



# 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

## **ŘÍZENÍ FUNKCÍ KVALITY A TRASOVÁNÍ V PROCESU VÝROBY NÁDRŽÍ PRO BRZDOVOU KAPALINU**

QUALITY CONTROL FUNCTIONS AND TRACING IN THE PROCESS OF PRODUCTION OF CONTAINERS  
FOR BRAKE FLUID

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Jan Kubín**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Jan Pásek, CSc.**

**BRNO 2017**



# Diplomová práce

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

Ústav automatizace a měřicí techniky

**Student:** Bc. Jan Kubín

**ID:** 146878

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2016/17

## NÁZEV TÉMATU:

**Řízení funkcí kvality a trasování v procesu výroby nádrží pro brzdovou kapalinu**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Vysvětlíte potřeby a přístupy začlenění funkcí řízení kvality a trasování v diskretní výrobě.
2. Popíšete technologii linky pro kontrolu a značení nádrží pro brzdovou kapalinu
3. Vypracujete koncepci řízení linky a specifikujete zařízení, která budou pro řízení použita.
4. Vytvořte algoritmus koordinačního a procedurálního řízení pro PLC, který bude linku řídit.
5. Napište program pro PLC řízení včetně vytvoření a parametrizace přenosů dat mezi PLC a robotem a dalšími podřízenými členy linky.
6. Program implementuje a provedte zprovoznění linky.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] STEP 7 Professional V13 SP1: System Manual [online]. 2014. Germany: Siemens. Available at: [https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109011420/STEP\\_7\\_Professional\\_V13\\_1\\_enUS\\_en-US.pdf](https://support.industry.siemens.com/cs/attachments/109011420/STEP_7_Professional_V13_1_enUS_en-US.pdf)

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

**Termín zadání:** 6.2.2017

**Termín odevzdání:** 15.5.2017

**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**

Předmětem této diplomové práce je teoretický popis řízení kvality a trasování v diskrétní výrobě, jeho využití k vytvoření koncepce řízení, specifikace použitého hardwaru, popis komunikace mezi periferiemi a PLC a tvorbě řídicího softwaru pro PLC za účelem kontrolování a značení nádrží pro brzdovou kapalinu.

Poslední částí této práce je implementace vytvořených algoritmů do reálného zařízení a následné zprovoznění celé linky.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

PLC, Siemens, TIA portal, robot, Kuka, řízení kvality a trasování, MES

## **ABSTRACT**

The content of this thesis is a theoretical description of quality control and tracking in discrete manufacturing, its use in making control concepts, specification of the hardware, description of the communication between the devices and the PLC, and the creation of the PLC control software used for the supervision and marking of containers for brake fluid.

The last part of this thesis is the implementation of the created algorithms into a real device and subsequent commissioning of the entire control line.

## **KEYWORDS**

PLC, Siemens, TIA portal, robot, Kuka, quality control and tracking, MES

KUBÍN, J. *Řízení funkcí kvality a trasování v procesu výroby nádrží pro brzdovou kapalinu*: diplomová práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav automatizace a měřicí techniky, 2017. 66 s. Vedoucí práce byl Ing. Jan Pásek, CSc.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma „Řízení funkcí kvality a trasování v procesu výroby nádrží pro brzdovou kapalinu“ 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/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Brno .....

.....

(podpis autora)

## PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu diplomové práce panu Ing. Janu Páskovi, CSc. za odborné vedení, konzultace, trpělivost a podnětné návrhy k práci. Dále bych chtěl poděkovat mé rodině a přátelům za podporu během studia.

Brno .....

.....

(podpis autora)

# OBSAH

Úvod	10
<b>1 Řízení kvality a trasování v diskrétní výrobě jako funkce MES</b>	<b>12</b>
1.1 Řízení procesu	12
1.2 Genealogie a trasování výroby	12
1.3 Řízení kvality	12
1.4 Řízení údržby	13
<b>2 Hardware testovací linky</b>	<b>14</b>
2.1 Robotická buňka	14
2.2 PLC Siemens	16
2.3 Dotykový panel Simatic KTP1200 Basic PN	18
2.4 Tlaková stanice	18
2.5 Elektrický test	20
2.6 Zařízení pro značení pryskyřicí	21
2.7 Kamerová stanice	22
2.8 Zařízení pro značení mikroúderem	23
2.9 Výstupní pásový dopravník	24
2.10 Robot Kuka KR6 R900 SIXX	25
2.11 Řídicí jednotka KUKA KR C4 compact	27
2.12 Ovládací panel SmartPad	27
2.13 Výměňíkový systém	28
2.14 Ventilový ostrov Festo	29
2.15 Bezpečnostní prvky	30
<b>3 Software pro bezpečnost a funkčnost testovací linky</b>	<b>31</b>
3.1 Safety	31
3.1.1 Nouzové zastavení	31
3.1.2 Stykače hydraulického válce	31
3.2 Komunikace s robotem	32
3.3 Recepty	33
3.4 Start automatu a automatický mód	34
3.5 Zastavení automatického módu	36
3.6 Dummy díly	37
3.7 Konec směny	39
3.8 Test těsnosti	41
3.9 Elektrický test	43

3.10	Značení pryskyřicí . . . . .	45
3.11	Kamera . . . . .	46
3.12	Značení mikroúderem . . . . .	48
3.13	Pásový dopravník . . . . .	48
3.14	Sběr dat . . . . .	49
<b>4</b>	<b>Vizualizace</b>	<b>51</b>
4.1	Přístupová práva . . . . .	51
4.2	Hlavní ovládací tlačítka . . . . .	51
4.3	Horní lišta . . . . .	52
4.4	Hlavní obrazovka . . . . .	53
4.5	Alarmy . . . . .	54
4.6	Dummy díly . . . . .	55
4.7	Recepty . . . . .	56
4.8	Manuální mód . . . . .	57
4.9	Přehled safety čidel . . . . .	61
4.10	Manuální volba stanic . . . . .	62
<b>5</b>	<b>Závěr</b>	<b>63</b>
	<b>Literatura</b>	<b>65</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>66</b>

# SEZNAM OBRÁZKŮ

1	Řídicí a informační systém výrobního podniku [1]	11
2.1	Buňka	14
2.2	Půdorys buňky s popisky	15
2.3	Pořadí stanic pro testování	16
2.4	Parametry CPU [3]	17
2.5	PLC s CPU řady Simatic ET200SP [3]	17
2.6	Simatic KTP1200 Basic PN [4]	18
2.7	Tlaková stanice	19
2.8	Příklad komunikace s měřicím přístrojem Ateq F620 [5]	20
2.9	Elektrická stanice	21
2.10	Elektrická stanice s popisky	21
2.11	Kortho HQC-D [6]	22
2.12	Parametry kamery Sick VSPI-4F21111 [7]	23
2.13	Kamera Sick VSPI-4F21111 [7]	23
2.14	Umístění kamery v buňce	23
2.15	Couth MC 2000U [8]	24
2.16	Řídicí jednotka Couth MC 2000U [8]	24
2.17	Výstupní pásový dopravník	24
2.18	Umístění dopravníku v buňce	25
2.19	Kuka KR6 900 sixx [9]	25
2.20	Parametry Kuka KR6 900 sixx [9]	26
2.21	Pracovní prostor robotu Kuka KR6 900 sixx [9]	26
2.22	Řídicí jednotka KUKA KR C4 compact [10]	27
2.23	SmartPAD [11]	28
2.24	Výměnná a pevná část systému SWM	29
2.25	Chapadlo	29
2.26	Safety prvky	30
3.1	Vývojový diagram automatického módu	34
3.2	Vývojový diagram startu automatu	35
3.3	Vývojový diagram zastavení automatického módu	36
3.4	Vývojový diagram podmínek pro zastavení buňky	37
3.5	Vývojový diagram dummy dílů	38
3.6	Vývojový diagram konce směny	40
3.7	Vývojový diagram restartu automatu	40
3.8	Vývojový diagram testu těsnosti v automatickém módu	42
3.9	Vývojový diagram elektrického testu v automatickém módu	44
3.10	Vývojový diagram značení pryskyřicí v automatickém módu	45



3.11	Vývojový diagram kamerového testu v automatickém módu . . . . .	47
3.12	Vývojový diagram pásového dopravníku . . . . .	49
4.1	Tlačítka . . . . .	51
4.2	Horní lišta . . . . .	52
4.3	Hlavní obrazovka . . . . .	53
4.4	Alarmy . . . . .	54
4.5	Dummy díly . . . . .	55
4.6	Recepty . . . . .	56
4.7	Manuální režim - volba stanic . . . . .	57
4.8	Manuální režim - test těsnosti . . . . .	58
4.9	Manuální režim - elektrický test . . . . .	58
4.10	Manuální režim - operátorská stanice . . . . .	59
4.11	Manuální režim - značení pryskyřicí a gravírování . . . . .	59
4.12	Manuální režim - kamera . . . . .	60
4.13	Manuální režim - pásový dopravník . . . . .	60
4.14	Přehled safety . . . . .	61
4.15	Manuální volba stanic . . . . .	62

# ÚVOD

Tato práce se zabývá návrhem a realizací řídicích algoritmů pro pracoviště automatické kontroly a značení nádrží pro brzdovou kapalinu a tvorbu HMI. Komunikace mezi jednotlivými komponenty je řízena pomocí PLC firmy Siemens. Součástí automatizovaného pracoviště jsou zařízení pro tlakovou, elektrickou a kamerovou kontrolu nádržek, pneumatické razítko, značení mikroúderem a výstupní pásový dopravník. Pro manipulaci s díly je použit průmyslový robot KUKA KR9 R900 Agilus vybavený uchopovací hlavou pro jednu nádržku. Robot je řízen vlastním řídicím systémem, který není součástí této diplomové práce, je zde však popsána komunikace mezi robotem a PLC.

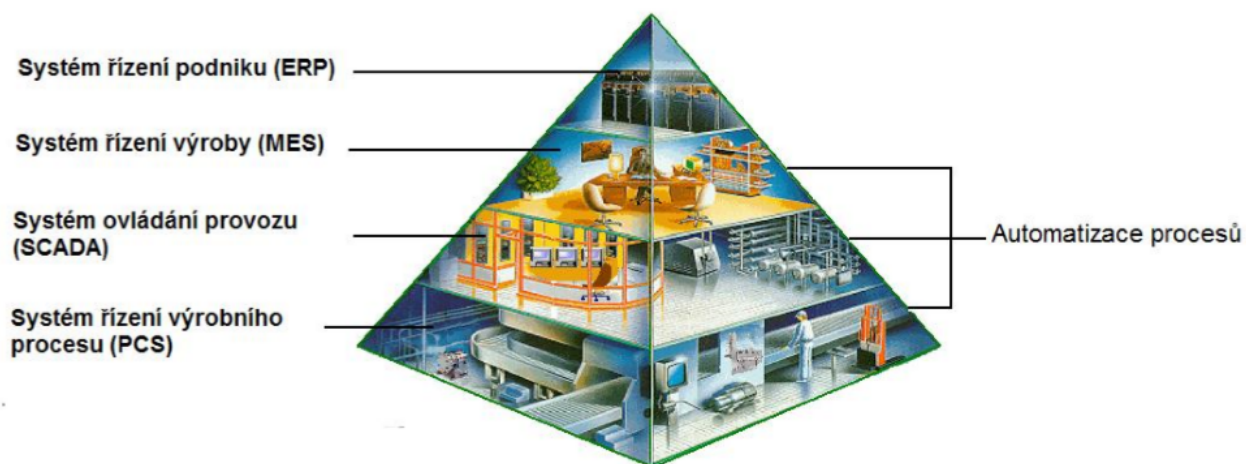
Zadavatelem je firma WHS-Handling spol. s r.o., která na základě požadavků zákazníka specifikovala parametry a požadavky na funkcionalitu pracoviště. Firma poskytla slovní popis chování technologie, technické zázemí, školení a odborné konzultace.

Výsledkem této práce je software, který splňuje zadání firmy a požadavky zákazníka, je jednoduchý, bezpečný, rychlý a umožní dlouhodobý provoz pracoviště.

[1] V oboru průmyslové automatizace dochází k neustálému vývoji v důsledku narůstajících nároků na kvalitu produktů, snahy o úsporu nákladů a času potřebného pro výrobu. Růst výroby, počtu variací výrobků a decentralizace dodavatelského řetězce měly za následek, že nebylo možné efektivně získávat a zpracovávat informace o základní výrobní úrovni v reálném čase. Aby tyto potřeby byly uspokojeny, vznikl informační a řídicí systém MES. Jedná se o systém, který primárně pracuje s výrobními daty, které sbírá, zpracovává a archivuje. Následně jsou získané informace využívány k prezentaci dat a řízení výrobního závodu. Propojuje systémy řízení podniku (ERP) a ovládání provozu (SCADA). V modelu čtyřvrstvé automatizační pyramidy zaujal třetí vrstvu viz obr. 1. Informace z tohoto systému jsou v určité míře vzhledem k přístupovým právům přístupné v reálném čase všem pracovníkům od obsluhy strojů, až po management podniku. To znamená, že systém MES pracuje se sekundami až hodinami, oproti dnům až týdnům, jak je to u systémů ERP. Mohou tedy poskytovat relevantní informace a dávat je do kontextu v rámci obchodního modelu daleko rychleji, než je tomu u systémů ERP. Na tyto informace je možné reagovat a předcházet tím problémům, které by bez včasného zásahu vznikly.

System MES byl mezinárodně standardizován organizací MESA, která definovala jeho jedenáct funkcí:

- genealogie a trasování výroby
- správa dokumentace
- řízení údržby
- řízení laboratoře
- řízení kvality
- operativní plánování
- řízení a přidělování zdrojů
- dispečerské řízení
- řízení procesu
- sběr a archivace dat
- analýzy výkonnosti



Obr. 1: Řídící a informační systém výrobního podniku [1]

# 1 ŘÍZENÍ KVALITY A TRASOVÁNÍ V DISKRÉTNÍ VÝROBĚ JAKO FUNKCE MES

Tato diplomová práce je zaměřena na čtyři funkce systému MES:

- řízení procesu
- genealogie a trasování výroby
- řízení kvality
- řízení údržby

## 1.1 Řízení procesu

Tato funkce zajišťuje aktivity potřebné pro řízení plánované výroby. Získává informace o aktuálním stavu výroby a předává je dál příslušným systémům. Jedná se o velmi důležitou funkci díky propojení s ERP systémy, kterým se zpřístupňují informace o rozpracované výrobě.

## 1.2 Genealogie a trasování výroby

Jak již název napovídá, tato funkce zajišťuje trasovatelnost finálního produktu, a to tak, že shromažďuje a poskytuje informace o použitých zdrojích, jeho vlastnostech a průběhu výroby.

V případě testovací linky se jedná o sběr následujících dat:

- označení směny
- datum
- typ testovacího programu
- test těsnosti - hodnota vnitřního tlaku a úniku tlaku
- elektrický test - hodnoty vnitřního odporu ve všech polohách plováku
- kamerový test - výsledek testu
- značení - identifikační kód nádržky

Tato data jsou dostačující k tomu, aby bylo možné trasovat průběh testování a získat potřebné informace o jednotlivých nádržkách. Lze tedy prokázat, jakým způsobem byly nádržky otestovány a jakých výsledků v testech dosáhly.

## 1.3 Řízení kvality

Využívá se k rozboru dat z výroby s cílem vyhodnotit kvalitu vyráběného, či testovaného produktu a pomáhá k identifikaci nežádoucích odchylek.

U testovací linky se vyhodnocuje počet dílů, které byly zahozeny jako vadné. Pokud dojde k překročení limitu vadných kusů za určitý časový úsek, je o této skutečnosti vygenerována hláška, která informuje obsluhu. Tato informace slouží jako doporučení k opětovnému otestování kusů, které byly vyhodnoceny jako vadné a ke kontrole měřicích stanic, zda není potřeba opětovná kalibrace přístrojů. Výsledkem těchto aktivit je identifikace zdroje poruch - zda je příčina na straně testovací linky nebo šarže nádržek. Tímto se umožní dodržet limity kvality a předcházet případným reklamacím.

## 1.4 Řízení údržby

Smyslem údržby je minimalizace nákladů na provoz investováním prostředků na udržení zařízení v dobrém technickém stavu. Tím dochází k prevenci poruch, čímž se snižuje riziko přerušení výroby, které by mohlo znamenat výrazné ztráty pro podnik. Zároveň se prodlužuje životnost zařízení.

Je tedy nutné stanovit optimální náklady na údržbu, aby se zařízení udrželo provozuschopné, ale zároveň nedocházelo k mrhání finančních prostředků.

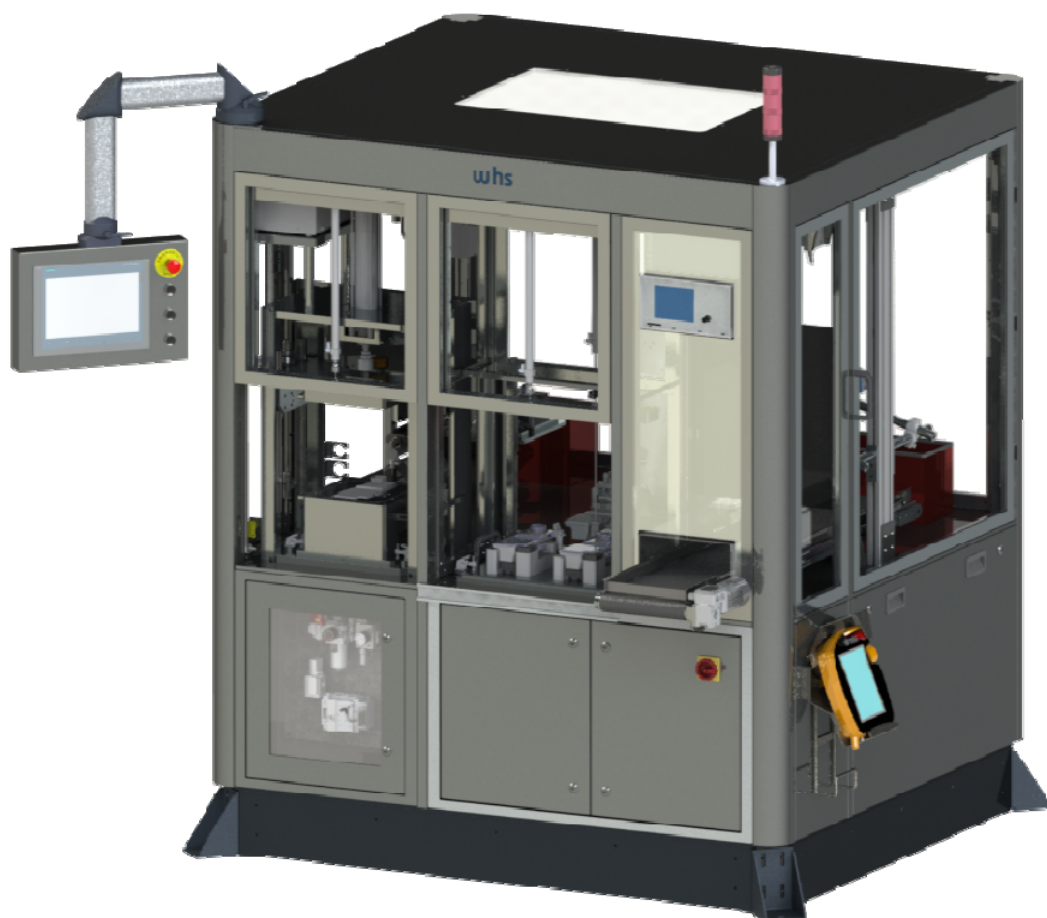
Pro efektivní údržbu je třeba se zaměřit na její koncepci, prostředky zajištění údržby, na zpětné vazby a monitoring a na dopředné vazby. Efektivita údržby přímo úměrně ovlivňuje efektivitu celého výrobního podniku.

Jedná se tedy o problematiku zahrnující všechny technické, administrativní a manažerské činnosti podniku. Jelikož je každý výrobní proces specifický, nelze vytvořit univerzální přístup k údržbě a je třeba přístup individuální.[2]

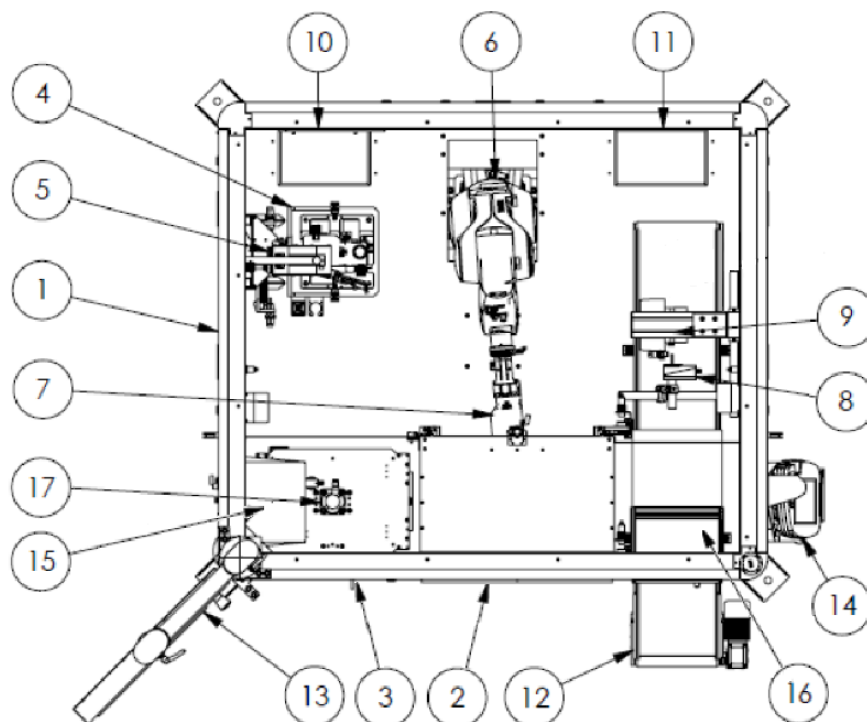
## 2 HARDWARE TESTOVACÍ LINKY

### 2.1 Robotická buňka

Robotickou buňkou (dále jen "buňka") se myslí celá testovací linka, tj. celá konstrukce a veškerý hardware, který je popsán v následujících kapitolách. Následující obrázky jsou určeny pro získání představy, jak je buňka zkonstruována, jaká zařízení jsou její součástí a kde jsou umístěna.



Obr. 2.1: Buňka

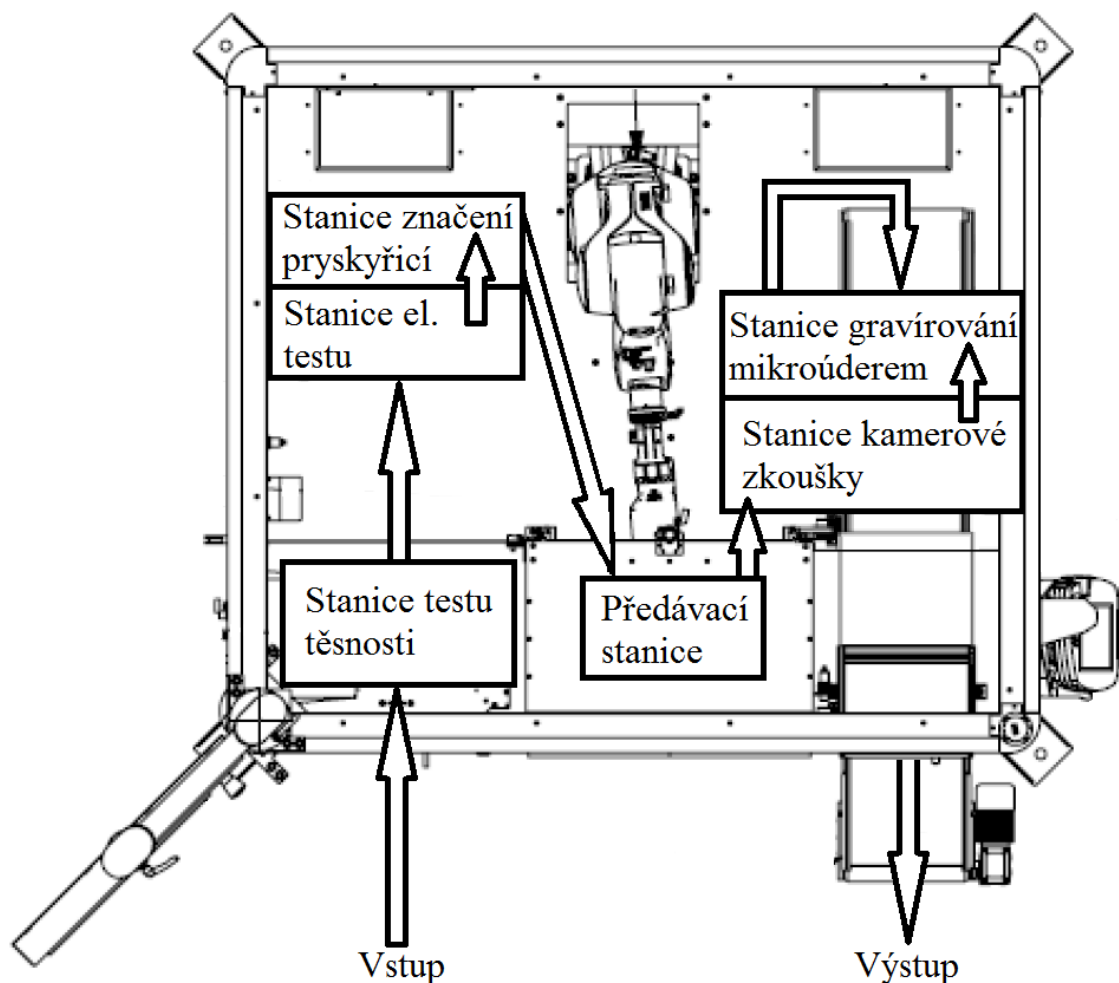


- |  |  |
|--|--|
| 1) Buňka                                 | 10) Kanál na NOK díly po tl. a el. zkoušce |
| 2) Předávací stanice                     | 11) Kanál na NOK díly po kamer. zkoušce    |
| 3) Stanice tlakové zkoušky (vstup)       | 12) Výstupní pásový dopravník              |
| 4) Stanice elektrické kontroly           | 13) Ovládací panel                         |
| 5) Stanice značení černou tečkou Kortho  | 14) KUKA SmartPAD                          |
| 6) Průmyslový robot KUKA KR6 R900        | 15) Řídící jednotka Ateq                   |
| 7) Manuální výměnný systém + chapadlo    | 16) Řídící jednotka mikroúderu Liftec      |
| 8) Stanice kamerové kontroly             | 17) Hydraulický válec                      |
| 9) Stanice identifikace dílu mikroúderem |  |

Obr. 2.2: Půdorys buňky s popisky

Na obr. 2.3 je graficky znázorněno pořadí stanic, kterým nádržka buňkou prochází. První stanicí je stanice testu těsnosti, která slouží nejen k otestování těsnosti nádržky, ale i jako vstup do buňky. Veškerou manipulaci s nádržkou uvnitř buňky zajišťuje robot od firmy KUKA AG. Po ukončení testu těsnosti následuje elektrický test. Dle požadavků na typ testované nádržky jsou stanice pro značení pryskyřicí, předávání a kamerové zkoušky volitelné a nemusí být součástí testovacího cyklu. Poslední stanicí je stanice gravírování pomocí mikroúderu, která nádržku opatří unikátním identifikačním kódem. Následuje odložení nádržky na dopravníkový pás, který slouží jako výstup z buňky.

Jednotlivé stanice a použitý hardware budou podrobněji popsány v následujících kapitolách.



Obr. 2.3: Pořadí stanic pro testování

## 2.2 PLC Siemens

Hlavní řídicí jednotkou celé buňky je PLC od firmy Siemens s CPU 1510SP-1 PN řady ET 200SP. Jedná se o cenově zajímavé řešení, které se svými parametry, viz obr. 2.4, řadí mezi středně výkonné PLC.

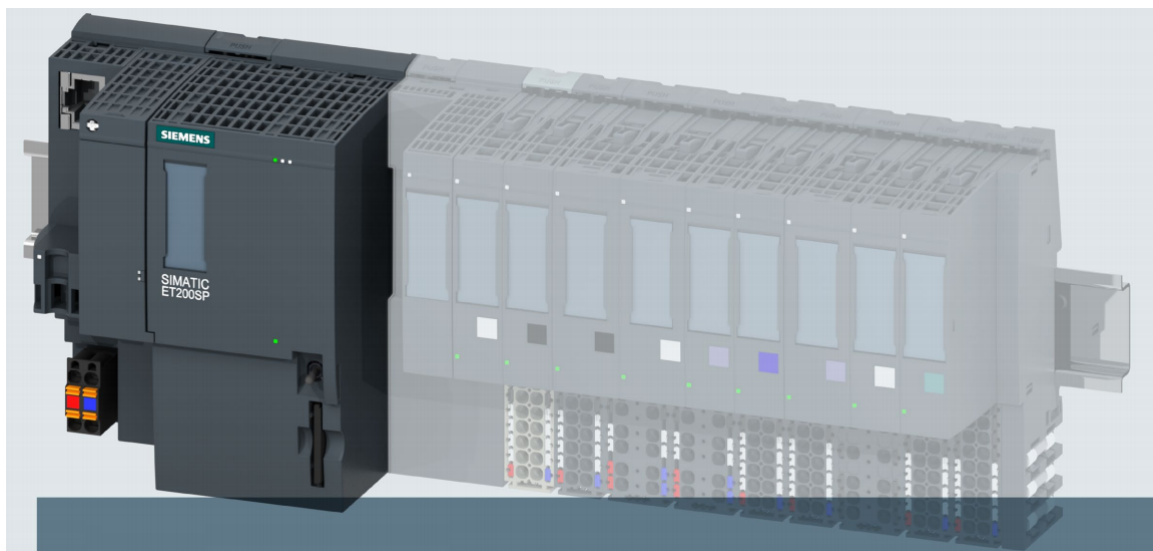
V rámu u CPU jsou umístěny celkem čtyři vstupní moduly o šestnácti digitálních vstupech, dva výstupní moduly o šestnácti výstupech, komunikační modul pro rozhraní RS232, dva bezpečnostní vstupní moduly o osmi vstupech a jeden bezpečnostní výstupní modul o čtyřech výstupech. I/O moduly jsou využívány pro řízení všech periférií s výjimkou elektrického testu. V blízkosti elektrického testu byl z důvodu použití třech analogových měřicích karet umístěn ostrůvek, na kterém se nachází i další dva vstupní moduly. Ostrůvek byl použit za účelem minimalizace délky kabelů od senzorů a tím k redukci nežádoucí interference, která by mohla



ovlivnit výsledky měření.

<b>6ES7510-1DJ01-0AB0</b>	
<b>General information</b>	
Product type designation	CPU 1510SP-1 PN
Hardware function version	FS03
Firmware version	V2.0
<b>Memory</b>	
Number of slots for SIMATIC memory card	1
SIMATIC memory card required	Yes
<b>Work memory</b>	
Integrated (for program)	100 KB
Integrated (for data)	750 KB
<b>Load memory</b>	
Plug-in (SIMATIC memory card), max.	32 GB
<b>CPU processing times</b>	
For bit operations, typ.	72 ns
For word operations, typ.	86 ns
For fixed-point arithmetic, typ.	115 ns
For floating-point arithmetic, typ.	461 ns

Obr. 2.4: Parametry CPU [3]



Obr. 2.5: PLC s CPU řady Simatic ET200SP [3]

## 2.3 Dotykový panel Simatic KTP1200 Basic PN

HMI je zajištěno dotykovým panelem Simatic KTP1200 Basic PN. Jedná se o dvanáctipalcový panel řady Basic, který poskytuje pouze základní funkcionalitu. Jelikož je vizualizace koncipována tak, aby byla co nejjednodušší, nejedná se o překážku. Rozměry jsou dostatečné k tomu, aby požadované prvky byly zřetelně viditelné a všechny prvky byly dostatečně velké pro komfortní ovládání. Jedná se tedy o panel, který je pro účely ovládání této buňky dostačující. Realtime komunikace panelu s PLC je zajištěná pomocí rozhraní Profinet.

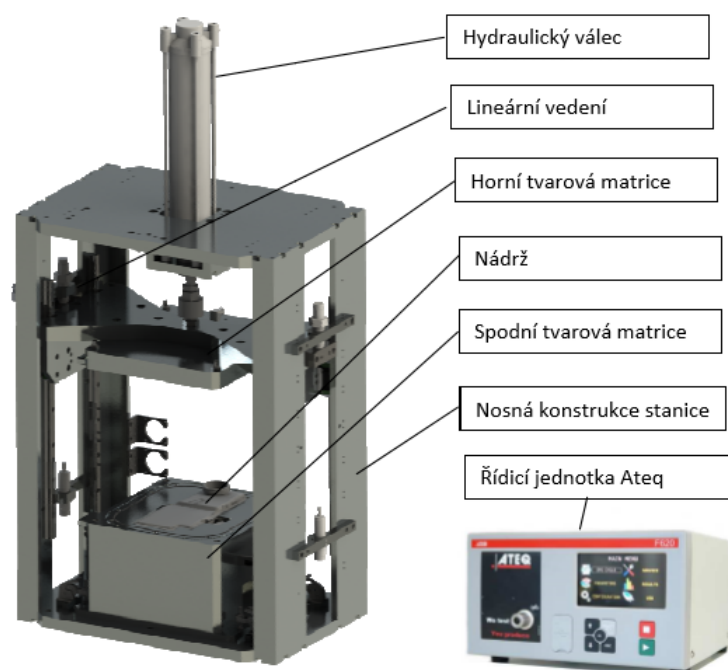


Obr. 2.6: Simatic KTP1200 Basic PN [4]

## 2.4 Tlaková stanice

První testovací stanice, která slouží i jako vstup nadržky do buňky, je stanice tlaková. Slouží k testování těsnosti nádržek.

Skládá se z nosné konstrukce stanice, spodní a horní tvarované matrice, lineárního vedení, hydraulického válce a řídicí jednotky Ateq F620 viz obr. 2.7.



Obr. 2.7: Tlaková stanice

Princip testu je založený na vyhodnocování změny tlaku pomocí měřicího přístroje Ateq F620. Díl je uložen v dvoudílné tvarované matrici. Po jejím uzavření prostřednictvím hydraulického válce dojde k sepnutí ejektoru a tím k vytvoření vakua. Následně dojde pomocí výstupního tlaku z multiplikátoru k natlakování nádoby skrz její hrdlo. Přesná hodnota vnitřního tlaku je pro každý typ nádržky stanovena a kontrolována tlakoměrem. Dalším krokem je spuštění testovacího cyklu měřicího přístroje Ateq F620. Fáze testu jsou: plnění (tvorba vakua), stabilizace, testování, výfuk. Na závěr dojde k vypnutí ejektoru a otevření matrice. Robotovi se posílá výsledek testu a povolení k odebrání nádržky. Z těchto dvou informací robot vyhodnotí, zda má nádržku založit do elektrického testu, nebo zda ji má zahodit do NOK (Not - OK) boxu pro díly, které přístroj Ateq F620 vyhodnotil jako netěsné.

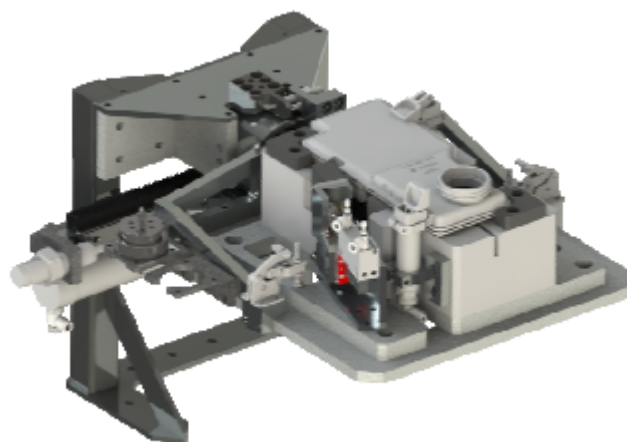
Měřicí přístroj Ateq F620 s řídicím PLC komunikuje po rozhraní Profinet. Komunikace probíhá pomocí sekvence bitů ve stylu master-slave, kde roli master zastupuje PLC a slave měřicí přístroj Ateq F620. Pro komunikaci se využívá z pohledu měřicího přístroje patnáct vstupních bytů, patnáct výstupních bytů reprezentující odezvu na byty vstupní a šestnáct bytů pro přenos naměřených hodnot tlaku a úniku tlaku. Příklad komunikace je zobrazen na obr. 2.8

Master	Slave
<p>1) Select the head (only if we use the network with an ATEQ 540 central instrument).</p> <p>2) Write 1 word at the address 06h corresponding to the program number to be selected. @06h = 01 00h (01 = the program n° 2).</p> <p>3) Activate the command "program selection". Write at the address 00h the value 08 00h (byte 0, bit 3 = 1).</p>	
	<p>4) Acknowledgment.  Byte 0 = 08h (command echo).  Byte 1 = 00h (command echo).  Byte 2 = FFh (error code).  Byte 3 = FFh (error code).  <b>(If error code = FF FFh: command in progress).</b></p>
	<p>5) Running "Program selection"</p>
	<p>6) When the command is finished:  Byte 0 = 08h (command echo).  Byte 1 = 00h (command echo).  Byte 2 and Byte 3 = 0 if the command is correctly executed.  Byte 2 and Byte 3 ≠ 0 error (equal to the error code value, see reading table).</p>
<p>7) Wait the end of command, command echo = 08 00h and error code ≠ FF FFh.  <b>(If error code ≠ FF FFh: end of command).</b></p>	
<p>8) Deactivate the "Program selection" command, write at the address 00h the value 00 00h (byte 0, bit 3 = 0).</p>	

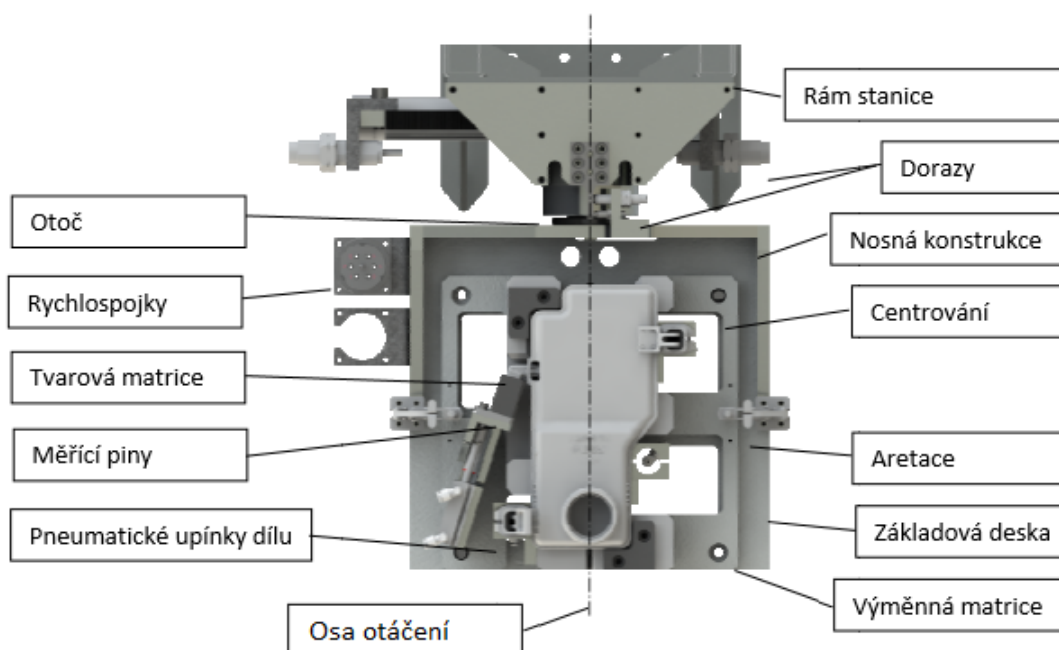
Obr. 2.8: Příklad komunikace s měřicím přístrojem Ateq F620 [5]

## 2.5 Elektrický test

Druhá testovací stanice slouží k ověření vhodných elektrických parametrů nádržek dle specifikace. Elektrická stanice je tvořena nosnou dvoupolohovou základovou deskou, která se otáčí ze základní pozice do pozice o 180° otočené okolo horizontální osy otáčení viz obr. 2.10. Základová deska stanice je vybavena centrovacími kolíky a aretací za účelem rychlé a opakovatelné výměny matic. Na těchto výměnných maticích se nachází tvarová matrice pro zakládání nádržek, měřicí piny (tzv. Inguny) a pneumatické upínky dílu, které slouží pro zajištění nádržek v žádané poloze. Stanice je otočná z důvodu měření dvou stavů polohy plováku.



Obr. 2.9: Elektrická stanice



Obr. 2.10: Elektrická stanice s popisky

## 2.6 Zařízení pro značení pryskyřic

Nádrž po kladném vyhodnocení tlakové a elektrické zkoušky bude označena černou tečkou značícím zařízením firmy Kortho HQC-D. Tento přístroj může na výrobky

tisknout tečku, čárku, nebo krátký nápis o ploše max. 12x24mm. Snadno lze měnit barevné odstíny pouhou výměnou barvicího válečku. Navíc je vzhledem k použití inkoustových válečků s voskem zajištěn velmi dobrý kontrast a sytost. Tisk může probíhat v jakékoliv poloze tiskové hlavy. Systém je velmi intuitivní a díky tomu jednoduchý na obsluhu. Navíc je téměř bezúdržbový. Na rozdíl od systémů nástřiku barev je čistý a nic z něj nemá možnost odkapávat ani zaschnout.



Obr. 2.11: Kortho HQC-D [6]

## 2.7 Kamerová stanice

Kamerová stanice kontroluje přítomnost všech požadovaných dílů na nádrži. Pokud díl neprojde kamerovou kontrolou, je odhozen do pravého NOK boxu. Kontrolu zajišťuje kamera typu Inspector 2D Vision (VSPI-4F21111) od společnosti Sick. Pro lepší výsledky měření je stanice vybavena přisvětlením.

Kamera je z hlediska komunikace s PLC poměrně jednoduchá, jelikož její činnost je ovládána pouze jedním bitem - triggerem, který ji spouští. Na vstupní kartu PLC jsou připojeny výstupy z kamery, které indikují její stav - odezvu na start, výsledek testu, zda nádržka je, či není v pořádku, nebo jestli nebyla nádržka vůbec rozpoznána.

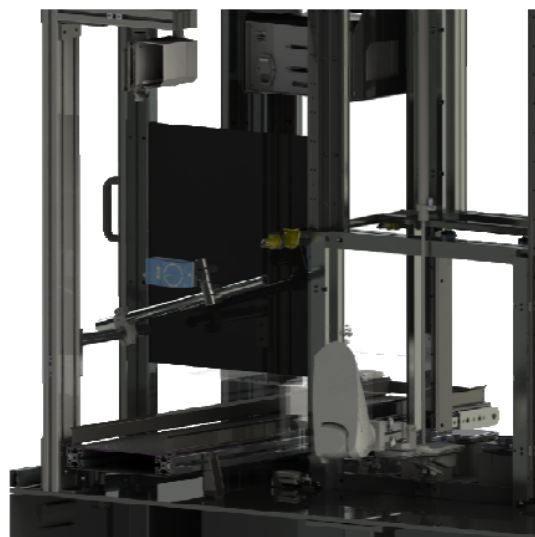
Parametry testu je třeba nakonfigurovat pro každý typ nádržky. K tomu je určený software Sopas ET od společnosti Sick. Pomocí tohoto softwaru se vytvoří snímek, na kterém se vyberou oblasti, které jsou pro test důležité a nastaví se jejich parametry pro rozpoznávání. Výslednému programu se přiřadí pořadové číslo, které slouží k jeho navolení. Pro volbu programu kamery byly vyhrazeny čtyři digitální výstupy.

<b>Rozlišení senzoru</b>	640 px x 480 px
<b>Optický formát</b>	1/3"
<b>Obnovovací frekvence skenování / zobrazování</b>	250 fps <sup>1)</sup>
<b>Počet monitorovaných oblastí</b>	32
<b>Počet referenčních objektů</b>	32 objektů

Obr. 2.12: Parametry kamery Sick VSPI-4F21111 [7]



Obr. 2.13: Kamera Sick VSPI-4F21111 [7]



Obr. 2.14: Umístění kamery v buňce

## 2.8 Zařízení pro značení mikroúderem

Díl, který projde kladně všemi kontrolami, bude označen identifikačním kódem jednotkou Couth MC 2000 U od společnosti Liftec. MC 2000 je spolehlivé řešení trvalého značení pomocí tzv. mikroúderu. Pneumatická, případně elektromagnetická verze zařízení umožňuje díky vysoké hustotě přesně umístěných mikrobodů značení široké škály znaků, tvarů, 2D kódů obrázků atd., uložených v paměti, v požadovaném rozměru a intenzitě. Trvalé značení je možné téměř na všechny druhy materiálů (kov, plast, dřevo, sklo, atd.). Vysoce odolné značení je viditelné i po následné povrchové úpravě například barevným nástřikem, zinkováním či pískováním. Pomocí

tohoto systému je možné označit extrémně tvrdé, nerovné a nepravidelné, ploché i zakřivené výrobky, které díky možnosti přesného nastavení nejsou deformovány ani nadměrně namáhány. Dlouhá životnost, bezúdržbový provoz a snadná integrace do výrobních linek bez nutnosti připojení PC vytváří spolehlivý nástroj pro trvalé značení produktů. S gravírovací stanicí Couth MC 2000 U řídicí PLC komunikuje pomocí sériové linky RS-232.



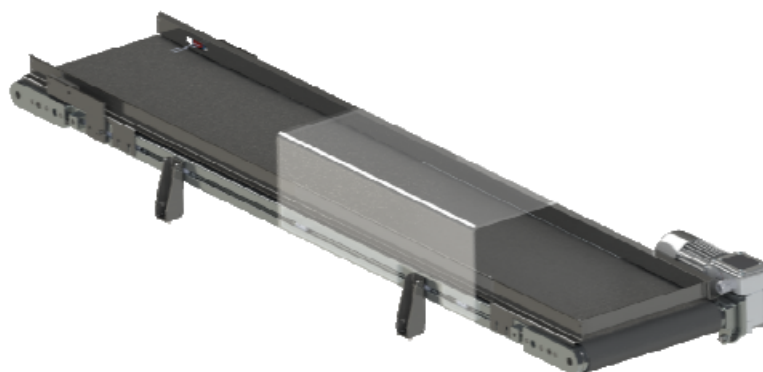
Obr. 2.15: Couth MC 2000U [8]



Obr. 2.16: Řídicí jednotka Couth MC 2000U [8]

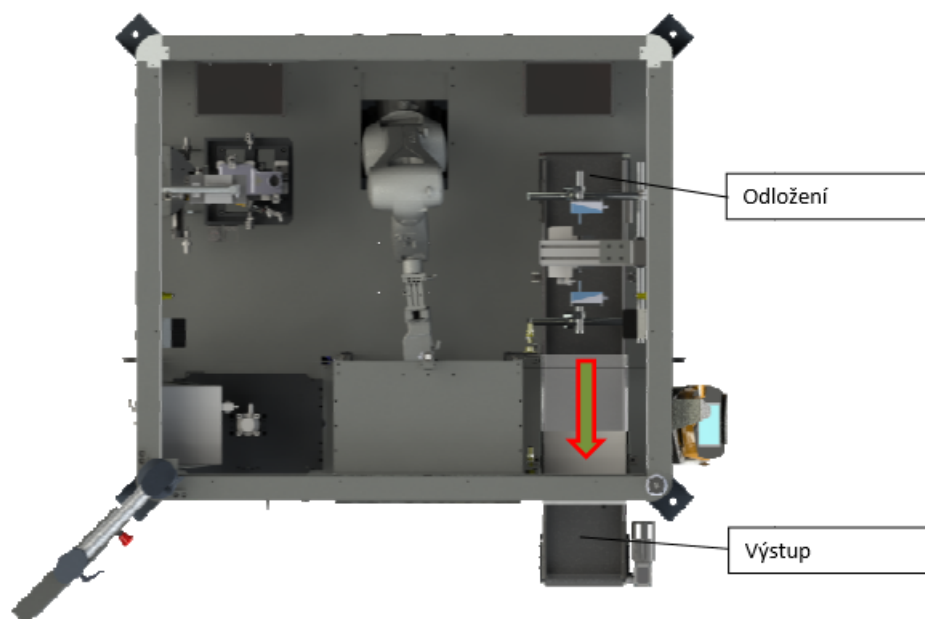
## 2.9 Výstupní pásový dopravník

Po vyražení identifikačního čísla průmyslový robot KUKA KR6 R900 odloží hotový otestovaný díl na výstupní pásový dopravník. Díl směřuje po dopravníku směrem k operátorovi, který jej z dopravníku odebírá.



Obr. 2.17: Výstupní pásový dopravník





Obr. 2.18: Umístění dopravníku v buňce

## 2.10 Robot Kuka KR6 R900 SIXX

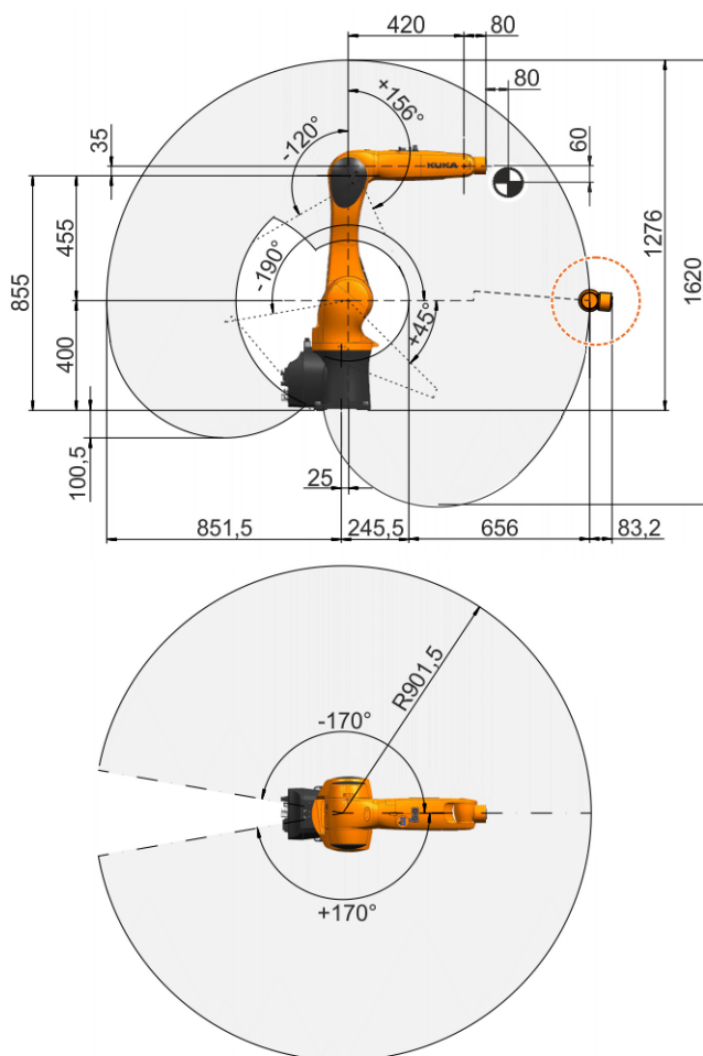
Model KR 6 R900 sixx disponuje maximální mezní zátěží 6 kg a dosahem 901 mm. KR AGILUS je cíleně dimenzován pro zvláště vysoké pracovní rychlosti. Robot je připojený k řídicí skříni KUKA KR C4 compact.



Obr. 2.19: Kuka KR6 900 sixx [9]

Mezní zátěž	6 kg
Pracovní zóna – max. dosah	901 mm
Počet os	6
Přesnost opakování	$\pm 0,03$ mm
Hmotnost	52 kg
Montážní pozice	země, stěna, zavěšení
Řídicí systém	KR C4compact
Stupeň ochrany	IP 54

Obr. 2.20: Parametry Kuka KR6 900 sixx [9]



Obr. 2.21: Pracovní prostor robotu Kuka KR6 900 sixx [9]

## 2.11 Řídicí jednotka KUKA KR C4 compact

Jedná se o řídicí jednotku, která spojuje řízení robota a jeho pohybu s řízením PLC, CNC a Safety. Integruje tedy tyto čtyři druhy řízení do jednoho systému.

V případě této práce řídicí jednotka KUKA KR C4 compact zajišťuje veškeré řízení robota a jeho bezpečnosti. S nadřazenou hlavní řídicí jednotkou PLC od firmy Siemens komunikuje pomocí rozhraní Profinet.

Rozměry	Procesor	Pevný disk	Rozhraní	Počet os	Krytí	Hmotnost
271x483x463 mm	Vícejádrový	SSD	USB3.0, GbE, DVI-I	6+2	IP20	33 kg



Obr. 2.22: Řídicí jednotka KUKA KR C4 compact [10]

## 2.12 Ovládací panel SmartPad

Ovládací panel SmartPad slouží k programování a ovládání robotu KUKA KR 6 R900 sixx. Mezi jeho vlastnosti patří:

- snadná intuitivní obsluha pomocí dotykového panelu s plovoucími kontextovými okny
- přímé řízení osmi os / doplňkových os samostatnými pohybovými klávesami bez nutnosti přepínat
- účinné programování pomocí 6D klávesnice na dotykovém panelu
- důsledné pokračování ve vývoji osvědčených koncepcí obsluhy a programování od společnosti KUKA

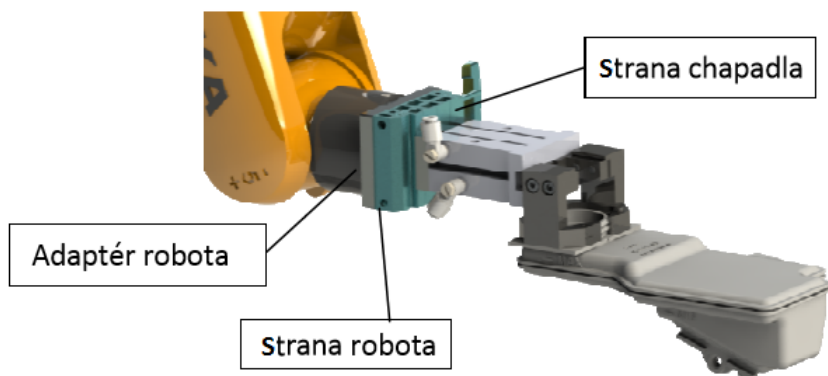
- není nutné zaškolování
- přímé ukládání a načítání konfigurací přes port USB přímo pomocí tabletu smartPAD
- funkce HotPlug, když se tablet smartPAD nepoužívá, lze jej snadno odpojit
- ochrana zraku díky vysokému rozlišení obrazovky a velkému antireflexnímu displeji
- vysoká mobilita a neunavující práce díky hmotnosti 1100g [11]



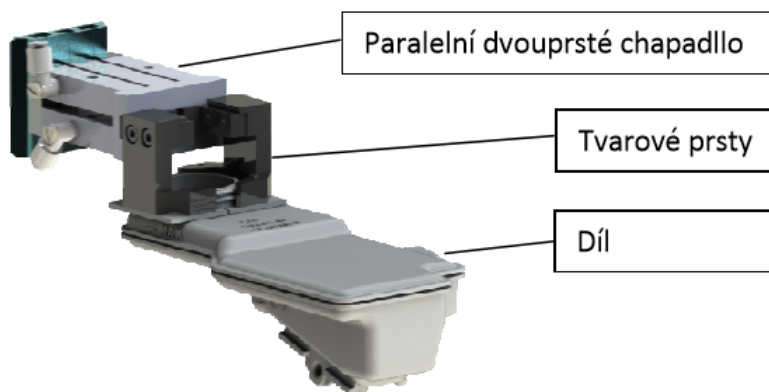
Obr. 2.23: SmartPAD [11]

## 2.13 Výměníkový systém

Průmyslový robot KUKA KR6 R900 sixx je vybaven manuálním výměňkovým systémem SWM od firmy ASS, který umožňuje, v případě potřeby, rychlou výměnu chapadla. Výměníkový systém se skládá ze dvou částí. Ze strany robota (pevná část) a ze strany chapadla (výměnná část). Chapadlo je tvořeno dvoupřstým paralelním chapadlem MHZ2 a tvarovanými vyráběnými prsty.



Obr. 2.24: Výměnná a pevná část systému SWM



Obr. 2.25: Chapadlo

## 2.14 Ventilový ostrov Festo

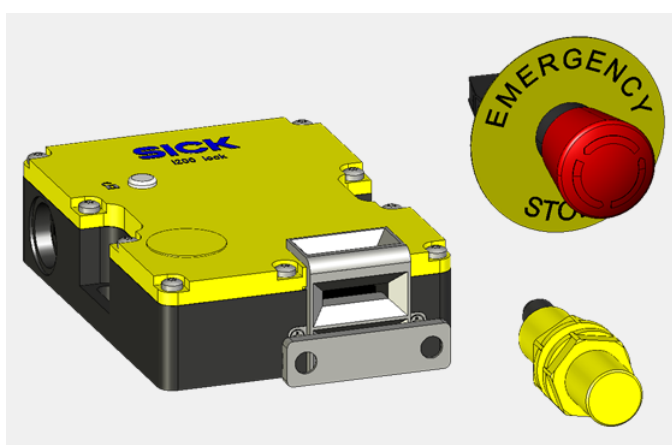
Další součástí systému je ventilový ostrov Festo, na kterém se nachází celkem patnáct ventilů. Tyto ventily se využívají pro ovládání pneumatických válců, které zajišťují pohyb oken, pneumatické části testu těsnosti, upínek a u elektrického testu pro ovládání otoče<sup>1</sup> a připojování kontaktů - ingunů. PLC s tímto ostrovem komunikuje pomocí rozhraní Profinet.

<sup>1</sup>Otočná část stanice elektrického testu viz obr.2.10.

## 2.15 Bezpečnostní prvky

Aby byl provoz bezpečný, jsou na buňce instalovány bezpečnostní prvky. Celkem jsou na vstupní bezpečnostní karty přivedeny signály z pěti bezpečnostních senzorů hlídajících polohu oken, jednoho signálu od tlačítka nouzového zastavení a dva signály od optické závory, která slouží jako ochrana před vniknutím cizího tělesa do prostoru testu těsnosti z vnitřní strany buňky, pokud matrice není otevřená.

Na výstupní kartu jsou připojeny signály pro sepnutí stykače hydraulického válce u testu těsnosti a pro přístup ovládacího vzduchu do ventilového ostrovu Festo. Dále je na těchto vstupních a výstupních kartách připojena celá řada bezpečnostních signálů, které zajišťují komunikaci z bezpečnostního hlediska mezi robotem a PLC.



Obr. 2.26: Safety prvky

## 3 SOFTWARE PRO BEZPEČNOST A FUNKČNOST TESTOVACÍ LINKY

### 3.1 Safety

Součástí buňky je několik zařízení, která mohou být pro obsluhu nebezpečná. Mezi ně patří zejména robot, hydraulický válec, okna, otoč elektrického testu, případně dopravníkový pás. Aby bylo zamezeno potenciálnímu zranění obsluhy, bylo nutné implementovat následující opatření.

#### 3.1.1 Nouzové zastavení

Jak vyplývá z popisu, obsahuje buňka řadu pohyblivých částí. S tím je třeba počítat z bezpečnostního hlediska. Každou pohyblivou část je třeba hlídat pomocí alarmů. Všechny okna, upínky, otoč i připojení kontaktů elektrického testu mají přiřazené časovače, které se aktivují v okamžiku nastavení signálů pro změnu jejich polohy. Pokud k tomuto dojde, znamená to, že daná pohyblivá část nezměnila svoji polohu v časovém limitu z důvodu fyzické překážky. Z bezpečnostních důvodů PLC na takovýto alarm reaguje nouzovým zastavením linky, jelikož by mohlo dojít k úrazu operátora, nebo k poškození robota.

Vyhodnocování bezpečnosti optické závory je závislé na jeho vstupních signálech a poloze přítlačné matrice testu těsnosti. Pokud matrice není plně otevřená a přeruší se optické signály závory, dojde k okamžitému nouzovému zastavení. Pokud je však matrice plně otevřená, k zastavení nedojde. Umožní se tak robotovi odebrání nádržky ze stanice testu těsnosti.

Nouzové zastavení je možné aktivovat i pomocí tlačítka nouzového zastavení, které je umístěné v rámu dotykového panelu, a nebo signálem od robota. Ten je vygenerován, pokud dojde k porušení jeho bezpečnostních prvků, nebo se manuálně promáčkne tzv. "deadman switch", což je přepínač na panelu SmartPad.

Poslední možností jak vyvolat automatické zastavení je, pokud by došlo k otevření bočních dveří. Ty jsou v automatickém módu zamčené bezpečnostními zámky. Aby bylo možné boční dveře otevřít, musí být linka zastavena a robot musí být v jednom z manuálních režimů - T1, či T2.

#### 3.1.2 Stykače hydraulického válce

Nejnebezpečnější částí celé buňky je hydraulický válec stanice testu těsnosti. Je schopen vyvinout velkou sílu a při nesprávné manipulaci může ohrozit obsluhu. Je tedy na místě, aby nebylo možné ho uvést do pohybu, pokud není jisté, že nedojde k

jakékoliv kolizi. Jako vhodné a účelové řešení se ukázala být dvojice stykačů řazených do série. Oba tedy musí být sepnuté, aby bylo možné s válcem pohnout. První stykač je sepnutý, pokud nedošlo k jakékoliv chybě vyhodnocené bezpečnostními senzory. Druhý stykač je v manuálním režimu sepnutý, pokud je zavřené okno u testu těsnosti. V automatickém režimu je kromě zavřeného okna navíc nutné, aby se algoritmus řídicí test těsnosti nacházel v části programu, kdy je pohyb hydraulického válce vyžadován.

## 3.2 Komunikace s robotem

Komunikace s robotem byla koncipována tak, že dochází k výměně informací pomocí flagů. Robot tedy má svoji programovou smyčku, ve které se periodicky dotazuje, zda má provést nějakou část svého programu. Ke každé úloze tedy musí proběhnout handshake, při kterém dojde k nastavení bitu - požadavku ze strany PLC, na který robot reaguje provedením požadované akce. Při plnění této akce dochází k nastavování komunikačních bitů ze strany robota. Ty signalizují, v jakém stavu se robot nachází a PLC na informace, které tyto signály pro něj představují, příslušně reaguje. Pokud robot dokončí požadovanou sekvenci, dojde k nastavení bitu ze strany robota, který tuto skutečnost signalizuje. PLC tuto informaci zaznamená a zruší požadavek na vykonání akce, čímž dojde i ke zrušení signálů ze strany robota.

Výhodou tohoto řešení je, že požadavků na provedení jednotlivých úloh může být libovolný počet, jelikož k jejich vyhodnocení dochází sekvenčně v programu na straně robota.

Pro komunikaci s robotem je možné využít až šedesát čtyři bezpečnostních digitálních vstupů/výstupů a až dvě padesát šest digitálních vstupů/výstupů.

Pro základní komunikaci s robotem byly použity první tři byty, ze kterých je šestnáct signálů vstupních a osm výstupních. Vstupní signály nesou informace o stavu robota, jaký má navolený režim a o pozici robota. Výstupní signály slouží pro uvedení robota do chodu. Následuje výčet těchto signálů:

### Vstupní signály

- požadavek pro zaslání čísla programu
- chybové hlášení
- program navolen
- robot zastaven
- periferie připravena
- povolení k pohybu
- bezpečnost je zajištěna
- robot je aktivní
- bezpečnostní zastavení robota
- robot je v home pozici
- robot se nachází v definovaném pracovní prostředí
- robot je v poloze, kdy je možný bezpečný návrat do home pozice



- robot v režimu T1 - manuální ovládání s omezenou maximální rychlostí pohybu
- robot v režimu T2 - manuální ovládání
- robot v režimu AUT - robot v automatickém režimu
- robot v režimu EXT - robot v režimu externího ovládání

#### Výstupní signály

- parita čísla programu
- číslo programu validní
- signál pro start robota
- kvitace hlášení
- I/O aktivní
- zapnout pohony
- vypnout pohony
- povolení k pohybu

Pro účely řízení programu robota bylo použito dvacet čtyři výstupních signálů, které reprezentují příkazy pro robota jako jsou požadavky na založení do, či odebrání nádržek z jednotlivých stanic a informace o výsledků testů, které určují zda robot má s nádržkou pokračovat k další stanici, či ji zahodit do NOK boxu.

Zpětnou vazbu od robota zajišťuje osmnáct výstupních signálů, které poskytují pro PLC informace o dokončení požadovaných příkazů.

### 3.3 Recepty

Jelikož vznikl požadavek na možnost upravování parametrů testů, bylo nutné implementovat jejich dynamickou volbu v rámci algoritmů a možnost editace pomocí dotykového panelu. S výhodou k tomuto účelu byla využita funkce receptů, která je součástí runtime systémů Simatic HMI.

Byla nadefinována struktura receptů, kde výběr sady parametrů je závislý na typu nádržky a zvoleném druhu programu. Mezi nastavitelné parametry patří:

- Test těsnosti
  - číslo programu měřícího přístroje Ateq
  - žádaná hodnota vnitřního tlaku nádržky při testu těsnosti
- Elektrický test
  - odpor vodičů
  - maximální hodnota kontaktního odporu nádržky
  - žádaná hodnota odporu nádržky při sepnutém stavu plováku
- Číslo programu kamery
- Hodnoty pro časovače pásového dopravníku

Všechny tyto parametry se aplikují v okamžiku startu automatického módu.

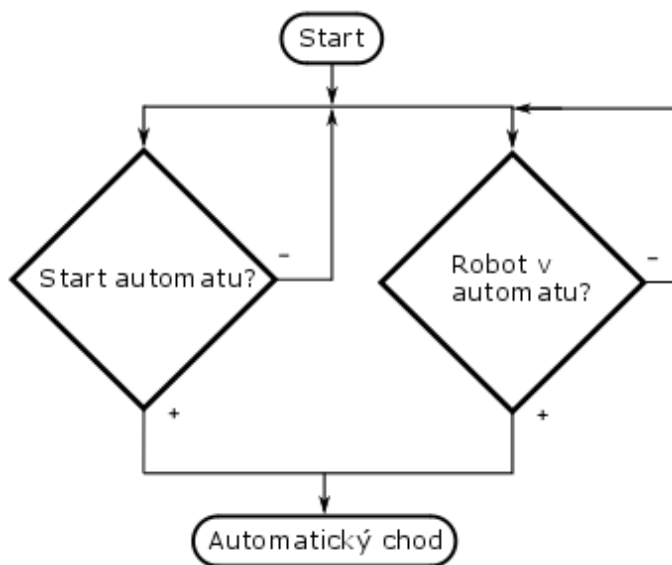
### 3.4 Start automatu a automatický mód

Aby bylo možné uvést testovací linku do provozu, bylo nutné vytvořit startovací sekvenci, při které bylo nutné zkontrolovat, zda je spuštění možné z hlediska bezpečnosti a zda je robot ke spuštění připravený. Pokud startovací sekvence proběhne a jsou splněny všechny podmínky pro start, uvede se linka do automatického módu.

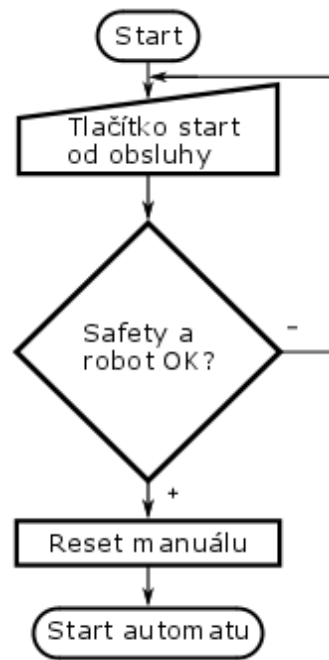
Automatický mód je stav linky, do kterého se dostane po výběru programu na dotykovém panelu a spuštění pomocí tlačítka pro start automatu viz obr. 4.1. Dojde ke kontrole, zda je veškerá bezpečnost týkající se buňky v pořádku a zda je robot v režimu externího řízení a není v poruše. Pokud by tyto podmínky nebyly splněny, nedojde k nastavení příznaku pro startování automatu. Pokud jsou však tyto podmínky splněny, dojde k ukončení manuálního módu, pokud byl aktivní a následně se nastaví příznak pro startovací sekvenci, aby se linka uvedla do automatického provozu.

Startovací sekvence je z pohledu PLC velmi jednoduchá v tom, že na příznak pouze reaguje uvedením linky do automatického módu. Tento příznak je důležitý pro robota, který na něj reaguje spuštěním prvotní komunikace s PLC a následně navolením žádaného programu. PLC získává nepřetržité informace o tom, zda je robot v režimu externího řízení a tím je i udržován automatický chod na straně PLC.

Náledující vývojové diagramy popisují startovací sekvenci pro uvedení linky do automatického chodu.



Obr. 3.1: Vývojový diagram automatického módu



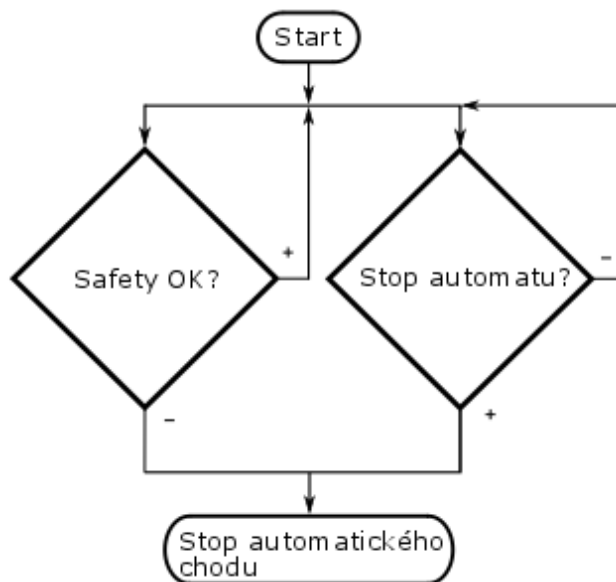
Obr. 3.2: Vývojový diagram startu automatu

### 3.5 Zastavení automatického módu

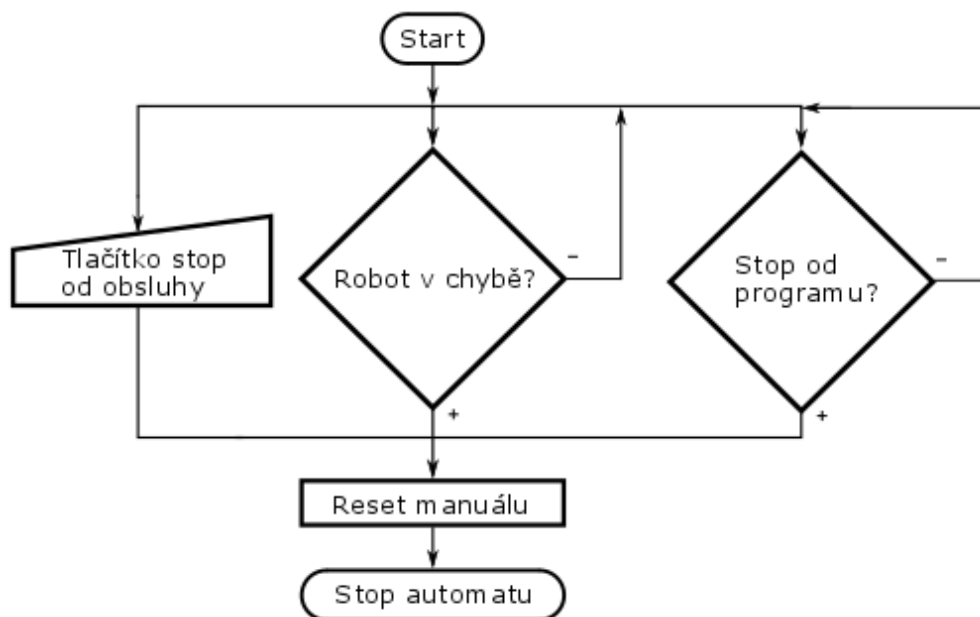
Je zřejmé, že je nutné mít možnost linku zastavit. To je umožněno přechodem z automatického módu do stavu zastaveno.

Zastavení automatického módu je možné dvěma způsoby. První případ nastává, pokud dojde k porušení bezpečnosti. Jedná se o situaci, kde bezpečnostní čidla vyhodnotí chybu, či nesprávnou manipulací s linkou. V tomto případě dochází k okamžitému uvedení linky do stavu zastaveno.

Druhou možností je vyhodnocení příznaku pro zastavení automatu. Ten může být aktivován buď na žádost operátora pomocí tlačítka, nebo pokud se robot nachází v chybě, nebo pokud je požadavek na zastavení linky generován programem. Ve všech případech dochází k nastavení příznaku pro zastavení automatu a zároveň dochází i k ukončení manuálního módu, pokud byl aktivní. Příznak pro zastavení je opět důležitý kvůli robotovi, kterému se jeho nastavením zakáže povolení k pohybu.



Obr. 3.3: Vývojový diagram zastavení automatického módu



Obr. 3.4: Vývojový diagram podmínek pro zastavení buňky

### 3.6 Dummy díly

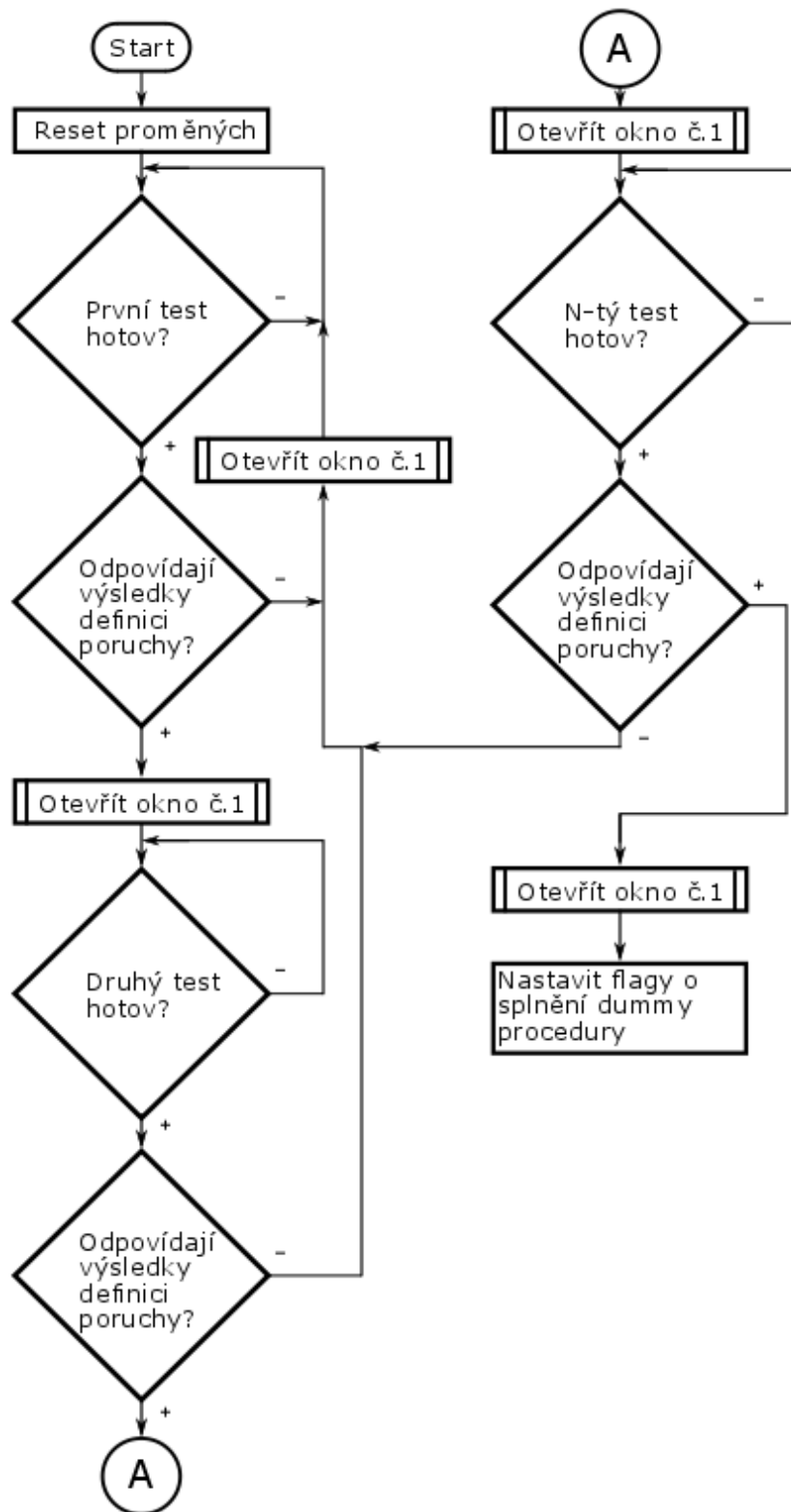
Aby bylo možné uvést linku do plného automatického režimu, je třeba se ujistit, že všechny měřicí přístroje fungují korektně. K tomu byl vytvořen tzv. dummy<sup>1</sup> mód, který je spuštěn bezprostředně po startovací sekvenci automatického režimu.

V tomto módu jsou vyžadovány zkušební dummy díly, které je potřeba otestovat v definovaném pořadí. Každý tento díl má zabudovanou přesně definovanou poruchu, kterou musí linka odhalit.

Pokud by došlo k chybnému vyhodnocení poruchy nebo by definovanou poruchu některý z měřicích přístrojů nezaznamenal, následoval by návrat na začátek testovacího procesu. V takovémto případě je třeba zjistit příčinu chybného vyhodnocení poruchy. Jestliže je chyba na straně měřicích přístrojů, tak je nutné daný přístroj zkalibrovat.

Pokud jsou všechny dummy díly otestovány ve správném pořadí a linka správně vyhodnotí všechny definované poruchy, dojde k uvedení linky do výrobního režimu, který byl operátorem před startem zvolen.

<sup>1</sup>Dummy díly jsou díly s definovanými vlastnostmi. Využívají se pro ověření funkčnosti stanic.



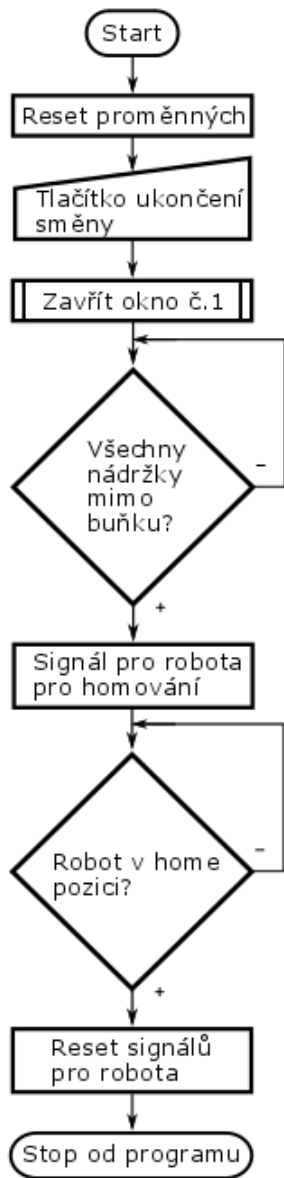
Obr. 3.5: Vývojový diagram dummy dílů

### 3.7 Konec směny

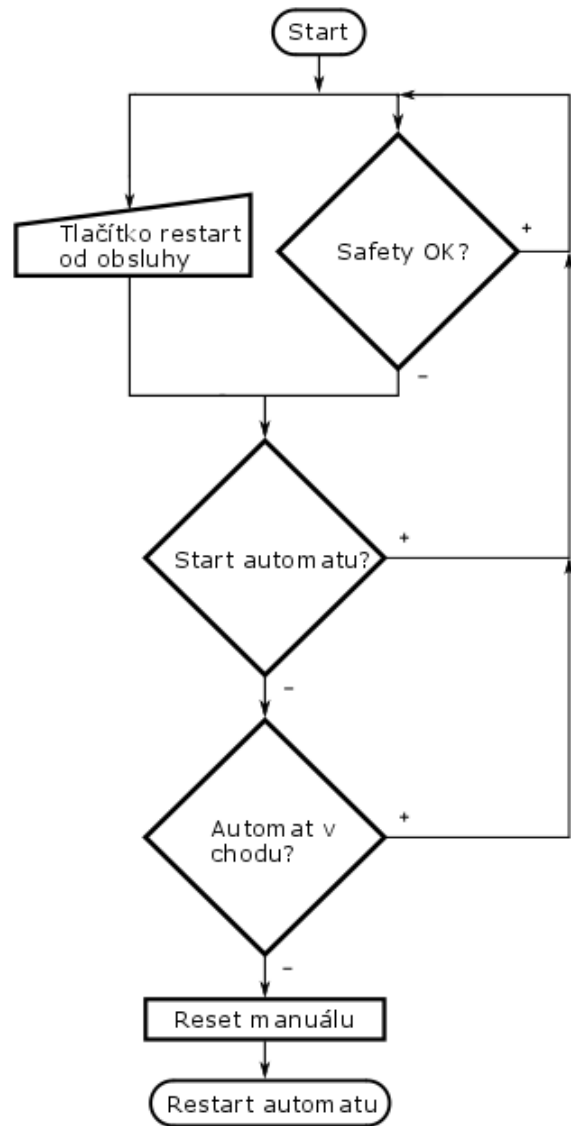
Aby nebylo nutné resetovat program robota při změně směny či typu programu pro daný typ testovaných nádržek, bylo nutné vytvořit sekvenci, která umožní korektní ukončení směny. K tomu, slouží dvojice tlačítek "poslední díl" a "konec směny", které jsou součástí vizualizace viz obr. 4.1.

Po stisknutí tlačítka posledního dílu dojde k zavření okna testu těsnosti, které slouží jako vstup nádržek do linky a tím se operátorovi zamezí možnosti založení dalších nádržek. V testování se pokračuje dokud poslední nádržka neopustí buňku. V tomto okamžiku se robot automaticky uvede do své základní (home) pozice a uvede se do stavu, kdy očekává volbu programu a spuštění automatického módu. Následně dojde k přepnutí do režimu zastaveno.

V tomto režimu je možné buď linku opět uvést do automatického režimu a pokračovat v testování, a nebo pomocí tlačítka konce směny definitivně ukončit směnu, čímž se odemkne možnost volby jiné směny a jiného programu pomocí HMI. Po navolení požadované směny a typu programu lze uvést linku opět do automatického chodu bez nutnosti resetovat program robota.



Obr. 3.6: Vývojový diagram konce směny



Obr. 3.7: Vývojový diagram restartu automatu



## 3.8 Test těsnosti

Po uvedení linky do automatického režimu dochází k resetu všech proměnných u všech testů. Toto opatření zajistí, že nedojde k chybě, či neočekávanému chování linky vlivem starého stavu některé z proměnných.

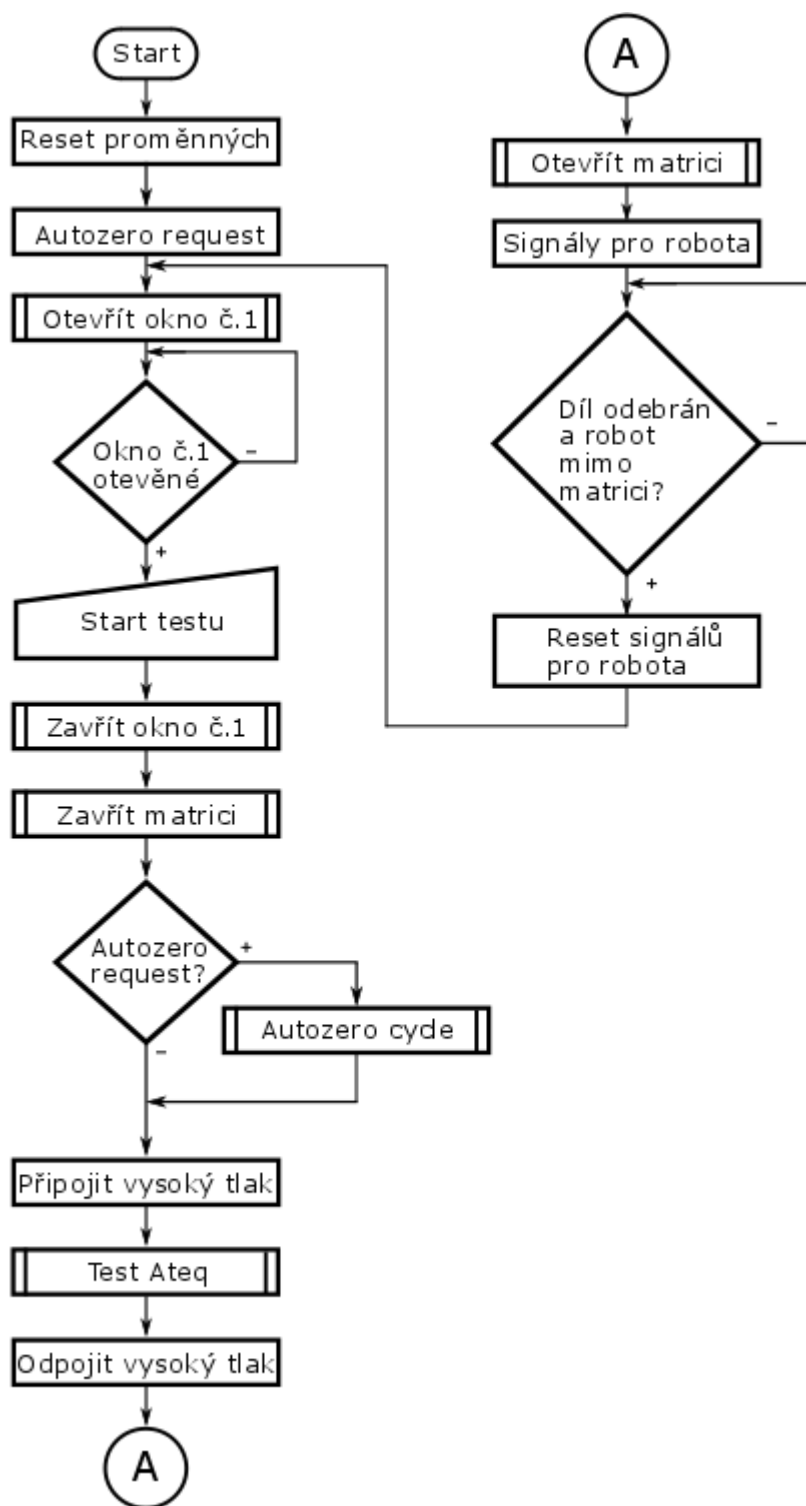
Jelikož se stroj právě uvedl do automatického režimu, je nutné před prvním měřením provést nastavení nulové hodnoty tlaku vzhledem k tlaku atmosférickému. K tomu slouží automatický cyklus - tzv. autozero. Příznak, že je třeba nulování provést, je nastaven hned po resetování všech proměnných.

Následuje otevření okna u testu těsnosti a tím se umožní operátorovi založit nádržku a spuštění testování pomocí tlačítka.

Vlastní sekvence testovacího procesu se skládá z následujících kroků:

- zavření okna u testu těsnosti, čímž se zamezí přístup k testovací matici
- uzavření testovací matrice
- provedení autozero cyklu, pokud je požadován
- připojení vysokého tlaku, který je pro každý druh nádržky přesně definován
- test těsnosti přístrojem Ateq
- odpojení vysokého tlaku
- otevření matrice
- nastavení signálů pro robota podle výsledku testu a příkaz pro odebrání nádržky z matrice
- odebrání nádržky robotem
- resetování signálů pro robota
- otevření okna u testu těsnosti

Po posledním kroku algoritmus pokračuje čekáním na založení nádržky a zmáčknutí tlačítka pro spuštění testu, čímž dojde k uzavření cyklu.



Obr. 3.8: Vývojový diagram testu těsnosti v automatickém módu

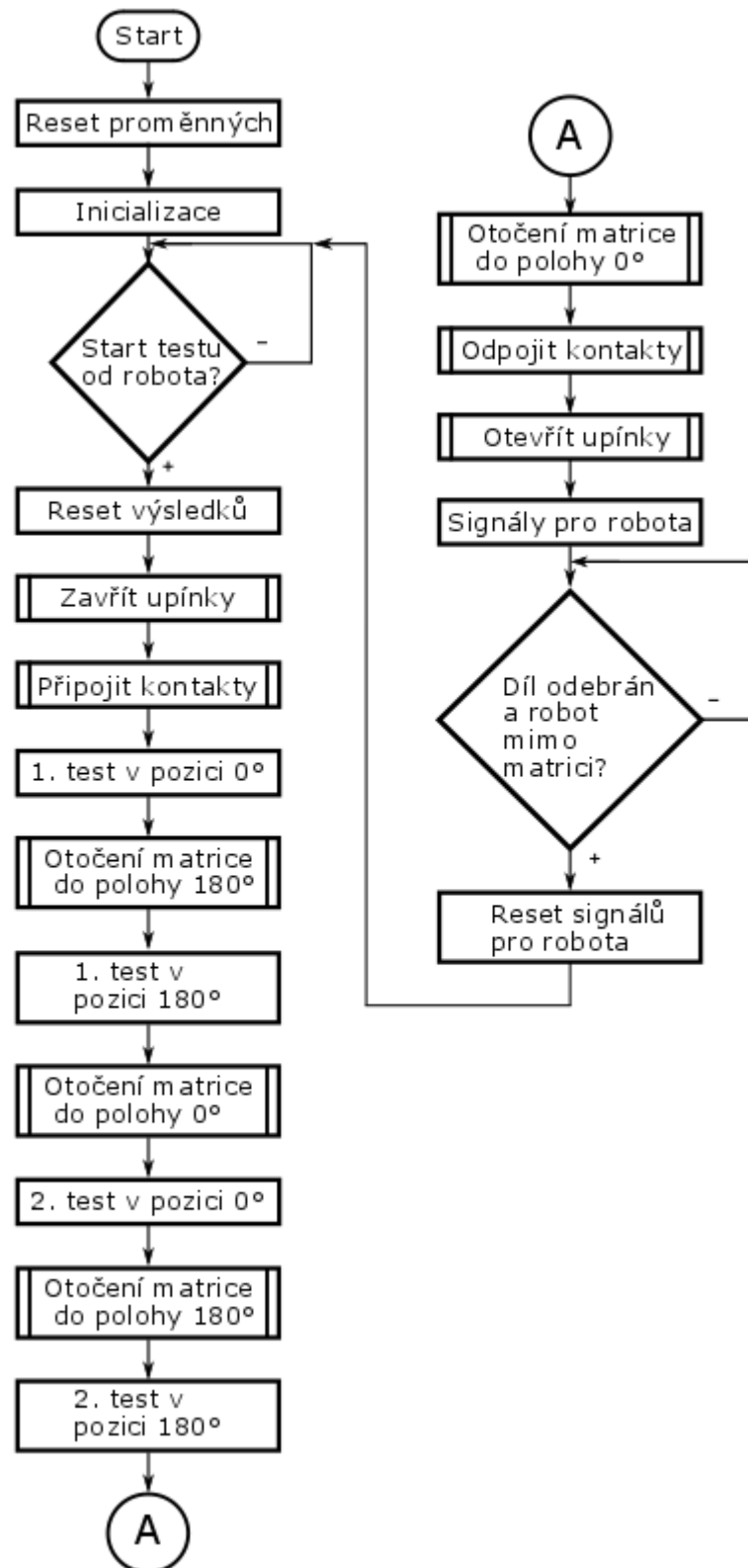
### 3.9 Elektrický test

Obdobně jako u testu těsnosti dochází na začátku algoritmu k resetu proměnných. Následuje inicializace, která zajistí správnou polohu přípojných kontaktů, otočné části a otevření upínek. Tím je stanice elektrického testu připravena na založení nádržky.

Elektrický test je spuštěn příkazem od robota, který vygeneruje poté, co nádržku založí do matrice a opustí prostor stanice elektrického testu. Dojde k resetu výsledků předchozího testu. Následuje zajištění dílu proti vypadnutí pomocí upínek a připojení měřicích kontaktů - ingunů.

Po těchto úkonech následuje vlastní testování správné funkce plováku. Ta je ověřena změřením a vyhodnocením odporu plováku ve dvou pozicích napětovou, nebo proudovou metodou, dle typu nádržky. Měření je provedeno jednou v poloze otočné části  $0^\circ$ , při které by plovák měl být v takové poloze, že bude vnitřní obvod v nádržce rozepnutý a dvakrát v poloze  $180^\circ$ , při které by mělo dojít ke spojení vnitřního obvodu nádržky. Pro každý typ nádržky jsou definované rozsahy, kterým naměřené hodnoty musí odpovídat, aby byl test vyhodnocen jako kladný. Po posledním měření se matrice otočí do výchozí pozice  $0^\circ$  a dojde k odpojení kontaktů a otevření upínek.

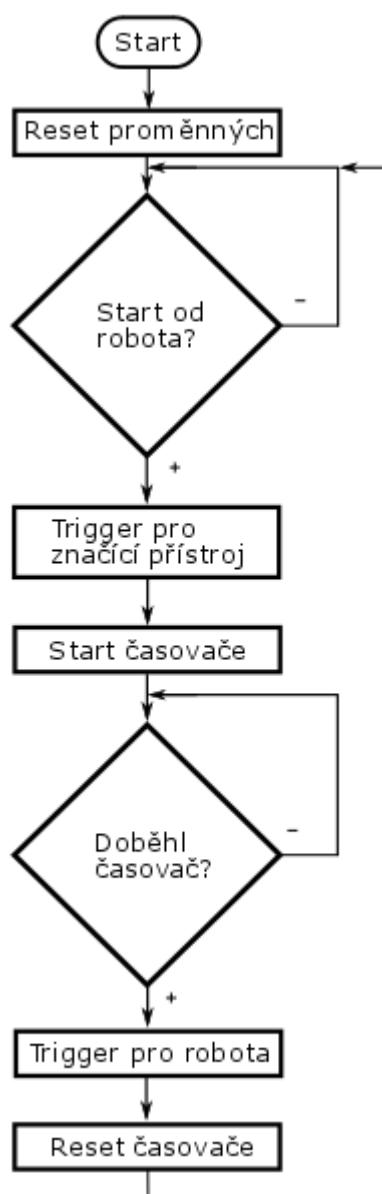
Následuje odeslání signálů pro robota, které dle výsledku testu obsahují informaci o tom, zda má nádržku zahodit do NOK dílů, či pokračovat k další stanici a dojde k nastavení příznaku pro odebrání nádržky. Po jejím odebrání dojde k resetu signálů pro robota a k návratu na začátek algoritmu viz obr. 3.9



Obr. 3.9: Vývojový diagram elektrického testu v automatickém módu

### 3.10 Značení pryskyřicí

Pro ovládání činnosti značícího zařízení se ukázalo být vhodným řešením ovládání pouze jedním bitem, který je spínán v okamžiku, kdy robot je s nádrčkou v příslušné poloze pro značení a nastaví požadavek na spuštění. Celý proces značení trvá 800 ms. Po uplynutí této doby dojde k odeslání informace pro robota o dokončení značení, načtež robot shodí požadavek na označení a pokračuje v cyklu. Pokud by z jakéhokoliv důvodu značení neproběhlo korektně, je tato skutečnost vyhodnocena kamerovým testem a došlo by k zahození nádrčky.



Obr. 3.10: Vývojový diagram značení pryskyřicí v automatickém módu

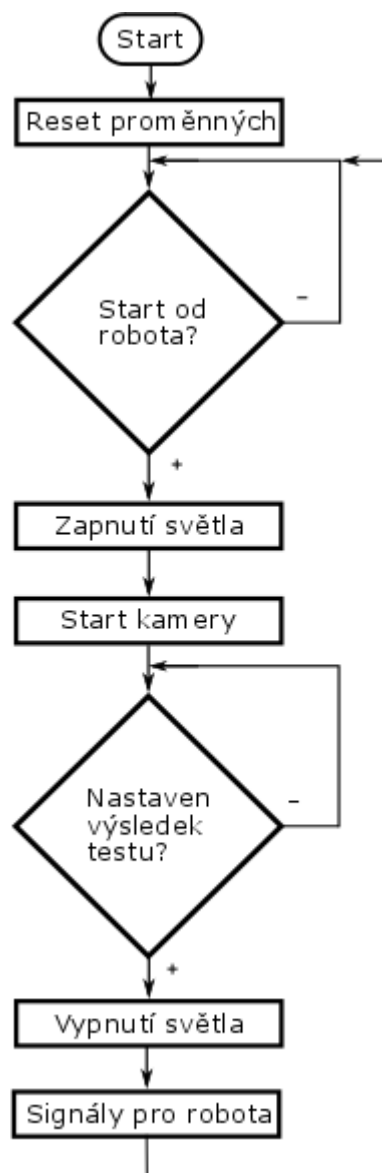
## 3.11 Kamera

Aby bylo možné provést kamerový test, je třeba mít navolený program kamery. K jeho volbě dochází v okamžiku načtení receptu při spuštění automatického chodu, čímž se kamera uvede do provozu.

Kamera je opět spouštěna triggerem od robota. V okamžiku, kdy je robot ve správné poloze, nastaví spouštěcí signál. Ten PLC vyhodnotí a zapne osvětlení. Jakmile je zapnuté osvětlení, spustí se pomocí dalšího triggeru kamera, která nádržku nasníma a dle nastavených parametrů vyhodnotí, zda jsou všechny požadavky splněny. Kamera na svých výstupech nastaví příslušné bity, které reprezentují tři možné výsledky testu:

- díl byl rozpoznán a je v pořádku
- díl byl rozpoznán a není v pořádku
- díl nebyl rozpoznán

Světlo se vypne a dle výsledku testu dojde k nastavení vstupních bitů pro robota, které indikují, zda má nádržku zahodit do špatných dílů, a nebo pokračovat v cyklu. Robot tyto informace vyhodnotí, shodí požadavek na testování pomocí kamery a provede požadované úkony.



Obr. 3.11: Vývojový diagram kamerového testu v automatickém módu

## 3.12 Značení mikroúderem

Jak bylo uvedeno v kapitole 2.1, poslední stanicí je stanice gravírování pomocí mikroúderu, která nádržku opatří unikátním identifikačním kódem. Tento kód je třeba pro každou nádržku vygenerovat ve tvaru SXXXX/DDDRRRR. Jednotlivá písmena znamenají:

- S - označení směny
- XXXX - pořadí nádržky
- DDD - den v roce
- RRRR - rok

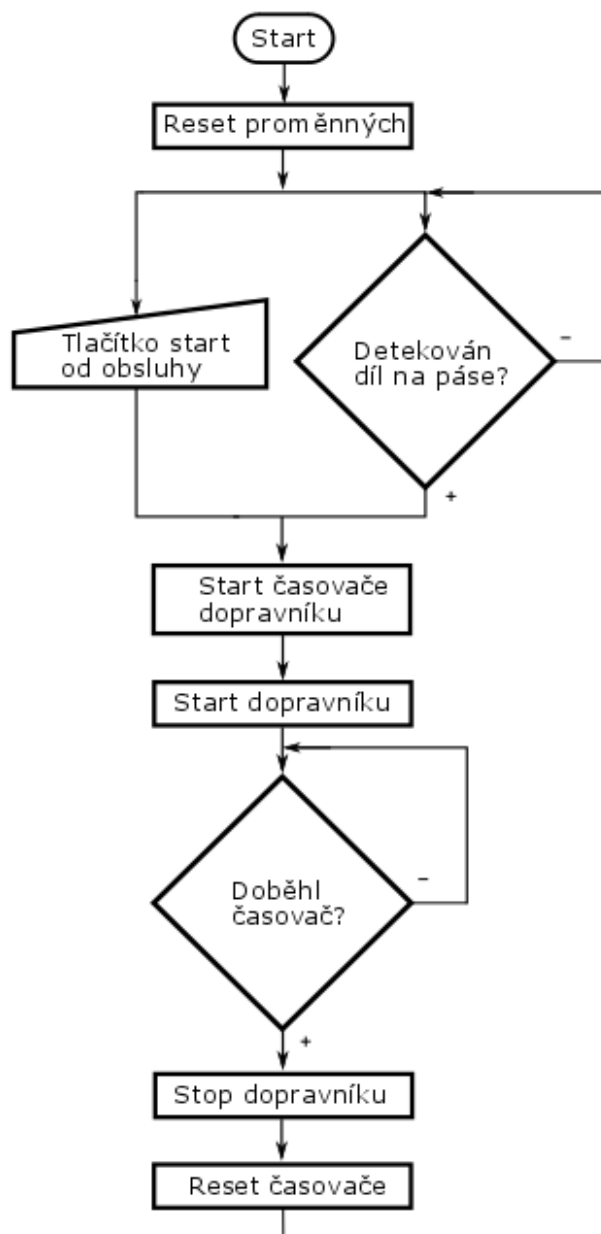
V okamžiku, kdy je robot v cílové poloze pro ražení, vyšle požadavek na jeho spuštění. PLC tento požadavek zaznamená a pomocí záznamu v paměti připraví řetězec znaků, který následně přes rozhraní RS-232 odešle stanici MC 2000 U, která po přijetí tohoto řetězce vygeneruje potvrzení. Dalším krokem je odeslání příkazu pro spuštění ražení. Následná komunikace obsahuje výměnu informací o stavu ražení. Po obdržení informace o ukončení ražení robot nádržku odloží na pásový dopravník.

## 3.13 Pásový dopravník

Po uvedení do automatického režimu dojde i u dopravníku k resetu proměnných. Mezi ně se řadí bit, který ovládá stykač motoru a proměnné časovačů.

Dopravník je spuštěn v okamžiku, kdy dojde k přerušení signálu optického senzoru nebo zmáčknutím příslušného tlačítka na operátorském panelu. Dle vybraného programu dojde ke spuštění časovače na definovanou dobu, po kterou bude dopravník aktivní. Po uběhnutí této doby se pásový dopravník zastaví a vyresetuje se časovač, načte se algoritmus zacyklí a čeká na další spuštění.





Obr. 3.12: Vývojový diagram pásového dopravníku

### 3.14 Sběr dat

Jak již bylo zmíněno v kapitole 1.2, sbírají se data o testovaných nádržkách.

Aby bylo možné data a sbírat, bylo potřeba vytvořit paměť, do které se naměřené hodnoty zapisují. Je možné, aby se v buňce zároveň nacházely maximálně čtyři nádržky. Z tohoto důvodu byla vytvořena paměť typu fronta pro čtyři záznamy. Každý záznam je přiřazený nádržce, která se nachází v buňce a postupně se doplňuje o naměřené hodnoty jednotlivých testů. Pokud je záznam naplněn a úspěšně se

vyrazí identifikační kód na nádržku, dojde k uložení záznamu na paměťovou kartu v PLC a odeslání řetězce se záznamem na server.

Pokud výsledek některého testu není kladný, dojde k odložení nádržky do příslušného NOK boxu a vymazání příslušného záznamu z paměti.

Po ukončení ražení mikroúderem dojde k vygenerování požadavku pro uložení záznamu o nádržce na paměťovou kartu a odeslání záznamu na server.

Při ukládání prvního záznamu směny je vygenerován název souboru typu csv. V algoritmu se zjistí, zda soubor s tímto názvem již existuje, pokud ano, vygeneruje se nový název a zkouška se opakuje. Pokud soubor s vygenerovaným názvem neexistuje, je vytvořen a nastaví se na něj ukazatel, který určuje do jakého souboru se bude zapisovat. V rámci jedné směny jsou všechny záznamy ukládány do tohoto souboru.

Stejný řetězec, jaký se ukládá do csv souboru na paměťové kartě, se zároveň posílá na server, který je nakonfigurovaný jako tzv. listener - posluchač. Pokud server zaznamená příchozí řetězec, uloží ho do SQL databáze dle jeho vlastních pravidel.

V aktuální verzi buňky se tedy nesbírají data o nádržkách, které neprojdou některým z testů. Z hlediska řízení kvality dle systému MES se jedná o zásadní nedostatek, jelikož nelze poruchy analyzovat pomocí výpočetní techniky. Jediná možnost, jak chybné nádržky analyzovat, je opakováním testovacího cyklu a zaznamenáním naměřených dat operátorem.

Z hlediska řízení kvality se zde nachází velký potenciál pro zlepšení. Sběrem těchto dat by se umožnila následná analýza pomocí softwaru, čímž by se výrazně zkrátila doba potřebná pro vyhodnocení původu závad.

## 4 VIZUALIZACE

Nedílnou součástí výrobní linky je vizualizace, která zajišťuje přehled všech potřebných informací a umožňuje ovládání provozu. Při tvorbě byl kladen důraz na přehlednost a dostupnost všech informací a ovládacích prvků pro automatický provoz z hlavní obrazovky. Jednotlivé prvky vizualizace jsou popsány na následujících stránkách.

### 4.1 Přístupová práva

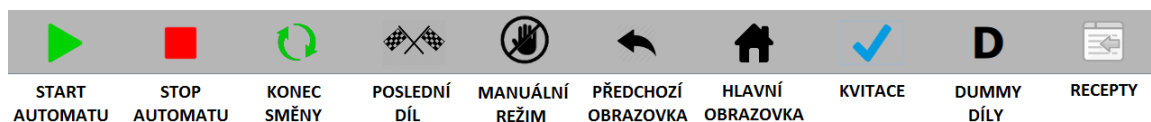
Jelikož lze přes vizualizaci ovládat celou buňku, jsou její součástí i prvky a funkce, které mohou v krajních situacích ohrozit zdraví obsluhy v případě nekorektního zacházení s manuálním ovládáním jednotlivých stanic nebo může dojít k poškození některých komponent.

Z tohoto důvodu byla implementována přístupová práva. Mezi rizikové ovládací prvky patří manuální mód a recepty. Existují tři úrovně přístupu: Bez přihlášení, User a Expert. V okamžiku, kdy je zmáčknuto příslušné tlačítko a operátor není přihlášen s dostatečnou úrovní přístupu pro jeho ovládání, zobrazí se výzva k přihlášení.

K tomu, aby bylo možné aktivovat manuální režim a přistupovat k receptům, je vyžadována nejvyšší úroveň - Expert. Úroveň User pouze umožňuje aktivaci tlačítka Konec směny, které v úrovni bez přihlášení je zakázané a to z toho důvodu, aby po zastavení linky nedošlo k jeho nechtěnému zmáčknutí a tím k ukončení směny. Všechny ostatní prvky vizualizace jsou přístupné ve všech úrovních přihlášení.

### 4.2 Hlavní ovládací tlačítka

Spodní lišta je vybavena následujícími tlačítky:

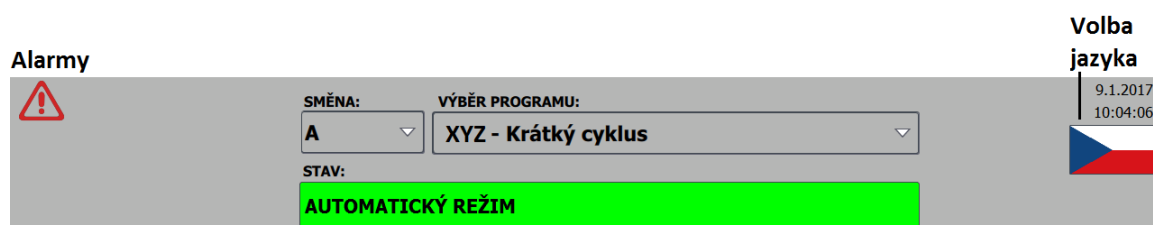


Obr. 4.1: Tlačítka

- Start automatu - spustí startovací sekvenci pro automatický mód
- Stop automatu - uvede linku do stavu zastaveno
- Konec směny - vynuluje čítače a uvolní volbu směny a programu
- Poslední díl - spustí sekvenci pro korektní ukončení směny

- Manuální režim - uvede linku do manuálního režimu a zobrazí okno pro volbu stanic
- Předchozí obrazovka - zobrazí předcházející obrazovku
- Hlavní obrazovka - přepne na hlavní obrazovku
- Kvitace - potvrzení všech hlášek, duplicita pro případ poruchy fyzikého tlačítka
- Dummy díly - zobrazí obrazovku s přehledem stavu testovacích nádržek pro spuštění automatického módu
- Recepty - navolí obrazovku s rozhráním pro editaci receptů

### 4.3 Horní lišta

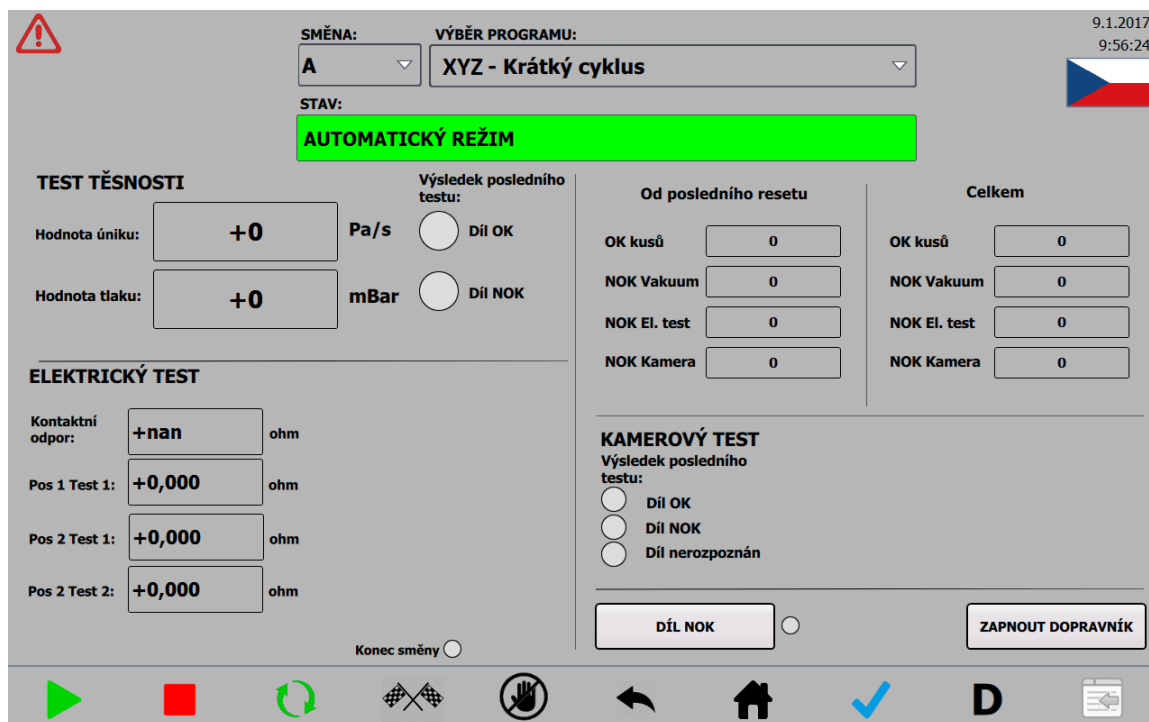


Obr. 4.2: Horní lišta

- Alarmy - přepne na přehled alarmů a hlášek
- Směna - umožňuje výběr směny A, B, nebo C, které odpovídají ranní, odpolední a noční směně
- Výběr programu - umožňuje výběr požadovaného programu pro automatický mód. Možné volby jsou:
  - XYZ - označení typu nádržky
  - Krátký cyklus - test proběhne bez značení pryskyřicí a stanic operátorských oken
  - Dlouhý cyklus - test proběhne i se značením pryskyřicí a stanic operátorských oken
  - Manuální volba stanic - umožní zvolení libovolné kombinace stanic
- Stav - Vypíše a barevně zvýrazní aktuální stav linky
- Volba jazyka - možná volba mezi českým a anglickým jazykem

Tyto části vizualizace jsou až na výjimku několika obrazovek vždy dostupné a viditelné. Umožňují rychlé získání přehledu o aktuálním stavu linky a zároveň zajišťují intuitivní ovládání základní funkcionality buňky.

## 4.4 Hlavní obrazovka



Obr. 4.3: Hlavní obrazovka

Hlavní obrazovka je rozdělena do pěti částí. Tři části odpovídají jednotlivým testovacím stanicím, u kterých jsou viditelné všechny potřebné informace, podle kterých je operátor schopen kontrolovat činnost linky. Naměřené hodnoty jsou podbarveny buď zeleně, pokud odpovídají nastaveným limitům, červeně pokud limitům nevyhověly a nebo šedě, pokud hodnoty nejsou aktuální. Dále dochází obdobným způsobem k signalizaci celkového výsledku testů jednotlivých stanic.


Ve čtvrté části jsou zobrazeny hodnoty čítačů. V sekci "Od posledního resetu" se zobrazuje počet nádržek, který byl linkou otestován v aktivní směně. V sekci "Celkem" je zobrazen počet otestovaných nádržek od uvedení linky do provozu.

V poslední části se nachází pomocné ovládací prvky. Tlačítko "Díl NOK" je viditelné v dlouhém cyklu, kdy je jeho součástí i stanice operátorských oken. Slouží k označení nádržky jako vadný kus a je po odebrání robotem zahozena do NOK boxu. Tlačítko "Zapnout dopravník" slouží ke spuštění chodu pásového dopravníku. Tím pádem může operátor kdykoliv odebírat otestované nádržky.

## 4.5 Alarmy

Čís.	Čas	Datum	Text
2	10:01:03	9.1.2017	SAFETY - NOUZOVÉ ZASTAVENÍ
1	10:01:03	9.1.2017	SAFETY - BOČNÍ OKNA NEJSOU ZAVŘENÉ
1022	10:01:03	9.1.2017	DOPRAVNÍ PÁS JE PLNÝ

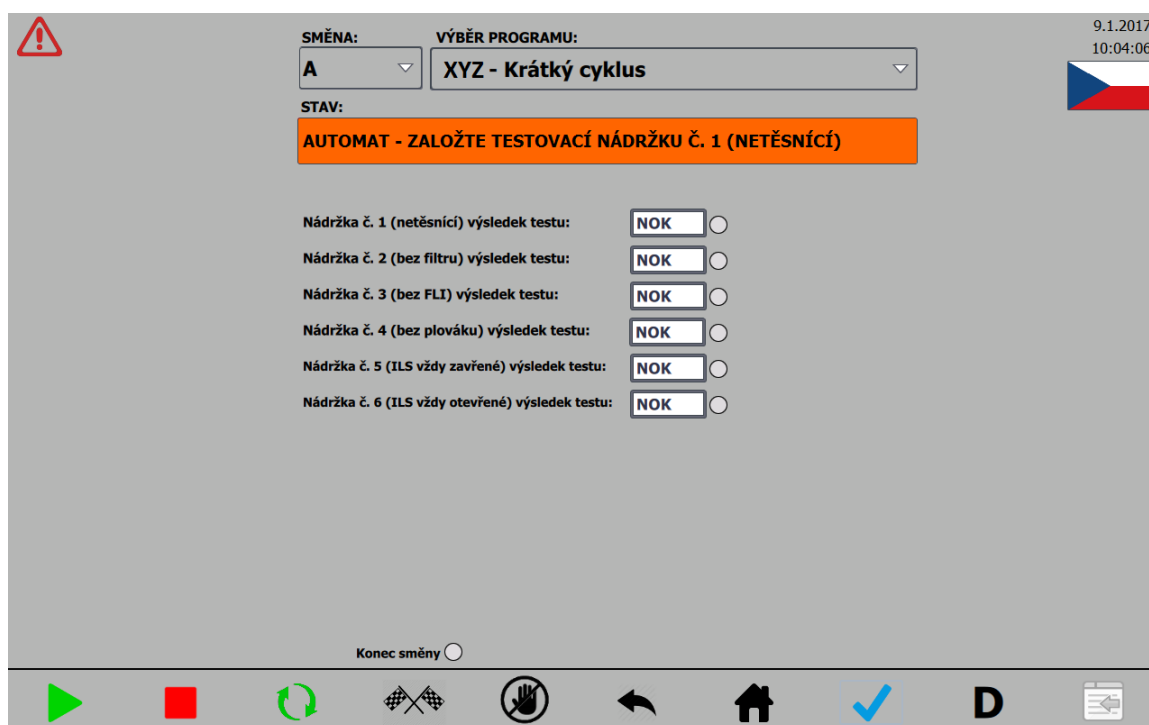
Konec směny



Obr. 4.4: Alarmy

V tomto okně jsou zobrazeny všechny alarmy a hlášení, které systém vygeneruje. Dle číselného identifikátoru lze dohledat přesný popis chyby. Dále lze ze záznamu vyčíst přesný čas jeho vzniku a příslušný text, který stručně hlášku či alarm popisuje.

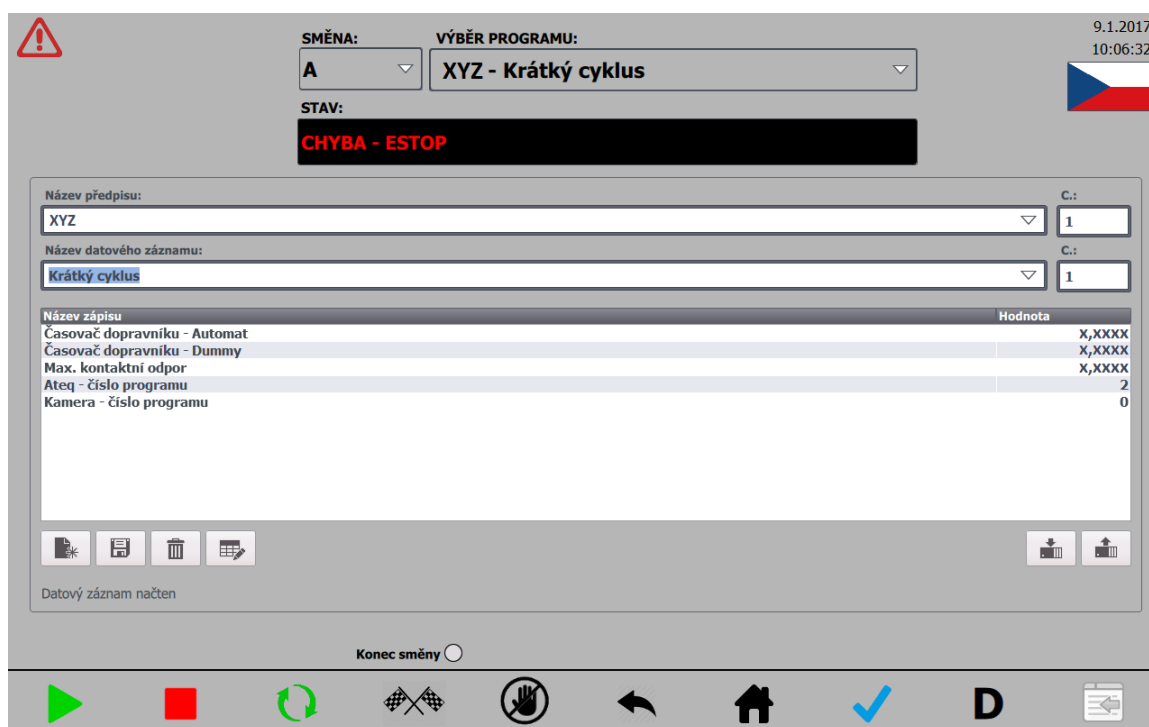
## 4.6 Dummy díly



Obr. 4.5: Dummy díly

Na obrazovce dummy dílů lze zjistit v jakém stavu se nachází proces ověřování správné funkčnosti všech stanic linky. Pokud je nádržka otestována a její parametry odpovídají nádržce s definovanou poruchou, dojde k zvýraznění úspěšného testu zelenou barvou. Pokud by naměřené hodnoty neodpovídaly předpokládaným hodnotám definovaných pro danou nádržku, dojde k zvýraznění neúspěšného testu červenou barvou a k návratu do kroku č. 1.

## 4.7 Recepty

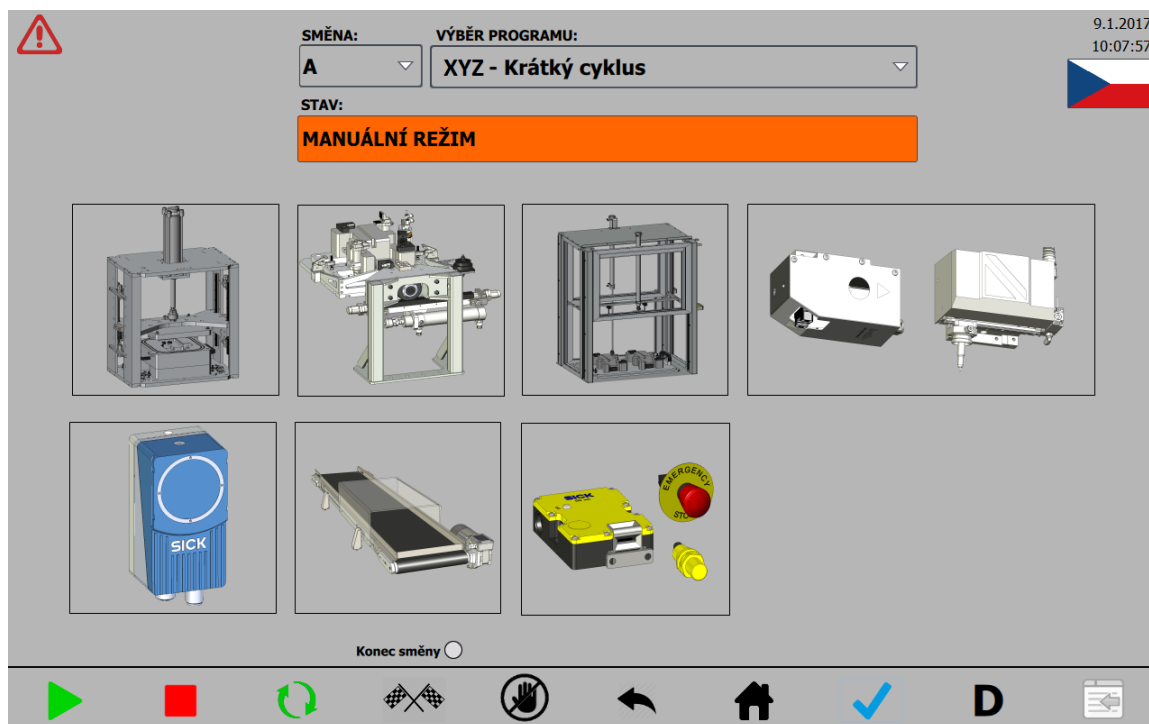


Obr. 4.6: Recepty

Okno receptů slouží k tomu, aby byly parametry všech programů přehledně uspořádané a dohledatelné na jednom místě. Zároveň zde lze záznamy editovat, pokud je linka v zastaveném stavu, čímž se zabrání případné změně parametrů testu. Recept pro vybraný program je načten v okamžiku zmáčknutí tlačítka start.



## 4.8 Manuální mód



Obr. 4.7: Manuální režim - volba stanic

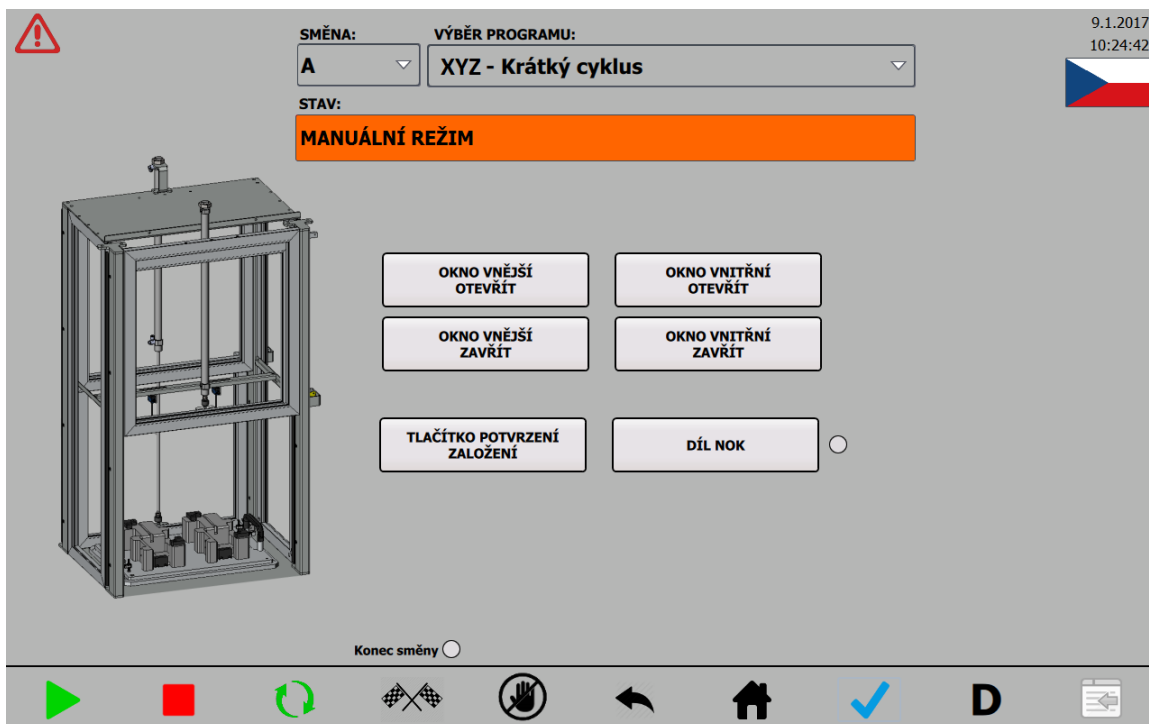
Tento přehled stanic je zobrazen po zmáčnutí tlačítka pro manuální ovládání. Obrázky reprezentují jednotlivé stanice, které je možné manuálně ovládat pomocí příslušných tlačítek. Na následujících obrázcích jsou zobrazeny všechny tyto stanice s příslušnými ovládacími prvky.



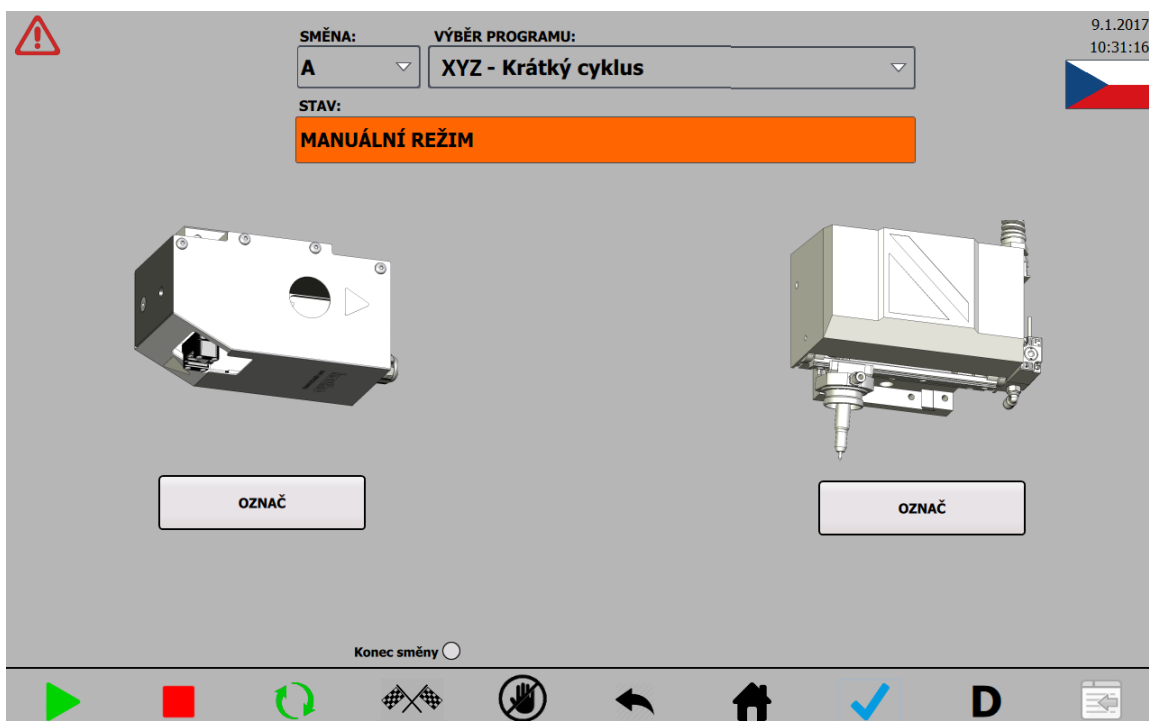
Obr. 4.8: Manuální režim - test těsnosti



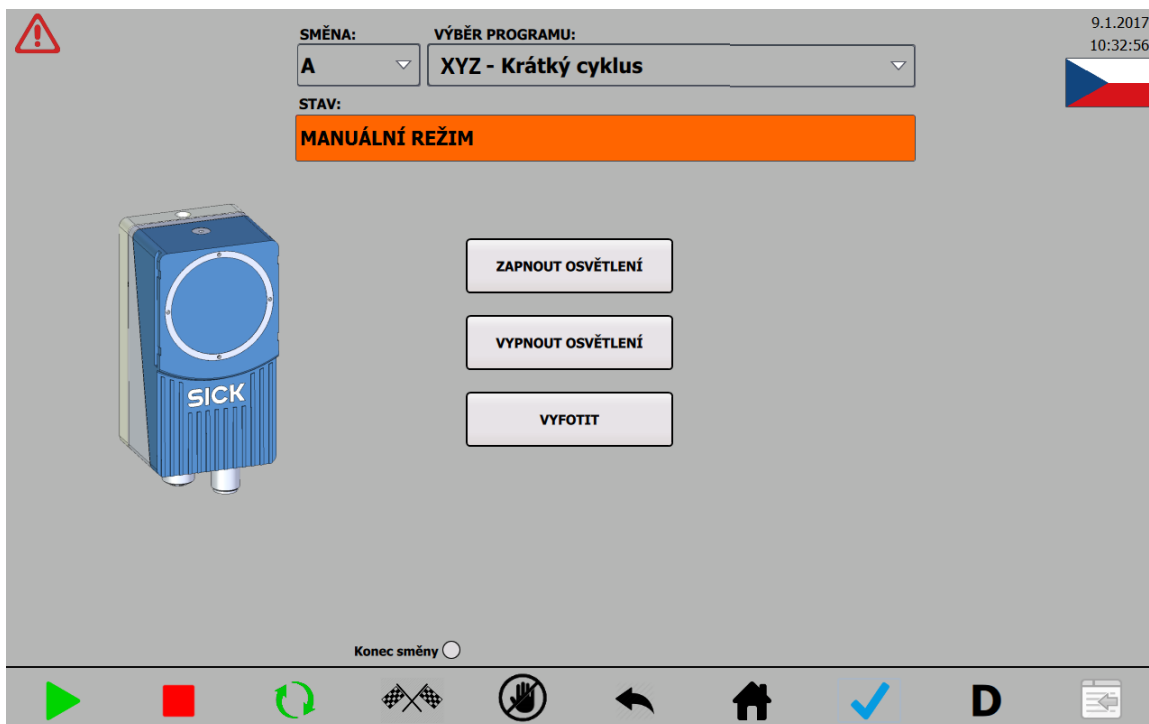
Obr. 4.9: Manuální režim - elektrický test



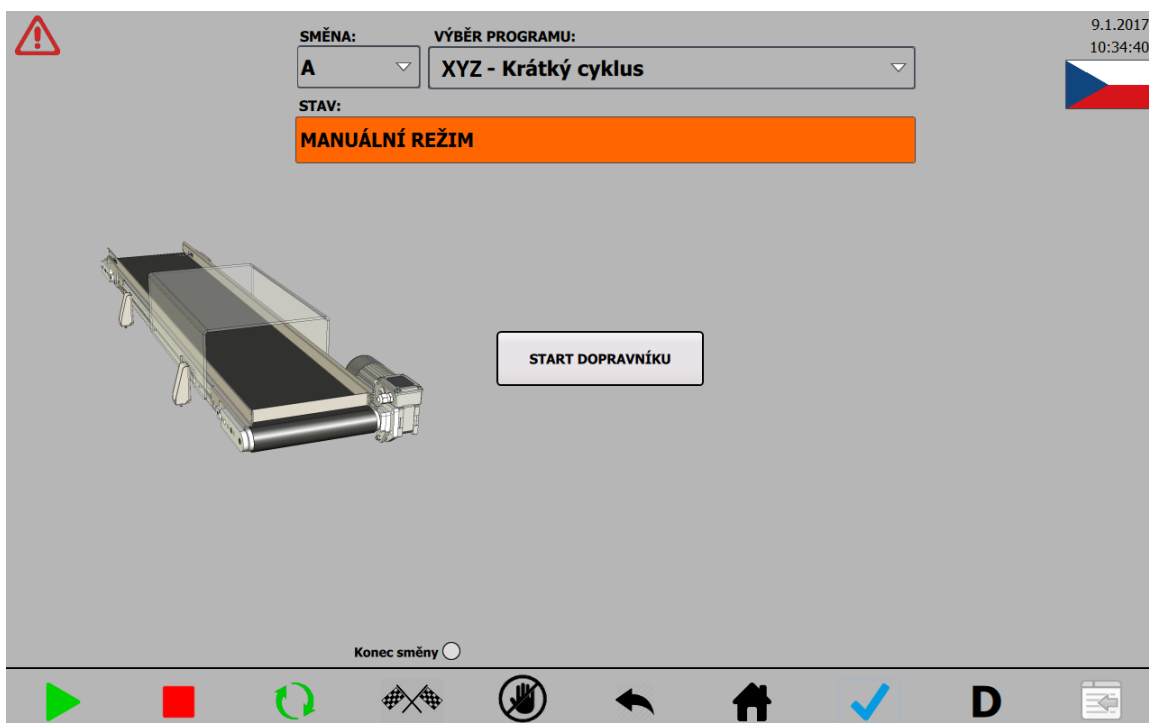
Obr. 4.10: Manuální režim - operátorská stanice



Obr. 4.11: Manuální režim - značení pryskyřicí a gravírování



Obr. 4.12: Manuální režim - kamera



Obr. 4.13: Manuální režim - pásový dopravník

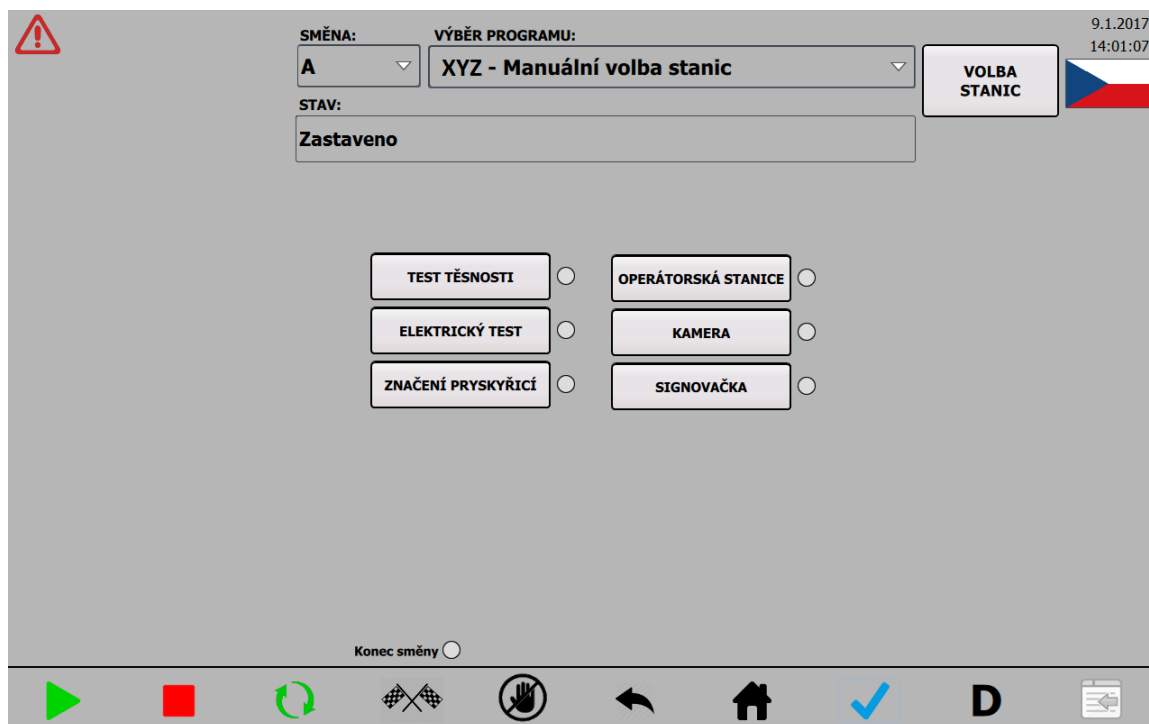
## 4.9 Přehled safety čidel



Obr. 4.14: Přehled safety

Zde jsou vyvedeny stavy bezpečnostních čidel, pomocí kterých lze ověřit jejich správnou funkčnost, případně zde lze dohledat konkrétní čidlo, které způsobilo nouzové zastavení linky.

## 4.10 Manuální volba stanic



Obr. 4.15: Manuální volba stanic

Manuální volba stanic je speciálním typem programu, u kterého lze navolit libovolnou kombinaci stanic, které mají být aktivní. Lze tak zkrátit testovací cyklus, pokud je vyžadován jen některý z testů. Tento program lze výhodně využít pokud nastalo podezření, že některý z testů nefunguje korektně, či je potřeba otestovat větší množství nádržek pouze jednou stanicí.

## 5 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvořit koncepci řízení linky pro testování kvality nádrží pro brzdovou kapalinu, naprogramování řídicího algoritmu pro PLC, který bude linku řídit, vytvoření komunikace mezi PLC, robotem a dalšími podřízenými členy linky, vytvoření vizualizace a veškerý software implementovat a linku zprovoznit.

Úvodní část práce se zabývá potřebami a přístupy začlenění funkcí řízení kvality a trasování v diskrétní výrobě.

Hardwarová část se věnuje popisu zařízení, které jsou součástí testovací linky a komunikace mezi nimi. V kapitolách této části je popsána robotická buňka včetně rozmístění komponent, parametry PLC od firmy Siemens, robot Kuka a jednotlivé stanice a jejich funkce.

Dále je vysvětlena potřeba bezpečnostních prvků jak hardwarových, tak i softwarových a jejich implementace. Největší prostor zde byl dán nouzovému zastavení, jelikož jeho aktivace je nezbytná pro ochranu obsluhy před potenciálním nebezpečím. Dále jsou zde rozebrána bezpečnostní opatření zřejmě nejnebezpečnější části celé robotické buňky, kterým je hydraulický válec testu těsnosti.

V softwarové části se nachází koncepce řídicích algoritmů, pomocí kterých PLC ovládá všechny stanice, aktuátory a robota. Komunikace mezi PLC a robotem byla implementována ve stylu master-slave, kde roli master zastupuje PLC. Jelikož se výrobní linka neustále rozšiřuje o další typy nádržek, které se v ní testují, bylo nutné implementovat recepty, ve kterých jsou uloženy všechny důležité parametry, které se pro každý typ nádržky mohou měnit. Poslední kapitolou týkající se softwaru je věnována způsobu sběru dat.

Aby bylo možné buňku používat v provozu, bylo nutné vytvořit vizualizaci, pomocí které lze testovací linku ovládat a měnit parametry jednotlivých stanic.

Software byl úspěšně implementován a testovací linka byla u zákazníka zprovozněna pro dva typy nádržek. V současné době je testovací linka ve zkušebním provozu, ve kterém bylo otestováno přibližně dva tisíce nádržek. Z dat získaných testováním vyplynulo, že je reálné na vstupu linky založit nádržku v taktu dvaceti sekund, což znamená, že je možné otestovat sto osmdesát nádržek za hodinu.

Jelikož se jedná o prototyp, není práce na této lince ukončena. Chystá se rozšíření o další čtyři typy nádržek a pokud se nevyskytnou závažné problémy, nachází se zde potenciál pro navýšení počtu těchto testovacích linek u zákazníka.

Autor dále vidí velký potenciál pro zlepšení kvality nádržek ve sběru dat defektních kusů. V současné verzi se nasbírají data o nádržkách, které neprojdou jedním z testů, nezaznamenávají na žádné médium. Analýza defektních nádržek se provádí dodatečným testováním v oddělení kvality. Pokud by se naměřené hodnoty

zaznamenávaly, bylo by možné tato data zpracovávat a urychlit tím celý proces vyhodnocování původu závad.



## LITERATURA

- [1] PÁSEK, Jan, BRAUN, Vlastimil. Automatizace procesů II - Úroveň řízení výroby. Brno: VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015, 250 str.
- [2] HELEBRANT, František, HRABEC, Ladislav, BALATA, Jan. Provoz, diagnostika a údržba strojů. Ostrava: VŠB-TUO, 2017, 217 str.
- [3] Simatic ET 200SP CPU 1510SP-1 PN (6ES7510-1DJ01-0AB0): Manual [online]. 2016. 09/2016. GERMANY: Siemens AG Division Digital Factory. Dostupné z: <[https://cache.industry.siemens.com/dl/files/130/90157130/att\\_895979/v1/et200sp\\_cpu1510sp\\_1\\_pn\\_manual\\_en-US\\_en-US.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/130/90157130/att_895979/v1/et200sp_cpu1510sp_1_pn_manual_en-US_en-US.pdf)>.
- [4] SIMATIC Basic Panel Siemens KTP1200 Basic PN - 6AV2123-2MB03-0AX0. 2017. Automation24 [online]. Dostupné z: <<http://www.automation24.com/control-systems/simatic-basic-panel-siemens-ktp1200-basic-pn-6av2123-2mb03-0ax0-i102-1999-0.htm>>.
- [5] FIELD BUS NETWORK ATEQ 5TH SERIES: Version 2.1. 2013. France.
- [6] Hot Quickcoder. Kortho: coding & marking [online]. [cit. 2017-01-19]. Dostupné z: <<http://kortho.com/en/product/hot-quickcoder/>>.
- [7] SICK: Sensor Intelligence [online]. Německo, 2017 [cit. 2017-01-19]. Dostupné z: <<https://www.sick.com/de/en/vision/2d-vision/inspector/vspi-4f2111/p/p161640>>.
- [8] MC2000 U (100x17). Zikunaga 48 - Apdo. 30, 20120 Hermani - Španělsko, 2015. Dostupné z: <<http://www.couth.com/wp-content/uploads/2015/02/100x17U-en.pdf>>.
- [9] KR AGILUS sixx: With W and C Variants [online]. V12. Zugspitzstraße 140, D-86165 Augsburg, Německo, 2015 [cit. 2017-01-23]. Dostupné z: <[https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/48ec812b1b2947898ac2598aff70abc0/spez\\_kr\\_agilus\\_sixx\\_en.pdf](https://www.kuka.com/-/media/kuka-downloads/imported/48ec812b1b2947898ac2598aff70abc0/spez_kr_agilus_sixx_en.pdf)>.
- [10] KUKA KR C4: The Power of Control. Kuka: The power of automation [online]. Zugspitzstraße 140, D-86165 Augsburg, Německo. Dostupné z: <<https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/robot-controllers/krc4>>.
- [11] KUKA SMARTPAD. 2016. Kuka Robotics [online]. Dostupné z: <<http://www.kuka-robotics.com/cs/products/controllers/smartPAD/>>.

## **SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK**

CPU Central Processing Unit

CSV Comma-Separated Values

ERP Enterprise resource planning

HMI Human Machine Interface

I/O Input/Output

MES Manufacturing Execution Systems (Výrobní informační systém)

NOK Not - OK

PLC Programovatelný logický automat

SCADA Supervisory Control and Data Acquisition