



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY

A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

ELEKTROPROJEKT A ŘÍZENÍ MONTÁŽNÍ
LINKY

EI&C PLANNING AND CONTROL OF THE ASSEMBLY LINE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Marián Tuka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Pásek CSc.

BRNO 2018

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Kybernetika, automatizace a měření**

Ústav automatizace a měřicí techniky

Student: Bc. Marián Tuka

ID: 146118

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Elektroprojekt a řízení montážní linky

POKyny PRO VYPRACOVÁNÍ:

Jedná se o montážní linku s šesti pracovními stanicemi, mezi kterými se pomocí paletky na dopravníku přesouvají cívky. Cíl diplomové práce je určen těmito body:

1. Seznamte se s procesem montáže a analyzujte původní elektrické ovládání linky
2. Navrhněte a realizujte elektroprojekt včetně rozvaděče a ovládacího panelu
3. Navrhněte řídicí systém linky (PLC, HMI, komunikace)
4. Realizujte řídicí systém linky (PLC, HMI, komunikace)
5. Proveďte posouzení rizik a ošetřete je použitím programovatelného bezpečnostního kontroléru
6. Ověřte a vyhodnoťte funkčnost systému

DOPORUČENÁ LITERATURA:

PÁSEK, Jan, BRAUN, Vlastimil. Automatizace procesů II - Úroveň řízení výroby. Brno: Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015, 250 str.

SIEMENS, Simatic S7-1500 Getting Started. Siemens AG [Online][Citace: 26.01.2017] Dostupné z: https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/interactive-manuals/getting-started_simatic-s7-1500/documents/EN/software_complete_en.pdf

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 14.5.2018

Vedoucí práce: Ing. Jan Pásek, CSc.

Konzultant:

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

Obsahom tejto diplomovej práce je popis poloautomatickej montážnej linky, popis návrhu a realizácie elektroprojektu vrátane rozvádzača a ovládacieho panelu spolu s popisom návrhu a realizácie riadiaceho systému vrátane komunikácií a užívateľského rozhrania. Súčasťou práce je aj posúdenie a ošetrenie rizík použitím bezpečnostného kontroléra a celkové overenie a vyhodnotenie funkčnosti celého systému na popísanej linke.

Kľúčová slova

montážna linka, zvärací systém, MIYACHI, PLC, Simatic S7-1500, TIA Portal, Step 7, bezpečnostný kontrolér, REER MOSAIC, Simatic HMI, KPT 400 Basic, riadiaci systém, elektroprojekt

Abstract

The content of this diploma thesis is description of semi-automatic assembly line, description of design and realization of electroprojection including electrical switchboard and control panel, together with description of design and implementation of control system including communications and user interface. Part of the thesis is also the analysis and solution of safety risks using a safety controller and overall verification and evaluation of the functionality of the whole system on described line.

Keywords

montage line, welding system, MIYACHI, PLC, Simatic S7-1500, TIA Portal, Step 7, safety unit, REER MOSAIC, Simatic HMI, KPT 400 Basic, control system, electroproject

Bibliografická citace:

TUKA, M. *Elektroprojekt a řízení montážní linky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 88s. Vedoucí diplomové práce byl Ing. Jan Pásek CSc.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Elektroprojekt a řízení montážní linky jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a 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 č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **10. května 2018**

.....
podpis autora

Poděkování

Ďakujem týmto svojmu vedúcemu Ing. Jan Pásek CSc. za účinnú pedagogickú a odbornú pomoc a ďalšie cenné rady pri vypracovávaní diplomovej práce, taktiež mojej rodine, snúbenici, kolegom a kamarátom za podporu.

V Brně dne: **10. května 2018**

.....
podpis autora

Obsah

1	Úvod.....	13
2	Montážna linka	14
2.1	Výrobky (vstup - výstup)	15
2.2	Dopravník, vozíky.....	15
2.3	Pracovné stanice.....	16
2.3.1	Operátorské stanice.....	17
2.3.2	Nabíjanie kontaktu k cievke, prestrih	18
2.3.3	Zváranie kontaktov, čistenie elektród.....	19
2.3.4	Odstrih prebytočných plastov	20
2.3.5	Testovanie a triedenie	20
2.4	Pneumatika, vzduchotechnika.....	21
2.5	Merací systém	22
2.6	Zvárací systém	23
2.6.1	Zvárací invertor.....	24
2.6.2	Zváracia hlava.....	24
2.6.3	Ovládací terminál.....	24
2.7	Použité snímače.....	24
2.7.1	Prítomnosť vozíka.....	24
2.7.2	Prítomnosť dielov	25
2.7.3	Kontrola polohy valca.....	26
2.7.4	Kontrola tlaku	27
2.8	Bezpečnostné prvky	27
2.9	Ostatné elektronické prvky	28
3	Návrh rozvádzača a ovládacieho panelu.....	29
3.1	Využitie programy.....	29
3.1.1	EPLAN Electric	29
3.1.2	Microsoft Excel.....	29
3.1.3	CorelDRAW SE.....	30
3.2	Predpokladaný počet I/O signálov	30
3.3	Potrebné komunikácie	31
3.4	Komponenty rozvádzača.....	31
3.4.1	Komponenty riadiaceho systému.....	31
3.4.2	Komponenty bezpečnostného systému.....	33
3.4.3	Ovládacie a signalizačné prvky rozvádzača	34
3.4.4	Napájanie	35
3.4.5	Ističe a ochrany	35
3.4.6	Ostatné prvky rozvádzača.....	36
3.4.7	Skriňa, výber a usporiadanie.....	36
3.5	HMI.....	37

3.5.1	Ovládacie prvky	38
3.5.2	Signalizačné prvky	39
3.5.3	Operátorský panel	40
3.6	Plán svorkovnice	41
3.7	Schéma elektrickej inštalácie	42
3.7.1	Napájanie	43
3.7.2	Napájanie logickej časti	43
3.7.3	Zapojenie vstupov PLC	43
3.7.4	Zapojenie výstupov PLC	43
3.7.5	Switch	43
3.7.6	Bezpečnostná časť	44
4	Návrh riadiaceho systému	45
4.1	Rámec riadiaceho systému	45
4.2	Potrebné funkcie	47
4.3	Objekty	47
4.3.1	Manager	48
4.3.2	Driver	48
4.3.3	Reset	49
4.3.4	Break	49
4.3.5	Renew	49
4.3.6	Scan	49
4.3.7	PAF (ang. Process Access Function)	49
4.4	Komunikácie	50
4.4.1	Operátorský panel	50
4.4.2	Zvárací systém	50
4.4.3	Riadiaci PC	52
4.5	Operátorský panel	54
5	Realizácia riadenia	55
5.1	TIA Portal	55
5.1.1	Bloky programu	55
5.2	Objekty	56
5.2.1	Ovládanie valcov (<i>cyMov</i> , <i>biMov</i>)	56
5.2.2	Laserový snímac (<i>gvLas</i>)	57
5.2.3	Komunikačné objekty (<i>pcSwi</i> , <i>pcExe</i>)	57
5.2.4	Nástroj na spracovanie hrán (<i>edgeTool</i>)	59
5.2.5	Správa vozíkov (<i>coCar</i>)	59
5.2.6	Pracovná stanica WS0 (<i>ws00</i>)	63
5.2.7	Pracovná stanica WS1 (<i>ws01</i>)	64
5.2.8	Pracovná stanica WS2 (<i>ws02</i>)	65
5.2.9	Pracovná stanica WS3 (<i>ws03</i>)	67

5.2.10	Pracovná stanica WS4 (<i>ws04</i>).....	70
5.2.11	Pracovná stanica WS5 (<i>ws05</i>).....	71
5.2.12	Inicializačný objekt linky (<i>goHom</i>)	72
5.3	Režimy činností.....	73
5.3.1	Krokový režim	73
5.3.2	Prípravný režim.....	73
5.3.3	Servisný režim	74
5.3.4	Korekčný režim.....	74
5.3.5	Ukončovací režim	74
5.4	Funkcie	75
5.4.1	Riadenie hlavných objektov (<i>Automat</i>)	75
5.4.2	Rozhranie volania objektov (<i>Unit</i>)	75
5.4.3	Monitorovanie objektov a periférií (<i>Scan_Manager, Scan_Satellite</i>)	75
5.4.4	Tlačidlá (<i>Key_Manager, Key, Kei</i>).....	76
5.4.5	Signalizačné prvky linky (<i>Indi_Manager, Bl_driver</i>).....	76
5.4.6	Reštart linky (<i>Reset_command</i>)	76
5.5	Operátorský panel	77
5.5.1	Šablóna obrazoviek.....	77
5.5.2	Domov	77
5.5.3	Procesy.....	78
5.5.4	Manuálne ovládanie.....	78
5.5.5	Konfigurácia	79
5.5.6	Alarmy	80
5.5.7	Informácie.....	80
5.5.8	Dialógové okno pokračovania	81
6	Bezpečnosť	82
6.1	Rizikové časti a ich ovládanie.....	82
6.2	Návrh a realizácia programu	82
7	Overenie a vyhodnotenie funkčnosti systému	83
8	Záver	84
	Literatura.....	85
	Seznam příloh	88

Seznam symbolů a zkratk

Zkratky:

FEKT	...	Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
VUT	...	Vysoké učení technické v Brně
PLC	...	Programovatelný logický automat (ang. Programmable logic controller)
CPU	...	Procesor (ang. Central processor unit)
I/O	...	Vstupné/Výstupne (ang. Input/Output)
PC	...	Počítač
HMI	...	Rozhranie človek – stroj (ang. Human machine interface)
WS	...	Pracovní stanice (ang. Work station)
SCL	...	Štruktúrovaný programovací jazyk (ang. Structured control language)
PNP	...	Typ spínania zát'aže (ang. sourcing)
NC	...	Normálne zatvorený (ang. Normally closed)
PAF	...	Prístupová funkcia (ang. Process Access function)
OB	...	Organizačný blok PLC (Organization block)
FB	...	Funkčný blok PLC (ang. Function block)
FC	...	Funkcia PLC (ang. Function)
DB	...	Dátový blok PLC (ang. Data block)

Symboly:

U	...	napätie	[U]
I	...	prúd	[A]
l	...	dĺžka	[mm]
S	...	prierez	[mm ²]
p	...	tlak	[bar]
T	...	perióda/čas	[ms]
f	...	frekvencia	[Hz]
t	...	teplota	[°C]

Seznam obrázků

Obr. 1: Model montážnej linky	14
Obr. 2: Cievka, konektor, výstup	15
Obr. 3: Elektromagnetická cievka [14]	15
Obr. 4: Dopravník, senzor prítomnosti, stopper, zarážka a vozík	16
Obr. 5: Rozloženie pracovných staníc	17
Obr. 6: Nultá a prvá pracovná stanica	18
Obr. 7: Druhá pracovná stanica	18
Obr. 8: Tretia pracovná stanica	19
Obr. 9: Štvrtá pracovná stanica	20
Obr. 10: Piata pracovná stanica	21
Obr. 11: Ventilový blok [15]	21
Obr. 12: 5/2-cestný ventil [15]	22
Obr. 13: Meracia jednotka ET02-03	23
Obr. 14: Zvárací systém [12]	23
Obr. 15: Podstava vozíka	25
Obr. 16: Kapacitný snímač BALLUF BCS00MF [18]	26
Obr. 17: Laserový snímač (hlava spolu s hlavnou jednotkou) [19]	26
Obr. 18: Príklad umiestnenia snímačov na valci	27
Obr. 19: Tlakový snímač série PE5 [21]	27
Obr. 20: Bezpečnostný zámok [22]	28
Obr. 21: Ručný spínač – deadman [23]	28
Obr. 22: Parametre CPU [10]	32
Obr. 23: PLC s CPU rady S7-1500 [10]	33
Obr. 24: I/O modul rady S7-1500 s 16 vstupmi a 16 výstupmi [11]	33
Obr. 25: Bezpečnostný kontrolér (hlavná jednotka – vpravo, I/O jednotka – druhá sprava) [24]	34
Obr. 26: Dvere rozvádzača (návrh a realizácia)	35
Obr. 27: Výsledné zapojenie rozvádzača	37
Obr. 28: Návrh ovládacieho panelu	38
Obr. 29: Operátorský panel KPT400 basic	40
Obr. 30: Výsledný ovládací panel	41
Obr. 31: Označenie svoriek	41
Obr. 32: Príklad plánu svorkovnice, druhá lišta	42
Obr. 33: Vývojový diagram hlavnej cyklickej časti programu (Main)	46
Obr. 34: Príklad variabilnej dĺžky periódy	47
Obr. 35: Prepojenie PLC a operátorského panela	50
Obr. 36: Zvárací cyklus	51
Obr. 37: Komunikačný handshake	52

Obr. 38: Vývojový diagram <i>cyMov</i> , <i>biMov</i>	56
Obr. 39: Vývojový diagram <i>pcSwi</i>	58
Obr. 40: Vývojový diagram <i>pcExe</i>	59
Obr. 41: Vývojový diagram <i>coCar</i>	60
Obr. 42: Vývojový diagram <i>ws00</i>	63
Obr. 43: Vývojový diagram <i>ws01</i>	64
Obr. 44: Vývojový diagram <i>ws02</i>	66
Obr. 45: Vývojový diagram <i>ws03</i> časť 1.....	68
Obr. 46: Vývojový diagram <i>ws03</i> časť 2.....	69
Obr. 47: Vývojový diagram <i>ws04</i>	70
Obr. 48: Vývojový diagram <i>ws05</i> časť 1.....	71
Obr. 49: Vývojový diagram <i>ws05</i> časť 2.....	72
Obr. 50: Ovládacie prvky operátorského panela	77
Obr. 51: Domovská obrazovka	78
Obr. 52: Obrazovka procesov	78
Obr. 53: Manuálne ovládanie.....	79
Obr. 54: Obrazovka konfigurácie	80
Obr. 55: Obrazovka alarmov	80
Obr. 56: Obrazovka informácií.....	81
Obr. 57: Dialógové okno pokračovania.....	81

Seznam tabulek

Tab. 1: Riadiace I/O signály	30
Tab. 2: Využitie DI/O na ovládanie zväracieho systému	51
Tab. 3: Rozdelenie komunikačnej pamäte	53
Tab. 4: Komunikačné príkazy.....	54

1 ÚVOD

Priemyselná automatizácia zažíva v súčasnej dobe veľký rozmach a zatiaľ čo technická úroveň prostriedkov automatizácie neustále rastie, technická úroveň automatizovaných pracovísk nestíha tento rast kopírovať. Dôvodov môže byť hneď niekoľko ako napríklad zvyšujúca sa cena nových technológií, zvyšujúce sa ekologické požiadavky s ohľadom na životné prostredie, prípadne chýbajúci kvalifikovaný personál, ktorý popri úrovni technického rastu čelí neustálemu rastu počtu projektov. [9]

S problémom nedostatku kvalifikovaných automatizačných pracovníkov sa stretla aj zadávateľská firma HYDAC Electronic, s.r.o., ktorá sa rozhodla pre automatizáciu časti montážnej linky za účelom zvýšenia kvality, produktivity a flexibility výroby. Predpokladom očakávaného prínosu automatizácie je nepodceňovanie množstva problémov, ktoré je nutné riešiť, čo by sa mohlo prejaviť v nutnosti zvýšeného dozoru poprípade častej údržbe. [9]

Táto diplomová práca sa zaoberá návrhom a realizáciou chýbajúcej elektrotechnickej časti linky (rozdávač a ovládací panel), ako aj návrhom a realizáciou riadiaceho systému. Súčasťou práce je taktiež posúdenie rizík a naprogramovanie bezpečnostného kontroléra. Pri vypracovaní diplomovej práce firma poskytla technické zázemie, slovný popis správania sa a ovládania linky spolu s príkladovými dokumentáciami predošlých zariadení.

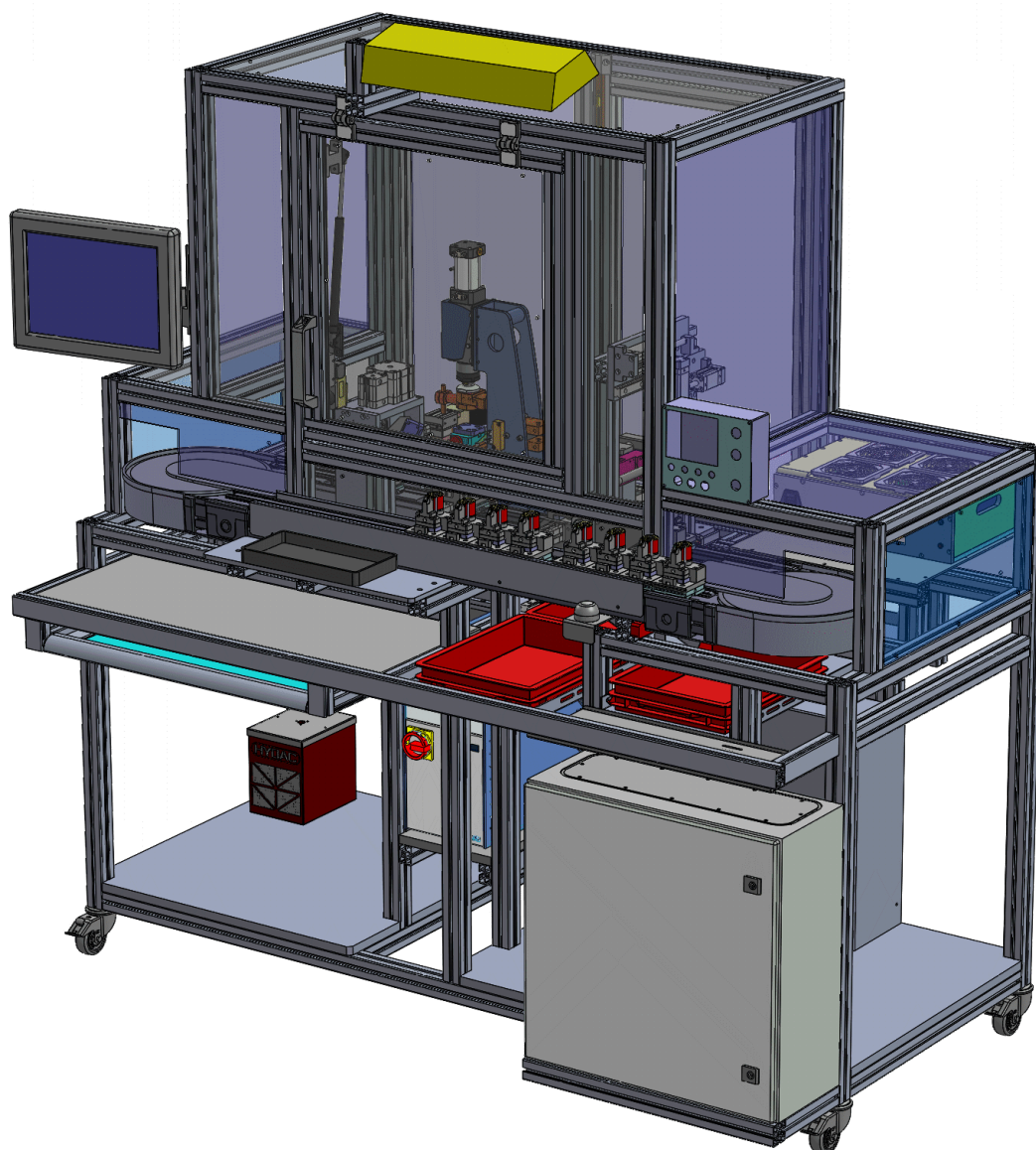
Prácu by sme mohli v jednoduchosti rozdeliť do dvoch hlavných častí a to hardvérovú a softvérovú časť.

Cieľom prvej časti diplomovej práce je oboznámenie čitateľa s linkou ako takou, s procesom montáže v jednotlivých staniach, so vstupmi a výstupmi linky a ďalšími pôvodnými hardvérovými časťami ako sú merací systém, zvaračka, akčné členy a senzory. V rámci hardvérovej časti nechýba ani návrh a realizácia elektrotechnického projektu.

Druhá časť práce je softvérovo orientovaná a venuje sa návrhu a realizácii riadiaceho systému v prostredí TIA Portal pomocou jazyka SCL. Keďže sa v linke využíva väčší počet rovnakých prvkov, ktoré treba spravovať, bolo zvolené objektovo orientované programovanie, ktoré zvyšuje prehľadnosť a uľahčuje prácu. Súčasťou softvérovej časti je aj analýza možných rizík a naprogramovanie bezpečnostného kontroléra od spoločnosti REER Mosaic.

2 MONTÁŽNA LINKA

Hardvérové zloženie poloautomatickej montážnej linky (ďalej len „linka“) je znázornené na Obr. 1. Jedná sa o linku s dopravníkovým systémom výroby, v ktorom sa na spracovanom dieli postupne vykonávajú rôzne montážne operácie, ktoré sú bližšie popísané v nasledovnom texte. Linka je navrhnutá na multitasking, teda musí spracovávať viacero úloh súčasne, čím sa zníži cyklus linky a zvýši produkcia. Obsluha zariadenia sa počas prevádzky redukuje na nakladanie komponentov a odoberanie hotových dielov.



Obr. 1: Model montážnej linky

2.1 Výrobky (vstup - výstup)

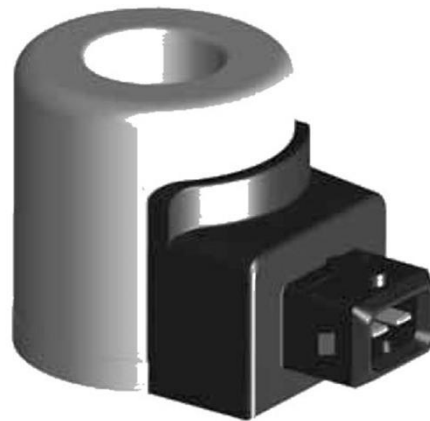
Operátorom vkladané vstupy linky sú dva diely:

- cievka – medené vinutie rôznych priemerov na plastovej kostričke (viď Obr. 2a);
- konektor – konektor troch rozličných tvarov (viď Obr. 2b).



Obr. 2: Cievka, konektor, výstup

Samotný diel vystupujúci z linky (viď Obr. 2c) podlieha ďalšiemu spracovaniu, čoho výsledkom sú rôzne elektromagnetické cievky (viď Obr. 3) [3], ktoré sú využívané ako proporcionálne ventily v hydraulike a ďalšom strojárskom priemysle.

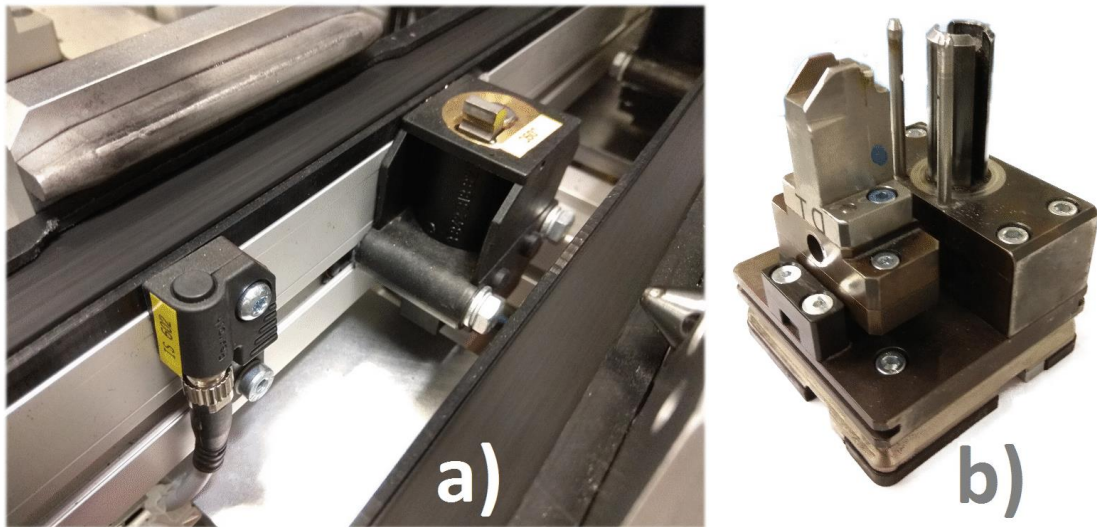


Obr. 3: Elektromagnetická cievka [14]

2.2 Dopravník, vozíky

Na automatický presun vyrábaného dielu medzi jednotlivými pracovnými stanicami sa v linke využíva dopravník od Bosch Rexroth TS1 (Transfer system). [4] Pracovné diely sú po dopravníku presúvané na vozíkoch (paletkách) (viď Obr. 4) so špeciálnou

podstavou upravenou pre mechanické zarážky, na ktorej sa taktiež dá snímať prítomnosť vozíka.



Obr. 4: Dopravník, senzor prítomnosti, stopper, zarážka a vozík

Dopravník je uzavretý v tvare ležiacej nuly, (viď Obr. 5) čím je docielené, aby vozíky s dielmi prešli postupne všetkými pracovnými stanicami a vrátili sa späť na začiatok svojej dráhy k operátorovi. Ako už bolo spomenuté v úvode kapitoly, linka podporuje multitasking, čo znamená, že na linke sa súčasne môže spracovávať a presúvať niekoľko vozíkov súčasne. Ich maximálny počet je definovaný fyzikálnymi vlastnosťami linky (dĺžkami dráh medzi stanicami), zatiaľ čo ich optimálny počet je definovaný obslužným cyklom operátora tak, aby vozíky tvorili frontu vždy na najpomalejšej stanici linky, čím sa eliminuje stratový čas presunu vozíka po dopravníku.

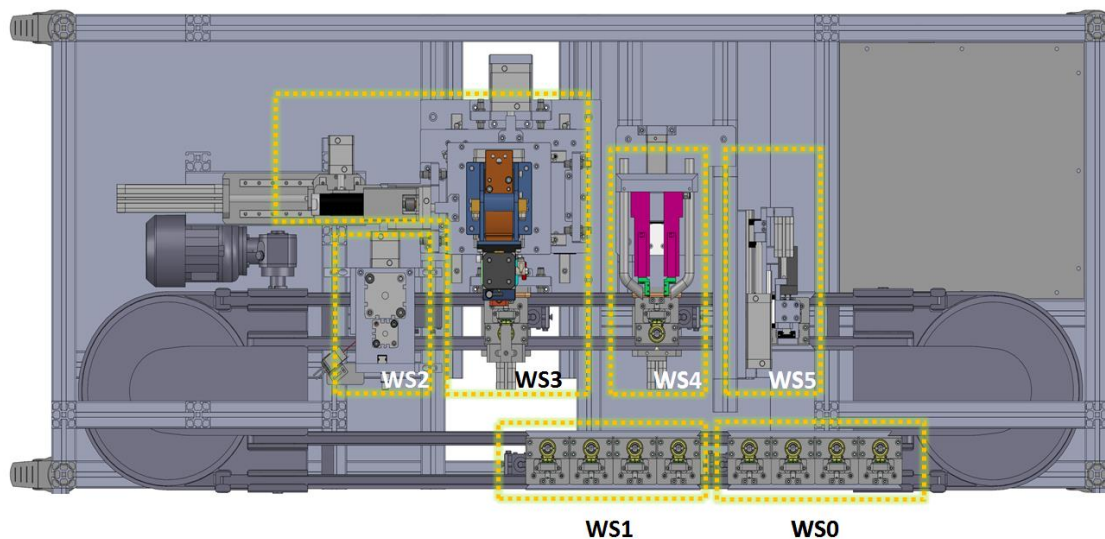
Keďže dopravník tvoria dva neustále bežiacie pásy, je nevyhnutné, aby bol vozík v každej stanici zastavený prostredníctvom stopper-ov (elektricky ovládaná mechanicko-pneumatická zarážka). Stopper sa po dokončení fázy spracovania otvorí, aby mohol vozík prejsť k ďalšej pracovnej stanici.

2.3 Pracovné stanice

Pri prechode dráhy zariadenia absolvuje každý vyrábaný diel niekoľko výrobných operácií, ktoré sa postupne vykonávajú v nasledovných pracovných staniciach (ang. Workstations - WS):

- WS0: Operátorská vykladacia stanica;
- WS1: Operátorská nakladacia stanica;
- WS2: Nabíjanie a prerazenie kontaktu k cievke;
- WS3: Zváranie kontaktu k cievke;
- WS4: Odstrih prebytočných častí výsledného dielu;
- WS5: Testovanie elektrických parametrov a triedenie.

Grafické rozmiestnenie pracovných staníc je možné vidieť na nasledujúcom obrázku.



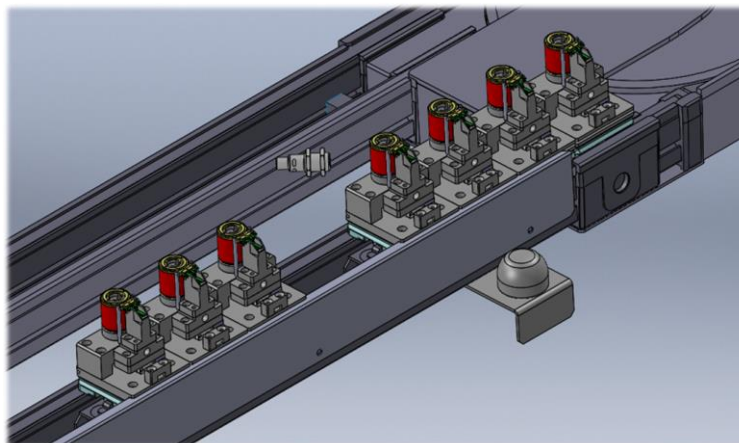
Obr. 5: Rozloženie pracovných staníc

2.3.1 Operátorské stanice

Nultá a prvá stanica predstavujú jediné nezakrytované časti stroja do ktorých má operátor bezvýhradný prístup.

Nultá stanica (WS0) predstavuje depo, kde sa majú zhromaždiť všetky vozíky pri nábehu linky, ukončení produkcie linky a predovšetkým pri bežnom dokončení výrobného cyklu, čím sa stáva vykladacou stanicou. Nultá stanica je jedinou stanicou, kde sa môžu odoberať a pridávať vozíky počas činnosti linky. V tejto stanici sa vyberajú z vozíkov hotové dielčie výrobky a zároveň sa prázdne vozíky automaticky v rámci prebiehajúcej produkcie presúvajú do nasledujúcej stanice. Kontrola prázdnoty vozíka sa vykonáva pomocou ultrazvukového snímača.

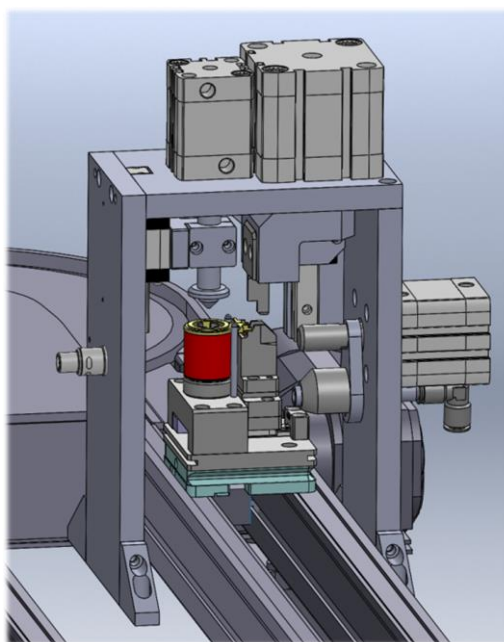
Prvá stanica (WS1) je nakladacia stanica. Operátor v tejto stanici umiestni na vozík dva vstupné diely (uvedené v kap. 2.1) a tlačidlom potvrdí ich odchod. Keďže sa tu rovnako ako aj v ostatných staniach môže zhromaždiť viacero vozíkov súčasne, musí byť potvrdzovacie tlačidlo multifunkčné (prepúšťať buď po jednom vozíku, prípadne všetky naraz).



Obr. 6: Nultá a prvá pracovná stanica

2.3.2 Nabíjanie kontaktu k cievke, prestrih

Treťou stanicou v poradí je stanica WS2, kde sa podobne ako v stanici WS0, kontroluje prítomnosť dielu na vozíku. Prítomnosť sa tomto prípade kontroluje kapacitným snímačom, nakoľko výsledky ultrazvukového snímača na danej pozícii boli nepresné pri nerovnomerne navinutých cievkach. V prípade, ak je vozík naložený, vykoná sa obslužná sekvencia, ktorá za pomoci dvoch valcov uchytí vozík zospodu a zhora zároveň, aby sa zabránilo vypadnutiu vozíka pri nabíjaní kontaktu z boku. Spolu s nabíjaním sa na jednom valci prisunie k vozíku odsávačka, ktorá má za úlohu odsáť odpad z poslednej činnosti sekvencie – prerazenia. Nôž tu preráza skratový spojovník kontaktu, ktorý drží oba kontakty pri sebe. Po nabití kontaktu však tento spojovník prestáva mať zmysel a kvôli správnej funkcii cievky musí byť odstránený.

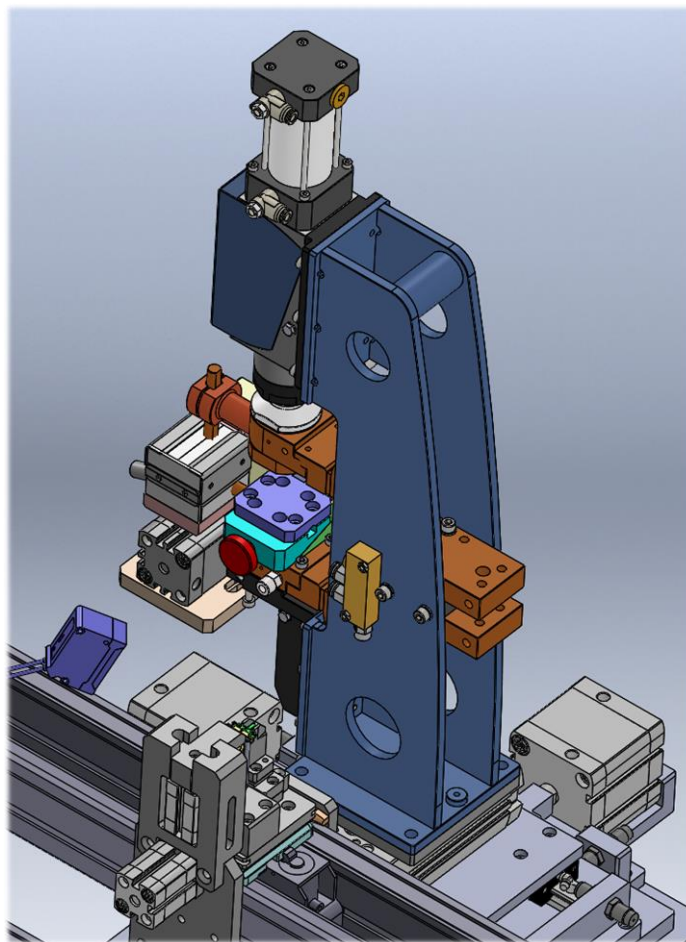


Obr. 7: Druhá pracovná stanica

2.3.3 Zváranie kontaktov, čistenie elektród

Ústrednou stanicou montážnej linky je zváracia stanica WS3, ku ktorej bola priradená čistiaca stanica (pôvodne bola samostatnou stanicou). Stanica okrem aretačnej jednotky vozíka obsahuje optické meranie prítomnosti kontaktu, aby sa predišlo zbytočnému opotrebeniu elektród a ich uchyteniu na zvárací hlavu pri zatváraní „naprázdno“. Samotná zvárací hlava je polohovaná troma valcami z ktorých jeden je otočný. Zvárací hlava sa tak môže presúvať medzi troma využívanými pozíciami:

- základná pozícia – kľudová poloha;
- zvárací pozícia – ide o dve pozície, keďže sa zvárajú dva kontakty;
- čistiaca pozícia – pozícia natočenia k čistiacej jednotke.



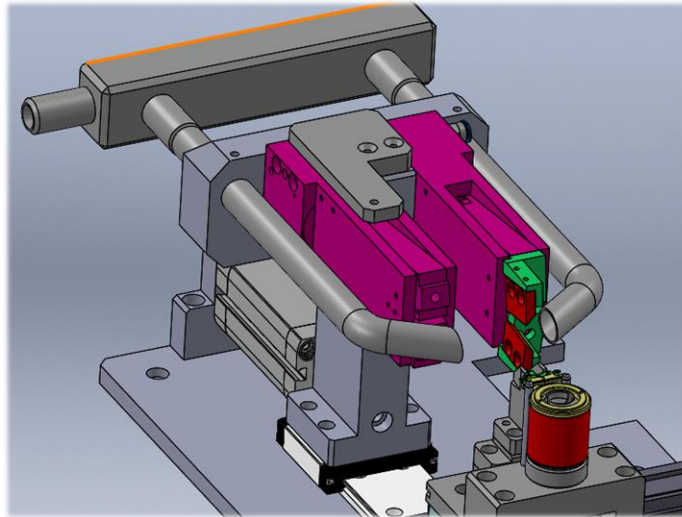
Obr. 8: Tretia pracovná stanica

Čistiaca jednotka sa skladá z jedného pneumatického pohonu na ktorom je umiestnená drôtená kefa a jedného valca, ktorý s ňou hýbe v rámci čistenia.

2.3.4 Odstrih prebytočných plastov

Štvrtou stanicou je stanica na odstrih prebytočných častí plastovej kostričky cievky WS4. Na koncoch plastových častí sa prichytávajú konce vinutia cievky, ktoré však po prizváraní kontaktu strácajú význam.

Stanica obsahuje aretačnú jednotku, valec na posun nožníc a pneumaticky ovládanú dvojicu nožníc.

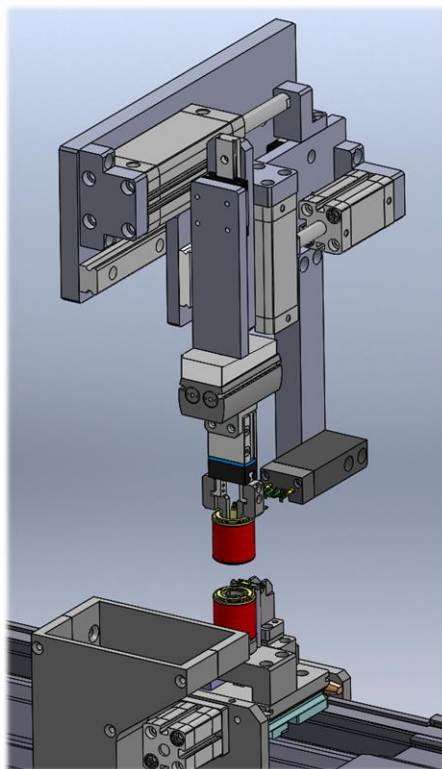


Obr. 9: Štvrtá pracovná stanica

2.3.5 Testovanie a triedenie

Poslednou pracovnou stanicou je stanica testovania a triedenia WS5. Vykonávajú sa tu odporové a záťažové testy cievok, ktoré nám nepriamo dávajú dodatočné informácie o vyhovujúcom zvare. Triediacu časť predstavuje pomocný zásobník do ktorého sa vykladajú všetky nevyhovujúce výrobky.

Celú stanicu obsluhuje manipulátor zložený zo štyroch valcov, ktoré presúvajú chápáč (ang. gripper). Na úvod sekvencie sa musí manipulátor presunúť na pozíciu cievky, ktorú v závislosti od výsledku spracovania predchádzajúcich staníc presunie na pozíciu merania (kde sa uskutočňuje meranie) alebo na pozíciu triedenia (kde sa uskutočňuje vyradenie). Po vykonaní merania sa gripper s cievkou presunú buď na pôvodnú pozíciu alebo na triediacu pozíciu. V prípade vyhovujúcich výrobkov sa cievka navyše pootočí o 180° aby sa zabránilo nepresnému vloženiu na ihly, čo by mohlo spôsobiť poškodenie výrobku.



Obr. 10: Piata pracovná stanica

2.4 Pneumatika, vzduchotechnika

Prevažne všetky akčné členy linky pracujú prostredníctvom stlačeného vzduchu (pneumatiky), ktorá je ovládaná elektricky spínanými ventilmi. Pneumatickými členmi v linke sú gripper, pohon, otočné valce a valce priamočiare, ktoré tvoria väčšinu akčných členov. Okrem pneumatických členov sú v linke aj odsávacie moduly. Výhodou využitia pneumatiky je jednoduchšie riešenie bezpečnosti, pretože pri akomkoľvek porušení bezpečnostných pravidiel je automaticky vypnutý hlavný prívod vzduchu. Pre bezpečnú a optimálnu prevádzku linky je požadovaný prívod vzduchu s tlakom v rozmedzí 5 až 7 *bar*-ov.



Obr. 11: Ventilový blok [15]

Všetky pneumatické valce sa ovládajú z ventilových blokov od spoločnosti AVENTICS séria AV03 (viď Obr. 11). [15] Ventilový blok známy aj ako ventilový ostrov je periférnym modulom združujúcim jednotlivé ventily. V linke sú použité tri ventilové bloky, ktorých súčasťou sú 25 pinové konektory. Blok je zložený prevažne z 5/2 - cestných ventilov. Pre svoju funkciu potrebujú jediný vstupný signál, ktorý prepína medzi dvoma stavmi *True* a *False*, pričom oba stavy sú pri zapnutí prívode vzduchu aktívne. Ich jednoduché ovládanie však nutne nemusí byť výhodou, keďže pri nábehu linky vždy zaujmú konkrétny stav. Je preto nutné vziať túto vlastnosť do úvahy a definovať, ktoré valce budú po zapnutí držať ktorý stav, aby nedošlo ku kolíziám stroja.



Obr. 12: 5/2-cestný ventil [15]

V prípadoch, kedy sa nedá zabezpečiť bezkolízny stav daného prvku (valca), je najvhodnejším riešením použiť 5/3 - cestný (dvojcievkový) ventil, ktorý je ovládaný dvoma vstupnými signálmi. Výhodou týchto ventilov je tretí stav (neaktívny), ktorý za určitých podmienok dokáže udržať pozíciu aj pri výpadku vzduchu a naopak pri nábehu stroja nie je akčným členom, čím sa zamedzí kolíznej situácii.

2.5 Merací systém

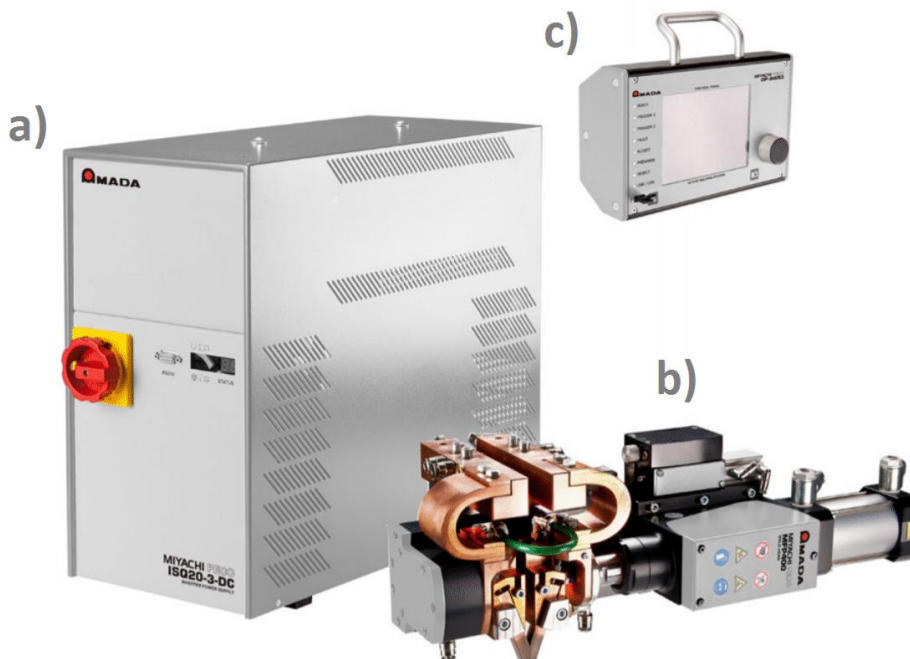
Centrálnym prvkom meracieho systému je riadiaci počítač, ktorý nastavuje a ovláda automatickú meraciu jednotku (viď Obr. 13). Získané výsledky merania uchováva a vyhodnocuje tak, aby sa výrobky na ich základe mohli triediť. Meracia jednotka je interné zariadenie zadávateľskej firmy, ktorá okrem testu odporu cievok obsahuje súpravu ďalších testov ako napr. test diód apod.. Pre ovládanie meracieho systému je preto nutné komunikovať priamo s počítačom.



Obr. 13: Meracia jednotka ET02-03

2.6 Zvárací systém

Hlavným členom stanice WS3 je zvárací systém od spoločnosti MIYACHI PECO AWS3 (Active welding system). Ide o systém založený na odporovom bodovom zváraní s integrovaným riadením procesu, monitorovaním (kritických hodnôt, statické/dynamické monitorovanie procesu) a analýzou kvality. Spolu s prídavným senzorom merania dráhy (voliteľná časť systému) systém umožňuje monitorovať aj hĺbku stlačenia a pod.. Zariadenie je možné využívať samostatne (manuálna výroba) alebo vo výrobných linkách. [6] Zvárací systém je napájaný trojfázovo 3L/PE a skladá sa z troch častí, a to ovládacieho terminálu, zváraciej hlavy a zváracieho invertora.



Obr. 14: Zvárací systém [12]

2.6.1 Zvárací inverter

Zvárací inverter typu ISQ20-6-DC (viď Obr. 14a) pracuje ako jednosmerné zariadenie pre jednosmerný prúd s interným transformátorom, ktorého hodnota výstupného prúdu je do 6 kA. [5] Predná časť zváracieho invertora obsahuje vlastný hlavný vypínač, rozhranie RS232 a servisný display obsahujúci základné stavy procesu zvárania a chybové hlásenia. Zadná časť zariadenia pozostáva z konektorov pre binárne vstupy a výstupy ako aj konektory pre rôzne voliteľné a nutné snímače.

2.6.2 Zváracia hlava

Zváracia hlava typu FP700 (viď Obr. 14b) je samostatná hlava s dvojčinným nastaviteľným pneumatickým valcom, ktorá sa používa na zdvih hornej časti zváracích klieští.

2.6.3 Ovládací terminál

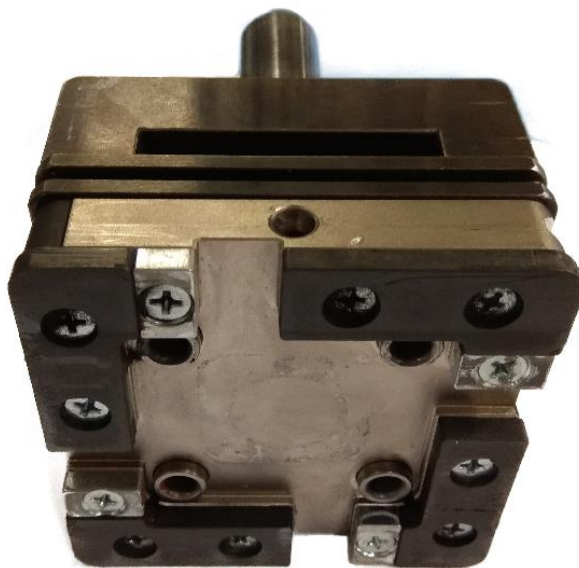
Ovládací terminál typu OP AWS3 (viď Obr. 14c) s jednoručným ovládacím tlačidlom slúži na nastavovanie typu komunikácie, typu ovládania, parametrov zvárania, nastavovanie a následné monitorovanie kritických hodnôt, zaznamenávanie výsledkov zváraní apod..

2.7 Použité snímače

Pre korektné riadenie linky je nutné, aby riadiaci systém monitoroval stavy valcov, prítomnosť dielov na vozíku, polohu vozíkov a ďalšie potrebné parametre. V linke sa na tento účel využíva niekoľko typov snímačov, pričom všetky sú typu PNP.

2.7.1 Prítomnosť vozíka

Prítomnosť vozíka je snímaná indukčným senzorom BALLUFF BES0005, ktorý sníma kovovú podstavu vozíka (viď Obr. 15). Podstava je špeciálne navrhnutá, aby senzor vyhodnotil prítomnosť vozíka buď počas jeho príchodu alebo odchodu. V prípade, že by senzor snímал prítomnosť vozíka po celý čas jeho priebehu, mohlo by sa stať, že prepustí viac vozíkov umiestnených tesne za sebou. Pracovná vzdialenosť senzora je preto krátka (iba 4 mm) [16], aby senzor nesnímal podstavu po celý čas prechodu vozíka. Výber snímania príchodu alebo odchodu vozíka určuje umiestnenie senzora na jednej zo strán dopravníka.



Obr. 15: Podstava vozíka

2.7.2 Prítomnosť dielov

Poznatok o prítomnosti dielov zabezpečuje, aby sa nevykonávala činnosť staníc na nenaloženom, prípadne neúplne naloženom vozíku. Zabezpečuje taktiež automatický prechod prázdneho vozíka z vykladacej stanice. Na túto činnosť sa využívajú tri typy snímačov: ultrazvukový, kapacitný a laserový.

Ultrazvukový senzor BALLUFF BUS0020 sníma prítomnosť cievky vo vykladacej stanici. Je to programovateľný snímač, ktorý môže pracovať v troch nasledujúcich módoch:

- detekcia jedného bodu – výstup je aktívny ak je nameraná vzdialenosť nižšia ako určená;
- mód okna – výstup je aktívny ak je nameraná vzdialenosť v rozmedzí nastavaného okna;
- bariérový mód – výstup je aktívny ak sa objekt nachádza medzi senzorom a reflexnou bariérou. [17]

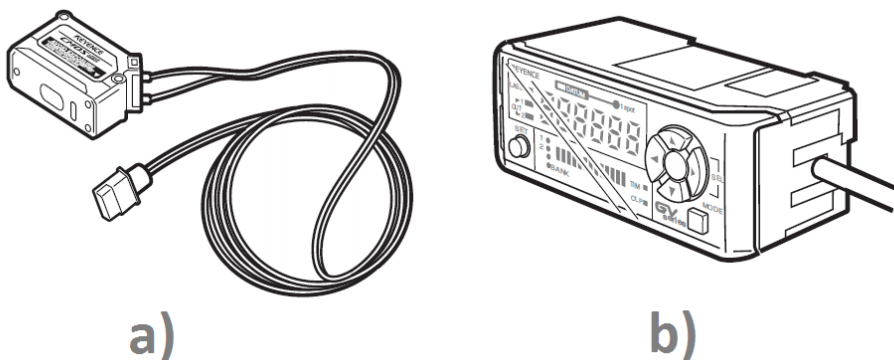
Snímač je nastavený v móde detekcie jedného bodu, aby sa predišlo predčasnému prepusteniu vozíka pri uchopení cievky.

Ďalším snímačom prítomnosti cievky je kapacitný snímač BALLUFF BCS00MF [18], umiestnený na začiatku automatickej montážnej časti v stanici WS2. Tento snímač nahradil snímač ultrazvukový, ktorý mal v tejto sekcii linky problém korektne rozoznať nerovnomerne navinuté cievky.



Obr. 16: Kapacitný snímač BALLUF BCS00MF [18]

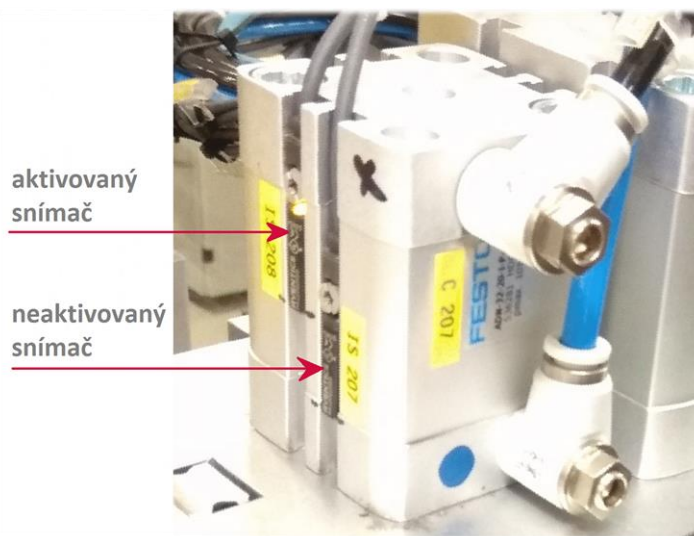
Posledným prítomnostným snímačom je laserový snímač, ktorý sníma prítomnosť kontaktu. Ide o snímač firmy KEYENCE zložený z hlavy GV-H130 (Obr. 17a) so snímacím rozsahom $55 - 130 \text{ mm}$ a hlavnej jednotky GV-21P (Obr. 17b). Hlavná jednotka je programovateľná a môže vyhodnocovať na základe jedného, či dvoch bodov. Oproti ultrazvukovému senzoru je táto jednotka vybavená množstvom nastavení a funkcií ako napríklad, zapínanie laserového lúča iba na užívateľský pokyn, prepínanie dvoch nastavených meraní (bank) a mnoho ďalších. [19]



Obr. 17: Laserový snímač (hlava spolu s hlavnou jednotkou) [19]

2.7.3 Kontrola polohy valca

Pre snímanie polohy valcov boli využité magnetické snímače spoločnosti AVENTICS série ST6. [20] Výhodou týchto snímačov je ich jednoduchá montáž a nastavenie, ktoré spočíva iba v posúvaní snímača po drážke krytu valca (viď Obr. 18).



Obr. 18: Príklad umiestnenia snímačov na valci

2.7.4 Kontrola tlaku

Kontrola tlaku vstupnej prípojky vzduchu je dôležitou súčasťou vstupného ventilového bloku, ktorý spolu s mechanickým ventilom na korekciu tlaku obsahuje aj elektrický ventil na zapnutie a vypnutie prívodu vzduchu. Tlaková kontrola nepriamo zabezpečuje, aby sa vstupný tlak vždy držal v stanovených normách, inak by dôsledkom vysokého, či nízkeho tlaku hrozilo znehodnotenie mechanických častí stroja. Na kontrolu tlaku je využitý programovateľný snímač AVENTICS R412010767 (Obr. 19) s dvoma nastaviteľnými výstupmi.



Obr. 19: Tlakový snímač série PE5 [21]

2.8 Bezpečnostné prvky

Na ochranu obsluhy pred nebezpečnými mechanickými pohybmi je časť linky mimo operátorských staníc zakrytovaná. Vedľajšou úlohou krytovania linky je zamedzenie manipulácie s vozíkmi (odoberanie, pridávanie, zámena), ktorej výsledok by viedol k narušeniu konzistencie riadenia a zlyhaniu klasifikácie vyrobených dielov pri triedení.

Súčasťou krytovania je dvojica servisných dverí umiestnených vpredu a vzadu (viď Obr. 1). Na dverách sú nachádzajú bezpečnostné zámky SICK i15 Lock. Zámok

obsahuje jeden signálový vstup (na ovládanie zamykania) a tri výstupy (dva informujúce o stave dverí – otvorené/zatvorené a jeden informujúci o stave zámku zamknuté/odomyknuté). [22]



Obr. 20: Bezpečnostný zámok [22]

Ďalším bezpečnostným prvkom je trojpolohový spínač IDEC HE1G-21SM-1NC (nazývaný „deadman“). Je to bezpečnostný spínač, ktorý má počas stlačenia tri polohy:

- prvá poloha – nestlačený;
- druhá poloha – stlačený;
- tretie poloha – stlačený na doraz.

Ak je spínač v druhej polohe, jeho dva výstupy vracajú logickú jednotku (podľa typu zariadenia, NC). V prípade, že sa osoba vykonávajúca servisný zásah počas prevádzky zariadenia dostane do nebezpečnej situácie, v dôsledku čoho uvedie spínač do jednej z dvoch krajných polôh, výstupy spínača budú vracat' logickú nulu – zariadenie sa vypne. [23]



Obr. 21: Ručný spínač – deadman [23]

2.9 Ostatné elektronické prvky

Medzi ostatné elektronické prvky linky patrí maják spolu s bzučiakom (angl. buzzer) od spoločnosti Siemens a podsvietené potvrdzovacie tlačidlo od spoločnosti Banner K50APTGRYF2Q (uvedené na Obr. 6).

3 NÁVRH ROZVÁDZAČA A OVLÁDACIEHO PANELU

Pre návrh elektrotechnickej časti rozvádzača a s ním spojenej elektroniky je nutné detailne analyzovať projekt tak, aby sme mohli správne určiť istiace a napájacie prvky, rozloženie a počet jednotlivých komponentov a v neposlednom rade veľkosť samotnej skrine.

Pod analýzou projektu sa rozumie určiť počet vstupných a výstupných (ďalej len I/O) signálov riadiacej a bezpečnostnej časti projektu, typy komunikácií s externými jednotkami, počet potrebných napájaní pre silové a dátové zariadenia ako aj ich výkonový odber pre nadimenzovanie rozvodných a istiacich prvkov.

3.1 Využitie programy

Na návrh a riešenie kompletnej elektrotechnickej dokumentácie boli využité nasledovné programy:

- EPLAN Electric P8 – elektrotechnická schéma zapojenia linky;
- Microsoft Excel – plán svorkovnice, zoznam káblov, zoznam prístrojov;
- CoreDRAW SE – vizualizácia rozloženia prvkov.

3.1.1 EPLAN Electric

EPLAN Electric P8 je produkt rovnomennej spoločnosti EPLAN, ktorá je súčasťou skupiny Friedhelm Loh Group. EPLAN celosvetovo zamestnáva cez 11 300 zamestnancov aj vďaka čomu sa softvér EPLAN Electric P8 radí medzi jeden z najpoužívanejších softvérov na projektovanie v elektrotechnickej výrobe a automatizácií. Okrem projektovania slúži softvér na tvorbu dokumentácie a riadenie projektov. [7][8]

Na zakreslenie kompletnej schémy zapojenia linky bol použitý EPLAN Electric P8 verzia 2.6 basic. Ostatné funkcie softvéru ako vytvorenie dokumentácie (plán svorkovnice a pod.), tu však spracované neboli, pretože softvérová licencia, ktorá v tomto prípade nebola Professional, obmedzovala určité funkcie softvéru (napr. obmedzenie dát v Data Portal). Data Portal slúži na výmenu dát (napr. symboly, artikly) medzi výrobcami a projektantmi. Neúplnosťou týchto dát by výsledná dokumentácia projektu bola v celku chaotická.

3.1.2 Microsoft Excel

Ako bolo uvedené v predchádzajúcej podkapitole (viď 3.1.1), obmedzenie funkcií Data Portalu a taktiež nemožnosť prehľadne a zrozumiteľne uviesť plán zapojenia

trojvrstvových svoriek sa tieto časti dokumentácie spracovávali v programe Microsoft Excel 2010.

3.1.3 CorelDRAW SE

Vektorový grafický softvér od spoločnosti Corel je jednoduchý a finančne nenáročný grafický nástroj. V rámci diplomovej práce sa pomocou tohto softvéru navrhovali ovládacie prvky skrine rozvádzača, ovládacieho panela ako aj samotného rozloženia prvkov v rozvádzači.

3.2 Predpokladaný počet I/O signálov

Poznať približný počet I/O signálov riadiacej časti je dôležitou súčasťou navrhnutia rozvádzača, keďže podľa počtu signálov sa spolu so svorkami objednávajú I/O moduly pre PLC. Súčet signálov v I/O moduloch PLC musí byť pochopiteľne väčší ako predpokladaný počet riadiacich signálov, ku ktorému sa taktiež musí započítať rezerva približne 20% kvôli neskorším prípadným zmenám. Suma s rezervou je následne zaokrúhľená na najbližšiu vyššiu hodnotu deliteľnú počtom signálov v signálovom module (v našom prípade to bolo 16). V tabuľke č. 1. je uvedený finálny počet aktuálne využívaných signálov spolu s vypočítanou rezervou.

Tab. 1: Riadiace I/O signály

Výstupné signály		Vstupné signály	
Názov	Počet	Názov	Počet
Multi-tlačidlo	3	Multi-tlačidlo	1
Optický snímač	2	Optický snímač	2
Pneumatický valec (ovl. 1 signálom)	17	Snímače koncových polôh valcov	38
Komunikácia PLC -> Bezpečnosť	2	Komunikácia Bezpečnosť -> PLC	2
Komunikácia PLC -> zväračka	8	Komunikácia zväračka -> PLC	4
Pneumatický valec (ovl. 2 signálmi)	4	Tlačidlá	3
Signalizačný maják	5	Kľúč	1
Pneumatický motor	1	Snímače vozíkov	7
Odsávanie	2	Ostatné prítomnostné snímače	2
Odfuk	1	Dvere	1
Stopper	6		
Suma	51	Suma	61
Výsledný počet + rezerva	64	Výsledný počet + rezerva	64

Z tabuľky je zrejmé, že uvedený výsledný počet odporuje predchádzajúcemu tvrdeniu o 20% rezerve, keďže suma je takmer rovnaká ako suma s rezervou. Je však treba poznamenať, že uvedené I/O sumy signálov sú ich aktuálnym počtom, kedy je linka odladená, otestovaná a odovzdaná do výroby. Dôležitým ukazovateľom návrhu je predovšetkým fakt, že aj napriek úpravám rezerva splnila svoj cieľ.

Podobne ako pri riadiacej časti linky aj pri bezpečnostnej časti linky je potrebné poznať predpokladaný počet I/O signálov. V tomto prípade sa však vzhľadom na nízky počet bezpečnostných prvkov linky budeme orientovať priamo podľa I/O signálov použitých bezpečnostných kontrolérov, ktoré majú spolu dvadsať vstupov a dvadsať výstupov.

3.3 Potrebne komunikácie

Riadiace PLC (ang. Programmable Logic Controller) počas svojej činnosti potrebuje komunikovať s nasledujúcimi zariadeniami:

- riadiaci počítač – fyzicky prepojené ethernetovým káblom;
- zvärací systém – prepojené cez binárne I/O, ethernetové rozhranie je len na zbieranie údajov o výsledku zvärania, nie na ovládanie zväracieho cyklu;
- operátorský panel – prepojené cez rozhranie PROFINET.

Na prepojenie PLC, počítača a operátorského panela bol použitý päť portový ethernet-ový switch FL SFNB 5TX od spoločnosti PHOENIX CONTACT. [26]

3.4 Komponenty rozvádzača

V nasledujúcom texte budú uvedené hlavné komponenty rozvádzača, od riadiacich jednotiek až po jednotky napájacie.

3.4.1 Komponenty riadiaceho systému

Riadenie montážnej linky pozostáva z programovateľného logického automatu (PLC) a signálových modulov od firmy Siemens.

3.4.1.1 PLC

Riadenie celého výrobného procesu linky zastrešuje PLC s CPU1511C-1 PN. CPU (ang. Central Processor Unit) spadá pod kategóriu pokročilých PLC, na ktoré sa nesťahuje základná licencia. Výkonovo sa však radí medzi štandardné CPU, pre malé a stredne veľké aplikácie, čo je spôsobené hlavne menšou pracovnou pamäťou a procesným časom pre bitové operácie vo svojej kategórii. [10] Bližšie parametre sú uvedené na Obr. 22.

6ES7511-1CK00-0AB0	
General information	
Product type designation	CPU 1511C-1 PN
Hardware functional status	FS03
Firmware version	V2.0
Engineering with STEP 7 TIA Portal can be configured/integrated as of version	V14
Configuration control	
Via data record	Yes
Display	
Screen diagonal (cm)	3.45 cm
Operator controls	
Number of keys	6
Mode selector	1
Memory	
SIMATIC memory card required	Yes
Work memory integrated (for program)	175 KB
integrated (for data)	1 MB
Load memory Plug-in (SIMATIC Memory Card), max.	32 GB
Buffering maintenance-free	Yes
CPU processing times	
for bit operations, typ.	60 ns
for word operations, typ.	72 ns
for fixed point arithmetic, typ.	96 ns
for floating point arithmetic, typ.	384 ns

Obr. 22: Parametre CPU [10]

Rám PLC obsahuje vlastný servisný display so šiestimi tlačidlami, dva profinetové porty, slot pre pamäťovú kartu a rozhranie pre I/O modulov. Naopak, rám neobsahuje žiadne I/O signálové konektory ani bezpečnostný modul.



Obr. 23: PLC s CPU rady S7-1500 [10]

3.4.1.2 I/O moduly

Na základe vypočítaného množstva predpokladaných I/O signálov z tab. 1., boli vybrané 32 bitové I/O moduly zo série SIMATIC S7-1500. Moduly majú 16 vstupov a 16 výstupov. [11]



Obr. 24: I/O modul rady S7-1500 s 16 vstupmi a 16 výstupmi [11]

3.4.2 Komponenty bezpečnostného systému

Podobne ako pri riadiacej časti linky aj bezpečnostná časť linky má svoju riadiacu jednotku, ktorou je bezpečnostný kontrolér REER MOSAIC M1 (Obr. 25 vpravo). Kontrolér je vybavený mini USB 2.0, ktorý na programovanie a monitorovanie jednotky. Jednotka okrem základných signálov (ako je *Enable*, *Restart* a *Status*) obsahuje aj niekoľko I/O signálov, a to osem vstupných signálov, štyri testovacie výstupy a dve dvojice bezpečnostných výstupov. [25] Vzhľadom na počet bezpečnostných prvkov a počet potrebných bezpečnostných signálových výstupov bol

použitý aj rozširovací modul MI8O2 (Obr. 25 druhý sprava). Rozširovací modul nám do bezpečnostného systému pridáva ďalších osem vstupov, osem testovacích výstupov a dve dvojice bezpečnostných výstupov. Návrh a realizácia bezpečnostnej časti linky sú uvedené v kap. 3.7.6 a kap. 6.

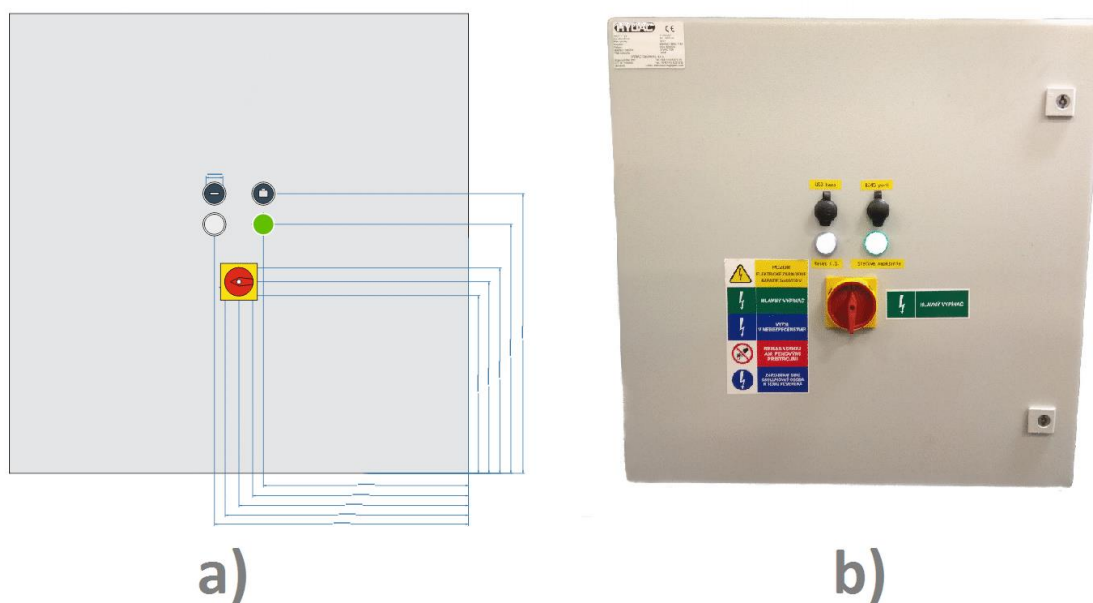


Obr. 25: Bezpečnostný kontrolér (hlavná jednotka – vpravo, I/O jednotka – druhá sprava) [24]

3.4.3 Ovládacie a signalizačné prvky rozvádzača

Na dverách rozvádzača je osadených niekoľko ovládacích prvkov. Časť tvoria programátorské prípojky ako konektor RJ45 pre pripojenie sa k PLC a operátorskému panelu, USB konektor pre pripojenie sa k bezpečnostnému kontroléru. Najpodstatnejšiu časť ovládacích zariadení tvoria podsvietené tlačidlo na reštart bezpečnosti (ak tlačidlo nesvieti, bezpečnosť je vypnutá) a hlavný vypínač. Hlavný vypínač ovláda prívod elektrickej energie do celej linky. Vypínač je vybavený označením na určenie jeho aktuálnej polohy, aby sa dala zistiť aj keď je stroj odpojený od prívodu elektrickej energie. Z toho istého dôvodu obsahuje panel aj zelený signalizačný prvok, ktorý informuje o aktívnom prívode energie.

Dvere rozvádzača boli navrhnuté v programe CorelDRAW a spolu s finálnou podobnou sú znázornené na Obr. 26b.



Obr. 26: Dvere rozvádzača (návrh a realizácia)

3.4.4 Napájanie

Silové napájanie celého zariadenia tvorí trojfázová prípojka 3L/N/PE. Dôvodom použitia trojfázovej prípojky bol zvärací systém (3L/PE), ktorý ako podradný systém spadá pod hlavný vypínač rozvádzača. Ďalšie zo silových zariadení, ktoré je nutné napájať sú rozdelené do troch vetiev (viď príloha 1, strana 2) kvôli rovnomernému rozloženiu záťaže jednotlivých fáz na:

- napájanie PC, monitora a meracieho systému – prostredníctvom predlžovačky;
- napájanie 24V zdroja;
- napájanie dopravníka.

Na napájanie dátových zariadení a prvkov bol použitý 24VDC spínaný zdroj TIB 240. Ide o verziu zdroja s maximálnym výstupným prúdom 10A, ktorý bol stanovený na základe predpokladaného prúdového odberu napájaných zariadení (stanovený jednoduchým sčítaním maximálnych prúdových odberov jednotlivých prvkov).

3.4.5 Ističe a ochrany

Bezpečnosť proti úrazu elektrickým prúdom zabezpečuje nadradený prúdový chránič, ktorý je umiestnený priamo v zásuvkovom okruhu, v rozvádzači tak zahrnutý nie je. Rozvádzač disponuje jedným trojfázovým ističom (3x16A) (ktorý chráni zväračku) a tromi jednofázovými ističmi, ktoré chránia vedenie každej fázy zvlášť (predlžovačka – 16A, zdroj – 10A, dopravník – 6A). Hodnoty stanovených prúdových chráničov boli

buď vyčítané z manuálov alebo navrhnuté s ohľadom na počet a odber pripojených zariadení (v prípade predĺžovačky).

V rámci ochrany dátových zariadení a rozvodov boli použité tavné poistky umiestnené priamo za výstupmi zdroja.

3.4.6 Ostatné prvky rozvádzača

Rozvádzač okrem spomínaných hlavných prvkov obsahuje množstvo ďalších, potrebných pre správnu funkciu. Medzi ne patria hlavne svorky, ktoré vďaka počtu I/O tvoria väčšinu rozvádzača. Ďalšími dôležitými prvkami sú stýkače a relé, slúžiace k spínaniu silových a dátových rozvodov.

V neposlednom rade treba spomenúť prepojovacie káble, DIN lišty, žľaby a pod..

3.4.7 Skriňa, výber a usporiadanie

Po vyšpecifikovaní všetkých potrebných prvkov rozvádzača a zakreslenia ich veľkostí na fiktívnu montážnu dosku v CorelDRAW nasleduje výber skrine a návrh usporiadania jednotlivých prvkov. Potrebné požiadavky spĺňala plechová skriňa spoločnosti RITTAL s rozmermi *600x600x210 mm* a montážnou doskou s rozmermi *549x570 mm*. [27]

Pri usporiadaní prvkov je vhodné zohľadniť dĺžku a trasu prislúchajúcej kabeláže tak, aby boli trasy optimalizované. Taktiež treba dbať, aby sa silové vodiče nevedli rovnakou dráhou ako vodiče dátové.

Výsledné rozvrhnutie prvkov je uvedené v prílohe 2. Na uvedenom výkrese sú zelene podfarbené prvky, prvkami patriacimi k bezpečnostnej časti linky. Každý prvok má svoje označenie, pri svorkách sú to samostatné čísla, zatiaľ čo pri ostatných prvkov sú to skratky anglických názvov prvkov (napr. CB znamená circuit breaker). Prvky sú uložené na troch DIN lištách očíslovaných vzostupne odspodu. Na prvej DIN lište sa nachádzajú (zľava) silové prvky (vstupné svorky, ističe, relé, stýkač, napájacie svorky a zdroj) aj dátové prvky (switch a PLC s I/O kartami). Ako je vidieť v návrhu, silová časť je značne oddelená od dátovej časti, aby sa zamedzilo prípadnému rušeniu. Druhá a tretia lišta je osadená výlučne prvkami dátovými prvkami. V prípade druhej lišty sú to (zľava) poistkové púzdra, svorky rozvodu $\pm 24\text{VDC}$, signálové svorky výstupné, bezpečnostný kontrolér s I/O kartou a relé. Na najvyššie lište sú (zľava) vstupné signálové svorky (umiestnené zámerne návrhu kvôli množstvu káblov zo sensorov), laserový zosilňovač a bezpečnostné I/O svorky. Výsledné zapojenie rozvádzača je uvedené na Obr. 27.

Z analýzy pracovných teplotných rozsahov použitých prvkov vyplynulo, že kritickým prvkom sú I/O moduly PLC, pretože maximálna povolená prevádzková teplota je pri nich najnižšia ($40\text{ }^{\circ}\text{C}$). Teplotné parametre skrine rozvádzača prepočítané nie sú, pretože ani teoretický výpočet nie je presný a preto bol meraním určený teplotný gradient skrine rozvádzača počas prevádzky voči okoliu – $6,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Prevádzkové teploty

prostredia umiestnenia linky preto nesmú presahovať dovolenú hranicu 33,3 °C, v opačnom prípade je doporučené vhodne implementovať do skrine ventilátor.

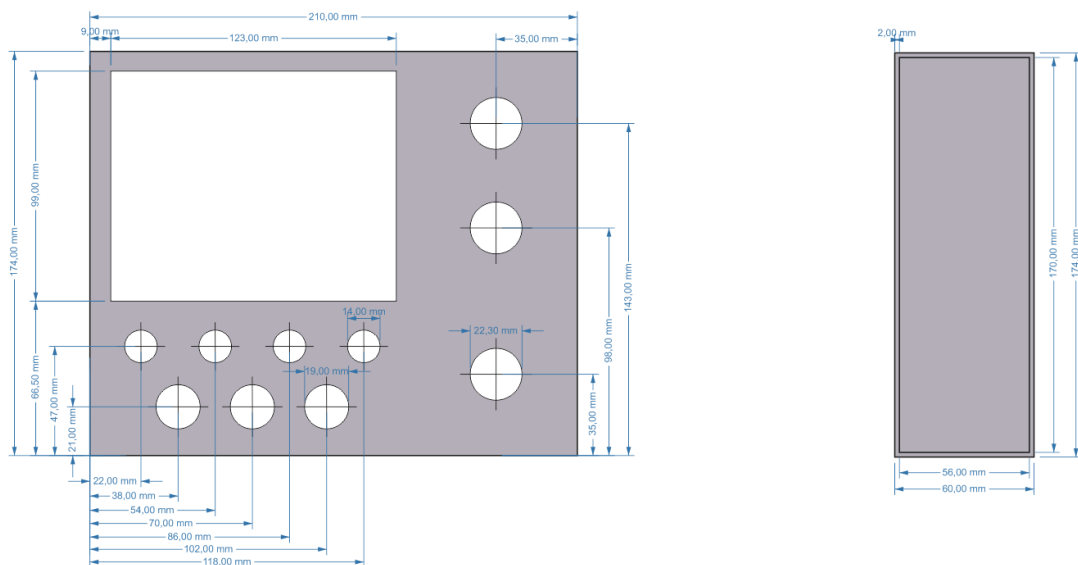


Obr. 27: Výsledné zapojenie rozvádzača

3.5 HMI

Riadiace rozhranie linky bolo navrhnuté podľa pokynov zadávateľa, ktorý špecifikoval, aby mala linka podobné ovládanie ako ich ostatné linky vo výrobe, nakoľko sa snažia unifikovať ovládanie liniek. Ovládací panel teda obsahuje niektoré podobné signalizačné a ovládacie prvky. Oproti štandardu bol navrhnutý dotykový operátorský panel a multifunkčné tlačidlo.

Navrhnuté rozloženie prvkov ovládacieho panelu je znázornené na nasledovnom obrázku.



Obr. 28: Návrh ovládacieho panelu

3.5.1 Ovládacie prvky

Ovládacie prvky spolu s operátorským panelom poskytujú základný súbor riadiacich funkcií na ovládanie a nastavenie stroja bez ohľadu na to, či je k dispozícii riadiaci počítač.

3.5.1.1 Prevádzkový vypínač

Prevádzkový vypínač (označený ako „0/1“) ovláda riadiacu a bezpečnostnú časť linky. Môže sa využívať na vypnutie zariadenia v bežnej prevádzke.

3.5.1.2 Núdzový vypínač

Spínač núdzového vypnutia slúži na okamžité zastavenie stroja v mimoriadnych alebo nebezpečných situáciách. Z bezpečnostných dôvodov by sa mal vypínať aj pri závažnejších servisných zásahoch.

3.5.1.3 Servisný kľúč

Servisný kľúč povoľuje nadštandardné funkcie linky využívané prevažne pri servisných zásahoch. Kľúč smie používať iba servisný personál.

3.5.1.4 Tlačidlo ŠTART

Tlačidlo ŠTART slúži na spustenie prevádzky linky. Pri prevádzke stroja v *krokovom režime* (kap. 5.3.1) sa pomocou tohto tlačidla vyvolávajú jednotlivé kroky prebiehajúcej operácie.

3.5.1.5 Tlačidlo KROK

Tlačidlo *KROK* ovláda zapínanie a vypínanie *krokového režimu*. Obsluha, ale aj servisný personál ho môže kedykoľvek využiť pre pozastavenie linky. Po stlačení tlačidla sa linka uvedie do *krokového režimu*, kedy čaká na stlačenie tlačidla *ŠTART*.

3.5.1.6 Tlačidlo STOP

Poloautomatická montáž sa ukončí stlačením tlačidla *STOP*. Tlačidlo spustí dobežnú sekvenciu, kedy sa budú spracovávať všetky aktuálne rozpracované výrobky. Po odobratí posledného dielčieho výrobku činnosť linky ustane.

3.5.1.7 Kombinované povely

Uvedené tlačidlá ovládacieho panelu obsahujú taktiež dva kombinované povely. V prípade stlačenia *START* a *STOP* sa vyvolá reštart riadiaceho systému, avšak rovnakou kombináciou sa počas nábehu riadiaceho systému vyvolá *prípravný režim* (kap. 5.3.2).

3.5.1.8 Obslužné podsvietené multifunkčné tlačidlo

Uvedené tlačidlo nie je súčasťou ovládacieho panelu, avšak je najčastejšie využívaným a za ideálnych podmienok je jediným používaným tlačidlom počas celej pracovnej zmeny linky. Funkcia tlačidla spočíva v potvrdzovaní odchodu vozíkov z operátorskej stanice WS1 a potvrdzovaní chýb. Ak je zariadenie v chybe, svieti červené podsvietenie a tlačidlo slúži na potvrdzovanie chyby. V opačnom prípade je podsvietenie buď biele, zelené alebo žiadne, v závislosti od počtu vozíkov v stanici WS1, ktoré majú byť prepustené. Biele podsvietenie je aktívne pri minimálne jednom a maximálne troch vozíkoch. Zelené iba pri štyroch vozíkoch v stanici.

3.5.2 Signalizačné prvky

Signalizácia stavu zariadenia umožňuje obsluhu operatívny monitoring priebehu procesu a celkového stavu zariadenia. LED diódy umiestnené na ovládacom paneli (viď Obr. 30) sú kópiou svetiel majáku linky (spínané z rovnakých svoriek).

3.5.2.1 Zelený indikátor

Zelené svetlo signalizuje, že sa zariadenie nachádza v normálnom stave. Počas pracovného cyklu svieti prerušovane. V prípade poruchy zhasne a signalizácia sa presmeruje na červené svetlo.

3.5.2.2 Žltý indikátor

Žltá signalizácia svieti len pokiaľ je zariadenie pripravené na prevádzku. V *krokovom režime* svieti prerušovane. Keď zhasne, činnosť zariadenia je prerušená v dôsledku závažnej poruchy.

3.5.2.3 Červený indikátor

Červené svetlo oznamuje poruchový stav zariadenia. Počas pracovného cyklu svieti prerušovane. Po odstránení poruchy zhasne a signalizácia sa presmeruje na zelené svetlá. V dôsledku akejkoľvek poruchy sa aktivuje taktiež akustická signalizácia.

3.5.2.4 Modrý indikátor

Keď sa pri zapnutí zariadenia aktivuje *prípravný režim*, rozsvieti sa modrá svetelná signalizácia. Pokiaľ modré svetlo bliká, je zapnutý *servisný režim*.

3.5.3 Operátorský panel

Neoddeliteľnou súčasťou ovládacieho panela je operátorský panel spoločnosti SIEMENS, konkrétne KTP400 Basic. Panel obsahuje 4" farebný displej s 65536 farbami, rozlíšením 480x272, štyri programovateľné tlačidlá a vďaka rozhraniu PROFINET je jednoducho integrovateľný do riadiaceho systému. Operátorský panel je programovateľný priamo v TIA Portal-e. [28]



Obr. 29: Operátorský panel KPT400 basic

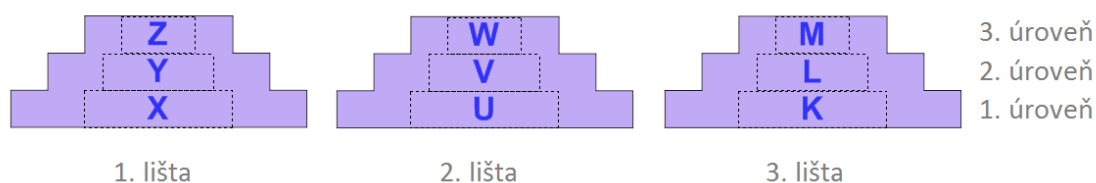


Obr. 30 Výsledný ovládací panel

3.6 Plán svorkovnice

Plán svorkovnice je súčasťou elektrickej dokumentácie linky. Slúži ako prehľadný návod na zapojenie všetkých svoriek umiestnených v rozvádzači. Z dôvodov uvedených v kap. 3.1.1 je plán svorkovnice navrhnutý v programe MS Excel (viď príloha 3).

Stavba dokumentu je rozvrhnutá presne podľa rozloženia svoriek z prílohy 2. Dokument má teda tri hárky, každý zobrazuje zapojenie svoriek na konkrétnej lište. Využívané svorky boli maximálne trojúrovňové, a tak je každý hárok rozdelený na tri úrovne. Z Obr. 31 je zrejmé, že každá úroveň svorky na lištách rozvádzača má svoje označenie (napr. prvá úroveň na prvej lište má označenie X).



Obr. 31: Označenie svoriek

Príklad z navrhnutého plánu svorkovnice je uvedený na Obr. 32. V prvom stĺpci je uvedený typ svorky a v ďalších sú už popisované jednotlivé úrovne. Popis úrovne pozostáva zo stĺpcov:

- pozícia – udáva napojený prvok;
- signál – udáva buď označenie signálu alebo typ napájania;
- kábel – udáva farbu kábla, písmeno medzi farbami udáva šírku kábla;
- svorka – udáva označenie konkrétnej svorky. V prípade, že je označenie podfarbené, znamená to mostíkové prepojenie pod sebou rovnako sfarbených svoriek.

Svorka	Úroveň 1							Úroveň 2							
	Typ	Pozícia	Signál	Kábel	Svorka	Kábel	Signál	Pozícia	Pozícia	Signál	Kábel	Svorka	Kábel	Signál	Pozícia
UK 5 HESI	PS101	24V+	v	1U	v	24V+	7U					1V			
UK 5 HESI	PS101	24V+	v	2U	v	24V+	17U					2V			
UK 5 HESI	PS101	24V+	v	3U	v	24V+	1K					3V			
UK 5 HESI	PS101	24V+	v	4U	v	24V+	4U					4V			
UK 5 HESI	PS101	24V+	v	5U	v	24V+	5U					5V			
ST 2,5 QUATTRO PE	WM1	PE	v	6U	v	PE	HM101	SW101	PE	v		6V			
DIKD 1,5	CPU101	24V+	v	7U	v	24V+	1U	SM101.2L	24V+	v		7V	v	24V+	SM102.2L
DIKD 1,5	SM103.2L	24V+	v	8U	v	24V+	SM104.3L	SM103.3L	24V+	v		8V	v	24V+	SW101
DIKD 1,5				9U								9V			
DIKD 1,5	SD101	24V+	v	10U	v	24V+	4U					10V	v	24V+	SD101.2.3
DIKD 1,5	RE51.5,7,9	24V+	v	11U	v	24V+	5U					11V	v	24V+	67K
DIKD 1,5 BU	CPU101	24V-	v	12U	v	24V-	PS101	SM101.1M	24V-	v		12V	v	24V-	SM101.3M
DIKD 1,5 BU	SM102.2M	24V-	v	13U	v	24V-	SM103.2M	SM102.3M	24V-	v		13V	v	24V-	SM103.3M
DIKD 1,5 BU	SM104.2M	24V-	v	14U	v	24V-	17V	SM104.3M	24V-	v		14V	v	24V-	SW101
DIKD 1,5 BU				15U	v	24V-	RE54.0					15V	v	24V-	RE55.0
DIKD 1,5 BU	RE51.2	24V-	v	16U	v	24V-	PS101	RE52.2	24V-	v		16V	v	24V-	SD101.4
PTIO-N 2,5/3-LED 24GN	3U	24V+	v	17U				15V	24V-	v		17V			
PTIO 1,5/S/3-LED 24RD				18U								18V			
PTIO 1,5/S/3-LED 24RD				19U								19V	x	24V-	

Obr. 32: Príklad plánu svorkovnice, druhá lišta

Stĺpce úrovni sú rozmiestnené zrkadlovo okolo svorky, čo sa môže zdať chaotické, ktorá strana je v prípade vertikálneho umiestnenia svorky tá správna. V tomto prípade platí, že spodná strana vertikálne umiestnenej svorky je na ľavej strane od stĺpca „Svorka“.

Pre príklad bude uvedené vysvetlenie pár riadkov obrázku. Prvých päť riadkov tvoria poistkové svorky (ozn. UK 5 HESI) do ktorých sa zo spodnej strany pripája napätie zo zdroja (PS – power source) pomocou červených káblov s prierezom $0,75 \text{ mm}^2$ ($v = 0,75 \text{ mm}^2$). Na opačných stranách týchto svoriek sú pripojené káble s rovnakou farbou, prierezom a menovitým napätím, avšak jednotlivé svorky sú prepojené so svorkami s označením 7U, 17U, 1K, 4U a 5U. Poistkové svorky sú jednoúrovňové (úroveň dva je zaškrtnutá) a nie sú premostené. Príkladom premostenia sú napr. svorky 7U, 8U a 9U.

3.7 Schéma elektrickej inštalácie

Schéma navrhutej finálnej elektrickej inštalácie má štrnásť strán (spolu s titulnou) a je uvedená v prílohe 1. Pri jej realizácii bola využívaná príručka, uvedená v literatúre [13].

Popis kompletnej schémy by bol určite rozsiahly a pre znalých čitateľov zbytočný, preto budú v nasledovných podkapitolách podrobnejšie popisované iba menej jasné a zložitejšie zapojenia.

3.7.1 Napájanie

Druhá strana už podľa názvu obsahuje prípojku linky typu TN-S (3L/N/PE) ako napájanie celej linky, ktoré je následne cez vypínač na dverách a ističe rozvedené k jednotlivých okruhom (zváračka, predĺžovačka, zdroj, dopravníkový motor). Zváračka je napájaná trojfázovo, ostatné okruhy sú rozdelené na každú z troch fáz. Chaotické sa môže zdať rozvedenie neutrálneho vodiča N pri svorkách 9Z, 10Z a 11Z, keďže zdanlivo nemajú priamy prepój (okrem 10Z) na neutrálny vodič. Tieto svorky sú však vzájomne premostené. Okrem časti schémy umiestnenej pod zdrojom a štyrom vývodom stýkača pred dopravníkom je schéma venovaná silovému rozvodu.

Pri napájaní 24V zdroja je medzi ističom a zdrojom nákras zapojenia prevádzkového vypínača ovládacieho panela (3.5.1.1), ktorý prostredníctvom relé (RE101) ovláda celú logickú časť.

Podobne je to aj s napájaním dopravníkového motora, ktorý je tiež napájaný prostredníctvom stýkača (RE57), ktorý ovláda bezpečnostná časť linky (dopravník teda patrí medzi núdzovo odpájané zariadenia). Uvedený stýkač má jeden prepój NO a druhý NC. NC prepój sa uplatní pri reštarte, prípadne zapínaní bezpečnosti (kap 6).

3.7.2 Napájanie logickej časti

Tretia strana obsahuje schému zapojenia napájania PLC a jeho I/O modulov. V ľavom dolnom rohu je uvedené rozvedenie napájania troch svoriek, ktoré napájajú bezpečnostné moduly, relé a I/O svorky bezpečnostnej časti.

3.7.3 Zapojenie vstupov PLC

Strany 4, 5, 6, 7 obsahujú zapojenie signálových vstupov jednotlivých modulov PLC. Každá strana obsahuje dvojicu vodorovných, rovnobežných a premostených vedení spolu so vstupmi modulu rozdeleného na dve časti po 8 signáloch. Medzi týmito dvoma prvkami sú umiestnené rôzne snímače, tlačidlá a iné vstupy.

3.7.4 Zapojenie výstupov PLC

Zapojenie signálových výstupov PLC je na stranách 8, 9, 10, 11. Obsah schémy je podobný ako pri vstupoch, až na rozdiel, že nie všetky výstupy majú samostatné prepojenie 0V. Dôvodom sú ventilové bloky, kde stačí jediný vodič 0V cez ktorý budú výstupy PLC uzatvárať obvod. Výhodou je šetrenie kabeláže, ktorá sa ku tak kompaktnému prvku nemusí ťahať kompletne pre každý jeden ventil.

3.7.5 Switch

Na dvanástej strane schémy je uvedené zapojenie switch-a a prepojenie LED diód, ktoré sú kópiou svetelného majáku (oba prvky sú spínané z rovnakej svorky).

3.7.6 Bezpečnostná časť

Posledné dve strany sa venujú zapojeniu bezpečnostných jednotiek. Zapojenie bezpečnostnej riadiacej jednotky REER M1 (SD101 – safety device) je uvedené na predposlednej strane a zapojenie rozširovacej I/O jednotky REER MI8O2 na strane poslednej.

Do hlavnej jednotky sú privádzané signály z bezpečnostných prvkov (konkrétne centrálny vypínač a Deadman) a snímača vstupného tlaku. Bezpečnostné výstupy kontroléra sú pripojené na dvojicu relé (RE51, RE52) so štyrmi prepínacími kontaktmi (ktoré napájajú ovládanie relé dopravníka, svetlo na podsvietenom tlačidle reštartu bezpečnosti, ventil vstupného tlaku) a na ďalšiu dvojicu relé (RE56, RE53) s jedným prepínacím kontaktom (ktoré ovládajú relé povolenia zvárania a relé ventilu vstupného tlaku). Podobne ako relé dopravníka (RE57 - 3.7.1) aj dvojica relé (RE51, RE52) má jeden kontakt NC. Cez tieto NC kontakty (relé RE51, RE52, RE57) je zo svorky 77K napojené reštartovacie tlačidlo bezpečnosti (MS109), ktoré je pri výpadku bezpečnosti prepojené so vstupom hlavnej jednotky (SD101), konkrétne s RESTART1. Nastavenie tohto vstupu na logickú jednotku povolí bezpečnostnému kontroléru rozhodnúť na základe naprogramovaných podmienok, či môže linka pracovať. Ak áno, zopne relé (RE51, RE52). Status výstupy sú prepojené s riadiacim PLC (informujú o stave bezpečnosti).

Pri schéme zapojenia jednotky MI8O2 (SD102) sú využité dva bezpečnostné výstupy, ktoré ovládajú relé k zamykaniu bezpečnostných zámkov (SD103, SD104). Výstupy týchto zámkov sú prepojené s PLC a s jednotkou SD102. Ostatné dva využité vstupy sú vstupy od PLC.

4 NÁVRH RIADIACEHO SYSTÉMU

Riadiaci systém linky by mal okrem riadenia procesov, rýchleho a korektného spracovania cyklu obsahovať funkcie ako sú lokalizácia a prípadná oprava chýb spolu so sledovaním a diagnostikou procesu.

Ďalšími požiadavkami na riadiaci systém sú prehľadnosť, jednoduchá modifikovateľnosť, znovupoužiteľnosť a správa uzatvorených opakujúcich sa operácií/procesov (valce, stopper-y apod.). Takéto požiadavky možno efektívne splniť pri objektovo orientovanom softvéri, ktorý umožňuje uzatváranie programových sekcií do objektov (tried), čím výrazne zvyšuje prehľadnosť a znižuje pravdepodobnosť nežiadúceho vplyvu prípadných modifikácií na zbytok programu.

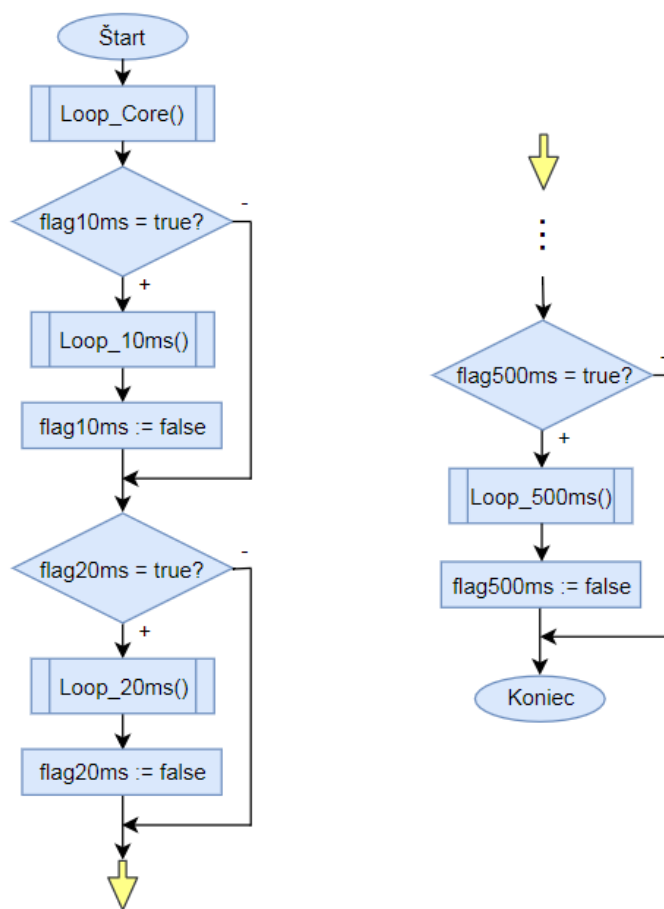
Objekty môžu byť navrhnuté pre jednoduché, ale aj zložité operácie/procesy. V prípade jednoduchých operácií, akým je napr. ovládanie valca je najdôležitejšou výhodou úspora práce, nakoľko nepotrebujeme písať rovnaký kód niekoľkokrát. Namiesto toho využijeme jeho inštanciu, ktorá je odvodená od šablóny objektu, avšak má iné (vlastné) inštančné dáta. Pri zložitých procesoch uzatvorených do objektov je najdôležitejšou vlastnosťou práve ich nezávislosť od zvyšku programu/zariadenia (napr. pracovné stanice prestanú byť závislé jedna od druhej).

Základné princípy riadenia a usporiadania objektov boli navrhnuté na základe štúdia dokumentácie predchádzajúcich výrobných zariadení a konzultácií s technickým personálom firmy.

4.1 Rámec riadiaceho systému

Aby boli zaručené požiadavky systému, systém musí cyklicky vykonávať hlavnú časť kódu uvedenú na Obr. 33. Ide o veľmi jednoduchú a kľúčovú časť, ktorá na základe časových flagov (napr. *Flag10ms*) vygenerovaných cyklickým prerušením vyvoláva prostredníctvom funkcií (slučiek) (napr. *Loop_10ms*) rôzne objekty a funkcie každých x ms. Dôležité objekty a funkcie, ktoré sa musia spravovať častejšie sú umiestnené v rýchlejších slučkách, (napr. komunikačný objekt, objekt správy vozíkov apod.). Naopak, na druhej strane sú objekty a funkcie s nízkou časovou prioritou (napr. správa signalizácie, sledovanie objektov apod.).

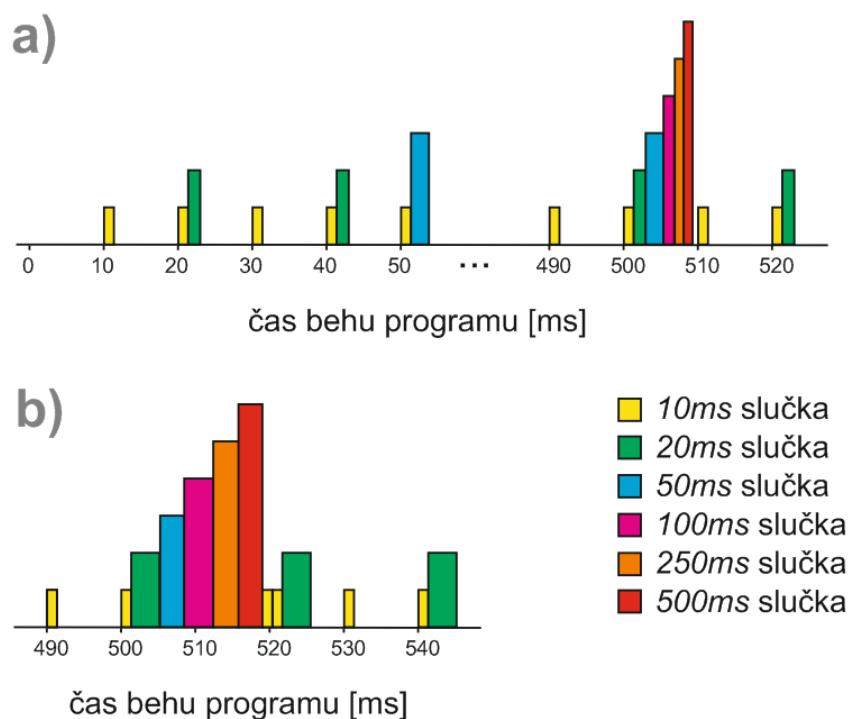
Rozdelenie správy objektov a funkcií do časových funkcií zaručí, aby bol systém rýchlejší (v potrebných častiach linky) a dynamickejší (v riadení). Rýchlejší sa systém stáva hlavne preto, že nevykonáva obsluhu celej linky a všetkých jej prvkov nepretržite, ale prioritne rozdeľuje ako často a kedy sa má daná sekcia obsluhovať. Na Obr. 33 sú príkladom uvedené tri slučky (*Loop10ms*, *Loop20ms* a *Loop500ms*), avšak ich počet a hodnoty (10, 20, 500 - ako často sa majú vykonávať) sa môžu meniť v závislosti od potreby aplikácie – znázornené tromi zvislými bodkami.



Obr. 33: Vývojový diagram hlavnej cyklickej časti programu (Main)

Dynamiku systému by sme mohli prirovnať k harmonike, nakoľko perióda cyklu hlavnej slučky je variabilná (viď Obr. 34). Čas spracovania slučiek je šírkou obdĺžnikov, ktorých súčet v každom 10 ms dieliku tvorí maximálnu dĺžku periódy. Dielik časovej osi na obrázku je 10 ms z dôvodu predefinovaného cyklického prerušenia, ktoré každých 10 ms nastavuje časové flagy. Procesor tak vykoná každých 10 ms definované slučky a následne nie je zaťažovaný riadením linky. Ukázkovým úsekom je perióda v 500 ms , kedy procesor spracováva kompletný program. Na Obr. 34a perióda nepresahuje dielik, avšak v prípade, že by sa tak stalo (Obr. 34b), presahujúca dĺžka periódy sa pripočíta k obslužnej perióde ďalšieho dielika až pokiaľ časový deficit nezanikne.

Najhorším prípadom pri takomto riešení je zvolenie si nízkeho dielika (času cyklického prerušenia nastavujúceho flagy), čo však iba vyústí v klasický časovo neparametrizovaný program, ktorý bude v cykle za sebou vykonávať kompletnú obslužnú rutinu.



Obr. 34: Príklad variabilnej dĺžky periódy

4.2 Potrebne funkcie

Okrem už spomenutých funkcií volaných v hlavnom cykle, je nutné využívať ďalšie funkcie, ktoré sa môžu považovať za súčasť rámca systému ako napr.:

- funkcie ovládania kláves a ich kombinácií;
- funkcie správy indikačných prvkov;
- funkcie nutné pre ovládací panel;
- ďalšie funkcie ako reštart, časovače, kontrola periférií apod.

4.3 Objekty

Podobne ako pri každom objektovom programovaní aj v tomto prípade musí inštancia objektu vzniknúť, zaniknúť a mať určité prístupové práva. Pri návrhu objektového riadiaceho systému pomocou jazyka SCL vznikajú určité odlišnosti v realizácii samotných objektov ako aj v ich funkčných vlastnostiach.

Všetky objekty v riadiacom systéme majú takmer rovnakú štruktúru v závislosti od ich hierarchie. Hierarchia objektov je určená v závislosti od funkcie objektu, ak sa jedná o objekt riadiaci konkrétnu hardvérovú časť, napríklad objekt pre riadenie valca, je tento objekt najnižším v hierarchii, pretože môže ovládať už iba hardvér. Naopak,

takýto objekt je cieľom volania vyšších a komplexnejších objektov, ktoré tento valec využívajú v riadiacej sekvencií (napríklad objekt pracovnej stanice).

Základnú štruktúru objektov tvorí niekoľko funkcií (metód): *Manager*, *Driver*, *PAF* (Process Access Function), *Reset*, *Renew*, *Break* a *Scan*, ktoré sú popísané v nasledujúcich podkapitolách a dátových premenných (dátové členy) objektu umiestnených v dátovom bloku : *DB* (Data Block).

4.3.1 Manager

Funkcia už podľa názvu zastupuje manažérsku činnosť a volá procesné funkcie (*Driver*-i) všetkých inštancií daného objektu.

4.3.2 Driver

Driver je najdôležitejšou funkciou každého objektu, definuje čo má objekt vykonávať. Funkcia je rozdelená do viacerých funkčných častí.

- *Process reset* – je úvodnou časťou spravujúcou globálne prístupové tagy (*PAF_Init*, *PAF_Quit*) na základe ktorých môže *Driver* spúšťať a ukončovať ním volané hierarchicky nižšie objekty. Ak však *Driver* nepoužíva aktuálne nižší objekt, môže sa v prípade požiadavky (reštartu/prerušenia) ukončiť okamžite.
- *Proces initialization* – inicializačná časť procesu slúži na nastavenie hlavných tagov a parametrov procesu (čas, kroku sekvencie). Vykonáva sa iba raz za život objektu a spúšťa proces. Pri nižších objektoch sa tu overuje, či je aktívny *krokový režim*, v prípade, že áno, čaká sa na stlačenie klávesy ovládacieho panela *START*.
- *Process setup* – sekcia slúži na aktualizáciu prístupových premenných a načítanie všetkých často používaných parametrov z databázy objektu, aby sa tak znížil prístupový čas programu.
- *Peripheral scan* – sekcia pre skenovanie potrebných periférií.
- *Time limit & error check* – sekcia slúži na kontrolu časového limitu kvôli častému výskytu podmieneného pokračovania procesu. Pri prekročení limitu, ako aj pri inej internej chybe (*Fail*) je aktivované spracovanie chýb a vyvolaná globálna chyba (*Error* – porucha, ktorá je indikovateľná pre operátorov). V prípade opraviteľnosti objektu sa aktivuje autokorekčná časť.
- *Control sequence* – hlavná časť *Driver*-a, kde sa postupne cez prepínač (*switch-case*) vykonávajú sekvencie potrebných úkonov (napr. krok 1. pohni s manipulátorom v pred, krok 2. otoč manipulátor, apod.).
- *Comon part* – posledná časť programu slúži na posunutie sekvencie (kroku v *Control sequence*) do ďalšieho štádia. Zmena indexu kroku sa však nevykoná, ak sú niektoré volané objekty aktívne (*PAF_Busy*), prípadne ak sa táto sekcia vynechá (*return*).

4.3.3 Reset

Reset je funkcia regulárne ukončujúca činnosť objektu, ktorá je volaná po ukončení sekvenčnej časti objektu (*Control sequence* v *Driver-i*). Vynulujú sa tu interné parametre definujúce objekt a jeho označenie (*Mark*) pri používaní iným objektom, automaticky sa tak stane prístupným pre ďalší volajúci objekt.

4.3.4 Break

Break je funkciou veľmi podobnou *Reset* funkcií, avšak ich zásadným rozdielom je čas ich využitia v rámci života objektu. *Break* je funkciou ukončujúcou činnosť objektu počas sekvenčnej časti objektu (nie až po sekvenčnej časti - *Reset*), čo môže viesť napr. k nedokončeniu procesu montáže. Súčasťou tejto funkcie sú okrem vynulovania interných parametrov aj parametre zabraňujúce nekorektnému vypnutiu objektu.

4.3.5 Renew

Funkcia obnovy sa využíva pri nábehu linky a zaručuje správny nábeh objektu po štandardnom, či neštandardnom (napr. výpadok prúdu) vypnutí linky. V tejto sekcii je tak možné ošetriť jednoduché poruchy a kolízne situácie nastávajúce pri náhlom vypnutí. Pri niektorých objektoch sa tu vyvoláva interná chyba, ktorá v prípade náhleho vypnutia počas činnosti objektu zaručí jeho automatickú opravu. Naopak, pri nečinnom objekte sa vyvolaná interná chyba neuplatní kvôli inicializačnej časti *Driver-a*.

4.3.6 Scan

Funkcia slúži na aktualizáciu systémových a objektových premenných, ktoré informujú ovládací panel a signalizáciu linky o stave objektu. Súčasťou funkcie je aj prenos parametra reštartu linky.

4.3.7 PAF (ang. Process Access Function)

PAF je vlastná skratka procesnej prístupovej funkcie, ktorá je volacím kanálom objektu. Úlohou *PAF-u* je zrealizovať, respektíve uchovať do doby možnosti realizácie prichádzajúce volania objektu. Funkcia *PAF* zabezpečuje:

- prenos parametrov úlohy z volajúceho do volaného objektu;
- manažment procesu pomocou riadiacich premenných (*PAF_Init* a *PAF_Quit*);
- monitoring procesu vykonávanej úlohy pomocou stavových premenných (*PAF_Busy* a *PAF_Fail*);
- korektné zaradenie úloh čakajúcich na obsadený objekt;
- prenos poruchových stavov v hierarchii objektov smerom nahor (*Driver* – časť *Common part* pomocou premennej *PAF_Fail*);

- prenos prerušenia procesu v hierarchii smerom nadol (*Driver* – časť *Process reset* pomocou premennej *PAF_Quit*).

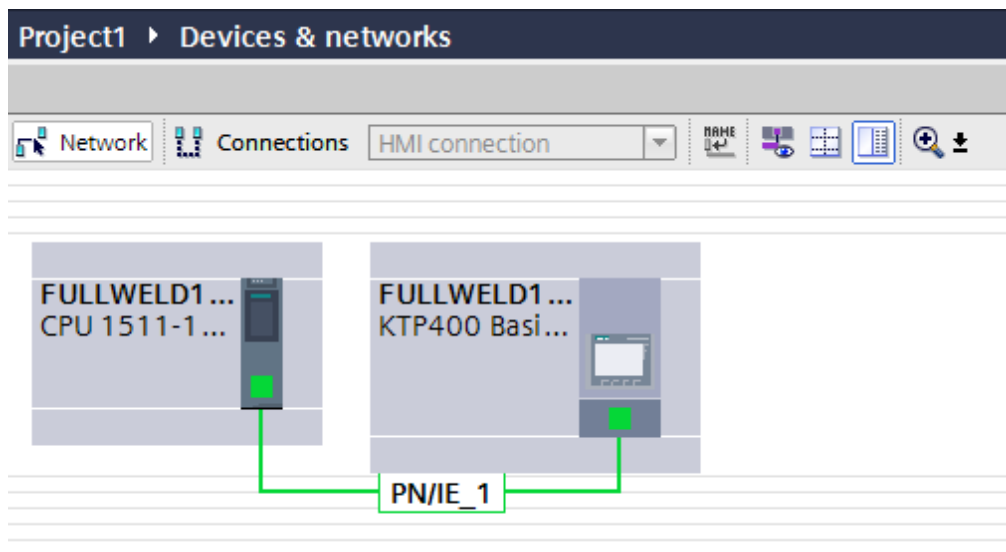
Na rozdiel od ostatných funkcií objektu, PAF je špeciálnou funkciou, ktorej inštancie vznikajú v závislosti na volajúcich a nie na volaných objektoch, aj napriek tomu, že je deklarovaný vo volanom objekte.

4.4 Komunikácie

Ako bolo spomenuté v kap. 3.3, PLC komunikuje s tromi externými zariadeniami (operátorský panel, zvärací systém a riadiaci PC). Ich princíp komunikácie ako aj softvérové prepojenie je popísané v nasledovných podkapitolách.

4.4.1 Operátorský panel

Pri operátorskom paneli, ktorý je od rovnakého výrobcu ako PLC nie je potrebné zložitejšie riešiť softvérové prepojenie nakoľko sú kompatibilné. Pri nastavení rozdielnych IP adries stačí ich intuitívne prepojenie v hardvérovej konfigurácii TIAPortálu.



Obr. 35: Prepojenie PLC a operátorského panela

4.4.2 Zvärací systém

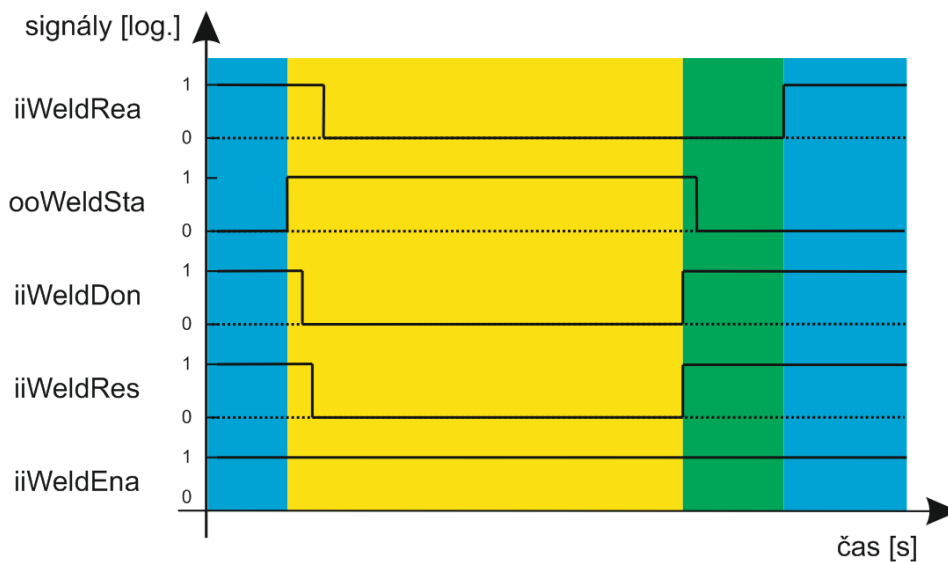
Zvärací systém (kap. 2.6) ponúka 36 binárnych vstupov a 36 binárnych výstupov, z ktorých sú pre potreby automatického riadenia a výberu programu nutné iba štyri vstupy a sedem výstupov uvedených v nasledujúcej tabuľke.

Tab. 2: Využitie DI/O na ovládanie zváracieho systému

Vstupné signály		Výstupné signály	
Sign. ozn.	Popis	Sign. ozn.	Popis
ooWeldRes	reset zvárackej poruchy	iiWeldRea	zváranie pripravené
ooWeldNum0	číslo programu bit 0	iiWeldDon	zváranie dokončené
ooWeldNum1	číslo programu bit 1	iiWeldRes	výsledok zvárania
ooWeldNum2	číslo programu bit 2	iiWeldErr	porucha zvárania
ooWeldNum3	číslo programu bit 3		
ooWeldSta	štart zvárania		

Princíp riadenia zváracieho systému je uvedený na grafe (Obr. 36). Zvárací cyklus je rozdelený na tri fázy:

- Zváracia fáza (žltá) – zahájenie zváracieho cyklu, v prípade že je zváračka pripravená (*iiWeldRea*) je možné spustiť zvárací cyklus (*ooWeldSta*). V prípade, že nie je vybratý zvárací program, zváracia fáza sa nespustí.
- Vyhodnocovacia fáza (zelená) – fáza po ukončení zvárania, kedy sa zmení signál *iiWeldDon*. Následne je možné načítať výsledok merania (log.1 = zlý výsledok).
- Parametrizovacia fáza (modrá) – zahájená signálom *iiWeldRea*. V tejto fáze je možné meniť parametre zvárania ako aj výber programu. [5]



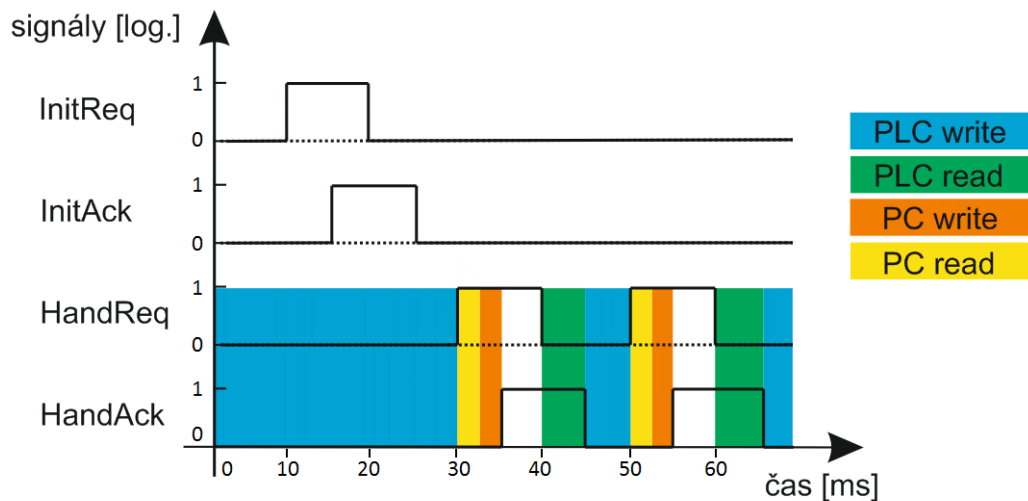
Obr. 36: Zvárací cyklus

Posledný signálový vstup *iiWeldEna* slúži na povolenie zvárania. Je to jeden z bezpečnostných signálov, ktorý aj v prípade prebiehajúceho zváracieho cyklu okamžite zastaví zváranie.

4.4.3 Riadiaci PC

Úlohou počítača pri riadení je parametrizácia výroby (nastavenie meracích, operačných a dávkovacích parametrov), zber a spracovanie dát výrobkov. Softvér PC nie je súčasťou zadania práce, teda nebude podrobnejšie popisovaný.

Komunikácia prebieha na dátovom bloku PLC (ďalej len „DB“) ku ktorému má PC prístup. DB musí byť v TIA Portal-e nastavený ako nechránený a neoptimalizovaný (pevne stanovené pozície Bytov – bez optimalizácie), inak by PC nemal k nemu prístup a nevedel pozície Byte-ov v pamäti. Pri každej výmene dát sa musí vykonať handshake, vid' graf na Obr. 37. Pri spúšťaní komunikácie sa vždy musí vykonať inicializačný handshake, ktorý zabraňuje nezrovnalostiam (neplatným príkazom) pri znovu-pripojení po neštandardnom odpojení (výpadku) jedného z účastníkov. Na grafe sú farebne znázornené fázy popisujúce kedy a ktorý účastník môže počas handshake-u pristupovať a meniť komunikačné dáta.



Obr. 37: Komunikačný handshake

Vzhľadom na množstvo potrebných prenášaných stavových signálov, príkazov a ich parametrov bol pre DB navrhnutý pevný štvor-byte-ový rámec komunikačnej pamäte (vid' Tab. 3). Byte handshake-u obsahuje štvoricu základných komunikačných bitov. Do tejto časti môžu zapisovať obe komunikačné strany, avšak každá iba do svojich bitov. Požiadavky (ang. request) patria PLC a potvrdenia (ang. acknowledge) patria PC. Byte príkazu slúži na vybratie niektorého z príkazov (

Tab. 4), pričom príkazy smie zadávať iba PC. Pri byte parametra vybraného príkazu môžu zapisovať obe strany počas svojho povoleného úseku (Obr. 37). Posledný byte obsahuje aktualizáciu informácií pre PC, zapisovať tu smie iba PLC.

Tab. 3: Rozdelenie komunikačnej pamäte

Komunikačná pamäť																																					
Handshake								Príkaz								Parameter								Status Bity													
HandAck	HandReq	InitAck	InitReq	X	X	X	X																							X	X	X	X	Sound	Setup	StepMode	Error
7							0	7								0	7												7				0				
BYTE 0								BYTE 1								BYTE 2								BYTE 3													

Komunikácia je navrhnutá tak, aby ak je to možné fungovala nepretržite. Výhodou nepretržitej komunikácie je rýchlejšie spracovanie požiadaviek a vždy aktuálne informácie. Komunikácia prebieha dvojfázovo, v prvej fáze prebehne handshake, kde počítač zadá príkaz a aktualizuje stavové premenné. Následným druhým handshake-om sa prenesú premenné príkazu (dáta).

Najdôležitejším a najčastejším sa vykonávacím príkazom je *HANDLING* (kód 1), kde PC dáva informáciu o pripravenosti merania a PLC o štarte požiadavky merania. Sekvencia opakovaných príkazov *HANDLING*-u je prerušená iba na krátko, a to pri volaní iného príkazu. To sa deje hlavne pri inicializačnom nastavovaní parametrov linky (*WORKING*, *HALTING*, *WELDNUM*, a pod.).

Tab. 4: Komunikačné príkazy

Príkaz			Parametre								
Kód	Názov	Funkcia	Veľkosť [byte]	Vstupné			Výstupné				
				Názov	Typ	Popis	Názov	Typ	Popis		
0	NOP0	Rezervované	-								
1	HANDLING	Operačné signály	1	READY	uByte	0: Test 4: - 1: - 5: - 2: - 6: - 3: - 7: -	START	uByte	0: Test 4: - 1: - 5: - 2: - 6: - 3: - 7: -		
2	WORKING	Zapínanie staníc	1	WORK	uByte	0: - 4: Cutting 1: - 5: Sorting 2: Join/Cut 6: - 3: Welding 7: -					
3	HALTING	Blokovanie stopper-ov	1	HALT	uByte	0: Operator1 4: Cutting 1: Operator2 5: Sorting 2: Join/Cut 6: - 3: Welding 7: -					
4	TESTING	Výsledky testu	1	TEST	uByte	0: Pass 4: - 1: Class 5: - 2: - 6: - 3: - 7: -					
5	CYLINDER	Ovládanie valcov	1	INDEX	uByte	Cylinder index					
6	BICYLINDER	Ovládanie bistabilných valcov	1	INDEX	uByte	Cylinder index					
7	WELDNUM	Výber zväracieho programu	1	weldNum	uByte	Welding program number					
248	EXIT	Ukončenie produkcie	-								
249	SOUND	Ovládanie zvuku	-								
250	SETUP	Prípravný režim	-								
251	STEPMODE	Ovládanie krokového režimu	-								
252	STEP	Príkaz kroku	-								
253	RESET	Reštart zariadenia	-								
254	FINISH	Ukončenie komunikácie	-								
255	NOP1	Rezervované	-								

4.5 Operátorský panel

Operátorský panel umiestnený na ovládacom paneli je hlavným prvkom informujúcim o stave systému. Spolu s ovládacími prvkami panelu (3.5.1) poskytuje základný súbor funkcií potrebných pre ovládanie a nastavenie stroja, bez ohľadu nato, či je k dispozícii riadiaci PC.

Hlavnou úlohou operátorského panela je informovať servisný personál o stave linky, zaznamenávať a oznamovať poruchy, nastavovať špecifické parametre ako aj možnosť manuálne ovládať linku. Realizácia navrhnutých funkcií je uvedená v kap.5.5.

5 REALIZÁCIA RIADENIA

Na realizáciu riadiaceho systému, komunikačných protokolov a programu pre operátorský panel bol využitý inžiniersky rámec (platforma) TIA Portal V14, konkrétne nástroj SIMATIC STEP7 Professional. Vytvorený program je súčasťou prílohy 5.

5.1 TIA Portal

Skratka TIA (ang. Totally Integrated Automation) naznačuje, že sa jedná o koncept plne integrovanej automatizácie, ktorá užívateľom zaisťuje, že zariadenia pre automatizáciu z obrovského portfólia spoločnosti (hardvér a softvér) budú kompatibilné, a teda ľahko integrovateľné.

Vďaka integrácií viacerých automatizačných aplikácií (SIMATIC, WinCC, SINAMIC a pod.) sa TIA Portal riadi medzi intuitívne vývojové prostredia s výhodami ako sú spoločné tagy, prehľad typológie apod.. [1]

Program v TIA Portal-i je naprogramovaný v jazyku SCL (ang. Structured Control Language), ktorý sa radí medzi vyššie programovacie jazyky vhodnejšie pre komplexnejšie algoritmy.

5.1.1 Bloky programu

Zdrojový kód projektu je sa v TIA Portal-i vytvára na základe štyroch typov blokov.

- Organizačný blok (OB) – je rozhraním medzi operačným systémom PLC a užívateľským programom. Je volaný operačným systémom a môže byť vykonávaný buď cyklicky, iba pri štarte, prípadne zriedkavo (pri prerušeníach apod.).
- Funkčný blok (FB) - funkcia, ktorá si ukladá svoje hodnoty do inštančných dátových blokov, čím môže obsahovať statické parametre.
- Funkcia (FC) – funkcia bez vyhradenej pamäte.
- Dátový blok (DB) – uchováva dáta, môže byť globálna alebo inštančná. [2]

Všetky bloky vytvoreného programu okrem DB (uchovávajú dáta nie kód) sú vytvárané ako bloky s programovacím jazykom SCL. Z organizačných blokov boli využité tri bloky:

- Main (OB1) – cyklicky spúšťaný OB popísaný v kap. 4.1;
- MainTime (OB30) – blok cyklického prerušenia nastavený na *10 ms*, taktiež popísaný v kap. 4.1;
- Startup (OB100) – OB spustený iba raz, a to pri zapnutí PLC, po jeho vykonaní je zapnuté vykonávanie OB1.

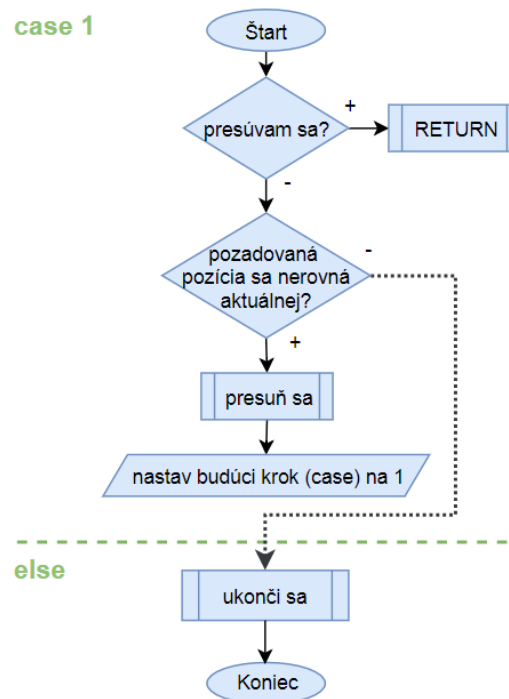
Pri realizácii programu objektov boli pri všetkých funkciách vyžadujúcich statické parametre (napr. v prípade *Driver*, *Manager* a *PAF*) využité FB. Ostatné časti programu sú napísané vo FC.

5.2 Objekty

V nasledujúcich podkapitolách budú uvedené iba hlavné časti objektov, konkrétne časť *Control sequence* umiestnená v FB *Driver-a*. Táto špecifická časť priamo definuje funkciu objektu.

5.2.1 Ovládanie valcov (*cyMov*, *biMov*)

Objekty *cyMov* (ovládané jedným vstupným signálom) a *biMov* (ovládané dvoma vstupnými signálmi) sú objektmi obsluhujúcimi činnosť valcov. Ide o hierarchicky nižšie objekty, ktoré na základe pamäte polohy (umiestnenej v DB objektu) a snímačov krajných pozícií valca spravujú valec. Objekty sú obsluhované v 20 ms slučke (*Loop_20ms*).



Obr. 38: Vývojový diagram *cyMov*, *biMov*

Na vývojovom diagrame je zobrazené štandardné volanie objektu, kedy sa hneď na úvod kontroluje, či je valec aktívny a či je skutočne na svojej zapamätanej pozícií. V prípade, že sa aktuálne presúva (valec je v mimo snímačov alebo na opačnom snímači), program vo FB sa preruší pomocou príkazu *RETURN* a pri ďalšej obsluhu znova pokračuje vo vykonávaní kroku (*case*) 1 (pretože sa neinkrementoval krok na konci *Driver-a*). Ak je objekt na svojej zapamätanej pozícií, pokračuje ďalej cez

podmienku, či sa požadovaná pozícia valca nezhoduje s aktuálnou. V prípade, že sa nezhodujú, vyvolá sa funkcia na presun valca (*cyMov_ExpForce/biMov_ExpForce*) v ktorej sa taktiež aktualizujú zapamätané hodnoty a nastaví sa budúci krok na 1, čo má za následok opätovnú kontrolu prvej podmienky pri ďalšom obslužnom cykle. Proces smie zmeniť krok iba ak je valec na svojej požadovanej pozícii a zároveň je nečinný (znázornené prerušovanou čiernou šípkou). Pri následnom obslužnom cykle *Driver*-a sa objekt regulérne ukončí (prostredníctvom *cyMov_Reset / biMov_Reset*), čím sa objekt konkrétneho valca uvoľní pre ďalšie volajúce funkcie.

V prípade poruchy pri presúvaní valca by objekt ostal stáť v prvom kroku tak dlho, pokiaľ by sa neprekročil stanovený časový limit (v sekcií *Time limit & error check Driver*-a), ktorý by vyvolal chybu. Pri vyvolaní chyby sa v prípade globálne nastaveného tagu *Retry* objekt pokúsi o samo-opravenie (nastaví inicializačné premenné, aby sa vykonal celý od začiatku), avšak ešte predtým valec pošle na opačnú stranu (v prípade poruchovej blokácie predmetom sa predpokladá, že sa predmet uvoľní a odstráni).

5.2.2 Laserový snímac (*gvLas*)

Ďalším z jednoduchších objektov je objekt *gvLas* na ovládanie a sledovanie výstupných hodnôt nastavených baniek (meraní) laserového snímača. Je obsluhovaný v 20 ms slučke (*Loop_20ms*) a je volaný objektom tretej pracovnej stanice (*ws03*). Laserový snímač je naprogramovaný tak, aby keď príde požiadavka na jeho výstupnú hodnotu merania (v norme = log 1) iba žmurkol a vrátil hodnotu. Výhodou tohto riešenia je dlhšia životnosť senzora a zabezpečenie proti nežiaducim odrazom lúča.

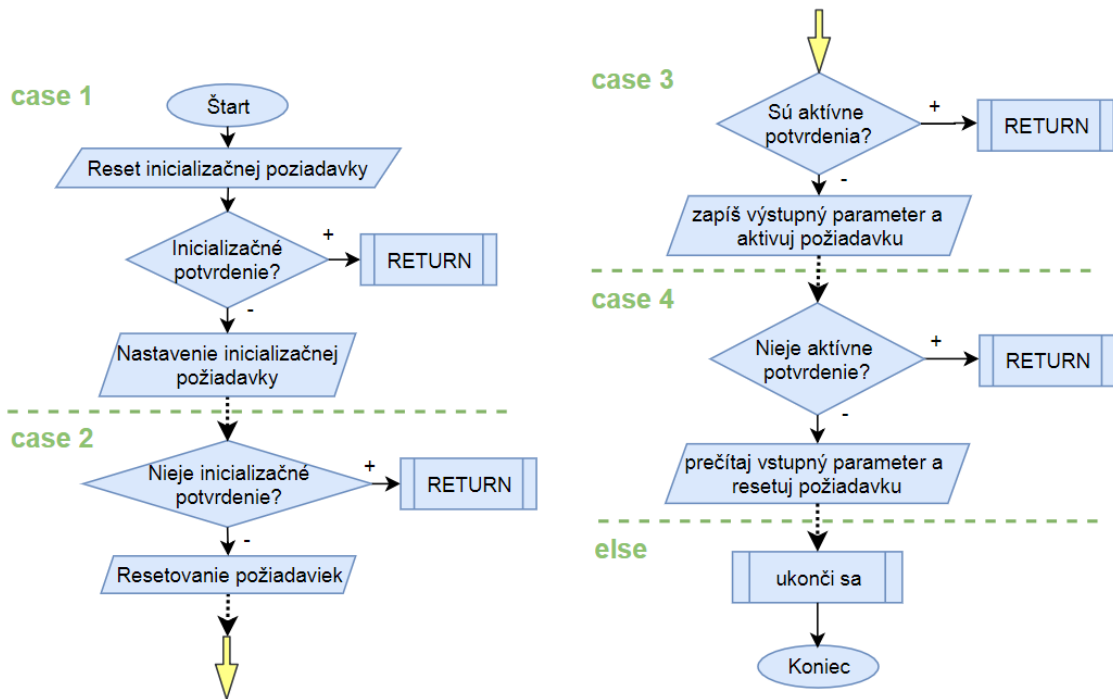
Na úvod sa v prvom kroku zapne laser a nastaví sa nultá banka. V druhom kroku sa čaká na ustálenie hodnoty (50 ms), následne sa prečítajú výstupné hodnoty a banka sa prestaví na prvú. V treťom kroku sa znova počká na ustálenie hodnoty a prečítajú sa výstupné hodnoty pre banku jedna. Následne sa nastaví banka aj ovládanie lúča lasera na hodnoty definované volanou funkciou.

Laserový senzor má ako jediný zo všetkých ostatných senzorov definovaný objekt. Je to z dôvodu že sa jedná o pokročilejší snímač, ktorý má oproti ostatným viac funkcií a nastavení. Ostatné snímače snímajú neustále a ich hodnoty sa čítajú jednoduchým sledovaním vstupu.

5.2.3 Komunikačné objekty (*pcSwi, pcExe*)

Objekt *pcSwi* je jedným z dvojice objektov ovládajúcich komunikáciu s PC. *pcSwi* slúži na vykonávanie *handshake*-u, navrhnutého v kap. 4.4.3 (viď Obr. 37). Keďže sa jedná o hierarchicky nižší a dôležitý objekt potrebný pre správnu funkciu nadradeného komunikačného objektu (*pcExe*) je jeho obsluha umiestnená do najrýchlejšej regulárnej slučky (*Loop_10ms*). Objekt je navrhnutý tak, aby po svojom prvom úspešnom vykonaní automaticky vynechával prvé dva inicializačné kroky (*case 1, case 2*).

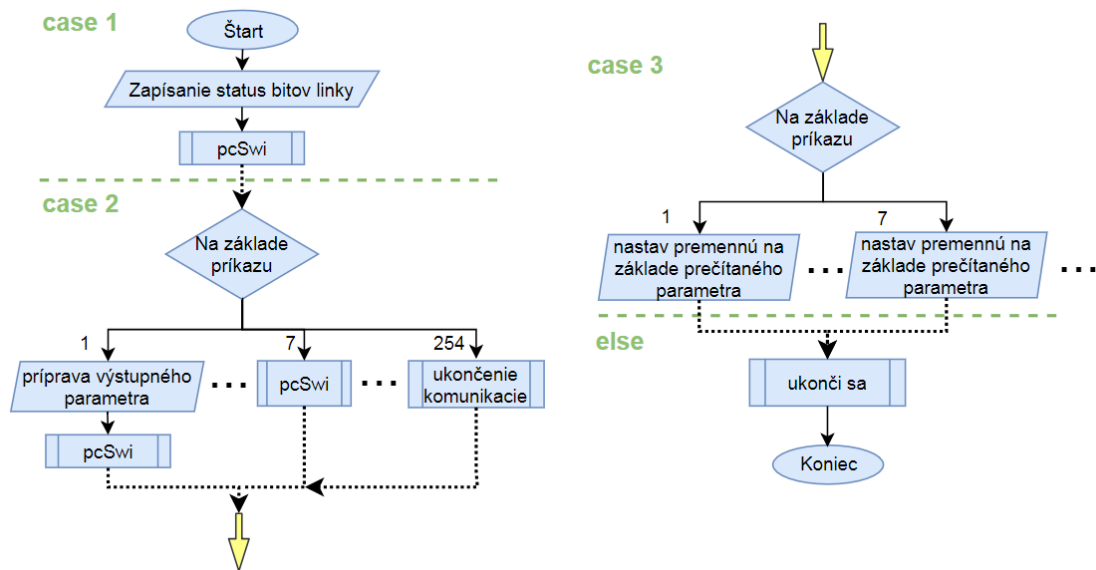
Podobne ako pri ostatných hierarchicky nižších objektoch, aj tu je aktívne kontrolovanie času jednotlivých krokov. V prípade, že sa komunikácia preruší na definovaný čas (jedna minúta), vyvolá sa chyba a následné samo-opravenie objektu (objekt sa spustí znova avšak aj s inicializačnými krokmi).



Obr. 39: Vývojový diagram *pcSwi*

Nadradený komunikačný objekt *pcExe* pracuje podľa navrhnutej komunikácie kap. 4.4.3, pričom počas vykonávania tohto objektu vyvolá *pcSwi* raz alebo dvakrát. Prvýkrát je to na prenos príkazu a status bitov, druhýkrát na prenos vstupných a výstupných parametrov daného príkazu (

Tab. 4). Ako je zobrazené na Obr. 40, pri všetkých príkazoch neprebehne druhé vyvolanie objektu *pcSwi*, čo je spôsobené tým, že dané príkazy ďalej nepotrebnú prenášať parametre. Príkladovo zobrazené parametre sú *handling* (kód 1), *weldnum* (kód 7) a *finish* (kód 254). V prípade príkazu *finish*, ktorý nemá I/O komunikačné parametre sa v treťom kroku nevykoná nič. Príkaz *weldnum* prenáša parameter z PC do PLC, a tak je mu v treťom kroku priradená hodnota vstupného parametra. Na záver je uvedený *handling*, ktorý má ako vstupný tak aj výstupný parameter. Jedná sa teda o vymieňanie parametra, ktorý v druhom kroku predstavuje príkaz na spustenie merania zo strany PLC a v treťom kroku zápis hodnoty pripravenosti merania.



Obr. 40: Vývojový diagram *pcExe*

Objekt *pcExe* je obsluhovaný v 20 ms slučke, avšak keďže nie je volaný žiadnym nadriadeným objektom, je spúšťaný funkciou *Automat* (viac v kap. 5.4.1), prostredníctvom *Unit*-ov (kap. 5.4.2). Na vývojovom diagramu je nutné podotknúť, že za volaním *pcSwi* v prvom kroku nie je žiadna podmienka, či bol *pcSwi* ukončený a teda, či sa pri ďalšom obslužnom cykle môže prejsť na ďalší krok. Podmienka tam však nie je nutná preto, že objekt je volaný cez *pcSwi_PAF*, ktorý vracia informáciu o tom, či bol volaný objekt ukončený (resetnuté *PAF_Busy*), a tak sa v *Driver*-i v poslednej časti kódu *Comon part* priradí/nepriřadí kroku ďalší krok (*nextcase*).

5.2.4 Nástroj na spracovanie hrán (*edgeTool*)

Objekt *edgeTool* slúži na filtráciu nábežných a dobežných hrán na základe predefinovaného času (nábehu a dobehu).

V linke je využívaný na detekciu vozíkov, ktorých snímače nie sú priamo pri stopper-och. Vozíky sú tak snímané v časti dopravníka, kde by za normálnych okolností mali iba prechádzať a neaktivovať tak tieto sledované hrany. V prípade poruchy alebo

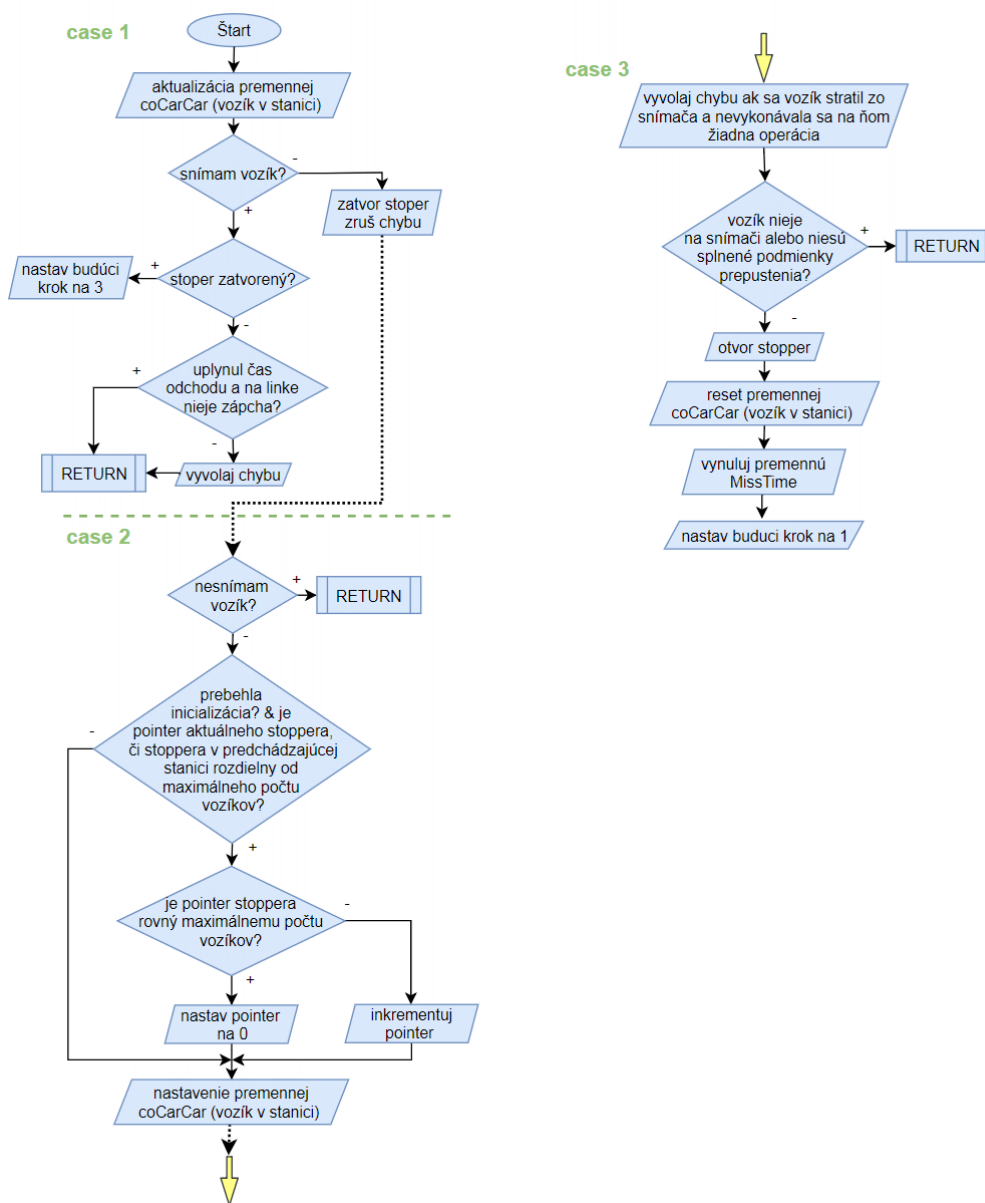
nevykladania vozíkov vo vykladacej stanici WS0 môže nastať situácia, že sa vozíky nakopia až tak, že budú zasahovať do predošlej stanice WS5 (čo môže spôsobiť kolíziu tejto stanice). Táto situácia je monitorovaná práve na základe výsledkov objektu *edgeTool*, ktorá je obsluhovaná každých 50 ms.

5.2.5 Správa vozíkov (*coCar*)

Objekt *coCar* je objektom spravujúcim presun vozíkov medzi pracovnými stanicami, ktorý priamo riadi činnosť stopper-ov. Keďže vozíky nemajú žiadne značenie, ktoré by umožňovalo identifikovať ich jedinečnosť, musí *coCar* v súčinnosti s pracovnými stanicami spravovať pamäť vozíkov. Tým pádom nesmie dochádzať k manipuláciám s vozíkmi a naloženými dielmi mimo priestorov nato vyhradených (operátorské stanice), inak by mohlo dôjsť k fatálnemu zlyhaniu klasifikácie výrobkov.

Objekt má šesť inštancií, nakoľko je v linke šesť stopper-ov a je volaný v 20 ms slučke. Ovládacia sekvencia zobrazená na Obr. 41 je rozdelená do troch sekcií, ktoré by sa dali zjednodušene definovať ako:

- *case 1* – čakanie na odchod vozíka s následným zatvorením stopper-a;
- *case 2* – čakanie na príchod vozíka s následným inkrementovaním ukazovateľa (ang. pointer);
- *case 3* – čakanie na splnenie podmienok prepustenia s následným otvorením stopper-a.



Obr. 41: Vývojový diagram coCar

Program je nastavený tak, aby sa iba pri spúšťaní linky a pri reštarte nastavili pointer stopper-ov (ukazujúce na aktuálny, prípadne posledný registrovaný vozík) na maximálnu hodnotu počtu vozíkov (*FILESIZE*), ktorá bola stanovená na 16 vozíkov súčasne. Táto hodnota je v bežnej prevádzke nenastaviteľná, nakoľko sa vozíky označujú v rozmedzí 0 až 15. Rovnako ako maximálny počet vozíkov bol stanovený aj maximálny počet vozíkov pre každú stanicu, ktorý bol určený na základe dĺžky dopravníka medzi stanicami a šírky vozíka tak, aby fronta stanice nezasahovala do stanice predchádzajúcej.

Druhá podmienka v druhej sekcii (Obr. 41) využíva túto skutočnosť, čím zabezpečuje, aby sa nezačali inkrementovať pointer mimo stanice WS0, ktorá slúži ako depo (vždy začína označovať vozík ako prvá).

Podmienka v tretej sekcii obsahuje volanie funkcie *Hook_Gate*, ktorá priamo vracia údaj či má vozík držať/prepustiť (bližšie popísanej v kap.5.2.5.2).

5.2.5.1 Pamäť vozíkov

Pamäť každého z vozíkov pozostáva zo sedemnástich bitov (príznakov), ktoré aktualizujú prevažne výrobné stanice s výnimkou *corrig* a *passed* (nastavuje merací systém cez komunikačný objekt *pcExe*) a ktoré využíva objekt *coCar* na ich následnú správu. Pamäť sa skladá z nasledujúcich príznakov:

- *site00* až *site05* – sú príznakom zaevidovania vozíka danou stanicou (nezáleží tu na vykonaní montážnej sekvencie);
- *npas00* až *npas05* – sú príznakom chybného spracovania vozíka;
- *loaded* – príznak naloženia vozíka;
- *worked* – príznak, či sa má vozík spracovávať (nastavuje sa v stanici WS1);
- *passed* – príznak pozitívneho výsledku meracieho testu;
- *corrig* – príznak, či je chyba vozíka opraviteľná;
- *making* – príznak vozíka aktuálne spracovávaného v stanici.

Pamäť o šesnástich prvkoch by sme mohli definovať ako kruhový register, ktorého princíp aktualizovania pamäte je vysvetlený v nasledovnom texte (ide o jednoduchý príklad s jediným vozíkom na linke). Prvý vozík prechádzajúci stanicami po inicializácii linky sa postupne zastavuje v každej stanici, kde sa z inicializačnej hodnoty (*16*) inkrementuje pointer vozíka na *0*. V každej stanici sa aktivuje premenná pamäte vozíka *site* s príslušným indexom stanice. Následne, keď vozík vojde do depa WS0, všetky pointer stopper-ov staníc ukazujú na jediný vozík s indexom *0*, s výnimkou pointera v stanici WS0, ktorý už má vozík v stanici druhýkrát, a tak inkrementoval pointer na *1*. Ak by sme ten istý vozík poslali na montáž ešte šesnástkrát, pamäť „pretečie“ a znova bude indexovať od *0*.

Aby sa zabránilo zmätkom v správe vozíkov, v poslednej stanici WS5 sa pamäť vozíkov maskuje pomocou funkcie *maskMemory*.

5.2.5.2 Funkcie podmienok zadržania (*Hook_Gate*, *Some_Gate*, *Buff_size*)

Správne prepustenie/zadržanie vozíka na stopper-y je kľúčovým prvkom riešenia správy vozíkov. Podmienky sú zoradené prioritne tak, aby počas neinicializovanej linky vozíky prechádzali všetkými stanicami až k stanici WS0. Následne sa kontroluje, či má vozík počítačom zakázané odísť (príkaz *Halting*) a či bol stanicou označený ako zaevidovaný (príznak *site*). Poslednými podmienkami sú, či má nasledujúca stanica miesto

v zásobníku vozíkov a či fronta v depe neprekročila limitujúcu úroveň (5.2.4), čím by pozastavila prepúšťanie vozíkov z poslednej stanice.

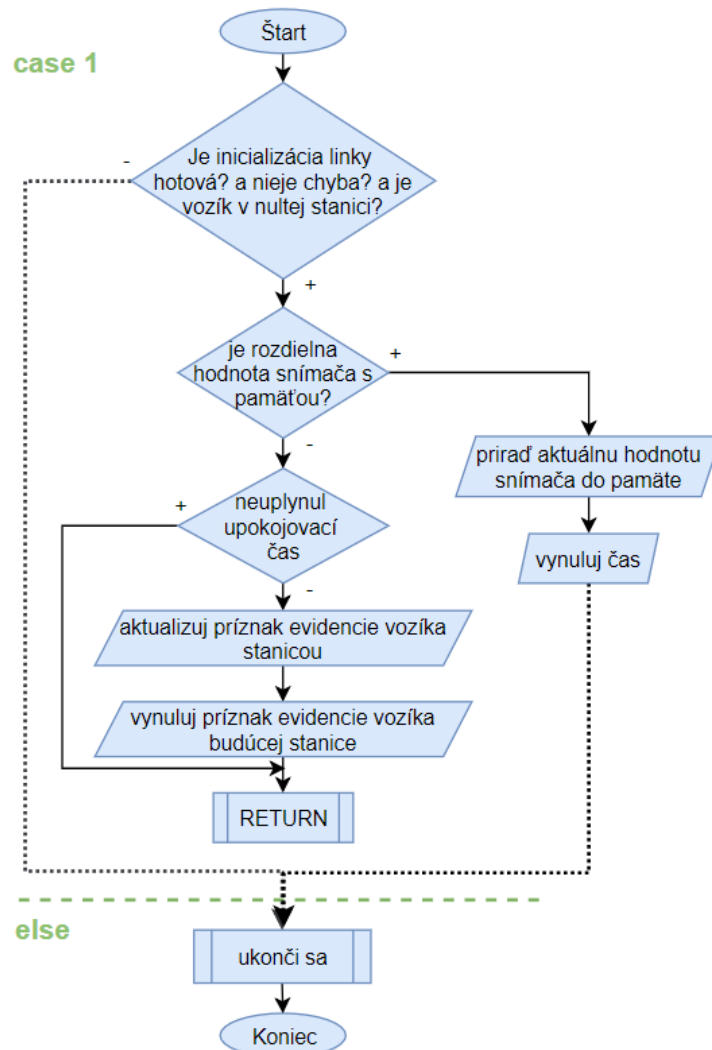
5.2.5.3 Ostatné funkcie (*AllCars_Void*, *AllinDepo*)

Dvojicu jednoduchých funkcií tvoria *AllCars_Void* a *AllinDepo*. *AllCars_Void* slúži na určenie, či sú všetky vozíky prázdne a využíva sa pri ukončovaní produkcie. Funkcia *AllinDepo* slúži na zistenie, či sú všetky vozíky v depe a využíva sa pri *servisnom režime* (konkrétne pri výmene elektród).

5.2.6 Pracovná stanica WS0 (ws00)

Objekt vykladacej operátorskej stanice *ws00* je najjednoduchším z objektov, pričom zastáva na linke funkciu *depa* (pri inicializácii a reštarte sa tu uskladnia všetky vozíky). Pred inicializáciou linky stanica vozíky zadržiava a po nej prázdny vozíkom povoľuje prechod prostredníctvom aktualizácie pamäte (*site00*) vozíka. Na vývojovom diagrame je znázornená ustáľovacia doba ultrazvukového senzora (druhá a tretia podmienka), aby sa v dôsledku šumu, či manipulácie rukou neprepúšťali naložené vozíky. Aktivácia príznaku *site00* (na základe ktorého bude vozík prepustený) prebieha iba ak je vozík prázdny a neprebíha *ukončovací režim* linky alebo ak je vozík prázdny, prebieha *ukončovací režim* a všetky vozíky nie sú vyložené. Pri ukončovaní produkcie sa tak v tejto stanici vykladajú vozíky, až dokým činnosť linky neustane.

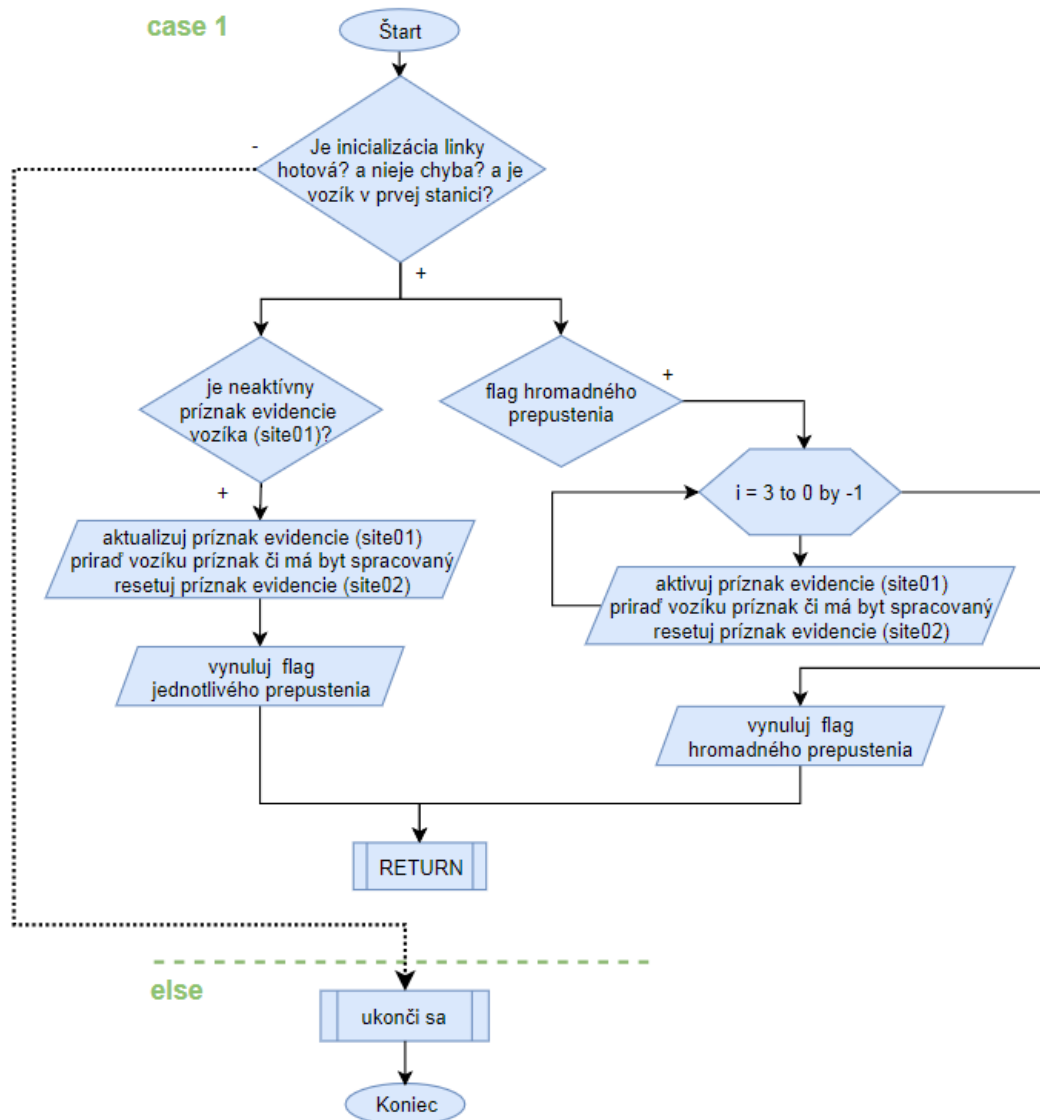
Obsluha objektov všetkých pracovných staníc je umiestnená v *50 ms* slučke (*Loop_50ms*) a spúšťanie funkcie riadi podobne ako pri *pcExe Automat* cez *Unit-y*.



Obr. 42: Vývojový diagram ws00

5.2.7 Pracovná stanica WS1 (*ws01*)

Objekt operátorskej nakladacej stanice linky *ws01* je jediným poloautomatickým objektom stanice. Jeho úlohou je obslúžiť prepustenie samotného, prípadne celého zásobníka vozíkov stanice (max. 4) súčasne. O tom, či má byť prepustený jeden, prípadne viac rozhoduje funkcia *BL_driver* (kap. 5.4.5) pomocou flagov *StartKnob*, *GstartKnob*. Dôležité je tu hlavne nastavenie príznaku *worked* (či má byť vozík ďalej spracovávaný), ktorý sa nastavuje v závislosti od toho, či prebieha ukončenie produkcie (*ExitMode*). Ak prebieha ukončenie produkcie vozíky z tejto stanice odchádzajú automaticky s tým, že v ďalších staniách nebudú spracované.



Obr. 43: Vývojový diagram *ws01*

5.2.8 Pracovná stanica WS2 (*ws02*)

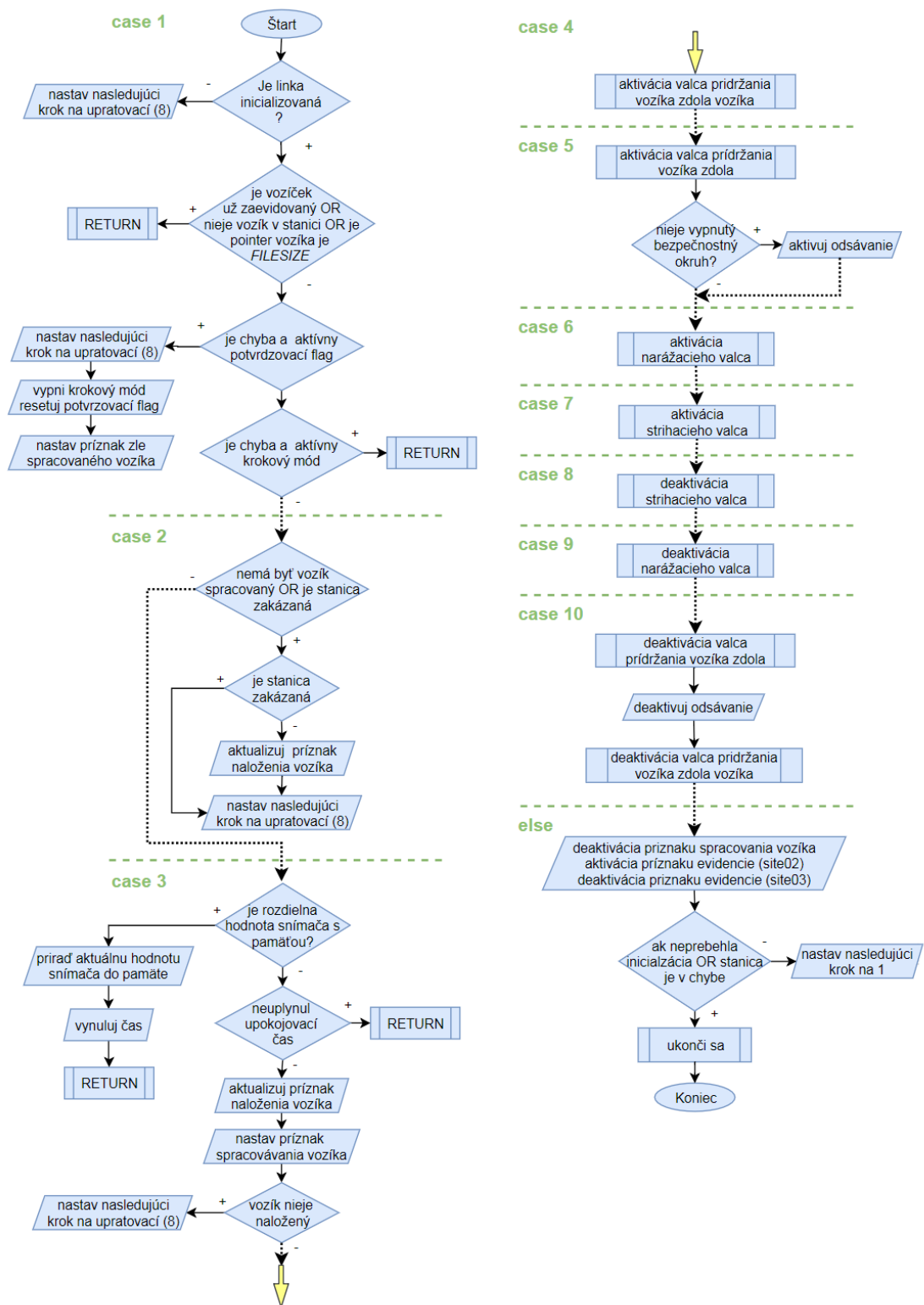
Princíp sekvenčnej časti objektu *ws02* je znázornený na Obr. 44. Ide o pokročilejší objekt, ktorý automaticky na základe výsledku kapacitného snímača (snímajúceho naloženie cievky) buď povolí vozíku prepustenie (nenaložená cievka) alebo vozík spracuje (narazí a prestrihne kontakt ku cievke).

V prvom kroku sa overuje, či má stanica čo vykonávať a taktiež sa tu vykonáva procesné ošetrovanie chýb. Ak nastala chyba, linka automaticky nastaví *krokový režim* (preruší sa činnosť) a užívateľ môže chybu buď potvrdiť a neopravovať diel alebo môže zrušiť *krokový režim* a proces sa pokúsi o opravu (vykoná sa znova).

Overenie, či sa bude vozík spracovávať je taktiež v druhom kroku, kedy môže byť činnosť stanice zakázaná PC (nastáva v prípade *korekčného režimu*, kedy je možné povoliť iba určité stanice pre prípad opravy/opätovného premerania dielu) alebo vozík prechádza v *ukončovacom režime* (s resetovaným príznakom *worked*). V prípade *korekčného režimu* sa vozík bez merania označí ako naložený, aby mohol byť ďalej spracovávaný.

Tretí krok je krokom, pri ktorom sa sníma naloženie vozíka, podobne ako v objekte *ws00* aj tu sa ošetruje šum senzora. Ostatné kroky okrem *else* volajú objekty valcov, čím vykonávajú potrebné montážne úkony. V poslednom kroku sa nastavia príznaky vozíka a v bežnej prevádzke bez poruchy stanice sa nasledujúci krok nastaví opäť na jedna.

Na diagrame je vidieť často sa vyskytujúci skok na upratovací krok (*case 8*), ktorý má s nasledujúcimi krokmi za úlohu „upratať“ (inicializovať stanicu) do pôvodného stavu. Ide o najdôležitejšiu časť sekvencie programu staníc, ktorá je navrhovaná tak, aby pri prerušení v akomkoľvek kroku sekvencie nedošlo ku kolíznej situácii zariadenia. Tieto kroky sa využívajú pri inicializácii linky, pri chybách a iných činnostiach, kedy je vhodné ukončiť montážny proces.



Obr. 44: Vývojový diagram ws02

5.2.9 Pracovná stanica WS3 (ws03)

Najrozsiahljšou a najzložitejšou stanicou je stanica WS3, ktorá na úvod kontroluje prítomnosť kontaktu (aby sa pri následnom zváraní naprázdno neprizvárali elektródy), následne napolohuje zváracu hlavu na zváranie, prizvára jeden kontakt, napolohuje zváracu hlavu na druhú stranu cievky a prizvára aj druhý kontakt. Súčasťou pracovnej sekvencie je aj automatické čistenie elektród brúskou.

Sekvenčná časť je kvôli dvom zváraniam navrhnutá tak, aby sa časť sekvencie vykonala dvakrát, v súvislosti s čím vznikli parametre druhý kontakt (*secWel*) a ukončenie (*quit*), ktoré zabranujú/povoľujú vykonávanie určitej sekcie druhýkrát. Vývojový diagram objektu je znázornený na Obr. 45 a Obr. 46. Sekvenčná časť objektu využíva podobné princípy upratovacích krokov a takmer totožný prvý krok ako pri objekte *ws02*, v dôsledku čoho nie je tento krok uvedený na diagrame.

V druhom kroku dodatočne pribudli ošetrenia konkrétnych chýb (3 a 4), ktoré sú neopraviteľné a teda aj v prípade, že ich operátor chce nechať opraviť, oprava nebude vykonaná. Tieto chyby sú taktiež zobrazované na operátorskom paneli (priamo na domovskej stránke). Novinkou je tu aj vyvolávanie chýb (napr. krok 8), ktoré cyklus vrátia opäť na začiatok sekvencie, kde sa rozhoduje, čo ďalej.

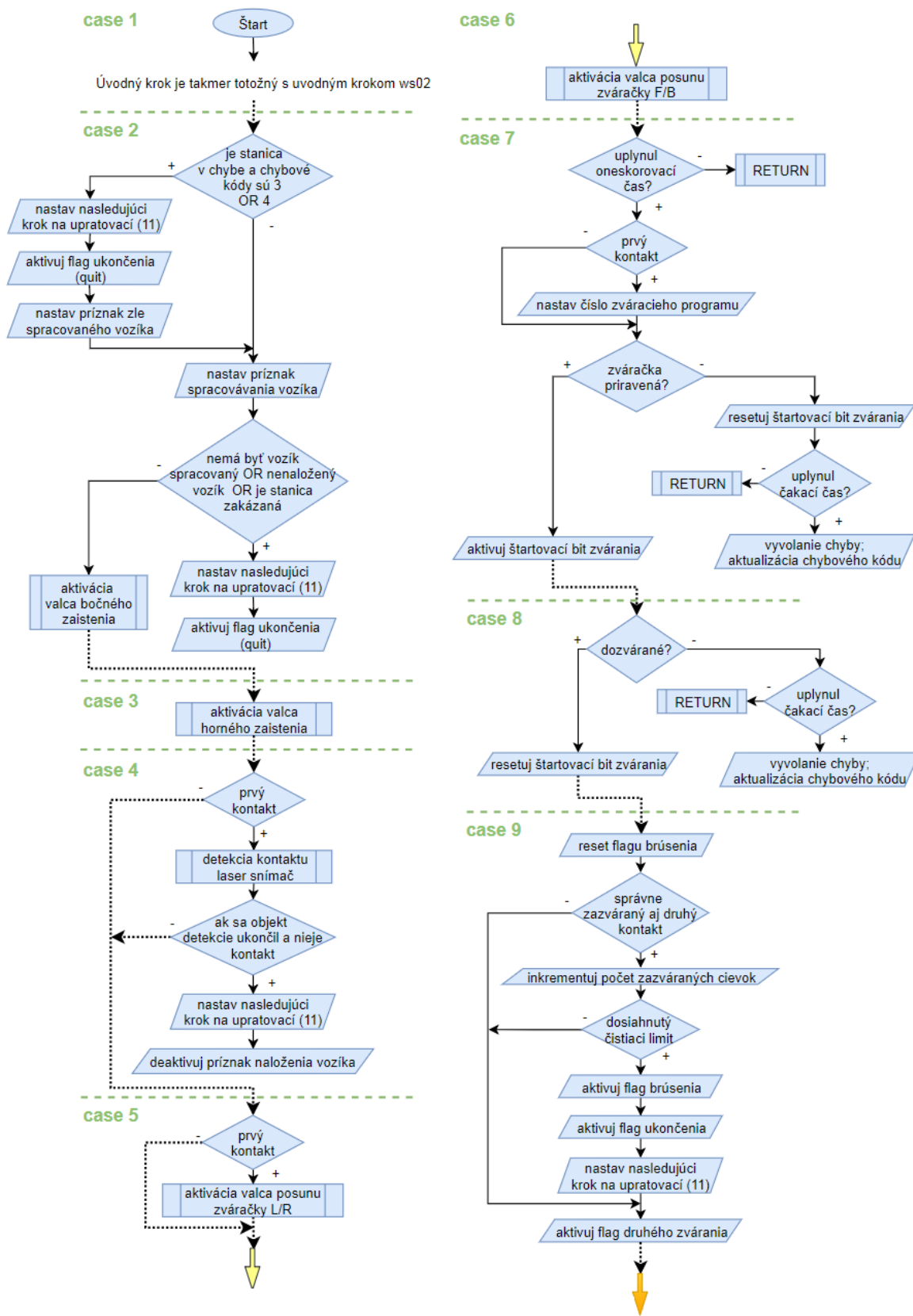
Kontrola prítomnosti kontaktu je uskutočnená v štvrtom kroku a po napolohovaní zváracej hlavy sa ovláda zvárací cyklus podľa Obr. 36 (kroky 7 a 8).

V deviatom kroku sa kontroluje, či počet správne zazváraných cievok dosiahol čistiaceho limitu, na základe ktorého sa vykoná prebrúsenie elektród.

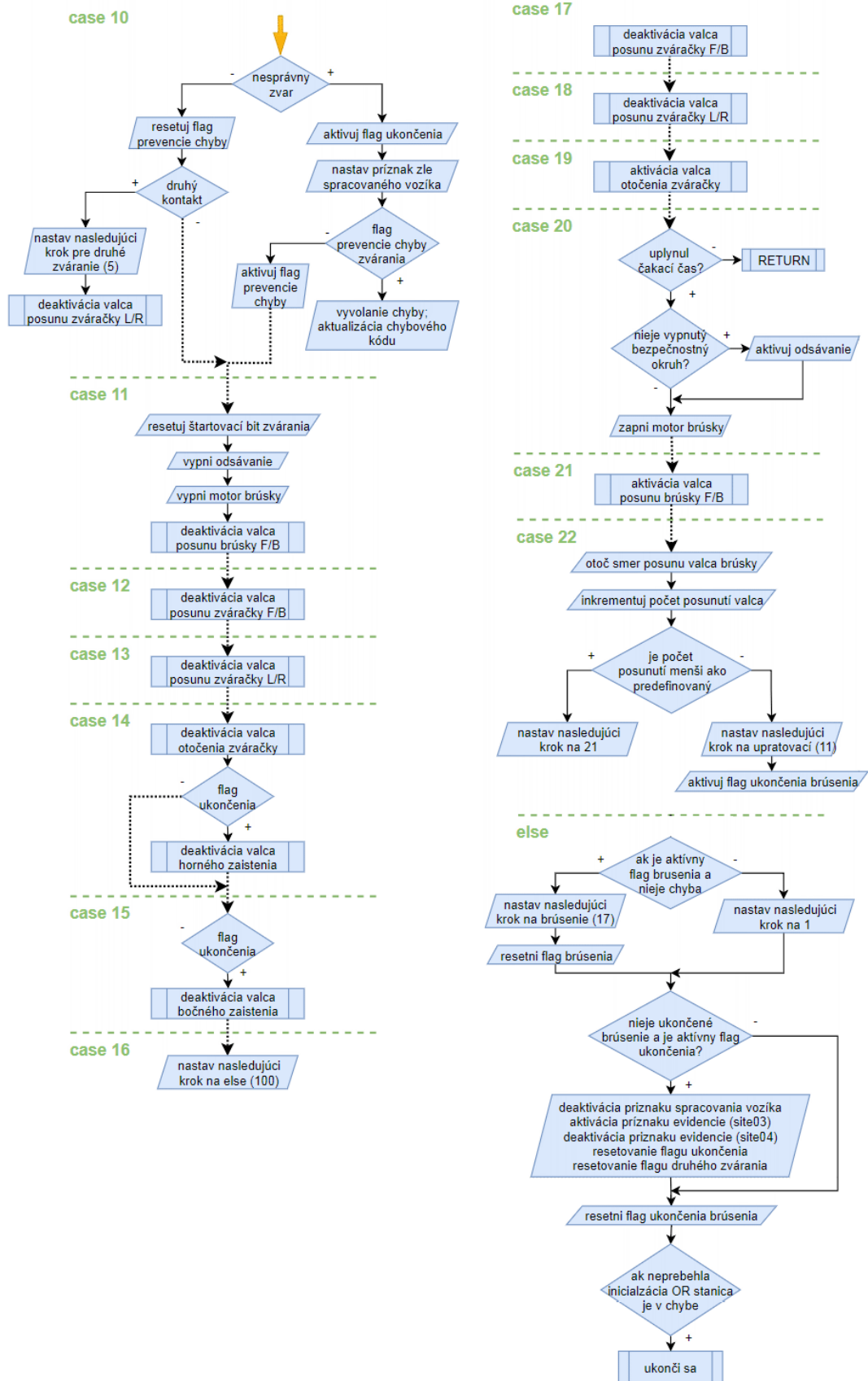
Následný desiaty krok slúži na prevenciu v prípade, ak boli na dvoch cievkach po sebe zlé výsledky zvárania. Ak taká situácia nastane, vyvolá sa chyba, ktorá operátora upozorní nato, aby bol skontrolovaný zvárací systém.

Upratovacie kroky sa nachádzajú na krokoch 11 až 16, po ktorých proces prejde do kroku *else*, v ktorom sa na základe flag-u brúsenia nastaví ďalší krok buď na brúsiaci alebo na prvý. Aktualizovanie pamäte vozíka (prepustenie) nastáva už pred začiatkom brúsenia, čím sa ušetrí čas kompletného montážneho cyklu tejto stanice, ktorá je pochopiteľne najpomalšou stanicou linky.

Poslednými nepopísanými krokmi sú kroky 17 až 22, ktoré napolohujú zváracu hlavu k brúsiacej časti stanice, zapnú odsávanie, motor brúsky a cyklicky pohybujú brúsnym kotúčom zo strany na stranu. Sekvencia po brúsení pokračuje v upratovacích krokoch, kde sa stanica opäť nastaví do kludovej polohy.



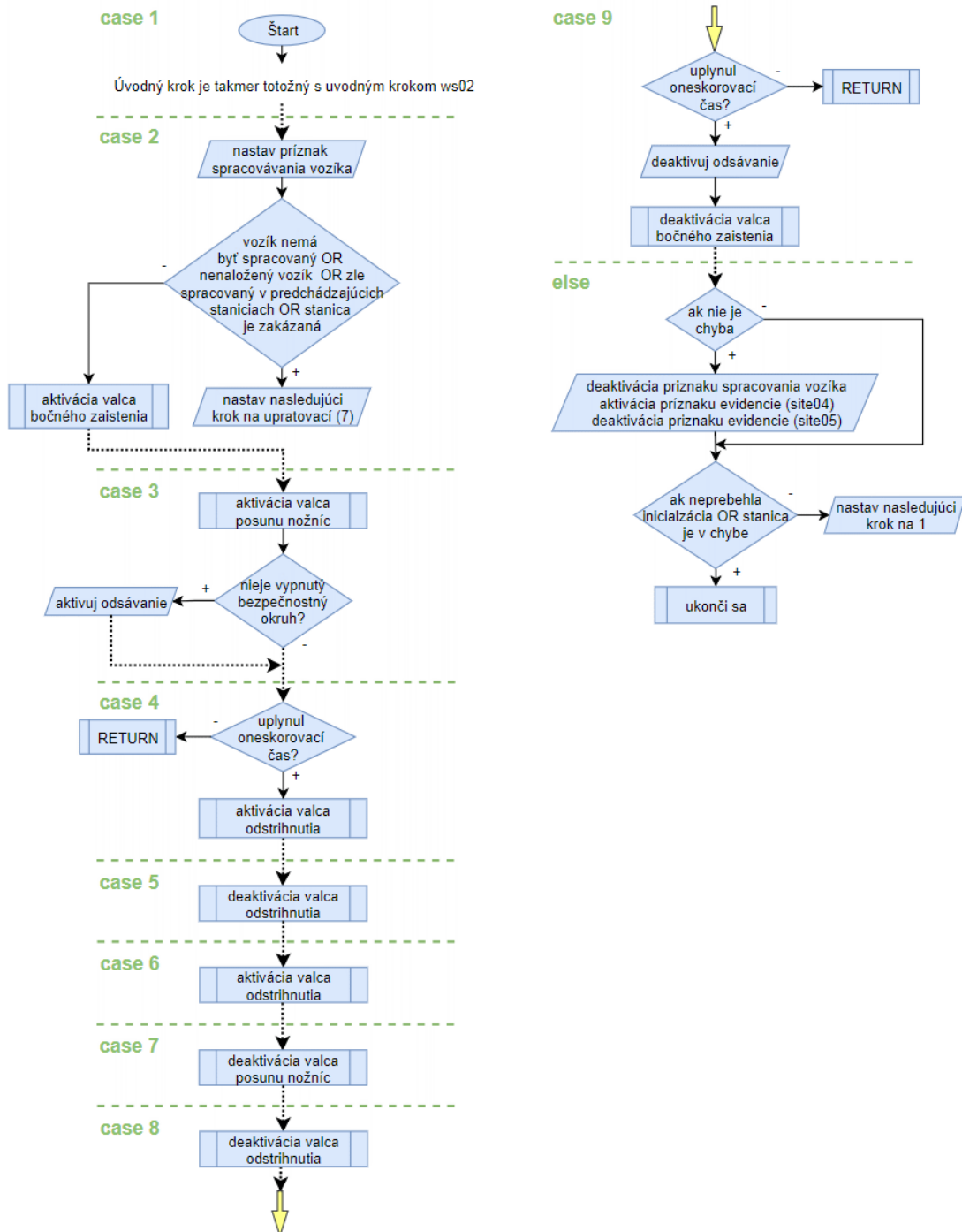
Obr. 45: Vývojový diagram ws03 časť 1.



Obr. 46: Vývojový diagram ws03 časť 2.

5.2.10 Pracovná stanica WS4 (ws04)

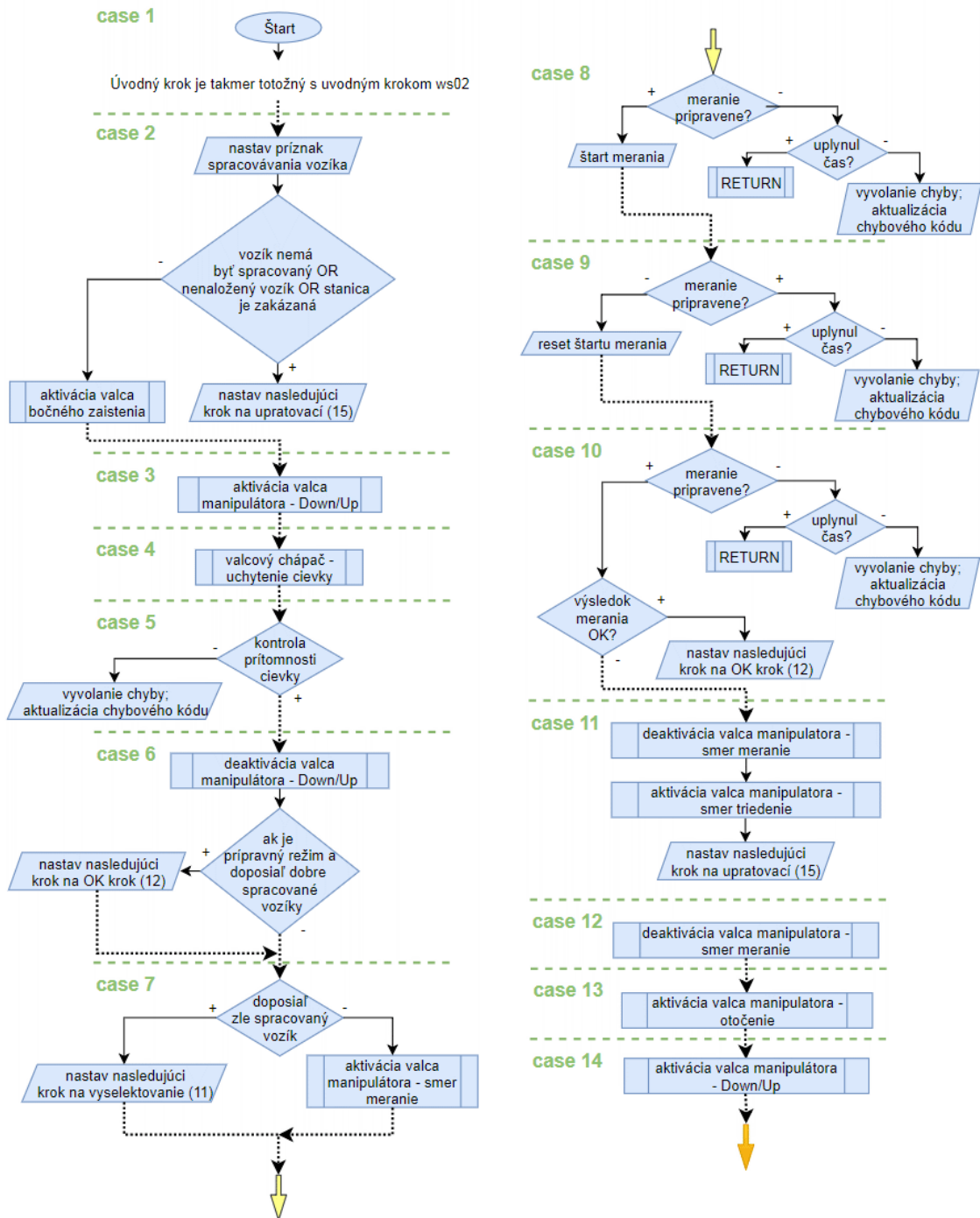
Sekvenčná časť objektu štvrtej stanice *ws04*, je uvedená na Obr. 47., kde sa odstrihávajú prebytočné časti kontaktu cievky. Pred samotným odstrihom (strihá na dvakrát) je implementované oneskorenie, ktoré má za úlohu spolu s odsávaním ochladiť plastové časti kostričky cievky, aby sa prebytočné časti cievky dali jednoducho odsat'. Princípy krokov a následnosti sú vysvetlené v predchádzajúcich kapitolách.



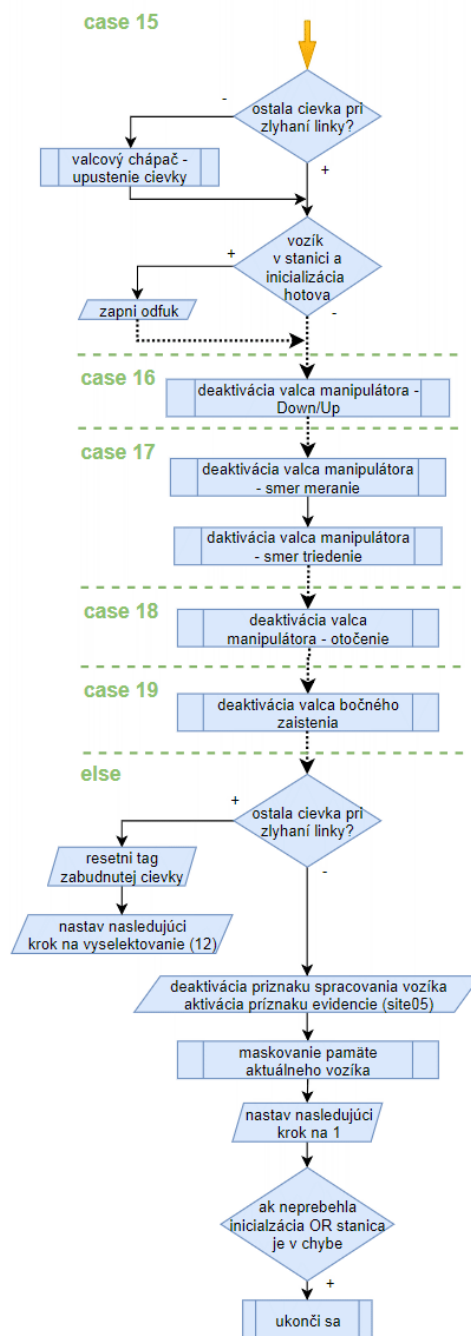
Obr. 47: Vývojový diagram ws04

5.2.11 Pracovná stanica WS5 (ws05)

Posledná pracovná stanica je meracia a triediaca stanica WS5. Sekvenčná ovládacia časť objektu stanice musí cievku z vozíka zdvihnúť, prisunúť ju ku kontaktovacím ihlám meracieho zariadenia a na základe výsledkov merania buď vyselektovať cievku do odpadovej prepravky alebo vrátiť správne spracovanú pootočenú cievku na vozík. Pootočenie cievky je nutné z dôvodu možnej nepresnosti dosadnutia kontaktov cievky.



Obr. 48: Vývojový diagram ws05 časť 1.



Obr. 49: Vývojový diagram ws05 časť 2.

Významnou časťou je ošetrovanie cievky držanej gripper-om počas výpadku/reštartu linky (kroky 15 a *else*). Gripper nesmie cievku v takomto prípade upustiť, nakoľko nie je zabezpečené, aby táto cievka nenarušila následnú činnosť stanice.

5.2.12 Inicializačný objekt linky (*goHom*)

Úlohou objektu *goHom* je zinicializovať linku tak, aby boli všetky pracovné stanice „upratané“ (bezkolízne nastavenie kľudových polôh staníc), komunikácia s PC aktívna

a taktiež aby bol na linke aspoň jeden vozík (inak je jej zapínanie zbytočné). Objekt hneď po zavolaní vykoná funkciu *Init_Memory*, ktorá resetuje pamäť vozíkov nastaví pointre vozíkov staníc na *FILESIZE*, vynuluje čas od odchodu poslednej paletky stanicou (*MissTime*) a nastaví počítačom upravované parametre v závislosti od *prípravného režimu*.

V ďalšom kroku objekt priamo vyvolá všetky pracovné stanice, ktoré sa automaticky začnú reinitializovať (pretože nie je nastavený tag *InitDone*). Po ich reinitializácii sa v ďalšom kroku čaká na splnenie podmienok:

- aspoň jeden vozík v depe (WS0);
- aktívna komunikácia s PC (ak nie je *prípravný režim*);
- čas (*MissTime*) po odchode posledného vozíka zo stanice väčší ako 10s.

Ak sú všetky podmienky splnené, objekt aktivuje *InitDone* a ukončí sa. Objekt *goHom* je po spustení obsluhovaný každých 100 ms, pričom ho podobne ako pri *pcExe* a stanicach spúšťa *Automat* v závislosti od tagu *InitDone*.

5.3 Režimy činností

Linka môže počas svojej činnosti pracovať v rôznych režimoch, ktoré budú vysvetlené v nasledujúcich podkapitolách.

5.3.1 Krokový režim

Pokiaľ je aktívny *krokový režim*, okrem dopravníka zariadenie v tomto režime nevyvíja žiadnu spontánnu aktivitu. Jednotlivé kroky sa postupne vykonávajú stlačením tlačidla ovládacieho panelu *ŠTART*.

Do *krokového režimu* sa linka môže dostať buď zásahom obsluhy alebo samočinne. Samočinnú aktiváciu môžu vyvolať niektoré poruchy, aby sa tak zabránilo neočakávaným aktivitám stroja (využitie pri objektoch staníc v sekcii kontroly chýb *Driver-a*). Obsluha môže kedykoľvek vyvolať alebo ukončiť *krokový režim* pomocou tlačidla ovládacieho panela *KROK*.

Krokový režim v programe označuje globálny tag *StepMode*, ktorá je kontrolovaná v inicializačnej časti *Driver-ov* hierarchicky nižších objektov. V prípade aktivovania tohto režimu sa automaticky pozastavia aj nadradené objekty čakajúce na tie najnižšie.

5.3.2 Prípravný režim

Prípravný režim (tag *setup*) je neštandardným režimom, v ktorom je linka prevádzkyschopná aj bez pripojeného PC. Všetky potrebné nastavenia sú tak vykonávané prostredníctvom operátorského panela a meranie v stanici WS5 sa iba

simuluje (výsledok sa považuje vždy za správny). Využitie režimu je vhodné pri testovaní linky, kedy sa overujú jednotlivé funkcie samotného riadenia.

Vyvolanie prípravného režimu je možné iba pri zapínaní zariadenia pomocou súčasne stlačených tlačidiel ovládacieho panelu *ŠTART* a *STOP*, prípadne otočeného servisného kľúča. Zariadenie v tomto režime pracuje až do vypnutia.

5.3.3 Servisný režim

Možnosti servisného personálu výrazne rozširuje obmedzenie niektorých bezpečnostných prvkov v *servisnom režime*. Pri správnom použití prenosného bezpečnostného spínača deadman sa môžu otvárať bezpečnostné dvere (súčasne môžu byť otvorené iba jedny dvere) aj počas výroby bez akéhokoľvek vplyvu na chod zariadenia.

V *servisnom režime* je taktiež možnosť aktivácie *výmenny elektród*, kedy je možné otvoriť obe dvere súčasne bez použitia deadman-a. Pri aktivácií *výmenny elektród* sa čaká na zhromaždenie všetkých vozíkov v depe, aby sa zabránilo potenciálnym kolíziám. Po úspešnom zhromaždení vozíkov v depe sa automaticky odblokujú zámky dverí. Odomknutie zámkov však v tomto prípade nie je samozrejmosťou, nakoľko funkcia slúži aj ako kontrola správneho indexovania vozíkov. Teda pri poruche nedôjde k odomknutiu zámkov a je nutné reštartovať linku (*Reset_command*). Po uzatvorení dverí a deaktivovaní *výmenny elektród* stačí zapnúť produkciu (*ŠTART*) a linka sa opätovne uvedie do prevádzky.

Servisný režim (tag *service*) je ovládaný pomocou servisného kľúča, umiestneného na ovládacom paneli.

5.3.4 Korekčný režim

Korekčný režim je možno výhodne využívať pri selektívnej prevádzke zariadenia, kedy sa na PC nastaví, ktoré montážne operácie sa majú vykonávať (premenná *cWork*). Obsluha nakladá vhodné diely tak, aby boli spracovateľné vo vybranej stanici. Využíva sa prevažne v prípade opätovného premerania parametrov cievky. Aktivácia/deaktivácia režimu je nastavovaná výberom staníc na PC.

5.3.5 Ukončovací režim

Ukončovací režim (tag *ExitMode*) je aktivovaný tlačidlom *STOP* ovládacieho panelu a má za úlohu ukončiť produkciu, čím uvedie linku do inicializačného stavu. Naložené vozíky, ktoré opustili stanicu WS1 pred štartom *ukončovacieho režimu* budú montážne dokončené, zatiaľ čo ostatné vozíky v stanici WS1 budú automaticky prepustené. Po odobratí všetkých výrobkov sa vozíky zhromaždia v depe (WS0) a činnosť linky ustane. Ukončovací režim ruší až tlačidlo *ŠTART*, ktoré štartuje produkciu.

5.4 Funkcie

FC tvoria neoddeliteľnú súčasť riešenia práce. V nasledujúcich podkapitolách budú popísané iba najdôležitejšie funkcie.

5.4.1 Riadenie hlavných objektov (*Automat*)

Automat je funkcia, ktorá na základe aktuálneho stavu linky spúšťa a koriguje prebiehajúce procesy. Na tento účel využíva rozhrania procesov *Unit* (kap. 5.4.2). Funkcia je volaná v *100 ms* slučke.

Pri inicializácii riadiaceho systému (*WarmUp*) sa vypínajú objekty staníc z dôvodu ich pokračovania, v prípade neštandardného vypnutia počas pracovného cyklu stanice. Keďže však nevieme určiť ako dlho linka po takomto vypnutí stojí a aké úkony sa na nej vykonávajú, je vhodnejšie vypnúť tieto stanice pri inicializácii linky.

Po vykonaní inicializácie riadiaceho systému, prípadne po reštarte linky (kap. 5.4.6) je premenná *InitDone* resetovaná, čo spôsobí zapnutie inicializácie linky (*goHom*). Ako náhle je inicializácia ukončená, objekt *goHom* sa prestane spúšťať. Po inicializácii linky sa cyklicky spúšťajú objekty pracovných staníc

Komunikácia medzi PLC a PC je spúšťaná/vypínaná v závislosti od toho, či sa linka nachádza v *prípravnom režime*.

5.4.2 Rozhranie volania objektov (*Unit*)

Aby bolo možné jednoducho spúšťať objekty a ďalej sa nestarať o priebeh procesu volaného cez komunikačný kanál (*PAF*), boli zriadené *Unit-y*, ktoré sú rozhraním medzi kanálom a prostredím. Využívajú sa vo funkcii *Automat*, ktorá by sa bez ich použitia stala veľmi neprehľadnou a komplikovanou, nakoľko by sa mala starať o všetky komunikačné kanály volaných objektov (stanice a komunikácie) zároveň.

Volajúci tak iba nastaví štartovací bit *Unit-u* volaného objektu, ktorý sa už postará o priebeh procesu prostredníctvom komunikačného kanála. Správca *Unit-ov* (*Unit_Manager*) je obsluhovaný každých *100 ms* a vyvoláva všetky *Unit-y*.

5.4.3 Monitorovanie objektov a periférií (*Scan_Manager*, *Scan_Satellite*)

Na sledovanie celkového stavu zariadenia slúži *Scan_Manager*, ktorý počas volania jednotlivých *Scan* funkcií objektov aktualizuje globálne tagy (*Error*, *Busy*) a prenáša povel reštartu. Je volaný v najpomalšej navrhutej slučke (*Loop_500ms*).

Funkcia *Scan_Satellite* slúži pre sledovanie periférií a aktualizáciu dôležitých premenných, ktoré ovplyvňujú činnosť všetkých pracovných staníc. Vykonáva sa tu nastavenie požiadavky k bezpečnostnému kontroléru na odomknutie oboch dverí (*soSoftin*) pri výmene elektród. Ďalej sa tu aktualizuje čas pre operátorský panel, ovládanie jedného ventilu odsávania z dvoch pracovných staníc a sledovanie

stavu bezpečnosti zariadenia. Poslednou implementovanou funkciou je funkcia pokračovania po výpadku vzduchu, kde sa na základe stavu bezpečnosti a odpovede operátora vyhodnocuje, či má linka po aktivovaní prívodu vzduchu pokračovať v procesoch alebo sa reinitializovať. V prípade, ak operátor na otázku neodpovie alebo sa neaktivuje prívod vzduchu do troch minút je automaticky vyvolaný reštart. Automatické vyvolanie reštartu do určitého času je dôležité, nakoľko vzduchové ventily nedokážu trvalo držať stav.

5.4.4 Tlačidlá (*Key_Manager, Key, Kei*)

Kei je jednoduchá funkcia maskovania tlačidiel zo vstupného *byte-u*, ktorú využívajú funkcie *Key* a *Key_Manager*. *Key* funkcia slúži na vyvolanie *prípravného režimu* a volá sa iba raz za priebeh programu (pred koncom inicializácie riadiaceho systému).

FB *Key_Manager* je funkcia spravujúca tlačidlá počas celého behu programu (okrem inicializácie systému). Spravuje povely tlačidiel a ich kombinácie tak, aby nedochádzalo k vyvolaniu jedného príkazu viackrát a zároveň, aby nedošlo pri kombinovanom povelu k zámene povelu. Zadaný povel je akceptovaný iba ak sa počas troch obslužných vykonaní *Key_Manager*-a nezmenil. Manažér je obsluhovaný každých *50 ms*.

5.4.5 Signalizačné prvky linky (*Indi_Manager, Bl_driver*)

Indi_Manager slúži na ovládanie indikačných prvkov a akustického signálu, ktorých význam je definovaný v kap. 3.5.2. Funkcia je obsluhovaná v *250 ms* slučke, čo má za následok blikanie indikačných svetiel s frekvenciou *4 Hz*. Blikanie svetiel v tomto prípade môže slúžiť aj ako ukazateľ korektného behu systému (kap. 4.1). Ak by bol systém preťažný, blikanie by bolo nepravidelné a spomalené.

Bl_driver je FB slúžiaci na ovládanie podsvieteného tlačidla. Okrem nastavenia farby podsvietenia sa tu nastavujú aj flag-y stlačenia, ktoré sú po splnení funkcie resetnuté. Podsvietenie tlačidla je navrhnuté tak, aby sa prioritne určovala farba podsvietenia. Najvyššiu prioritu má červené podsvietenie (indikujúce chybu pracovnej stanice) nasledované zeleným a bielym podsvietením (prepúšťanie vozíkov). Výhodou tohto riešenia je, že nie je možné prepúšťať vozíky počas chyby. Pri zmene podsvietenia je implementované oneskorenie, aby nedochádzalo k nesprávnym potvrdeniam pri náhlej zmene podsvietenia.

5.4.6 Reštart linky (*Reset_command*)

Reset_command je funkcia globálneho reštartu linky. Nastavuje inicializačný flag *ResetIni*, ktorý je preberaný a ďalej sprostredkovaný pomocou *Scan_Manager*-a. Reštart linky spôsobí automatický prechod do *krokového režimu* spolu s nepriamym spustením inicializačného objektu (*goHom*).

5.5 Operátorský panel

Neoddeliteľnou súčasťou linky je servisný operátorský panel, ktorého funkcie by sa dali rozdeliť na dve časti, a to informačnú a ovládaciu. Informačnými funkciami sú monitoring stavu linky, záznamník chýb a ukazateľ aktuálne prebiehajúcich procesov. V prípade ovládacích funkcií sú to nastavenie parametrov linky a manuálny režim.

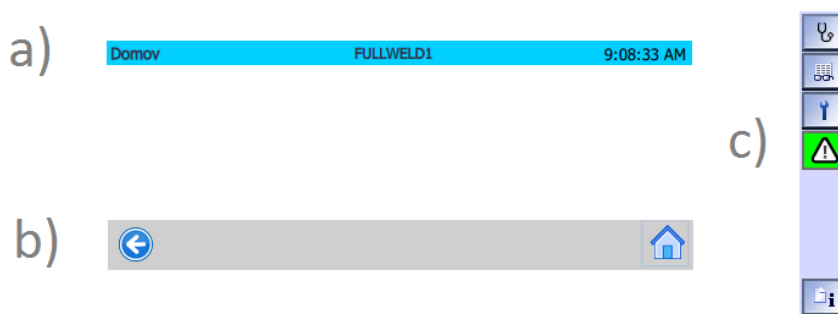
Pre správnu funkciu operátorského panelu boli v PLC realizované dve funkcie, a to *pane_Manu* (spravuje manuálne ovládanie valcov a podmienku pre prístup k manuálnemu ovládaniu) a *pane_Func* (aktualizuje zostávajúci čas otázky pokračovania a animáciu pripojenia).

5.5.1 Šablóna obrazoviek

Prioritou pri návrhu šablón bolo jednoduché a intuitívne ovládanie panelu. Každá z obrazoviek obsahuje hornú informačnú lištu, kde sa uvádza názov obrazovky, názov projektu a aktuálny čas (Obr. 50a). Spodná lišta (Obr. 50b) je súčasťou všetkých obrazoviek okrem domovskej a obsahuje dvojicu tlačidiel:

- šípka - návrat na poslednú stránku;
- dom – návrat na domovskú stránku.

Bočná lišta (Obr. 50c) je súčasťou výhradne domovskej stránky a obsahuje päťicu grafických tlačidiel, ktoré otvárajú príslušné obrazovky, menovite (zhora nadol): *Procesy*, *Manuálne ovládanie*, *Konfigurácia*, *Alarmy* a *Informácie*.

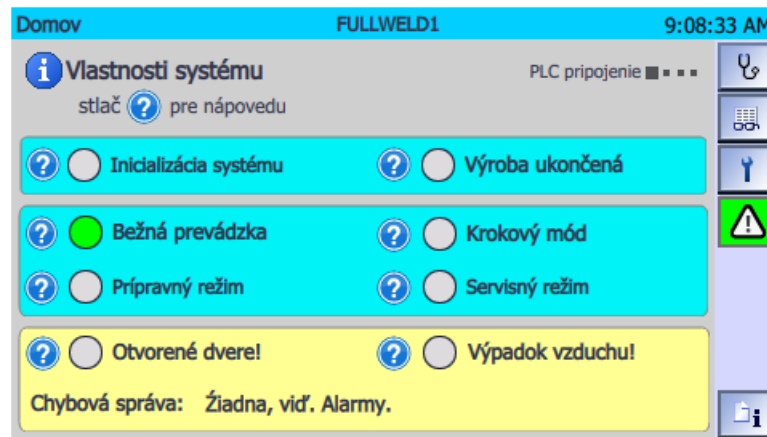


Obr. 50: Ovládacie prvky operátorského panela

5.5.2 Domov

Domovská obrazovka je prednastavená obrazovka po spustení a zobrazuje základné informácie o riadiacom systéme, ktoré informujú v akom stave a režime sa systém nachádza. Žltý podsvietený rámik informuje o otvorených dverách, výpadku vzduchu a procesných chybách definovaných PLC tagom *ErrCode* (napr. „Interná chyba zvráacieho systému“ z *ws03*). Okrem týchto informácií je na obrazovke aktívna

nápoveda, kde si obsluha môže prečítať význam jednotlivých informačných prvkov ako docieľiť ich aktiváciu, prípadne deaktiváciu.



Obr. 51: Domovská obrazovka

5.5.3 Procesy

Na sledovanie aktuálne aktívnych objektov slúži obrazovka *Procesy*. Pri objektoch s viacerými inštančnými objektmi informuje aj o čísle konkrétnej prebiehajúcej inštancie.

No.	Status	Text
I... 58	I	KOMUNIKAČNÝ PROCES: pcSwi
I... 57	I	KOMUNIKAČNÝ PROCES: pcExe
Info 66	I	Stanica 05 - PROCESS PREBIEHA
I... 65	I	Stanica 04 - PROCESS PREBIEHA
I... 64	I	Stanica 03 - PROCESS PREBIEHA
I... 63	I	Stanica 02 - PROCESS PREBIEHA
I... 62	I	Stanica 01 - PROCESS PREBIEHA
I... 61	I	Stanica 00 - PROCESS PREBIEHA

Obr. 52: Obrazovka procesov

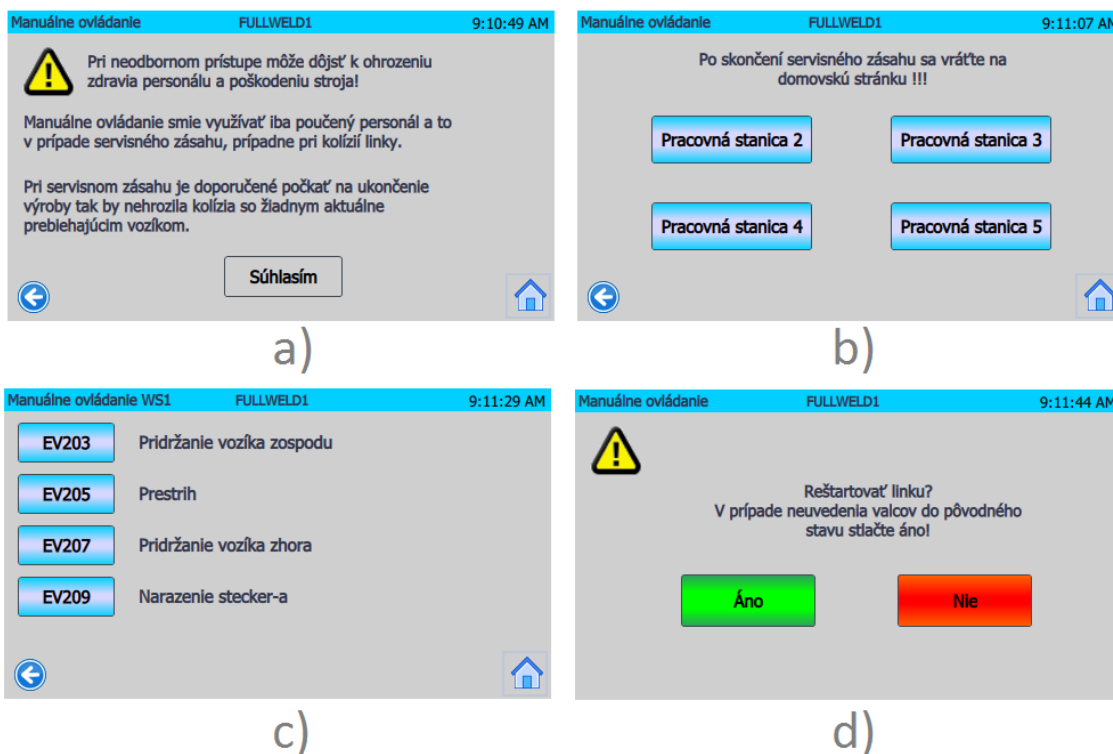
5.5.4 Manuálne ovládanie

Obrazovka manuálneho ovládania slúži na manuálne ovládanie všetkých pneumatických valcov. Nakoľko sa jedná o možnosť zasahovania do spustených procesov, kde hrozia fatálne kolízie linky je obrazovka za bežných okolností neprístupná (viď Obr. 52a – neaktívne tlačidlo). Pre povolenie prístupu poučenej osoby je nutné splniť niekoľko podmienok:

- použiť servisný kľúč;
- linka musí byť inicializovaná;
- aktívny *prípravný režim*, alebo prebiehajúca porucha.

Po splnení podmienok a potvrdení súhlasu sa aktivuje obrazovka výberu pracovnej stanice (Obr. 52b). Výberom jednej z nich sa sprístupní ovládanie jednotlivých valcov danej stanice, ktoré sú definované číslom ventilu a stručným popisom (Obr. 52c).

Aby sa zabránilo procesným chybám z dôsledku nedbalosti uvedenia zariadenia do pôvodného stavu pri opúšťaní manuálneho režimu, vyvolá sa dialógové okno s otázkou, či sa má linka reinitializovať (Obr. 52d).



Obr. 53: Manuálne ovládanie

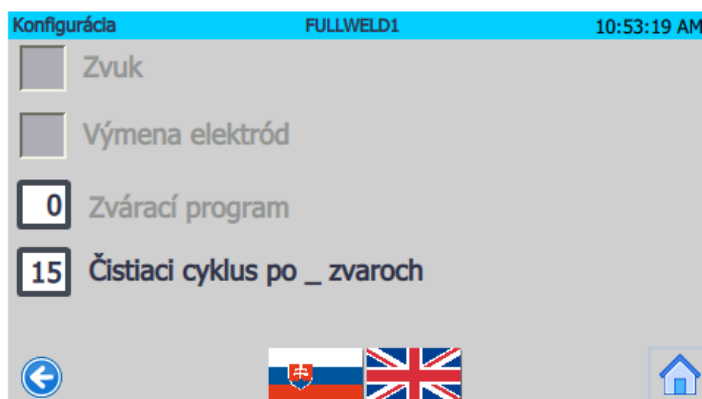
5.5.5 Konfigurácia

Obrazovka nastavenia parametrov linky obsahuje niekoľko základných nastavení linky. Konkrétne ide o výber zvráacieho programu, čistiaci cyklus, ovládanie zvuku, aktivácia výmeny elektród a výber jazyka. Na obrázku Obr. 54 je časť nastavení zašednutá, čo je spôsobené buď nesplnením podmienok (*Výmena elektród*) alebo možnosťou nastavenia na strane PC (*Zvuk*, *Zvráací program*). V prípade *prípravného režimu* sú tu nastaviteľné všetky parametre.

Výmena elektród je prístupná iba v *servisnom režime* a je jeho prídavnou funkciou slúžiacou na odomknutie oboch dverí bez použitia deadman-u (kap. 5.3.3).

Zvráacím programom sa vyberá jeden z prednastavených programov zvráacieho systému. Nultý program je prednastavený po spustení linky počas ktorého zvráací systém nezvára. Je nutné preto vybrať čísla v rozmedzí 1 až 15 prednastavených programov.

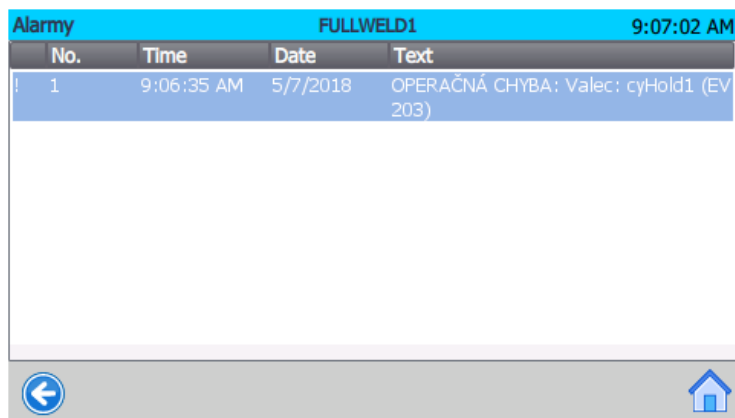
Posledným nastavením je *Čistiaci cyklus po _ zvaroch*, kde zadané číslo udáva počet dobre zvarených cievok po ktorých sa majú automaticky čistiť elektródy.



Obr. 54: Obrazovka konfigurácie

5.5.6 Alarmy

Na obrazovke alarmov sa vypisujú a zaznamenávajú všetky chyby objektov zariadenia. Vďaka časovým údajom je možné chybu spätne dohľadať. Textová časť alarmov obsahuje stručný popis chyby, objektu a jeho inštancie.

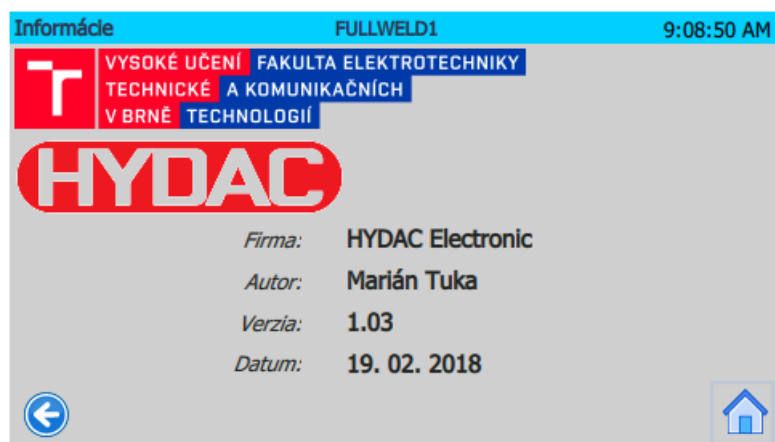


No.	Time	Date	Text
1	9:06:35 AM	5/7/2018	OPERAČNÁ CHYBA: Valec: cyHold1 (EV 203)

Obr. 55: Obrazovka alarmov

5.5.7 Informácie

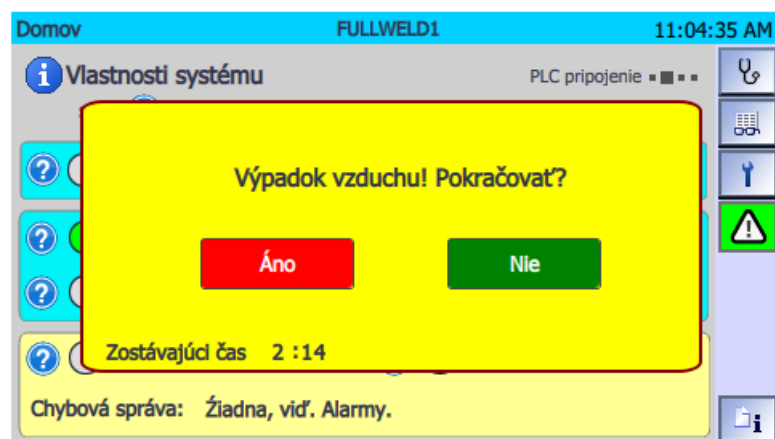
Obrazovka informácií obsahuje základné informácie o autorovi a verzii programu.



Obr. 56: Obrazovka informácií

5.5.8 Dialógové okno pokračovania

Pri výpadku vzduchu sa aktivuje dialógové okno, kedy je nutné do troch minút odpovedať na otázku a opätovne spustiť prívod vzduchu. Ak ide o krátkodobý výpadok nespôsobený zámerné a s linkou nebolo počas doby výpadku mechanicky manipulované, je možné pokračovať v prebiehajúcich montážnych procesoch.



Obr. 57: Dialógové okno pokračovania.

6 BEZPEČNOSŤ

Aby sa docielila bezpečnosť personálu obsluhujúceho linku a servisných technikov, bolo zvolené zakrytovanie pohyblivých častí linky s možnosťou prístupu prostredníctvom dvoch dverí za použitia servisného kľúča, bezpečnostných zámkov a trojpolohového spínača deadman.

6.1 Rizikové časti a ich ovládanie

Rizikovými časťami linky sú dopravník, všetky ostatné pohyblivé časti a samotná zväračka. Dopravník sa ovláda jednoduchým spínaním elektrickej energie pomocou stýkača. Všetky ostatné pohyblivé časti linky sú pneumtické, a tak postačuje ovládať centrálny ventil prístupu vzduchu. Pri zväracom systéme, ktorý priamo neovládame je nutné využiť jeho bezpečnostný vstup, ktorý automaticky zruší akúkoľvek prebiehajúcu činnosť.

Elektrotechnická časť ochrany proti dotyku a ochrany prvkov rozvádzača je nadradenou ochranou a je umiestnená mimo bezpečnostnú časť ovládanú kontrolérom.

6.2 Návrh a realizácia programu

Bezpečnostný kontrolér sa musí bezprostredne postarať o okamžité vypnutie rizikových častí linky ak:

- nastal pokles vstupného tlaku pod stanovenú hodnotu (hrozí poškodenie mechanických častí stroja);
- nie je zapnuté PLC (*soHardIn*);
- je stlačený *Central Stop* spínač.

Okrem týchto všeobecných podmienok pribúda podmienka otvorených a odomknutých dverí, ktorá je rozdielna v bežnej prevádzke a v *servisnom režime*. Počas bežnej prevádzky musia byť dvere neustále zatvorené a zamknuté, naopak počas *servisného režimu* smú byť otvorené, iba ak je zopnutý servisný kľúč a zároveň stlačený deadman alebo ak je zopnutý servisný kľúč a aktívna výmena elektród (*soSoftIn*).

Program navrhnutých bezpečnostných funkcií (viď príloha 4) bol vytvorený pomocou príslušného softvéru kontroléra (kap. 3.4.2) *Mosaic Safety Designer*. Ide o jednoduchý graficky orientovaný program, ktorý ovláda bezpečnostné I/O za pomoci čítačov, logických a časových členov.

Vo vytvorenom programe bolo okrem logických členov využité aj jediné oneskorenie, aby sa predišlo vypnutiam bezpečnosti pri púšťaní deadman-a a zatvorených dverách (kedy sa zámok ešte nestihol uzamknúť). Zaujímavou je aj kombinácia zopnutého servisného kľúča a deadman-a, kedy sa odomknú oba zámky, avšak po otvorení jedných dverí sa automaticky uzamknú druhé.

7 OVERENIE A VYHODNOTENIE FUNKČNOSTI SYSTÉMU

Elektrotechnická časť práce (rozvádzač a ovládací panel) bola realizovaná na základe navrhnutého elektroprojektu. Pri realizácii sa nevyskytli žiadne väčšie ťažkosti, ktoré by nútili zmeniť koncept zapojenia, či usporiadania jednotlivých prvkov. Prvotné testovanie korektnosti zapojenia prebiehalo po jednotlivých fázach spínaním jednotlivých ističov a nasledovným testovaním I/O prvkov prostredníctvom PLC. Pri odovzdávaní linky do výroby prebehlo taktiež testovanie elektrických bezpečnostných prvkov revíznym technikom. Výsledné zapojenie (Obr. 27) tak odpovedá navrhnutému.

Navrhnutá softvérová časť práce bola popri realizácii priebežne nahrávaná do PLC a operátorského panela, aby sa overila funkčnosť navrhutej teórie. Po uvedení softvéru do prevádzkyschopného stavu bola linka prenechaná na testovanie, popri ktorom sa vyladili všetky hazardné a neočakávané stavy. Po odstránení týchto stavov sa riadiaci systém ukázal ako spoľahlivý a jeho reakcie na špecifické situácie prebiehali podľa očakávaní. Na základe indikátorov a ich pravidelného blikania je možné tvrdiť, že systém pracuje korektné a nedochádza k jeho preťaženiu vďaka správne navrhnutým časovým slučkám a základnému cyklu linky.

Nábeh linky prebieha pol sekundovou inicializáciou systému, kedy sa nastaví inicializačné hodnoty PLC, obnovia sa všetky objekty tak, aby nedošlo ku kolíznym situáciám a následne sa spustí inicializácia linky (upratanie staníc, vozíkov apod.). Nábeh je navrhnutý tak, aby nedochádzalo ku kolíznym situáciám aj pri neštandardnom vypnutí linky. Po uvedení linky do inicializačného stavu zostáva nastaviť parametre výroby a spustiť výrobu tlačidlom *START*. Počas prevádzky sa obsluha zariadenia redukuje na nakladanie komponentov súčasne s povoľovaním odchodu vozíkov a odoberanie hotových dielov. Ukončenie produkcie prebieha jednoduchým stlačením tlačidla *STOP*. Ide tak o veľmi užívateľsky prístupný systém, ktorý má aj vďaka ovládacímu panelu tendenciu naviesť obsluhu na spôsob odstránenia závady.

Bezpečnostná časť linky navrhnutá a naprogramovaná v bezpečnostnom kontroléry bola poslednou zásadnou činnosťou na projekte. Po jej realizácii bola linka podrobená testovaniu analyzovaných nebezpečných situácií s pozitívnymi výsledkami. Pri nábehu linky je nutné spustiť bezpečnostnú časť tlačidlom *Reset* na skrini rozvádzača.

Výsledkom diplomovej práce je funkčná poloautomatická montážna linka, ktorá slúži na montáž kontaktov k elektromagnetickým cievkam. Zariadenie obsahuje automatické nabíjanie, prestrihávanie a zváranie kontaktu, nasledované automatickým odstrihom prebytočných častí, meraním a triedeným zvarenej cievky. Súčasťou zariadenia je aj automatizované čistenie elektród zväračky. Montážna linka pracuje vo výrobe nepretržite už niekoľko mesiacov.

8 ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo vytvoriť elektrickú a programovú časť pre poloautomatickú montážnu linku. Z elektrickej časti išlo o navrhnutie a zrealizovanie elektroprojektu vrátane rozvádzača a ovládacieho panelu, zatiaľ čo z programovej časti išlo o návrh a realizáciu riadiaceho systému PLC vrátane potrebných komunikácií a užívateľského rozhrania. Súčasťou týchto častí bola aj bezpečnostná časť riadená bezpečnostným kontrolérom.

Úvodná časť práce sa zaoberá popisom hardvérovej časti výrobnéj linky. Sú tu zahrnuté vstupy a výstupy linky, dopravník a vozíky, funkcie jednotlivých staníc, použitá pneumatika a vzduchotechnika, merací a zvarací systém, použité snímače, bezpečnostné prvky a ostatné pôvodné časti linky.

Na základe týchto prvkov, funkcií a vlastností linky bol navrhnutý rozvádzač spolu s operátorským panelom, za pomoci programov ako EPLAN Electric, CorelDRAW SE a Microsoft Excel. Na úvod sa vykonala analýza, aby sa zistil predpokladaný počet I/O signálov (potrebných pre riadenie linky a bezpečnosti) a komunikačných hardvérových prvkov, čoho výsledkom bol výber zdroja a poistiek pre logickú časť. Následne boli analyzované potrebné silové napájania a výber správneho istenia. Po určení všetkých potrebných prvkov bola vyšpecifikovaná skriňa rozvádzača, umiestnenie jednotlivých prvkov a plán svorkovnice. Na záver bol navrhnutý ovládací panel.

Po realizovaní elektrickej časti bol navrhnutý objektovo orientovaný riadiaci systém, ktorý sa javil ako najvhodnejší s ohľadom na počet riadených prvkov a požiadavky systému. Spolu s návrhom štruktúry objektu systému boli navrhnuté aj potrebné komunikácie a komunikačné protokoly.

Výsledkom návrhu bola jeho realizácia, ktorá bola vytvorená v prostredí TIA Portal v jazyku SCL. Realizovali sa tu všetky potrebné časti programu, a to základná štruktúra a objekty jednotlivých operácií a procesov. Medzi objekty boli zapuzdrené jednoduché operácie ako ovládanie valca, výmena komunikačného handshake-u, až po zložité procesy na ovládanie stanice, správu vozíkov a komunikácie apod..

Ďalšou realizovanou časťou bola analýza rizík a návrh bezpečnosti spolu s elimináciou rizík prostredníctvom bezpečnostného kontroléra.

Záverečnou časťou práce je overenie a vyhodnotenie realizovaného systému, ktorého výsledkom je funkčná linka, ktorá je aktuálne už zaradená vo výrobe.

Projekt by sa mohol v budúcnosti rozšíriť o možnosť pokračovania vo výrobnom cykle aj po výpadku elektrickej energie a zároveň o vylepšenie komunikácie medzi PLC a PC na rýchlejšiu jednofázovú komunikáciu. Súčasne by bolo vhodné napojiť PLC na internú sieť firmy kvôli jednoduchšej správe a monitoringu riadiaceho systému.

Literatura

- [1] PÁSEK, Jan a Vlastimil BRAUN. *Automatizace procesů II: Úroveň řízení výroby*. Brno: VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015, 250 str.
- [2] *Programming Guideline for S7-1200/S7-1500* [online]. 09/2014, [cit. 2018-01-10]. Dostupné z:
http://www1.siemens.cz/ad/current/content/data_files/automatizacni_systemy/mikrosystemy/simatic_s71200/programming-guideline-for-s71200-s71500_2014-09_en.pdf
- [3] *HYDAC INTERNATIONAL: Solenoid Coils for Proportional Valves* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z:
<https://www.hydac.com/fileadmin/pdb/pdf/PRO0000000000000000000000005215010011.pdf>
- [4] *Rexroth: Transfersystem TS1* [online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z:
<http://www.mts.sk/wp-content/uploads/2015/11/TransferSystemTS1v5.3.pdf>
- [5] *Provozní návod: AWS3 Welding System FP700 – ISQ20*. Germany: AMADA MIYACHI EUROPE GmbH 150 str.
- [6] *AMADA: Active Welding System AWS3* [online]. [cit. 2018-02-01]. Dostupné z:
<http://www.amadamiyachieurope.com/products/resistance-welding/active-welding-system-aws3/aws3---pneumatic/>
- [7] *O nás. EPLAN: efficient engineering* [online]. 2018 [cit. 2018-01-15]. Dostupné z:
<https://www.eplan-sk.sk/sk/spolocnost/o-nas/>
- [8] *EPLAN: EPLAN Electric P8 – energia pre elektrotechnické projektovanie* [online]. [cit. 2018-01-15]. Dostupné z: <https://www.eplan-sk.sk/sk/riesenia/elektrotechnika/eplan-electric-p8/>
- [9] NĚMEJC, Jiří. *AUTOMA: Některé otázky a problémy automatizace strojírenské výroby* [online]. [cit. 2018-01-25]. Dostupné z: http://automa.cz/cz/casopis-clanky/nektere-otazky-a-problemy-automatizace-strojirenske-vyroby-2002_08_28543_2260/
- [10] *SIMATIC S7-1500 CPU 1511C-1 PN (6ES7511-1CK00-0AB0): Manual* [online]. 09. 2016, Germany: Siemens AG [cit. 2018-01-16]. Dostupné z:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/675/109478675/att_895881/v1/s71500_cpu1511c_1_pn_manual_en-US_en-US.pdf
- [11] *SIMATIC S7-1500/ET 200MP Digital input/output module DI 16x24VDC/DQ 16x24VDC/0.5A BA (6ES7523-1BL00-0AA0): Manual* [online]. 09. 2016, Germany: Siemens AG [cit. 2018-01-16]. Dostupné z:
https://cache.industry.siemens.com/dl/files/523/83501523/att_897447/v1/s71500_di_16x24vdc_dq_16x24vdc_0.5a_ba_manual_en-US_en-US.pdf
- [12] *AWS3 Pneumatic: Active Welding System* [online]. 08. 2015, Germany [cit. 2018-01-14]. Dostupné z:
<http://www.amadamiyachieurope.com/cmdata/documents/TDS-AWS3-Pneumatic-RW-08-2015.pdf>

- [13] GISCHEL, Bernd. *EPLAN Electric P8 Reference Handbook Reference Handbook*. 3. Auflage. München: Hanser, 2013. ISBN 9781569904763
- [14] *HYDAC: Solenoid Coils for Directional Valves*[online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z <https://www.hydac.com.au/products/hydraulic-valves/solenoid-coils/directional/>
- [15] *AVENTICS: Series AV03* [online]. 05. 04. 2017, Germany: AVENTICS GmbH [cit. 2018-01-17]. https://www.aventics.com/pneumatics-catalog/content/internet/en/pdf/pdf_g212968_en.pdf
- [16] *BALLUFF: BES0005 - BES G06EB-PSC40F-S49G* [online]. [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/en/de/productfinder/product/?key=BES0005#?data=>
- [17] *BALLUFF: Ultrasonic Sensors* [online]. Germany: Balluff GmbH [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: http://usa.balluff.com/manuals/BUS%20Ultrasonics/888424_BUS_18M_G.pdf
- [18] *BALLUFF: BCS00MF - BCS M18B4I3-PSC80D-S04K* [online]. [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: <https://www.balluff.com/en/de/productfinder/product/?key=BCS00MF#?data=>
- [19] *GV Series: Instruction Manual* [online]. JAPAN: KEYENCE CORPORATION [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: http://vinstonus.com/wp-content/uploads/2016/11/GV_IM_96M11664_GB_WW_1116-4.pdf
- [20] *AVENTICS: Sensor, Series ST6* [online]. [cit. 2018-01-19]. https://www.aventics.com/pneumatics-catalog/Pdf.cfm?Language=EN&file=en/pdf/PDF_p666145_en.pdf
- [21] *AVENTICS: Series AV03* [online]. 02. 03. 2017, Germany: AVENTICS GmbH [cit. 2018-01-18]. https://www.aventics.com/pneumatics-catalog/Pdf.cfm?Language=EN&Variant=internet&file=en/pdf/PDF_g88267_en.pdf
- [22] *SICK: Safety locking devices i15 Lock* [online]. [cit. 2018-01-18]. Dostupné z: <https://www.sick.com/ag/en/safety-switches/safety-locking-devices/i15-lock/i15-ep0133-lock/p/p64753> [4] *Rexroth: Transfersystem TS1*[online]. [cit. 2018-01-10]. Dostupné z: <http://www.mts.sk/wp-content/uploads/2015/11/TransferSystemTS1v5.3.pdf>
- [23] *IDEC:HEIG-L Light Grip Switch* [online]. 2015 [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: https://www.idec.com/caen/products/Catalogs/Enabling_Switches/HE1GL/overview.html
- [24] *NORSTAT: Mosaic MI16 Expansion Unit* [online]. [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: <https://norstat.com/product/mosaic-mi16-expansion-unit/>
- [25] *MOSAIC: Modular Safety Integrated Controller* [online]. 29. 06. 2015, ITALIA: Reer S.p.A. [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: http://www.reer.it/reer_dati/FILESSIC/D5/0071891_ING.pdf
- [26] *PHOENIX CONTACT: Industrial Ethernet Switch - FL SWITCH SFNB 5TX - 2891001* [online]. 2018 [cit. 2018-01-20]. Dostupné z:

<https://www.phoenixcontact.com/online/portal/us?uri=pxc-oc-itemdetail:pid=2891001&library=usen&tab=1>

- [27] *Rittal – The System: Kompaktné skriňové rozvádzače AE* [online]. [cit. 2018-01-20]. Dostupné z: <https://www.rittal.com/sk-sk/product/show/variantdetail.action?categoryPath=/PG0001/PG0002SCHRANK1/PG0021SCHRANK1/PRO0023SCHRANK&productID=1060500>
- [28] *SIEMENS: Data sheet (6AV2123-2DB03-0AX0)* [online]. 05. 09. 2018 [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/tedservices/DatasheetService/DatasheetService?format=pdf&mlfbs=6AV2123-2DB03-0AX0&language=en&caller=SIOS>

Seznam příloh

Prílohy sú súčasťou doprovodného disku.

Príloha 1. Elektrická schéma zapojenia linky

Príloha1_elektrická_schéma.pdf

Príloha 2. Topológia rozmiestnenia prvkov rozvádzača

Príloha2_topológia_rozvádzača.gif

Príloha 3. Plán svorkovnice

Príloha3_svorkovnica.xlsx

Príloha 4. Program pre bezpečnostný kontrolér

Príloha4_program_bezpečnosti.msx

Príloha4_program_bezpečnosti.gif

Príloha 5. Program pre PLC a HMI

Príloha5_Program_PLC_HMI.zip