšení výkonu. Týmy sledující KRI ukazatele mají měsíční až čtvrtletní sledovací intervaly. Naproti tomu se ukazatele výkonnosti PI jsou sledovány s týdenními a denními intervaly a ukazují pověřeným pracovníkům, kde se nacházejí místa, kde je možno provést zlepšení pro zvýšení výkonu. KPI jsou pak podmnožinou ukazatelů výkonnosti PI, které mají na výkonnost firmy největší vliv.

Obecně se problematikou těchto ukazatelů zabývá mnoho lidí tvořící týmy, které mají rozděleny příslušné funkce a jsou řízeny externím facilitátorem, který je odpovědný za vedení týmů a za jejich výsledky. Základní položky KPI stojí na základních kamenech, jimiž jsou:

- Efektivní spolupráce se zaměstnanci, odborovými svazy, klíčovými dodavateli a klíčovými zákazníky.
- Přesun moci do přední linie, což je delegace pravomocí od nejvyššího vedení podniku příslušným vedoucím osobám úseku pro urychlení rozhodovací činnosti.
- Integrace měření, vykazování výsledků a zlepšování výkonnosti.
- Propojení měřítek výkonnosti se strategií.

Dále se pro zvýšení výkonu používají dvanácti krokové modely pro rozvíjení a použití KPI. V postupu zvyšování výkonu se dále pokračuje vypracováním zdrojů KPI, což mohou být pracovní tabulky, školící semináře a dotazníky, které ověřují, zda jsou pracovníci znalí všech potřebných náležitostí pro zvyšování výkonu a zda splnili všechny body metodiky a rozumí jí. Je doporučeno použití měřítek výkonnosti a to v počtu 80 pro PI, 10 pro KPI a 10 pro KRI. KPI je vhodně vybráno, pokud se v BSC diagramu, což jsou většinou grafické informace pro týmy vrcholného vedení firmy, projeví pozitivní výsledek na více sledovaných položkách tohoto diagramu.

Ke zjištění ukazatelů výkonnosti se v průmyslu využívají softwarové systémy kategorie MES (Manufacturing Execution System) [49], které automaticky sbírají data ze zařízení na pracovištích a ta jsou následně vyhodnocována. Tyto systémy pomáhají firmám ke zvýšení efektivity výrobního procesu a ke zvýšení množství vyrobených kusů díky jednoznačné identifikaci příčiny výrobních ztrát, které jsou důsledkem neoptimálního využívání výrobních prostředků.

8.1 Celková výrobní efektivita OEE

Základním parametrem efektivity je celková výrobní efektivita OEE výrobních prostředků [50], která se zaměřuje na konkrétní nedostatky výrobního procesu získané měřením v reálném čase. Systémy využívají k vyhodnocení efektivity výpočetní nástroje a nástroje generující výstupní zprávy, které odhalují slabá místa výrobního procesu.

Nedostatky výroby mohou být:

- prostoje,
- snížený výkon,
- nekvalita výroby.

Okamžitá hodnota ukazatele OEE [49] je v reálném čase průběžně vypočítávána měřicím systémem a sledována operátory výroby, kteří zasahují výběrem nejlepší strategie výroby pro největší efektivitu výroby.

Základní vztah pro výpočet OEE ukazatele je dán vzorcem (2):

$$OEE = \text{užitečný čas zařízení} / \text{disponibilní čas zařízení} [-], \quad (2)$$

kde užitečný čas zařízení je čas, kdy stroj vyrábí výrobky v požadované kvalitě a disponibilní čas zařízení je čas, kdy by mělo výrobní zařízení produkovat výrobky.

Nejčastěji se však ve vztahu pro výpočet OEE využívá tři ukazatelů, jimiž jsou míra využití, výkon a kvalita. Takový vzorec (3) potom nabývá podoby:

$$OEE = \text{dostupnost} \cdot \text{výkon} \cdot \text{kvalita} [-], \quad (3)$$

kde dostupnost je poměr mezi výrobním časem a časem který je k výrobě k dispozici, výkon je poměr mezi čistým výrobním časem a výrobním časem a kvalita je dána poměrem mezi prospěšným výrobním časem a čistým výrobním časem.

Jednotlivé segmenty vzorce jsou popsány dále.

8.1.1 Dostupnost (Availability)

Je podílem výrobního času, tedy takové doby, kde je zařízení v provozu a očekávané doby chodu zařízení. Vztah pro výpočet dostupnosti (4) pak můžeme psát:

$$\text{Dostupnost} = \text{skutečná doba běhu zařízení} / \text{očekávaná doba běhu zařízení} [-] \quad (4)$$

8.1.2 Výkon (Performance)

Tento prvek základního vztahu pro výpočet OEE je dán poměrem mezi skutečným a plánovaným výstupem, což lze zapsat ve dvou tvarech (5):

Výkon = celkový počet vyrobených kusů / plánovaný počet vyrobených kusů [-],

$$Výkon = \frac{\text{celkový počet vyrobených kusů} \cdot \text{plánovaná délka cyklu}}{\text{skutečná doba běhu zařízení}} [-], \quad (5)$$

kde plánovaná délka cyklu je potřebná doba na výrobu jednoho kusu.

8.1.3 Kvalita (Quality)

Poslední část vzorce je zlomkem, v jehož čitateli se udává počet vyrobených kusů splňujících požadovanou kvalitu a do jmenovatele tohoto zlomku se dosazuje počet všech vyrobených kusů. Vzorec pak odpovídá zápisu vzorce (6).

Kvalita = počet kvalitně vyrobených kusů / celkový počet vyrobených kusů [-] (6)

8.2 Ztráty OEE

Provedení analýzy ztrátových sekcí by mělo vést k nalezení příčin a zdrojů ztrát. Výsledky analýzy pak umožňují najít cesty ke zvýšení efektivnosti využití výrobních strojů a zařízení.

Existuje celkem šest velkých ztrát snižujících produkci, které jsou omezovány pomocí nástroje TPM, jehož základním prostředkem je OEE. Ztráty se dělí do tří velkých kategorií:

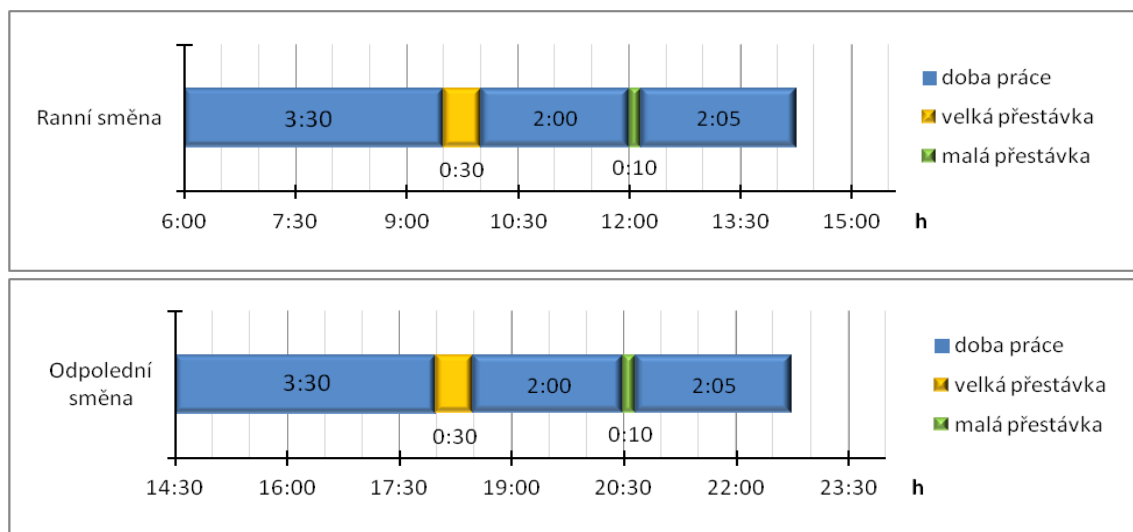
- **ztráty z prostojů:**
 - poruchy zařízení,
 - seřizování a nastavování,
- **ztráty na výkonu:**
 - nečinnosti a krátké přestávky,
 - redukce rychlosti,
- **ztráty na kvalitě:**
 - neshody a opravy,
 - ztráty při rozběhu.

9 VÝKONNOST MONTÁŽNÍ LINKY SVĚTLOMETŮ

V předchozích kapitolách bylo navrženo montážní pracoviště pro sestavování světlometů podle PFMEA analýzy. Spolu s ostatními montážními stoly tento celek tvoří montážní linku světlometů. Tato kapitola sleduje, zda použitá Poka-Yoke opatření vedou ke zvýšení výkonnostních parametrů linky.

9.1 Sledované veličiny výrobní linky

Montážní linka na výrobu světlometů je seřizena a je provozována ranními a odpoledními směnami. Časový průběh směn je zachycen na *obrázku 17*.



Obrázek 17: Časový průběh práce směn, pracujících na montážní lince světlometů

Mezi sledované veličiny byly zahrnuty:

- disponibilní čas,
- čas, po který byla linka v chodu,
- předepsaná délka cyklu,
- počet vyrobených kusů,
- počet shodných kusů,
- dostupnost,
- výkon,
- kvalita,
- a OEE ukazatel.

9.2 Výkonnost linky před aplikací Poka-Yoke

Činnost montážní linky světlometů je neustále monitorována MES systémem, který každý den generuje podrobné zprávy o výkonu linky. V příloze 3 jsou v tabulkách a grafech zaznamenány sledované parametry výroby montážní linky za jeden den od 6:00 do 22:45 a je zde také graficky provedena analýza ztrát. Před provedením navržených opatření, uvedených v kapitole 4.3, odpovídala výkonnost linky hodnotě OEE ukazatele 70,3%. Vstupní parametry pro určení tohoto koeficientu jsou v tabulce 1. Disponibilní čas je odvozen od pracovní doby obou směn a předepsaná délka cyklu odpovídá době montáže jednoho světlometu. Parametry dostupnosti, výkonu a kvality jsou vypočteny podle vzorců z předchozí kapitoly. V tabulce 9 jsou uvedeny výsledky měření před provedením Poka-Yoke opatření.

Tabulka 9: Naměřené parametry výroby montážní linky za den před zavedením Poka-Yoke opatření

Čas			Počty kusů		Parametry	
Disponibilní čas	15 h, 10 min	15,17 h	Vyrobena kusů	135	Dostupnost	97,9 %
Čas linky v chodu	14 h, 50 min	14,81 h	Z toho shodné kusy	128	Výkon	75,8 %
Předepsaná délka cyklu	5 min	0,08 h	Vadné kusy	7	Kvalita	94,8 %

OEE = 70,3 %

9.3 Výkonnost linky po aplikaci Poka-Yoke

Ve stejném časovém intervalu byla sledována výkonnost montážní linky po aplikaci navrhovaných a přijatých opatření. Podle očekávání vzrostly jednotlivé složky ukazatele OEE, především výkon o 15,7 %, a tak i celkový ukazatel efektivity výroby OEE, který byl výpočtem stanoven na 90,1 %. Oproti původní hodnotě tohoto ukazatele před aplikací metod vylepšení montážního procesu je to nárůst o 19,8 %. V tabulce 10 jsou uvedeny výsledky měření po ověření funkčnosti odladěných Poka-Yoke opatření.

Tabulka 10: Naměřené parametry výroby montážní linky za den po zavedení Poka-Yoke opatření

Čas			Počty kusů		Parametry	
Disponibilní čas	15 h, 10 min	15,17 h	Vyrobena kusů	330	Dostupnost	99,1 %
Čas linky v chodu	15 h, 1 min	15,03 h	Z toho shodné kusy	328	Výkon	91,5 %
Předepsaná délka cyklu	2 min 30 s	0,04 h	Vadné kusy	2	Kvalita	99,4 %

OEE = 90,1 %

Je důležité se zmínit o jisté nepřesnosti, které jsme se v tomto případě dopustili. Jednotlivé položky ukazatele jsou totiž výrazně ovlivněny plynulostí předchozí a následné výroby a jinými náhodnými veličinami, jako je spolehlivost a rychlost práce zaměstnanců, jejich flexibilita a jejich pochopení nově přijatých opatření a dále například nahodilá selhání linky a jiných výrobních linek souvisejících s výrobním procesem světlometu. Tyto náhodné veličiny nelze postihnout jednodenním sledováním výroby. Výsledné tabulky a grafy jsou tak pouze orientační a dokumentují, zda navržená opatření vedou k lepším výsledkům parametrů výroby.

10 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout instrumentaci vybraného montážního stolu pro výrobu světlometů a navrhnout a otestovat softwarové řešení, především montážních cyklů linky, podle požadavků zákazníka, které uvedl v zadávací dokumentaci. Tato dokumentace je v textu práce rozebrána a dále je použita pro seznámení čtenáře se základním uspořádáním montážní linky a též pro seznámení s průběhem montáže světlometu.

Návrh instrumentace a řídicího programu montážního stolu byl proveden pomocí metody PFMEA. V práci jsou návrhové metody FMEA a PFMEA nejprve popsány obecně a pomocí nich byly navrženy a využity mechanismy a opatření Poka-Yoke, vedoucí ke zlepšení montáže světlometu a k eliminaci výrobních vad, které by mohly vzniknout při manuální montáži komponent světlometu do základního dílu.

Dle požadavků zákazníka, požadavků vyplývajících z navržené instrumentace a výkonnostních parametrů PLC, byly vybrány vhodné řídicí systémy. Ty byly následně porovnány jak z hlediska výkonnostního, tak i s ohledem na cenu hardwarového i softwarového vybavení. Výsledkem porovnání byla volba konkrétní koncepce návrhu řídicího systému montážního stolu výrobní linky.

Byly vytvořeny návrhy funkce programů PLC v podobě vývojových diagramů podle funkčního popisu montážního stolu, který vychází z provedené PFMEA analýzy v této práci. Tímto způsobem jsou popisovány hlavní smyčky programu PLC, návrh automatického cyklu montážního pracoviště a návrh způsobu práce s recepty. Nakonec je publikován i návrh kontroly identifikačních kódů základních a ostatních dílů. Tyto návrhy byly implementovány a otestovány na konkrétní montážní lince. Nejdůležitější části řídicího kódu vybraného montážního stolu jsou uvedeny a popsány v této práci.

K ovládání stroje byly navrženy a realizovány obrazovky vizualizace a bylo navrženo jejich vzájemné uspořádání na vybraném ovládacím panelu. Zejména podle požadavků zákazníka zde byla vytvořena uživatelská i servisní okna nabídek volby akcí stroje, okna nastavování parametrů stroje, automatického cyklu a režimu stroje.

Poslední kapitola práce se teoreticky zabývá ukazatelem výkonnosti OEE a pomocí něj prakticky analyzuje, zda byla navržená Poka-Yoke opatření účinná. Předmětem analýzy bylo sledování výkonnostních parametrů výroby. Na základě uvedených výsledků lze konstatovat, že navržená opatření vedla k požadovanému cíli.

LITERATURA

- [1] AUTOMOTIVE LIGHTING. *Denní svícení* [online]. 2014 [cit. 2014-12-28]. 2146.jpg. Dostupné z: http://www.al-lighting.cz/vismo/dokumenty2.asp?id_org=600675&id=1040&p1=1012
- [2] DUDEK-BURLIKOWSKA, M. a D. SZEWIECZEK. The Poka-Yoke method as an improving quality tool of operations in the process. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* [online]. 2009, č. 36, s. 8 [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: http://www.journalamme.org/papers_vol36_1/36112.pdf?q=poka
- [3] PETRAŠOVÁ, Ivana. ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST. *Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA): referenční příručka: Kapitola I: Všeobecný návod FMEA: Úvod: Postup FMEA*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. ISBN 978-80-02-02101-8.
- [4] CROW, Kenneth. FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA): Types of FMEA's. *DRM Associates* [online]. 2002, č. 1 [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: <http://www.npd-solutions.com/fmea.html>
- [5] PETRAŠOVÁ, Ivana. ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST. *Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA): referenční příručka: Kapitola II: Přehledné shrnutí strategie, plánování a realizace FMEA: Úvod*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. ISBN 978-80-02-02101-8.
- [6] PETRAŠOVÁ, Ivana. ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST. *Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA): referenční příručka: Kapitola IV: PFMEA procesu: Úvod: Základní struktura: Přístup*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. ISBN 978-80-02-02101-8.
- [7] PETRAŠOVÁ, Ivana. ČESKÁ SPOLEČNOST PRO JAKOST. *Analýza možných způsobů a důsledků poruch (FMEA): referenční příručka: Kapitola IV: Vypracování FMEA procesu*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008. ISBN 978-80-02-02101-8.
- [8] BAUER, M. a kol., Kaizen: cesta ke štíhlé a flexibilní firmě. 1. vyd. Brno: BizBooks, 2012. ISBN 978-80-265-0029-2.
- [9] ASQ - QUALITY MANAGEMENT DIVISION. *Forms and templates* [online]. 2014 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.asq-qm.org/quality-tools-and-techniques>
- [10] IFM ELECTRONIC. *O7P202/ O7P-DNKG/0,20M/AS: Optické senzory* [online]. 2014 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.ifm.com/products/cz/ds/O7P202.htm>

- [11] FESTO. *Válce dle norem ADN/AEN, ISO 21287: Kompaktní válce ADN-K* [online]. 2013 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: http://xdki.festo.com/xdki/data/doc_CS/PDF/CZ/ADN_CZ.PDF
- [12] FESTO. *Přibližovací čidla SMT/SME-8, do drážky T: Přibližovací čidla SMT/SME* [online]. 2014 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: http://www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/SMX8_CZ.PDF
- [13] IFM ELECTRONIC.OJ5072| OJSLOOKG/SO/AS: *Optické senzory* [online]. 2014 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.ifm.com/products/cz/ds/OJ5072.htm>
- [14] IFM ELECTRONIC.OJ5042| OJELFPKG/SO/AS: *Optické senzory* [online]. 2014 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.ifm.com/products/cz/ds/OJ5042.htm>
- [15] BOSCH REXROTH. *Rexroth IndraControl VCP 05.2: Project planning manual* [online]. 2. vyd. 2006 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: http://www.boschrexroth.com/country_units/america/united_states/sub_websites/brus_dcc/documentation_downloads/ProductDocumentation/CurrentProducts/HMI/VCP/VCP05/31037702.pdf
- [16] ANET (ADVANCED NETWORK TECHNOLOGY). *Hardware - řada UNI: Uni-Reader-KD* [online]. 2014 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.anet.eu/systemy/pristupove-systemy/pdf/systems/anet-guard-hardware/HW-UNI-READER-KD.pdf>
- [17] SICK. *ONLINE DATA SHEET ICR620S-T11503 Professional: Lector 62X* [online]. 2014 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <https://www.sick.com/de/en/identification-solutions/image-based-code-readers/lector62x/icr620s-t11503-professional/p/p198341>
- [18] SICK. *Clever. Simple. Industrial. - New code reader standard for tracking & tracing* [online]. Waldkirch, 2010 [cit. 2014-12-30]. Lector_2.jpg. Dostupné z: http://www.sick.com/group/EN/home/pr/press_releases/PublishingImages/Lector_2.jpg
- [19] ATLAS COPCO. *Atlas Copco EBL Screwdriver: Technical data* [online]. 2010 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: [http://194.132.104.143/websites/tools/publications/acc11.nsf/va_TechLang/E001A3DA3C62FB8BC125720A004956F7/\\$File/Atlas_Copco_EBL_Screwdriver_US.pdf?OpenElement](http://194.132.104.143/websites/tools/publications/acc11.nsf/va_TechLang/E001A3DA3C62FB8BC125720A004956F7/$File/Atlas_Copco_EBL_Screwdriver_US.pdf?OpenElement)
- [20] ATLAS COPCO. *EBL12-1500-RE: Electric screwdriver, brushless clutch type, reporting* [online]. 2014 [cit. 2014-12-30]. Electric_screwdriver_EBL_35_502588_456.jpg. Dostupné z: <http://www.atlascopco.us/usus/products/assembly-tools/1774512/1462799/>

- [21] ELECTRO HADRAVA. *Produkty z kategorie PŘÍSTROJE PRO TECHNOLOGIE - Ovládací a signalizační hlavice - SCHNEIDER Harmony Style 5 - Hlavice otočná: Hlavice ZB5AG6 otoč. 2-poz. zámeček černá* [online]. 2014 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.elektrohadrava.cz/tisk.php?c=12.1.1.5&s=2>
- [22] ELECTRO HADRAVA. *Spínací jednotky: Polosestava ZB5AZ101 1ZAP* [online]. 2014 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.elektrohadrava.cz/index.php?c=12.1.1.8&ec=SCHZB5AZ101>
- [23] SIEMENS. *Simatic S7-300 manual CPU 31xC and CPU 31x: Technical specifications: 9.5 CPU315-2 PN/DP* [online]. 2011 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: http://cache.automation.siemens.com/dnl/Tk/Tk1MDQwMQAA_12996906_HB/s7300_cpu_31xc_and_cpu_31x_manual_en-US_en-US.pdf
- [24] SIEMENS. *Simatic S7-300: Technical specifications* [online]. 2003 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: http://www.investigacion.frc.utn.edu.ar/sensores/Equipamiento/PLC/st70k3_e.pdf
- [25] SIEMENS. *New S7-300 CPU 315-2 PN/DP now available: Technical data* [online]. 2004 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://support.automation.siemens.com/ww/lisapi.dll?func=cslib.csinfo&objid=19860749&lang=en&siteid=cseus&aktprim=0&objaction=csopen&extranet=standard&viewreg=WW>
- [26] SIEMENS. *Simatic S7-1200: Central processing units: CPU 1212C* [online]. 2011 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: http://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/catalog/en/simatic_st70_chap04_english_2011.pdf
- [27] SIEMENS. *Simatic: S7-1200 Programmable controller* [online]. 2012 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://shiva.pub.ro/new/wp-content/uploads/2013/05/s71200-Manual.pdf>
- [28] REXROTH BOSCH GROUP. *Control hardware: IndraControl L10* [online]. 2014 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: <http://www.boschrexroth.com/dcc/Vornavigation/Vornavi.cfm?Language=EN&VHist=g97568,g244070&PageID=p149994>
- [29] REXROTH BOSCH GROUP. *Electric Drives and Controls - Product Catalog: Auxiliary Components: NTM* [online]. 2003 [cit. 2014-12-30]. Dostupné z: http://www.boschrexroth.com/country_units/america/united_states/sub_websites/brus_dcc/ProductCatalog_2003_copy/Product_Catalog/Drives/ECODRIVE/Auxiliary_Components/NTM/index.jsp

- [30] VAEPROSYS. *AC500-CPUs PM554 and PM564* [online]. 2012 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: http://www.vaeprosyst.cz/dokumentace/ac500/English/CHM-Files/CAA-Merger-2/CPUs/CPUs_PM554_PM564.htm
- [31] VAEPROSYS. *SD Memory Card MC502* [online]. 2012 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://www.vaeprosyst.cz/dokumentace/ac500/English/CHM-Files/CAA-Merger-2/Accessories/MC502.htm>
- [32] ABB. *Main catalog: Automation products* [online]. 2011 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: [http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/c71c66c1f02e6575c125711f004660e6/9e85af04443f562448257c14001d261d/\\$FILE/1SBC125003C0204-Automation+Products_br.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/c71c66c1f02e6575c125711f004660e6/9e85af04443f562448257c14001d261d/$FILE/1SBC125003C0204-Automation+Products_br.pdf)
- [33] ALLEN-BRADLEY. *Selection Guide: CompactLogic System* [online]. 2014 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/sg/1769-sg001_-en-p.pdf
- [34] ALLEN-BRADLEY. *User Manual: 1769 CompactLogic Controllers User Manual: Catalog Numbers 1769-L31, 1769-L32C, 1769-L32E, 1769-L35CR, 1769-L35E,,,* [online]. 2013 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/sg/1769-sg001_-en-p.pdf
- [35] ALLEN-BRADLEY. *Installation Instructions: 1769-L32E, 1769-L35E CompactLogic Controller* [online]. 2007 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://www.sud-gmbh.de/fileUp/1769-IN020C-EN-P.pdf>
- [36] ALLEN-BRADLEY. *Control Logix Ethernet: Driver Help* [online]. 2014 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: http://www.kepware.com/Support_Center/SupportDocuments/Help/controllogix_ethernet.pdf
- [37] ALLEN-BRADLEY. *Technical Data: 1769 Compact I/O Modules Specifications: Catalog Numbers 1769 Series* [online]. 2013 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1769-td006_-en-p.pdf

Začátek citace z ceníků

- [38] TECHNOLINE. *Prodej průmyslové automatizace: Řídící Systémy* [online]. 2014 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://eshop.technoline.cz/ridici-system-simatic-s7-300>
- [39] WORLDHNEWS. *Siemens: Producent and portfolio details* [online]. 2014 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://www.worldhnews.com/distr/siemens/>

- [40] CMA. *Rexroth Inline Digital Output Modules* [online]. 2014 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://www.cmaf.com/categories/4477-1/Rexroth+Inline+Digital+Output+Modules.aspx>
- [41] BOSTON INDUSTRIES. *New Bosch Rexroth Indra Control L10 CML10.1-NN-210-NB-NNNN-NW* [online]. 2014 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://bostonind.com/new-bosch-rexroth-indra-control-l10-cml101-nn-210-nb-nnnn-nw>
- [42] REM-TECHNIK. *Přehled produktů 2014: pro specialisty v automatizaci a řídicích technologiích* [online]. 2014 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://www.rem-technik.cz/files/upload/1.pdf>
- [43] PLCCENTER. *ABB: 1SBS260284R1001* [online]. 2014 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://www.plccenter.co.uk/en-GB/Buy/ABB/1SBS260284R1001?redirect=true>
- [44] CONTROLTECH. *PanelView Plus 400 a 600* [online]. 2014 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://controltech.cz/sk/produkty/item/418-panelview-plus-400-a-600>
- [45] CONTROLTECH. *RSVIEW STUDIO FOR MACHINE EDITION* [online]. 2014 [cit. 2014-12-31]. Dostupné z: <http://www.automationshop.cz/automation-produkty/software/rsview-studio-for-machine-edition.html>
- [46] PANDCT. *Product Focus: Rexroth's PLC system family expanded* [online]. 2008 [cit. 2014-12-31]. TN16865_BR 7312 IndraControl L10.jpg. Dostupné z: <http://pandct.com/media/shownews.asp?ID=16865>

Konec citací z ceníků

- [47] VELIMIROVIĆ, Dragana, Milan VELIMIROVIĆ a Rade STANKOVIĆ. Role and importance of key performance indicators measurement. *Serbian Journal of Management*. 2010, roč. 2011, č. 1, s. 63-72. Dostupné z: http://www.sjm06.com/SJM%20ISSN1452-4864/6_1_2011_May_1-121/6_1_63-72.pdf
- [48] PARMENTER, David. *Klíčové ukazatele výkonnosti: rozvíjení, implementování a využívání vítězných klíčových ukazatelů výkonnosti (KPI)*. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2008, xv, 242 s. ISBN 978-80-02-02083-7.
- [49] JURÁSEK, Vít. Wonderware MES / Performance Software: Sledování prostojů a celkové efektivity výrobních zařízení (OEE). *Pantek* [online]. 2000 [cit. 2015-04-03]. Dostupné z: <http://www.pantek.cz/produkty/wonderware-performance-software/>
- [50] PATOČKA, Miroslav. OEE a odvozené ukazatele TEEP, PEE, OAE, OPE, OFE, OTE a CTE. *MES centrum*. 2013, č. 1. Dostupné z: <http://www.mescentrum.cz/kontakty/90-mes/clanky/mes-mom/133-oee>

- [51] BOSCH REXROTH AG. *Rexroth IndraWorks 12VRS IndraLogic 2G PLC Programming System: Application Manual* [online]. 2011 [cit. 2015-04-05]. 1. ISBN 120-0401-B344-02/EN. Dostupné z:
http://www.dbrautomation.com/doc/pdf/Control/manual_IndraWorks_12.pdf

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Řez světlometem [1]	10
Obrázek 2: Postup FMEA a aplikace metody Poka-Yoke [2]	17
Obrázek 3: Operátorský panel Bosch Rexroth VCP05 [15]	32
Obrázek 4: Čtečka kódu Sick Lector 620 [18]	33
Obrázek 5: Elektrický šroubovák EBL [20]	33
Obrázek 6: Vybraný řídicí systém PLC Bosch Rexroth L10 [46]	41
Obrázek 7: Hlavní smyčka programu PLC pro montážní stůl	44
Obrázek 8: Vývojový diagram automatického cyklu stroje	45
Obrázek 9: Struktura receptů pro práci se světlometem na montážním pracovišti	46
Obrázek 10: Systém kontroly DTM kódu světlometu	48
Obrázek 11: Program v jazyce LAD pro ovládání pneumatického válce	56
Obrázek 12: Struktura obrazovek Menu 1 vizualizace montážního stolu	57
Obrázek 13: Struktura obrazovek Menu 2 vizualizace montážního stolu	58
Obrázek 14: Struktura obrazovek vizualizace volby nastavení parametrů montážního stolu	58
Obrázek 15: Uspořádání obrazovek vizualizace montážního stolu pro výběr režimů stroje	59
Obrázek 16: Uspořádání vizualizace správy uživatelů stroje	60
Obrázek 17: Časový průběh práce směn, pracujících na montážní lince světlometů	64

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Vývojový diagram procesu montáže na xenonovém světlometu – 1. část... 26	26
Tabulka 2: Vývojový diagram procesu montáže na xenonovém světlometu - 2. část.... 27	27
Tabulka 3: Vývojový diagram procesu montáže části LED světlometu - 1. část..... 28	28
Tabulka 4: Vývojový diagram procesu montáže části LED světlometu - 2. část..... 29	29
Tabulka 5: Porovnání parametrů CPU vybraných výrobců..... 38	38
Tabulka 6: Cenová kalkulace řídicích systémů Siemens S7-300 a S7-1200..... 39	39
Tabulka 7: Cenová kalkulace řídicích systémů od firem Bosch a ABB..... 40	40
Tabulka 8: Kalkulace navrženého řídicího systému Allen Bradley 41	41
Tabulka 9: Naměřené parametry výroby montážní linky za den před zavedením Poka- Yoke opatření..... 65	65
Tabulka 10: Naměřené parametry výroby montážní linky za den po zavedení Poka- Yoke opatření 65	65

SEZNAM ZKRATEK

BSC diagram	Balanced scorecard diagram
CFMEA	Concept Failure Mode and Effects Analysis
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor
CPU	Central Processing Unit
DFMEA	Design Failure Mode and Effect Analysis
DIN	Deutsches institut fur Normung
DTM	Data Matrix
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
KPI	Key Performance Indicator
KRI	Key Result Indicator
LAD	Ladder Diagram
LED	Light-Emitting Diode
MES	Manufacturing Execution System
MMC	Multi Media Card
OP	Operační panel
OEE	Overall equipment effectiveness
PI	Performance Indicator
PFD	Process Flow Diagram
PFMEA	Process Failure Mode and Effect Analysis
PLC	Programmable Logic Controller
RFID	Radio-Frequency Identification
RPN	Risk Priority Number
SD	Secure Digital
SFC	Sequential function chart
SFMEA	Software Failure Mode and Effect Analysis
ST	Structured text
TPM	Total Productive Maintenance
TTNr	Číselné označení součásti
VGA	Video Graphics Array
ZD	Základní díl světlometu

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: PFMEA montáže světlometu

Příloha 2: Popis vývojového prostředí pro tvorbu aplikačního software

Příloha 3: Výpočet OEE a dashboard

Příloha 4: Manuál pro ovládání montážní linky světlometů (zkrácená verze)