

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích

Přírodovědecká fakulta

Bakalářská práce

**Optimalizace strojního času
výrobních zařízení**

Petr Kočí

vedoucí: Ing. Radim Czyž

garant: Ing. Václav Novák, Csc.

České Budějovice 2015

Kočí P., 2015: Optimalizace strojního času výrobních zařízení.

[Optimization of machine time manufacturing facilities. Bc. Thesis, in Czech.] – 41 p.,
Faculty of Science, The University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Annotation:

This thesis describes the implementation of a software tool Automatic Cycle Time Diagnosis in production facilities, optimize machine time and sets the standards and documents for implementation into production facilities within the Robert Bosch Ltd., Budweis.

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

24.4.2015

.....

Obsah

1. Úvod	1
2. Terminologie	2
2.1 PLC.....	2
2.2 HMI.....	3
2.3 OES	4
2.4 Norma IEC 61131-3 (CoDeSys)	4
2.4.1 Instruction List (IL).....	5
2.4.2 Structured Text (ST).....	5
2.4.3 Ladder Diagram (LD).....	7
2.4.4 Sequential function Chart (SFC)	8
2.4.5 Function Block Diagram (FBD).....	9
2.5 IndraLogic	10
2.6 I/O prvky	11
2.6.1 Senzory.....	11
2.7 Rozhraní	14
2.7.1 I/O binární rozhraní.....	14
2.7.2 Sériové rozhraní RS-232	14
2.7.3 Profibus DP	15
2.7.4 Ethernet	15
3. Cíle práce	17
3.1 Popis aktuálního stavu.....	17
3.2 Optimalizace pomocí nasazení ATD.....	17

4. Realizace.....	18
4.1 Seznámení se s nástrojem ATD	18
4.2 Implementace nástroje do výrobního zařízení	19
4.2.1 ATD client.....	19
4.2.2 ATD konfigurace na straně stroje	25
4.3 Optimalizace strojního času výrobního zařízení	27
4.3.1 Popis optimalizovaného stroje	27
4.3.2 Optimalizace stroje.....	29
4.4 Stanovení standardů pro implementaci do výrobních zařízení v rámci RBCB.....	33
4.4.1 Rozhodnutí o implementaci ATD do stroje	33
4.4.2 Zmapování výrobního stroje	33
4.4.3 Implementace ATD	33
4.4.4 Zaměření na dlouhé pohyby pneumatických válců	36
4.4.5 Současné pohyby více válců najednou.	36
4.4.6 Udržení stroje v optimalizovaném stavu	36
4.4.7 Metodika procesu optimalizace.....	36
5. Závěr.....	38
5.1 Splnění cílů práce	38
5.2 Možnosti.....	39
6. Bibliografie.....	40
7. Seznam obrázků	41

1. Úvod

V průmyslové výrobě má na konkurenceschopnost výrobní firmy velký vliv kvalita výrobku a také jeho cena a množství, kterým je firma schopna trh zásobovat a uspokojovat tak potřeby zákazníka. Každá firma, která se snaží být trvale konkurenceschopná, hledá neustále způsoby a nástroje, které by jí pomohly být úspěšnější než konkurence. Důležitým faktorem v průmyslové výrobě je čas, za který firma výrobek vyrobí.

Firma ATMO, jež je dceřinou společností nadnárodního koncernu Robert Bosch GmbH podnikajícího v automobilovém průmyslu, vytvořila softwarový nástroj, *Automatic Cycle Time Diagnosis*, který slouží k optimalizaci strojního času. Tento nástroj je součástí vlastního systému *OpCon Engineering System*, který pod tímto názvem zahrnuje softwarovou a hardwarovou platformu. Na této platformě firma Robert Bosch realizuje výrobu svých výrobních linek a pracovních stanic.

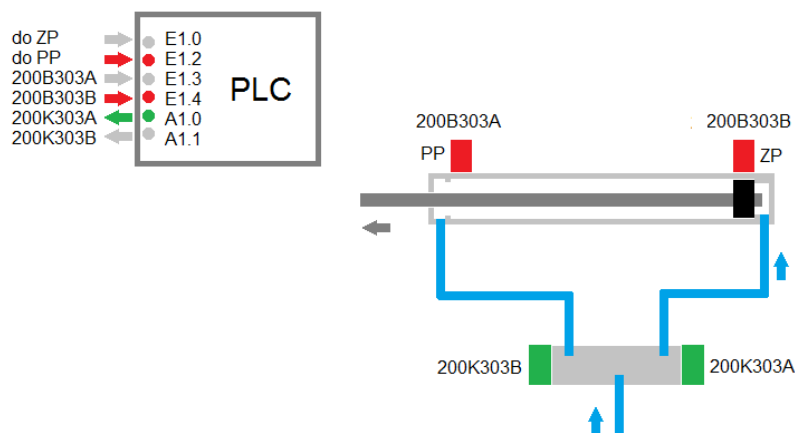
Prostředky, které dávají konkurenční výhodu se stávají firemním knowhow, a pokud je takovým prostředkem vlastní firemní software, veřejně dostupné informace o takovém softwaru prakticky neexistují. Z tohoto důvodu nelze reálně nalézt podobný software, se kterým by bylo možné *Automatic Cycle Time Diagnosis* porovnávat. Zajímavým produktem by mohl být nezávislý software *PLC Analyzer Pro 5*, jehož tvůrcem je německá firma Autem. Podle informací dostupných na internetu se jedná o nástroj, který umožňuje analyzovat strojní čas. Tento nástroj jde použít na *PLC* mnoha výrobců. Při pořizování tohoto produktu je nutné zaplatit nejen takzvanou primární licenci za samotný software, ale také za driver určený pro konkrétní *PLC*, na které má být *PLC Analyzer* nasazen.

2. Terminologie

2.1 PLC

Pro řízení výrobních zařízení se v průmyslové automatizaci velmi často používá programovatelný logický automat – *Programmable Logic Controller*, známý pod zkratkou *PLC*. Ten v závislosti na stavu vstupních signálů a logiky programové smyčky nastavuje výstupní signály. I/O rozhraní zprostředkovává styk s reálným procesem. Pro jednoduché aplikace se často používají malé kompaktní *PLC*, například typ řady *LOGO!* firmy *Siemens*, pro složitější procesy je výhodné, spíše nezbytné, používat *PLC* modulární, která jsou hardwarově škálovatelné a rozšiřitelné. Pro zpracování a ovládání diskretních signálů slouží moduly pro digitální vstupy(DI) a digitální výstupy(DO), pro nespojité signály analogové vstupy(AI) a analogové výstupy(AO). Mezi významné výrobce *PLC* patří například firmy *Bosch*, *Siemens*, *B&R*, *Motorola*.

Na obrázku 1 je znázorněn zjednodušený příklad, jakým *PLC* ovládá pohyb pneuválce. Pokud na vstup E1.2 přijde do *PLC* signál, že má válec má vyjet do pracovní pozice PP, program v *PLC* nejdříve vyhodnotí signály ze snímačů 200B303A a 200B303B, kterými zkontroluje pozici válce. Pokud mají vstupy E1.2 a E1.3 stav logické 1 a zároveň vstupy E1.0 a E1.3 jsou v logické 0, vyšle *PLC* na výstup A1.0 signál logická 1, který přivede napětí na cívku 200K303A. Cívka přepne vzduchový ventil, který pustí tlakový vzduch do pravé strany pneuválce a válec se přesune do pracovní pozice PP.



Obrázek 1: PLC - princip ovládání pohybu pneuválce

2.2 HMI

Pod pojmem *HMI(Human Machine Interface)* rozumíme systém, který umožňuje obsluze výrobního zařízení poskytovat informace o probíhajícím procesu. Zpočátku jím byly například černobílé CRT monitory, které pomocí textových hlášení umožňovaly zpětnou vazbu v reálném čase. S nástupem dotykových displejů umožňuje *HMI* navíc i měnit a nastavovat výrobní a strojní parametry a pružně tak měnit chování výrobního zařízení podle požadavků výroby. V průmyslu je zcela běžné, že na jednom výrobním zařízení lze vyrábět i několik desítek variant nebo typů výrobku, které se mezi sebou liší různými parametry.

The screenshot displays an industrial HMI interface for TEAZ S.R.O. running on WindowsCE. The top bar shows the system name 'AP11' and the date/time '20.04.2015 15:30:22'. A green checkmark icon is visible in the top right corner.

Below the top bar, there are several status indicators and buttons:

- Aktuální typ:** 0580200243
- Uživatel:** (empty)
- Status lights: Tlakový vzduch (green), Základní poloha (green), Levý sv.závěs (green), Pravý sv.závěs (green), Nouzový vypínač (red).
- Auto** button (blue)
- Play button (blue)
- Stop button (black)
- Přehled výsledků** button (black)

The main area is divided into two sections for workstation control:

- WP1 levá stanice: info obsluze**
 - odstartujte proces** (yellow button)
 - WP1 levá stanice
 - 100B601 Hrnc
 - 100B605 Příruba
 - Kabely v pinech
 - Table:

Název	Hodnota	Jedn.
Strojní čas cyklu	23.91	s
Minimální	0.5	V
Polarita pumpy	0.00	V
Maximální	3.0	V
Minimální	3.8	V
Obvod	0.00	V
- WP2 pravá stanice: info obsluze**
 - vyjměte díly** (yellow button)
 - WP2 pravá stanice
 - 200B601 Hrnc
 - 200B605 Příruba
 - Kabely v pinech
 - Table:

Název	Hodnota	Jedn.
Strojní čas cyklu	22.98	s
Minimální	0.5	V
Polarita pumpy	1.73	V
Maximální	3.0	V
Minimální	3.8	V
Obvod	4.41	V

At the bottom, there is a navigation bar with buttons for: Diagnostika, Produkce, Správa, Zařízení, Analogová zařízení, Servis, and Nastavení.

Obrázek 2: HMI

2.3 OES

Společnost Robert Bosch, respektive její divize ATMO sídlící v německém Stuttgartu, vyvinula systém *OES* (*Opcon Engineering System*), který je nadstavbou nad *PLC* a *HMI*. Na straně *PLC* vyvinula hardware řady *L10*, *L40*, *VPB*, *VEP-SPS* programovatelný ve vývojovém prostředí *IndraLogic*. Na straně *HMI* vyvinula hardware *VDP*, *tabletPanel*, *VEP30.x-panel*, *mobilePanel*, *microPanel* a *easyPanel* programovatelný aplikací se stejným názvem - *OES*. *OES* umožňuje rychleji a efektivněji vytvářet části kódu související s ručním režimem, se správou dat, s vícejazyčnými lokalizacemi *HMI* atd. Například zprovoznění ručního režimu je díky *OES* velmi jednoduché. Nadefinují se pohyby výrobního zařízení, to znamená válce, snímače pro základní a pracovní pozice válců, typy ventilů válce ovládající a kontrolní časy jejich pohybů. *OES* poté vytvoří kompletní *HMI* rozhraní pro obsluhu ručního režimu a zároveň vygeneruje kód, který se naimportuje do projektu se softwarem pro *PLC* tvořeným ve vývojovém prostředí *Indralogic*.

Při konstrukci výrobních zařízení a linek používajících stejný typ *PLC* je nejen pro firmu, která výrobní zařízení vyrábí, ale neméně i pro firmu taková zařízení provozující, výhodné vycházet z nějakého vzorového projektu. Takový projekt má připravena nastavení a řešení umožňující základní funkci výrobního zařízení, včetně správy bezpečnostních okruhů. Mezi nesporné výhody takové standardizace patří obrovská úspora času a čitelnost kódu. Firma Robert Bosch pro tento účel používá projekt *BaseStation*, který poskytuje výrobcům výrobních zařízení programovaných ve vývojovém prostředí *IndraLogic* na platformě *OES*.

2.4 Norma IEC 61131-3 (CoDeSys)

Tato norma popisuje a definuje programovací režimy, respektive jazyky určené pro programování *PLC*. Norma je známá také pod názvem *CoDeSys* podle vývojového prostředí *Controlled Development System* firmy 3S-Smart, které tuto normu zpopularizovalo. Výrobci *PLC* vytváří hardware v souladu s touto normou, takže programový kód vytvořený podle IEC 61131-3 lze napsat pro různá *PLC* stejně a přizpůsobení na daný hardware probíhá až při kompilaci kódu.

2.4.1 Instruction List (IL)

Instruction List je základní textový jazyk, který umožňuje psát velice efektivní krátké kódy, jeho instrukční sada používá příkazy a syntaxi podobné assembleru (ADD, SUB, DIV, MUL, LD, MOV...). Je však nevhodný pro programování robustních aplikací.

```
KROK_15:
;Lisování předfiltru V5 do PP
SPC      _15
U        -M_CH_Zavora
O        -M_CH_POHYB
=        -UECONT

U        -E_ZAVORA_OK
UN       -M_CH_Zavora
UN       -M_CH_POHYB
=        -BEFA

_15:
U        -WZT
UN       -E_SS_ZP
=        -WSB

BE
```

Obrázek 3: IL, Bosch, WinSPS

2.4.2 Structured Text (ST)

Structured Text je vyšší textový programovací jazyk podobný jazyku C. Jeho instrukční sada obsahuje například pokročilé příkazy pro větvení a smyčky.

- větvení (IF, CASE...)
- smyčky (FOR, WHILE...)

- umožňuje psát funkce
- lze jeho pomocí realizovat i velmi složité aplikace

```

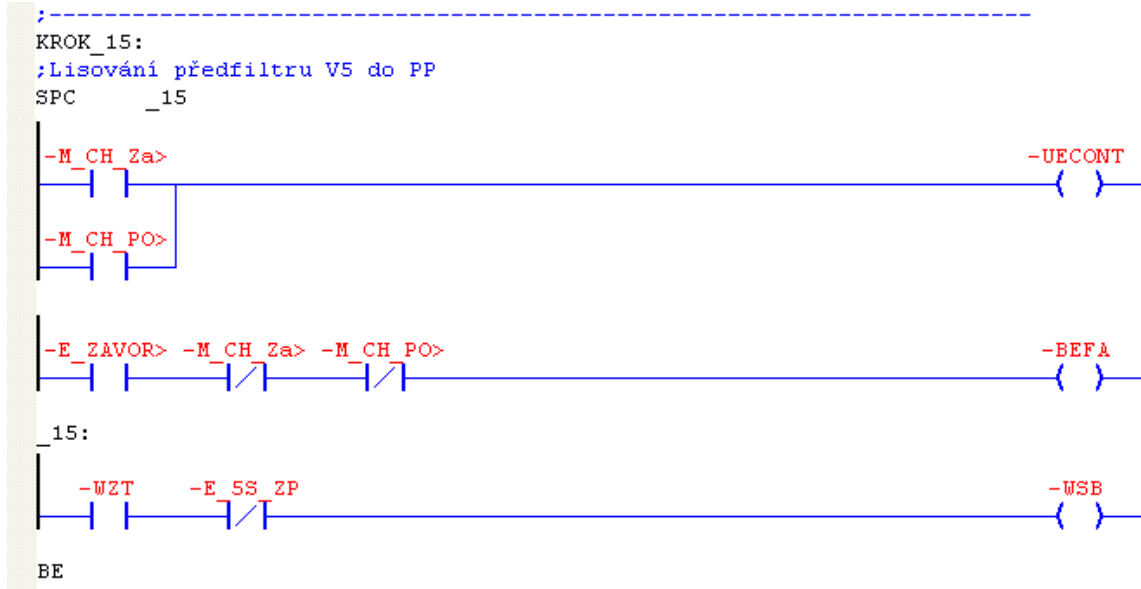
0001 (*c kontrola upnuti dilu *)
0002 (*e check if parts fixed *)
0003 (*d check if parts fixed *)
0004 IF ( _105S_PP1 = TRUE ) AND
0005     ( _105S_PP2 = TRUE ) AND
0006     ( _107S_PP = TRUE )
0007 THEN
0008     RetVal := OK;
0009 ELSE
0010     OpcAutoInfoLine[StatIdx]                := INFOL_RESULT_NOK;
0011     SCntCompact.CountNOK7                    := TRUE;
0012     NokCntArray[NOK_COUNT_L_CONV_RELEASED].CountNok := TRUE;
0013     OpcProductData[StatIdx].Result           := RESULT_NOK;
0014     FaultEntry(
0015         FLT_LEFT_NOT_FIXED, (* FltNo *)
0016         FU1,                (* FuNo *)
0017         0,                   (* DeviceNo *)
0018         0,                   (* ChainType *)
0019         0,                   (* ChainNo *)
0020         ''                    (* Text *)
0021     );
0022     EnableTime := FALSE;
0023     RetVal := JP;
0024 END_IF
0025

```

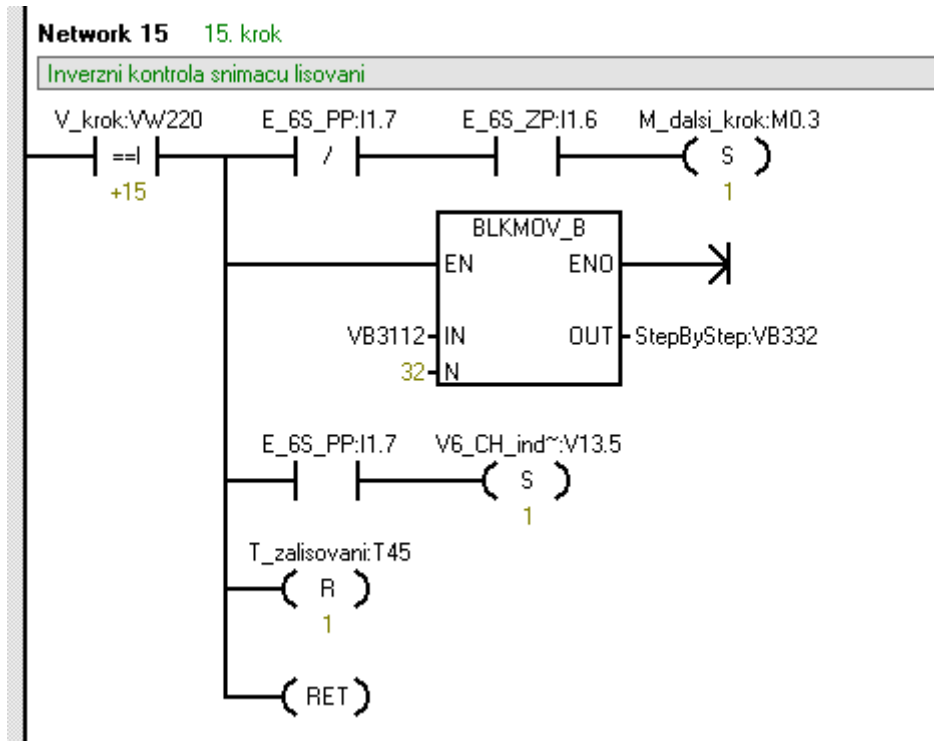
Obrázek 4: ST, Bosch, IndraLogic

2.4.3 Ladder Diagram (LD)

Ladder Diagram je jednoduchý grafický programovací jazyk, který je velmi efektivní pro aplikace nebo pasáže řešitelné Booleovou algebrou. Jeho pochopení je intuitivní.



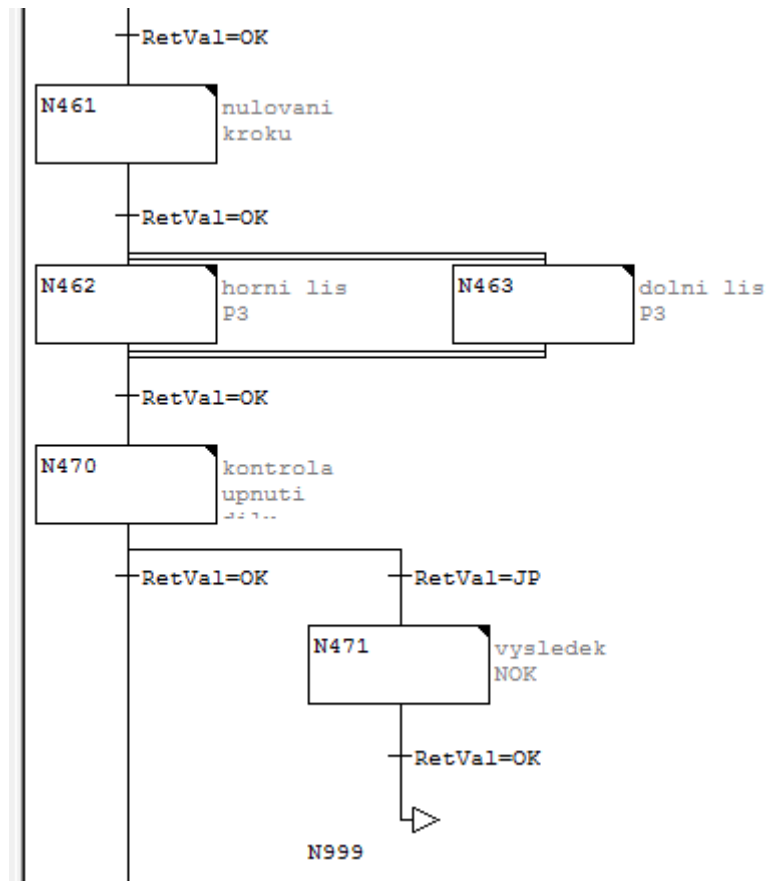
Obrázek 5: LD, Bosch, WinSPS



Obrázek 6: LD, Siemens, S7-200

2.4.4 Sequential function Chart (SFC)

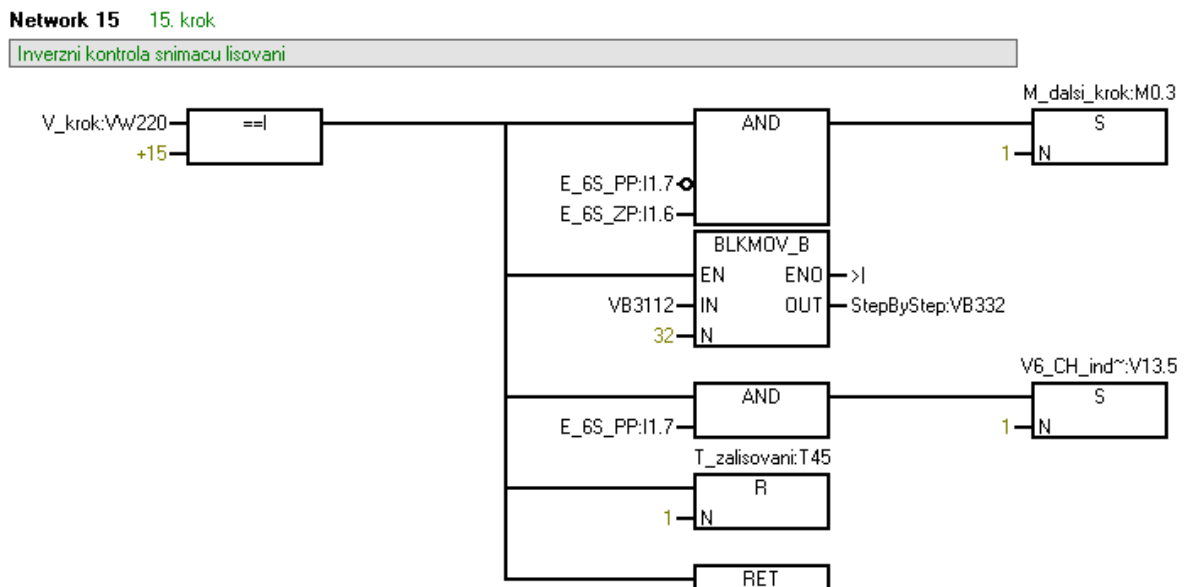
SFC je grafický program na principu vývojového diagramu a je vhodný pro řešení větvení a toku kódu. Typicky se používá pro programování pohybů a procesů stroje v automatickém režimu na základě stavu rozhodovacích proměnných během procesu výroby. Skládá se z posloupnosti kroků, kdy se během programové smyčky v podprogramu napsaném ve *SFC* zpracovává pouze kód v aktuálním kroku a to po dobu, dokud nejsou splněny podmínky pro opuštění kroku. Setrvání v kroku tak například při čekání na dojetí pneuválce do druhé pozice může trvat i několik vteřin.



Obrázek 7: SFC, Bosch Rexroth, IndraLogic

2.4.5 Function Block Diagram (FBD)

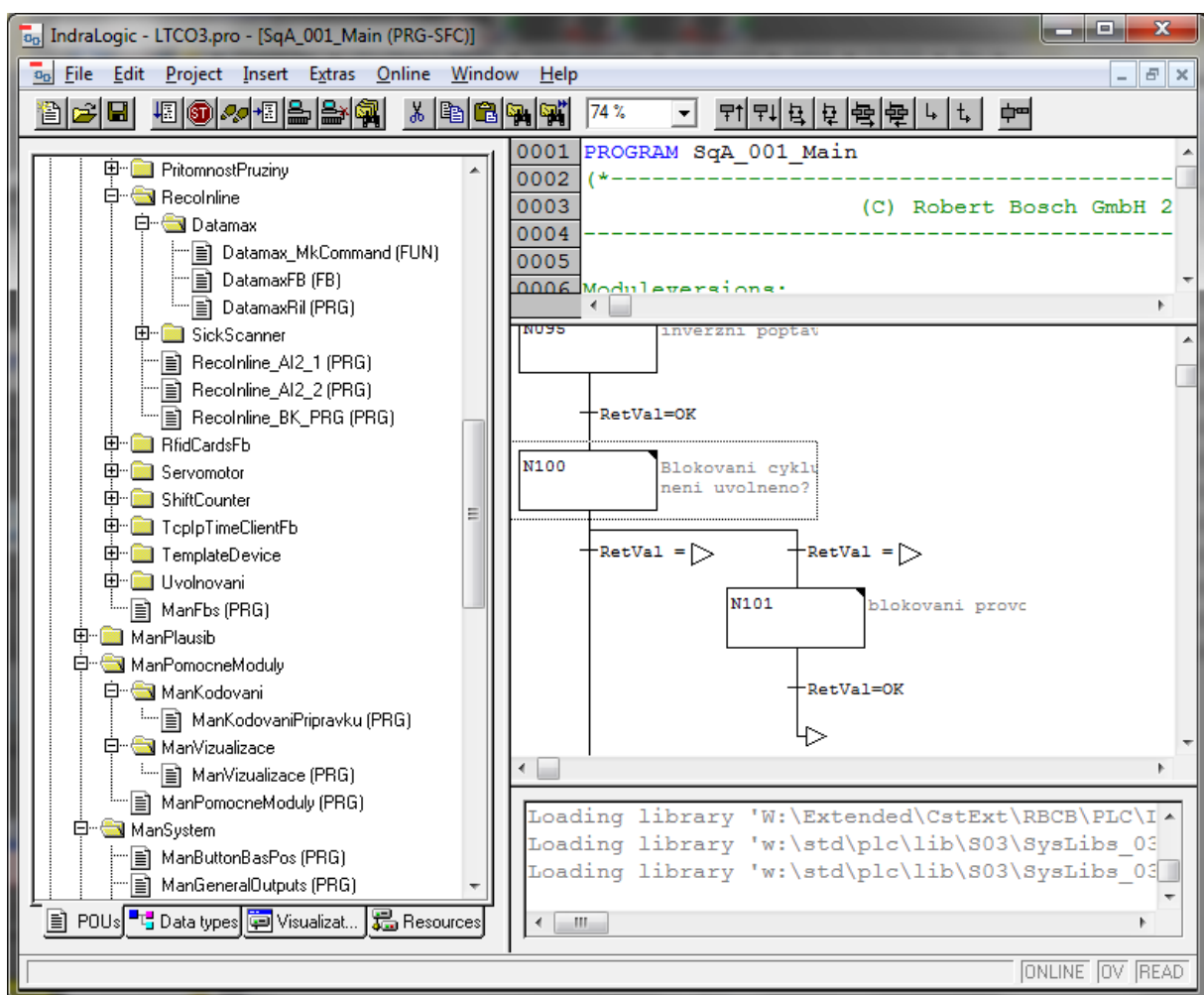
Function Block Diagram je grafický programovací jazyk. Zobrazení a psaní kódu pomocí funkčních bloků je realizováno vkládáním logických hradel a jejich propojováním.



Obrázek 8: FBD, Siemens, S7-200

2.5 IndraLogic

Vývojové prostředí IndraLogic vyvinuté divizí Bosch Rexroth AG vychází z normy IEC 61131-3, se kterou je plně kompatibilní a je určeno pro *PLC* běžící na platformě *OES*. *IndraLogic* je velice propracovaný programátorský nástroj, který poskytuje široké možnosti programování. Mezi obrovské výhody patří vzorový projekt *BaseStation*, který je používán pro realizování nových softwarových projektů, a který už má vyřešeny základní pohyby a bezpečnostní okruh, čímž se ušetří mnoho času při programování nové pracovní stanice.



Obrázek 9: IndraLogic, Bosch Rexroth

2.6 I/O prvky

2.6.1 Senzory

V automatizaci jsou senzory prvky, které převádí sledovanou převážně fyzikální veličinu na elektrický signál, který *PLC* dále zpracovává. Elektrickým signálem bývá často stejnosměrné napětí o úrovni logické 0 a logické 1. Tento signál se přivádí ze snímače na digitální diskrétní vstupy *PLC*. Dalším typem signálu ze senzoru může být analogový signál, který je ze snímače přiváděn na analogový vstup *PLC*. Analogová karta obsahuje *A/D* převodník, který přivedený signál převádí do diskrétní podoby, kterou programová smyčka *PLC* dále zpracovává.

2.6.1.2 Indukční snímač

Indukční snímač detekuje přítomnost elektricky vodivého materiálu, kovu. Dokáže dlouhodobě bezchybně pracovat v prašném prostředí. Používá se při detekci různých pohybů, dorazů, natočení a podobně. Princip indukčního snímače spočívá v rozladění rezonančního obvodu. Přiblížení detekovaného kovového objektu způsobí změnu činitele jakosti jádra cívky, která je součástí paralelního rezonančního obvodu, a jež je hlavním aktivním prvkem indukčního senzoru. Tato změna způsobí rozladění rezonančního obvodu, což se projeví útlumem kmitů na oscilátoru. Útlum kmitů vyhodnocuje prahový detektor, který podle stavu oscilátoru řídí klopný obvod ovládající výstupní výkonový koncový stupeň. Diskrétní indukční snímač může být navržen jako spínací, kdy je na výstupu snímače logická 1, pokud se detekovaný objekt přiblížil cívice natolik, že rozladil rezonanční obvod, nebo jako rozpínací, kdy detekce objektu způsobí na výstupu snímače napěťovou úroveň logické 0.



Obrázek 10: Indukční senzor

2.6.1.3 Optický senzor

Optické snímače převádí fyzikální veličinu svítivost na napětí. Diskrétní optické snímače mají na výstupu logickou 0 či logickou 1. Optický senzor funguje na principu LED diody a fotodiody. Světlo vyslané z LED diody osvítlí přijímač - fotodiodu a vlivem fotoelektrického jevu způsobí v obvodu fotodiody změnu velikosti proudu. Optický senzor na základě vyhodnocení proudu nastavuje výstupní signál do logické 0 nebo logické 1. Optický snímač může být řešen jako jedna hardwarová součástka, kdy je světelný paprsek z vysílací části odrážen do přijímací části přes odrazovou destičku. Pokud je paprsek mezi odrazovou destičkou a senzorem přerušen, je tento stav zachycen a vyhodnocen změnou stavu na výstupu snímače. U jiných typů optických snímačů bývá paprsek odrážen zpět objektem, jehož přítomnost či nepřítomnost má snímač vyhodnocovat.

Druhým typem hardwarového řešení bývá samostatný vysílač a přijímač. V průmyslové automatizaci se například v bezpečnostních okruzích často používají optické bezpečnostní závory. Jejich vysílače a přijímače jsou tvořeny kaskádou optických členů požadované délky a detekují narušení pracovního prostoru stroje v okamžiku, kdy to má obsluha stroje zakázáno. Díky hustotě optických členů v bezpečnostních závorách je schopna závora detekovat i taková přerušení, jako typicky narušení prostoru prstem obsluhy a zamezit tak vzniku úrazu.

Výhodou optických senzorů je bezkontaktní detekce. Nevýhoda naopak spočívá v náchylnosti na prašné prostředí.

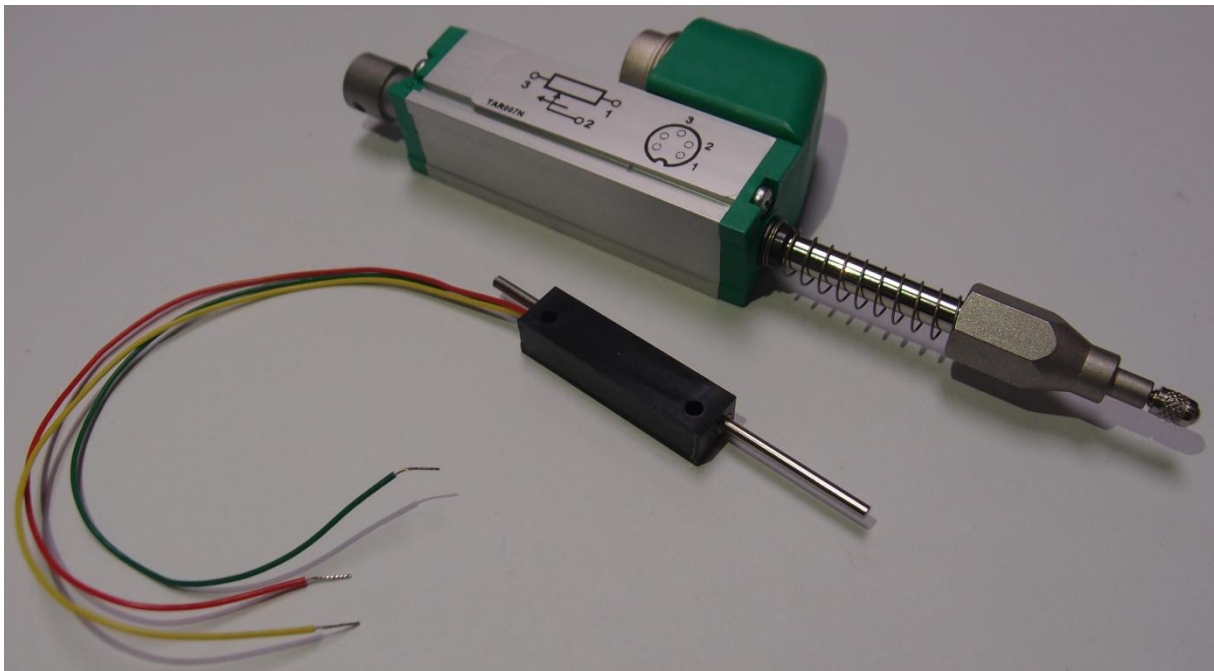


Obrázek 11: Optický senzor

2.6.1.4 Odporový snímač dráhy

Převádí délku, základní veličinu SI soustavy, na elektrický odpor. Jednoduchý odporový snímač dráhy je v podstatě potenciometr, jehož jezdec je unášen mechanickou částí stroje. Snímač je připojen na analogový vstup *PLC*. Jedna strana snímače bývá připojena na referenční napětí na analogové kartě a jezdec bývá připojen na analogový vstup. Analogové vstupy mají v průmyslové automatizaci často rozsah vstupního napětí 0 až 10 VDC. Pro přesné měření je zapotřebí mít kvalitní stabilní zdroj referenčního napětí. Odporové snímače dráhy mohou být řešeny pro měření lineárního posuvu, nebo například pro měření otáčivých pohybů, či naklopení.

Výhodou odporového snímače dráhy je skutečnost, že pracuje na principu absolutního odměřování, kdy po případném výpadku napájení nedojde ke ztrátě informace. Na druhou stranu jsou tyto snímače do určité míry háklivé na otřesy, které mohou způsobit odskok kontaktu jezdece od odporové dráhy a přerušit tak krátkodobě přenos signálu. Znečištěné prostředí obsahující například prach a olejovou mlhu je dalším faktorem, který spolehlivost a životnost odporového snímače dráhy dramaticky snižuje.



Obrázek 12: Odporový snímač dráhy

2.7 Rozhraní

2.7.1 I/O binární rozhraní

PLC pro styk s reálným procesem převážně používá binární rozhraní. Toto rozhraní bývá tvořeno zejména digitálními vstupy a digitálními výstupy. Vstupy přijímají signály logické 0 a logické 1, výstupy *PLC* nastavuje do logické 0 a logické 1 podle stavu vstupů a v závislosti na zpracování programovou smyčkou. Logickou 1 bývá napětí 24VDC. Signály na vstupy jsou přiváděny ze senzorů, tlačítek a přepínačů stroje. Dalším vstupním signálem může být potvrzení externího zařízení, například průmyslové kamery, že sledovaný parametr na výrobku zpracovávaném ve stroji je nebo není splněn. Signály na výstupních kartách ovládají akční prvky systému, elektromagnetické ventily, které zajišťují pohyby pneuválců. Dále výstupy slouží pro základní vizualizaci, kdy je na základě stavu vstupů zpracovaných programovou smyčkou obsluha stroje například informována o tom, že všechny komponenty výrobku jsou do stroje správně založeny, a že lze odstartovat automatický cyklus.

I/O vstupy a výstupy mohou být u jednodušších *PLC* řešeny přímo integrováním do samotného těla *PLC* jako jednolitý kus hardwaru, nebo mohou být řešeny formou vstupních a výstupních výměnných modulů. I/O moduly mívají samostatné svorky pro napájecí napětí, bez kterého je modul vypnutý. Jejich výhodou spočívá v možnosti zvýšení bezpečnosti výrobního stroje, kdy mohou být například výstupní karty přímo vypínány prvky bezpečnostního okruhu nezávisle na signálech *PLC*.

2.7.2 Sériové rozhraní RS-232

Umožňuje vzájemnou sériovou komunikaci mezi dvěma zařízeními. Základními vodiči pro komunikaci jsou vodiče přenášející datové signály TxD pro vysílaná data, RxD pro přijímaná data a GND pro společnou zem. Dalšími vodiči, jejichž použití je nepovinné, jsou vodiče přenášející řídicí signály RTS - požadavek na vysílání, CTS - povolení k vysílání, DSR - Data Set Ready, DCD - Data Carrier Detect, DTR - Data Terminal Ready, RI - Ring Indicator. Rozhraní RS-232 je velice spolehlivé a bezkolizní. Datové signály mají logickou 0 v intervalu 3 až 15 VDC, a logickou 1 v intervalu -3 až -15 VDC. U řídicích signálů jsou napěťové úrovně oproti datovým obrácené, tzn. logické 0 odpovídá napětí -3 až -15 VDC. V současné době výrobci pc odstupují od tohoto rozhraní a nahrazují je sériovým rozhraním USB, což přináší při údržbě a opravách výrobních linek komplikace, kdy je nutné pro

připojení počítače k PLC s rozhraním RS-232 používat redukce USB/RS232, kdy je zapotřebí zvolit typ redukce, která je v daném použití spolehlivá.

2.7.3 Profibus DP

Profibus DP, Process Field Bus, je sběrnice spadající pod evropskou normu EN50170, která se používá v průmyslové automatizaci. Profibus DP podporuje čtyři druhy topologie, a to sběrnici, strom, hvězdu a kruh. V praxi je preferována topologie sběrnice. *Profibus DP* typicky zprostředkovává komunikaci mezi *PLC* a I/O moduly, servozsilovači pro ovládání pohybů krokových motorů, komunikaci s průmyslovými šroubováky, se svářečkami a podobně. Obecně lze říci, že *Profibus DP* umožňuje komunikaci mezi *PLC* a externími často velice složitými zařízeními. Komunikace může probíhat pomocí přenosové technologie RS-485 po kroucené stíněné dvojlince nebo pomocí optických vláken. Rychlost sběrnice pro technologii RS-485 se může pohybovat od 9,6kbps po 12000kbps s ohledem na délku sítě. Zároveň lze používat převodníky mezi těmito dvěma přenosovými technologiemi. Sběrnice může být nakonfigurována jako monomaster nebo multimaster. Monomaster pracuje na principu master / slave. Multimaster je založen na principu předávání práv pro komunikaci – token passing, kdy je komunikace mezi řídicí jednotkou vlastníci token a podřízenou jednotkou opět založena na principu komunikace master / slave. Na sběrnici může být připojeno až 127 jednotek. Pro různé přenosové rychlosti jsou definovány maximální délky sítě. Při požadování větší délky je zapotřebí síť rozdělit do segmentů pomocí tzv. oddělovačů. V každém takovém segmentu může být na sběrnici připojeno až 30 jednotek.

2.7.4 Ethernet

V současné době se v průmyslové automatizaci stále více používá komunikace pomocí technologií určených pro lokální počítačovou síť (LAN) – *Ethernet*, které odpovídají standardu normy IEEE802.3. *Ethernet* realizuje fyzickou a linkovou vrstvu referenčního modelu ISO/OSI standardizujícího komunikaci počítačových sítí pomocí modelu rozděleného do vrstev. Přenosová rychlost této technologie se pohybuje od 10Mbps až po řádově 10Gbps. Pomocí ethernetu bývají s *PLC* propojeny například scannery čárových nebo DMC kódů, průmyslové kamery, průmyslové tiskárny čárových nebo DMC kódů (čárové a DMC kódy se používají v procesu výroby pro kontrolu sledu pohybů komponent výrobku mezi jednotlivými pracovními stanicemi). *Ethernet* využívají servery pro uchovávání a vyhodnocování

parametrů každého kusu výrobku. Další výhodou je v případě poruchy možnost diagnostikovat na dálku připojením ke stroji příčinu závady. Připojení lze realizovat i z vnějšího prostředí mimo firemní LAN pomocí šifrované komunikace prostřednictvím virtuální privátní sítě VPN.

3. Cíle práce

3.1 Popis aktuálního stavu

V současné době nejsou na výrobních zařízeních postavených na platformě *OES* ve firmě Robert Bosch spol s.r.o. používány nástroje pro optimalizaci strojního času, které by přímo monitorovaly časy pohybů a procesů probíhajících na strojích, aby tak pomohly najít cesty ke zkrácení strojního času. V tomto směru tak stále existují možnosti nalezení skrytých rezerv, které nasazením softwarového nástroje *Automatic Cycle Time Diagnosis* mohou být nalezeny a jejichž optimalizace může vést ke zvýšení produktivity výrobní linky.

3.2 Optimalizace pomocí nasazení ATD

Cílem této bakalářské práce je:

- seznámení se softwarovým nástrojem *Automatic Cycle Time Diagnostic*, dále *ATD*
- implementace *ATD* do výrobního zařízení za účelem optimalizace strojního času
- optimalizace strojního času na vybraném výrobním zařízení
- stanovení standardů a podkladů pro implementaci *ATD* v rámci firmy Robert Bosch

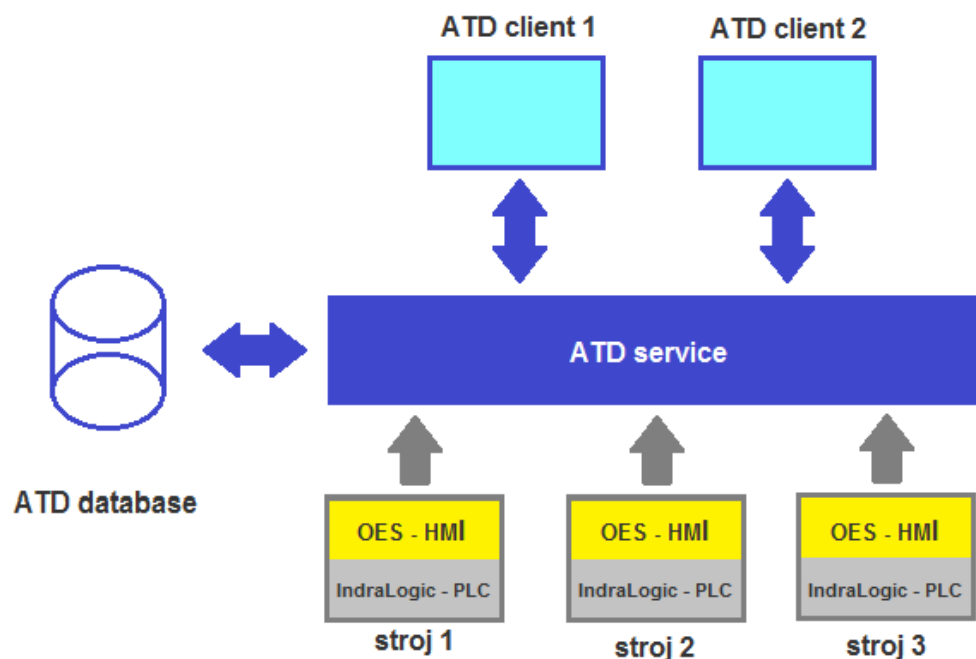
Výsledkem práce má být reálný přínos v podobě zvýšení produktivity výrobní linky.

4. Realizace

4.1 Seznámení se s nástrojem ATD

Významným parametrem v průmyslové výrobě je takzvaný takt linky. Takt linky je čas, za který výrobní linka vyrobí výrobek. Výrobní linky jsou konstruovány s ohledem na plánovaný objem výroby, který je sjednán se zákazníkem. Takt linky je přímo úměrný taktu nejpomalejšího stroje v lince. *Automatic Cycle Time Diagnosis*, dále *ATD*, umožňuje pomocí cíleného sledování analyzovat strojní čas výrobního zařízení a tím zkrátit takt linky.

Na optimalizaci strojního času lze pohlížet jak z pohledu snížení taktu výrobního stroje, který výrobní linku zpomaluje, tak z pohledu výrobního stroje, který má vůči taktu linky časovou rezervu, ve které by se některé části jeho výrobního procesu mohly zpomalit s ohledem na zvýšení životnosti komponent stroje. *ATD* umožňuje automatickou notifikaci časových změn pohybů a lze tak odhalit zhoršující se stav nějaké části stroje a v důsledku tak s předstihem zajistit náhradní díl a snížit tak riziko odstavení stroje a tím i výpadku výroby. Proces optimalizace strojního času spočívá v implementaci *ATD*, sběru dat, vyhodnocení dat, hledání optimalizace a její realizace a následně opět sběru dat a jejich vyhodnocení. *ATD* monitoruje stroj pomocí *Opcon station functions* (4.2.1.7) nebo sledováním stavů *PLC variables* (4.2.1.5). Veškerá data se nahrávají do databáze.



Obrázek 13: Topologie ATD

4.2 Implementace nástroje do výrobního zařízení

Implementace *ATD* vyžaduje vytvoření projektu v programu *Automatic Cycle Time Diagnosis* na straně *ATD client* a nastavení *ATD* konfigurace na straně stroje, jak na straně *HMI* prostřednictvím *OES*, tak na straně *PLC* pomocí *IndraLogic*. Data jsou ze stroje posílána na *ATD service* do databáze. *ATD service* je spouštěn z prostředí *ATD client*, ve kterém jsou data nahraná do databáze analyzována.

4.2.1 *ATD client*

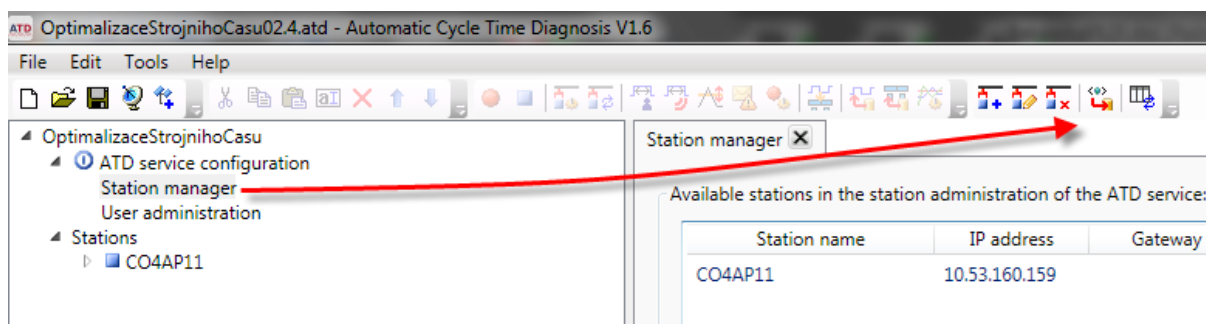
4.2.1.1 Vytvoření *ATD* projektu

V levém sloupci prostředí *ATD* je zobrazena stromová struktura projektu. Hlavní položkou je název projektu, pod kterým jsou výchozí podsložky *ATD Service Configuration* a *Stations*. Prvním krokem po spuštění *ATD* je vytvoření projektu pomocí menu nabídky *File/New/Create new project file*. Poté se projekt automaticky pokouší připojit na *ATD service*. Ve výchozím stavu je IP adresa *ATD service* nastavena na *localhost* a stav připojení je indikován ikonou vedle položky *ATD service configuration*.

ATD service configuration obsahuje podsložky *Station manager* a *User administration*. Editace těchto podsložek vyžaduje uživatelské přihlášení pomocí hlavního menu *File/Log user on*. *User* a *password* mají implicitní hodnoty *atdadmin* a *atd*. Pokud při neúspěšném přihlášení program zobrazí chybové hlášení týkající se vypršení licence, je třeba zaslat požadavek na zaslání nového klíče na email atd-support@de.bosch.com. Po obdržení nového klíče je nutné klíč ručně přepsat v souboru *AtdWebServiceHost.GlobalSettings.config*, který se nachází v hlavní složce programu (*Automatic Cycle Time Diagnosis\AtdService*).

4.2.1.2 Station manager

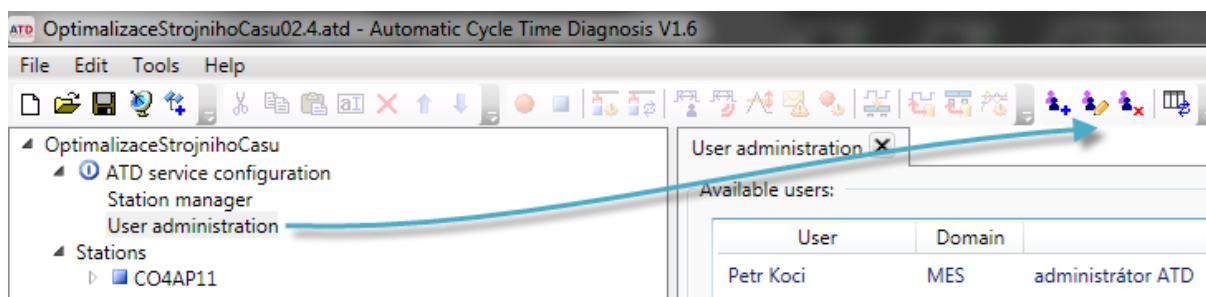
Umožňuje vytvořit, editovat, mazat a upravovat seznam strojů, které lze připojit na *ATD*. Při přidávání stroje do seznamu poskytuje možnost ověřit jeho IP adresu. Dále poskytuje možnost provést update *Opcon Station functions* nahráním konfigurace přes *ATD service* zpět do stroje. Obě dvě tyto operace byly pro vybranou stanici CO4AP11 použity.



Obrázek 14: ATD client, Station Manager

4.2.1.3 User administration

Vytváří seznam lidí, kterým lze přidělit právo administrátora, který může dále konfigurovat *ATD*. Dále lze každému členu ze seznamu nastavit sledování strojů ze seznamu vytvořeného ve *Station manageru*. Každý uživatel může ke svému účtu přistupovat přes heslo.



Obrázek 15: ATD client, User administration

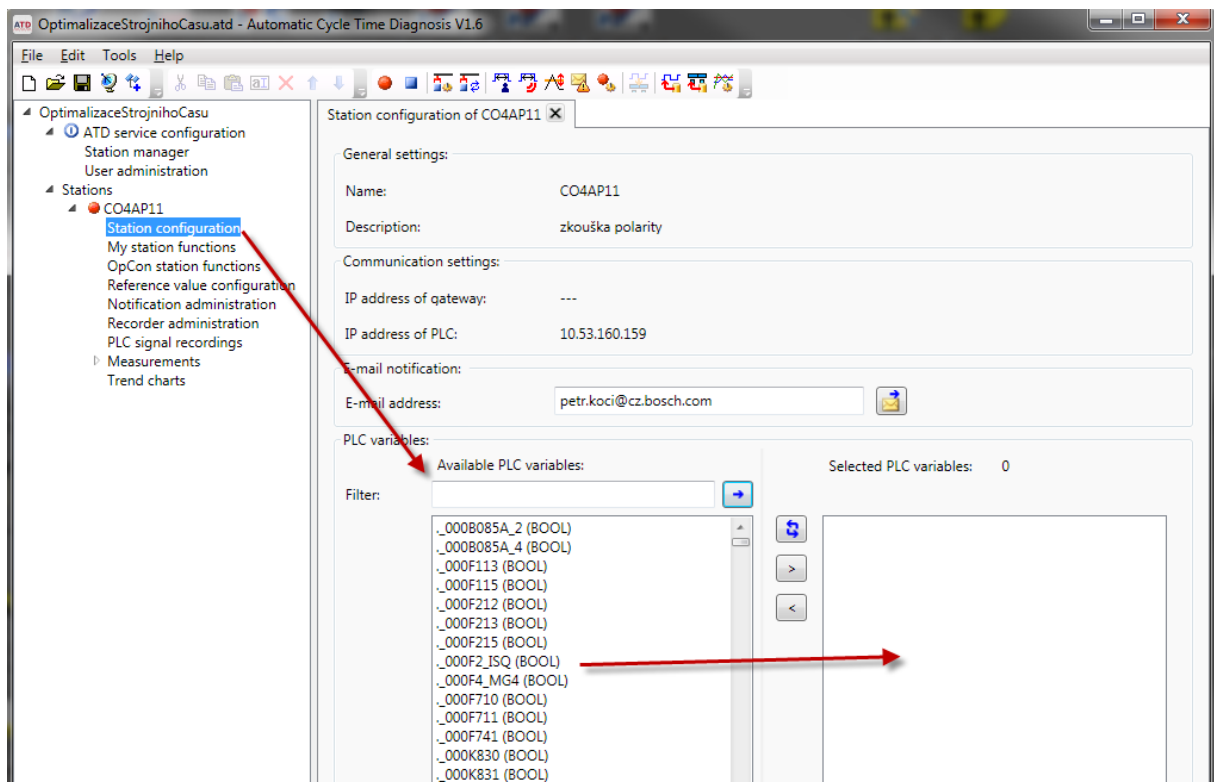
4.2.1.4 Stations

V této sekci se přidávají a konfiguruji pracovní stanice do *ATD* projektu. Přidávat lze jen stanice obsažené v seznamu *Available station*, který se edituje ve *Station manageru*. Úprava a konfigurace začíná zvolením konkrétní stanice, v ukázkovém projektu se jedná o stanici s názvem CO4AP11.

4.2.1.5 Station Configuration

Do seznamu *Selected PLC variables* se ze seznamu *Available PLC variables* přesunují ty *PLC* proměnné, jejichž stavy budou monitorovány a uloženy do databáze pro pozdější analýzu. Seznam *Available PLC variables* je nejdříve zapotřebí načíst kliknutím na tlačítko *Update*, kdy se *ATD* připojí na stroj a načte *PLC variables*.

Ve *Station Configuration* se také edituje seznam emailových účtů, na které budou automaticky posílány notifikace podle pravidel definovaných v *Notification administration*.



Obrázek 16: ATD client, PLC Configuration

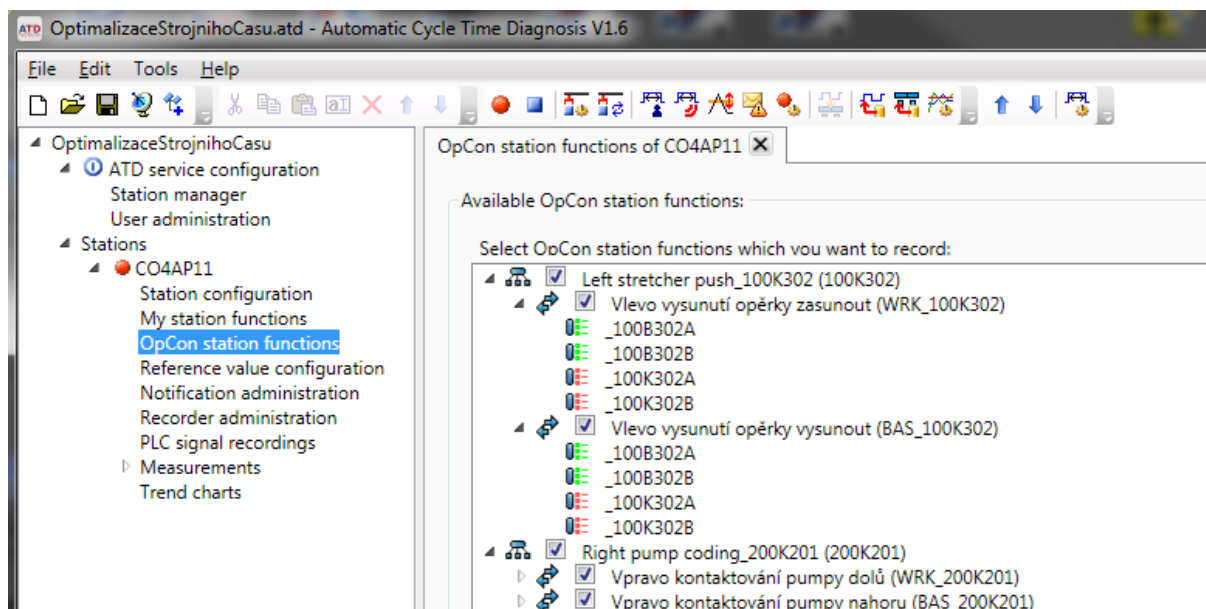
4.2.1.6 My station functions

Funkci je nejdříve zapotřebí vytvořit v *PLC signal recording*. Teprve poté lze funkci v *My station functions* dále editovat. Účelem je definovat vybrané časové intervaly vždy na dvou hranách *PLC variables* zobrazených v časových průbězích. U těchto intervalů vymezených šipkou je možné kliknutím pravým tlačítkem myši na žlutou značku aktivovat editační okno. V tomto okně lze definovat časové upozorňující a chybové tolerance a nastavit notifikace při jejich překročení obdobným způsobem, jako je tomu u *Opcon station functions*.

4.2.1.7 Opcon station functions

Obsahuje seznam *Opcon Available function*. Pokud je seznam prázdný, je zapotřebí tyto funkce pomocí *Update station* získat z pracovní stanice. Pokud je *ATD* připojeno přes síť na výrobní stroj a žádný seznam se ani poté nezobrazí, je zapotřebí z prostředí *OES* na straně stroje zkontrolovat *ATD* konfiguraci a v sekci *ATD service* provést *refresh Opcon station* a poslat *ATD* konfiguraci na *ATD service*.

V seznamu lze poklikem na zaškrťávací políčka volit, které funkce *Opcon station functions* budou nahrávány. U každé z těchto funkcí jde upravovat varovné a chybové časové limity, které již byly v předchozích krocích definovány v prostředí *OES* v *ATD* konfiguraci.



4.2.1.8 Reference value configuration

Zde se volí, jaké funkce budou nahrávány. Lze nahrávat *PLC signals*, respektive *PLC variables*, *Opcon station functions* nebo *My station functions*. Při zvolení *My station functions* se automaticky zaškrtně i volba *PLC signals*, protože z *PLC signals* *My stations functions* čerpá. Je také možné nahrávat i vše najednou. Nahrávání *PLC signals* nebo *My station functions* obnáší jedno poměrně závažné úskalí, které je zapotřebí brát na zřetel. Během nahrávání není možné se na stroj připojit přes síť z prostředí *IndraLogic*, což může v případě závady na stroji způsobit komplikace, kdy nebude možné stav stroje diagnostikovat. V takovém případě by bylo nezbytné stroj od sítě odpojit a připojit se s počítačem k *PLC* přímo na stroji.

Pokud už jsou nějaká data týkající se funkcí nahraná, zobrazí se v seznamu *Configure reference values*, kde je možné je dále nastavovat. V tomto seznamu lze pro každou položku znovu volit, zda má být při překročení časových limitů posílána notifikace na přednastavené mailly. Dále je možné také nastavit počet překročení těchto limitů, kdy notifikace ještě posílána nebude a také upravovat referenční, varovné a chybové časy podle stavu po ukončení optimalizace.

4.2.1.9 Notification administration

V seznamu *Notification inbox* se nachází notifikace, kdy sledované funkce překročily nastavené časové limity. Kliknutím na položku v seznamu se v rámu *Complete message* zobrazí její detailní informace. Kliknutím pravým tlačítkem myši na *Notification box* se zobrazí nabídka, která kromě mazání a potvrzení notifikací umožňuje nastavit pokročilý filtr pro zobrazení notifikací v závislosti na typu, data, času, aktuálního záznamu či všech záznamů.

4.2.1.10 PLC signal recording

PLC signal recording importuje záznamy časových průběhů *PLC variables* nahraných do databáze při sběru dat. Dále poskytuje nástroje pro jejich snazší vyhodnocení. Lze přiřadit časový rozdíl mezi dvěma zvolenými měřícími body, které se mohou nacházet na náběžných či sestupných hranách *PLC variables*.

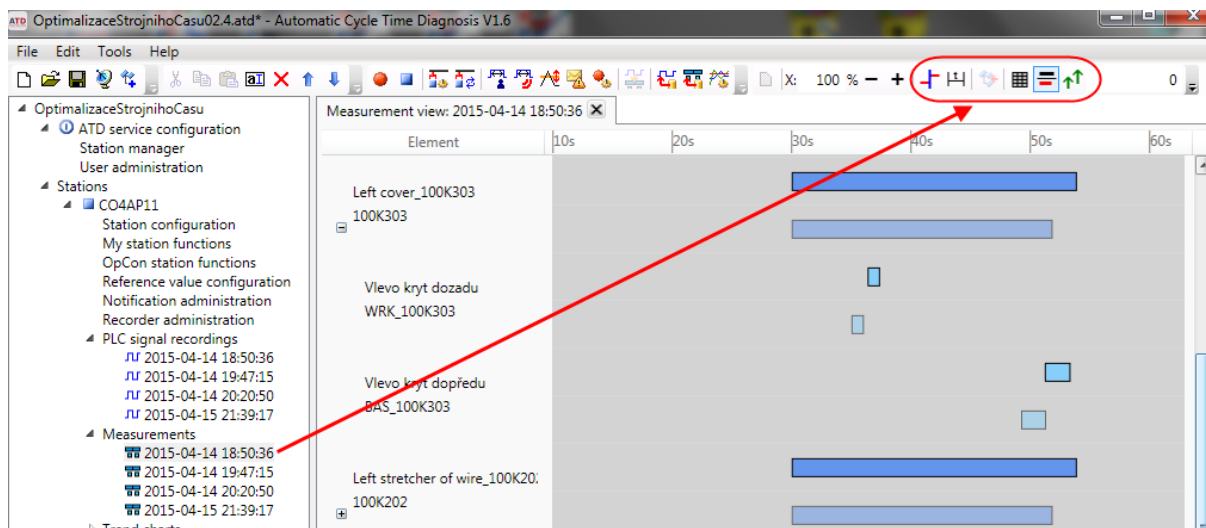
Dalším nástrojem je možnost vytvoření vlastní logické booleovské funkce, jejímiž vstupními parametry mohou být dvě ze zobrazených *PLC variables*, mezi nimiž platí logický vztah AND, OR, XOR nebo NAND. Lze tak vytvořit například funkci ve smyslu *PohybOs(OsaX OR OsaY)*. Tato Vlastní logická funkce se poté zobrazí jako další proměnná v časovém rozvoji společně s *PLC variables*.

Dále je možné vytvořit takzvanou vlastní staniční funkci. Na časovém rozvoji *PLC variables* je v prvním kroku editace této funkce nejdříve zapotřebí definovat časový interval platný pro novou staniční funkci. Další postup je identický s kapitolou *My station functions*.

Záznam nahraný z databáze je také možné oříznout o nepotřebné pasáže a uložit do projektu, nebo exportovat jako *csv* soubor pro případné další zpracování či zálohování.

4.2.1.11 Measurements

Importuje nahraný záznam s časovými průběhy *Opcon station functions* z databáze. Pro každou funkci lze načíst tabulku *Measurement table*, která obsahuje podrobné časové údaje. Funkcí může být například pohyb válce zavírající a otevírající ochranný kryt. V tabulce je zaznamenán každý pohyb tohoto válce s údaji, kdy válec vyjel do pracovní pozice, kdy se vrátil do základní pozice, jak dlouho trvaly tyto pohyby a jak dlouho trval pracovní cyklus stroje. Z těchto údajů lze také vyčíst, jestli změna trvání pohybu konkrétního válce měla vliv na celkový pracovní cyklus. Záznamy z databáze lze mezi sebou porovnávat. To je vhodné při vyhodnocování záznamů před a po optimalizaci výrobního stroje. Porovnávat lze graficky jako na obrázku 18, nebo vygenerováním tabulky pomocí *Compare and Export* pro všechny funkce, nebo generováním tabulky *Measurement table* s hodnotami pro jednu funkci.



Obrázek 18: Measurements, porovnávání 2 cyklů

4.2.1.12 Trend Charts

Umožňuje graficky zobrazit průběhy funkcí z více měření. Při porovnávání měření mezi nimiž je delší časový odstup, program do vygenerovaného grafu zahrne i čas mezi oběma měřeními, kdy nejsou k dispozici žádná data. Následkem toho jsou průběhy křivek grafu znatelně hůře čitelné. Pro reálné porovnání průběhů z více měření je vhodnější pro každé z nich pomocí *Trend Charts* nechat vygenerovat samostatný graf.

4.2.2 ATD konfigurace na straně stroje

Na straně stroje je zapotřebí z prostředí *OES*, ve vrstvě *HMI*, nastavit *ATD* konfiguraci a tuto konfiguraci poslat na spuštěný *ATD service*. Dále je nezbytné v prostředí *Indralogic*, vrstva *PLC*, aktivovat v automatickém režimu *ATD*, respektive zapínat a vypínat sběr dat aktivováním *Collectors* definovaných v *Opcon station functions* (4.2.1.7).

4.2.2.1 Nastavení ATD z prostředí OES

Prvním krokem je přidání *ATD* editoru v sekci *Configuration* uvnitř okna *Project Explorer*. Kliknutím pravým tlačítkem na položku *Configuration* se zobrazí menu nabídka. V ní je zapotřebí zvolit *Add editor* a vybrat volbu *ATD configuration*. Po té je do stromu pod sekci *Configuration* přidána složka *ATD configuration*, která obsahuje podsložky *ATD*, *ATD service* a *Configuration*. Nejdříve je nutné pod složkou *ATD* zvolit správnou verzi *ATD service*, na které bude služba provozována. V *OES* verze 3.2c je možnost volby mezi verzí 1.5

a menší nebo 1.6 a větší. Po té je zapotřebí nastavit parametry v Configuration a teprve poté poslat zpracovanou konfiguraci na spuštění *ATD service*, který tuto konfiguraci načte.

V *Configurations* se editují takzvané *ATD Collectors*, které jsou napojeny na pohyby válců definované v sekci *Objects*, jež jsou součástí *HMI* vrstvy projektu výrobního stroje. *ATD Collectors* importované do *ATD* projektu jsou v *ATD* projektu nazývány *Opcon station functions*.

ATD Collector se přidá kliknutím pravým tlačítkem myši na *Configuration* přes nabídku *Add/ATD Collector*. *Collector* je nutné přiřadit nejméně jeden objekt, jehož pohyb má být sledován. Kliknutím na nově vytvořený *Collector* přes nabídku *Add/Device from object configuration* se přidá do projektu karta *Device*. Na této kartě je třeba z rozbalovacího seznamu *Device* vybrat konkrétní pohyb. V seznamu jsou obsaženy pohyby do pracovních a základních poloh všech válců definovaných v *OES* v sekci *Objects*. Lze tak vytvořit *Collector* pro jeden válec za účelem sledování například pohybu ochranného krytu do pracovní a do základní polohy. Další možností použití je vytvořit *Collector*, který bude monitorovat pohyby všech válců do základní polohy. Každý pohyb má svou kartu *Device*, ve které je nutné vyplnit referenční čas a varovné a chybové časové limity. Při nevyplnění těchto časů nebude možné poslat *ATD* konfiguraci na *ATD service*. Referenční čas je doba trvání konkrétního pohybu za běžných provozních podmínek. Například pokud pohyb válce pro ovládání krytu do základní polohy trvá řádově 2 sekundy, tento čas se nastaví jako referenční. Bude-li požadavek, aby se čas pohybu válce nacházel například v intervalu 10 procent, zvolí se dolní varovný limit na 1,8 s a horní na 2,2 s. Chybový časový limit může mít v tomto případě pro dolní chybový čas hodnotu 1s a horní časový limit 3s. Překročení varovných a chybových limitů je možné během spuštění *ATD service* notifikovat. Notifikace bude probíhat podle nastavení v *Notification administration* (4.2.1.9).

4.2.2.2 Nastavení ATD z prostředí IndraLogic

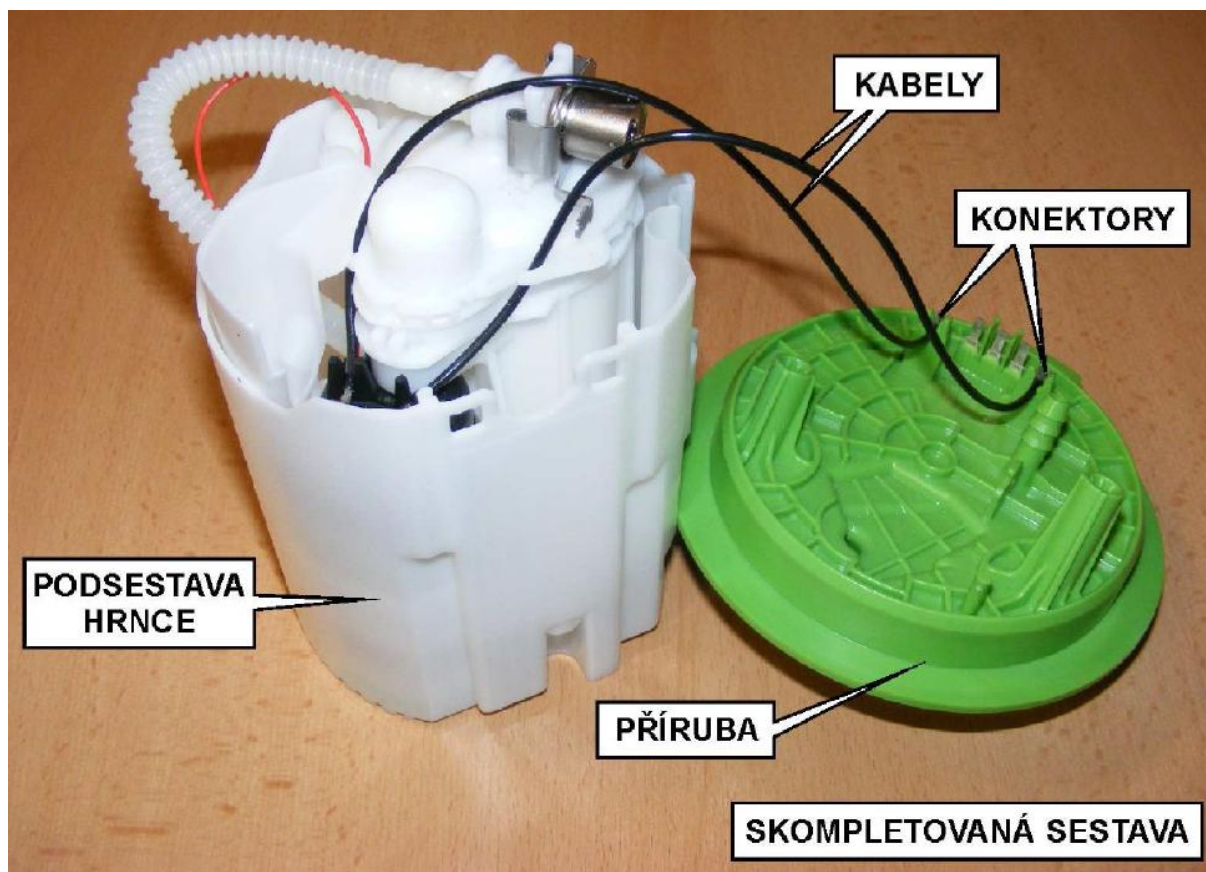
Nastavení *ATD* na straně *PLC* v prostředí *IndraLogic* je nejméně náročnou částí implementace, protože téměř veškerou práci s konfigurací *ATD* obstará import dat z *OES*. Pro zprovoznění *ATD* je v *IndraLogic* nutné pouze zapínat a vypínat patřičné *ATDCollectors* nastavováním *ATDCollectorXY.Start :=TRUE* nebo *ATDCollectorXY.Start :=FALSE*, a to na začátcích a koncích podprogramů. Po zkompilování programu a nahrání do *PLC* je konfigurace na straně *IndraLogic* hotova.

4.3 Optimalizace strojního času výrobního zařízení

4.3.1 Popis optimalizovaného stroje

K optimalizaci strojního času byl vybrán výrobní stroj, na kterém se kompletuje část sestavy palivového modulu, která je součástí finálního výrobku nádržového modulu TEE.. Jeho účelem je filtrování a doprava paliva v palivovém systému automobilu, regulace tlaku paliva a měření hladiny paliva. Výrobek je složen z plastových komponent podsestavyrhnce a příruby. Uvnitř hrnce je umístěno palivové čerpadlo, filtry zajišťující čistotu paliva, ventil zajišťující požadovaný tlak paliva v systému a bezpečnostní ventil zabráňující úniku paliva při autonehodě, kdy se automobil případně převrátí na střechnu. Hrnec je uložen do nádrže automobilu. Ve stěně nádrže je s vnějším prostředím propojen pomocí hermeticky uložené příruby, která nádrž s palivovým systémem propojuje pomocí dopravních hadiček paliva a pomocí elektrických konektorů zajišťuje přenos řídicích a řízených signálů. Příruba a hrnec jsou mechanicky spojeny kovovými tyčkami s pružinami pro volné uložení. Výrobek je dále vybaven analogovým senzorem dráhy. Senzor dráhy je prvek, který převádí snímanou spojitou veličinu – hladinu paliva - na elektrický odpor. Tento senzor detekuje úroveň hladiny paliva uvnitř hrnce na principu plováku, který unáší jezdce na odporové dráze s přísně definovanými parametry, které se vyhodnocují.

Na optimalizovaném stroji probíhají procesy kompletace hrnce s přírubou, kontrola polarity čerpadla a mikroodporové svařování, kdy jsou vodiče vedoucí od napájecího konektoru umístěného na přírubě navařeny do kontaktů čerpadla. Z důvodu časové náročnosti této části výrobního procesu a především ceny autonomního periferního zařízení – mikroodporové svářečky *Miyachi*, byl tento stroj sestrojen takovým způsobem, že umožňuje vyrábět výrobky na dvou identických do jisté míry nezávislých pracovištích najednou. Obě pracoviště mají společné měření polarity, kdy jsou měřící okruhy pro levé a pravé pracoviště přepínány relátky. Dalším limitujícím prvkem je čas sváření, kdy jsou elektrody svářečky pomocí elektricky ovládaných os střídavě transportovány na levé nebo pravé pracoviště. Zatímco na jednom pracovišti probíhá měření polarity, na druhém ve stejný okamžik probíhá proces sváření a naopak.



Obrázek 19: Výrobek kompletovaný na optimalizovaném stroji [3]

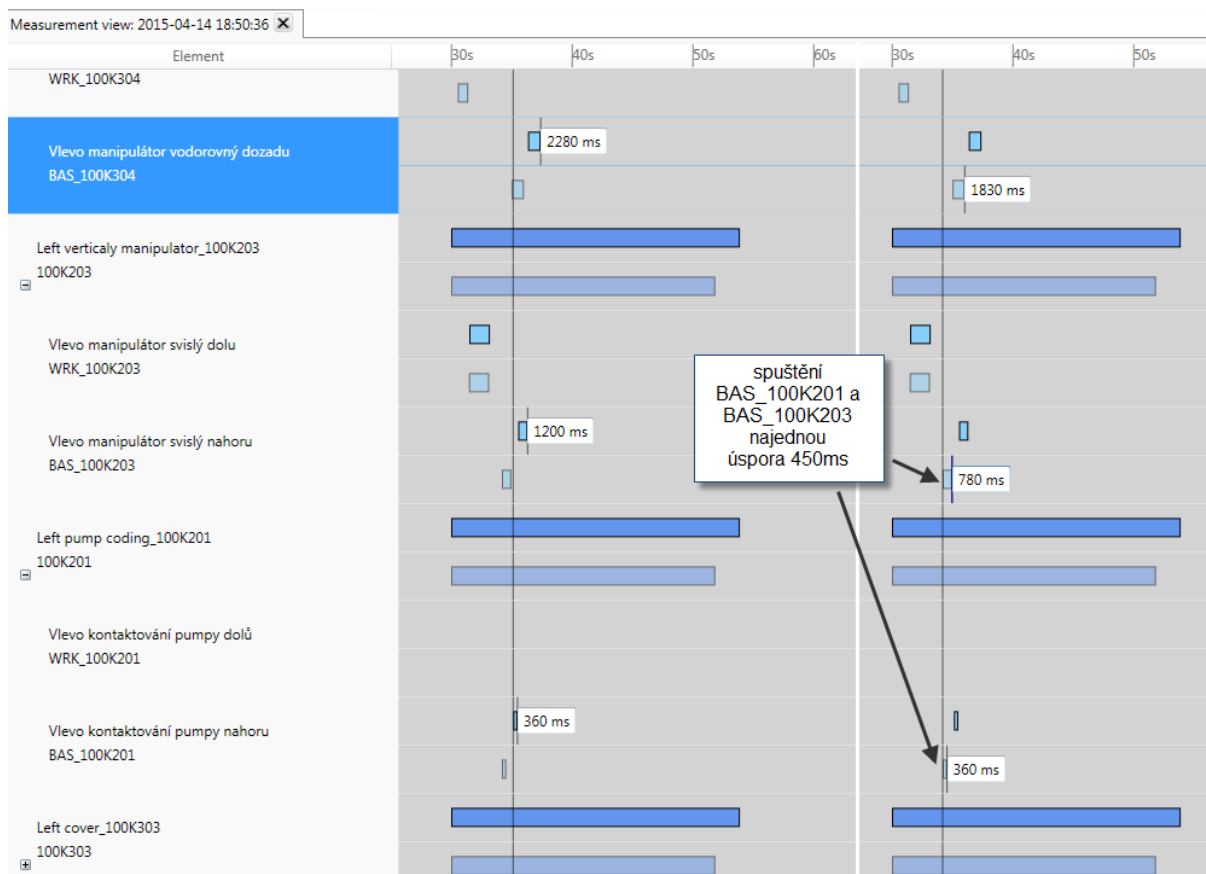
Poté, co obsluha do přípravků na stroji založí přírubu, hrnec s pumpou a poté, co ručně namáčkne napájecí vodiče na kontakty pumpy, může začít automatizovaná část procesu. Po odstartování automatického cyklu na levém pracovišti aktivováním levého startovacího optického tlačítka vyjedou patřičné válce stroje v definovaném sledu do pracovních pozic a realizují první část automatického cyklu, kterou je domáčknutí odizolovaných konců vodičů do kontaktů pumpy. Zároveň s těmito pohyby přijíždí nad levé pracoviště horizontální osa unášející vertikální osu se svářecí hlavou s elektrodami upevněnými v rozevřacích čelistech a s výkonovými silnoproudými vodiči. Prostor přejezdu osy mezi pracovišti je nad levým i pravým pracovištěm oddělen zasouvacími kryty, které zajišťují bezkolizní stavy mezi pracovními prostory a přejezdem. Po nalisování vodičů probíhá elektrická zkouška kontrola polarity, která kontroluje správné zapojení vodičů. Po úspěšné zkoušce polarity válce odjedou do základních poloh a další válec zajistí zasetí krytu. Následuje druhá část automatického procesu, ve které stroj navaří vodiče na kontakty pumpy. Dolů sjede do přesně definovaného místa vertikální osa tak, aby první kontakt pumpy byl mezi rozevřenými čelistmi se svářecími elektrodami. Poté PLC vyšle startovací signál svářecce, která ovládá čelisti s elektrodami,

přivádí vodič ke kontaktu a zároveň odměřuje délku kontaktu. Po svaření kontaktu svářečka čelisti rozevře a předá signál *PLC* o ukončení prvního sváru. Poté *PLC* zajistí přesun svářečcí lavy do místa druhého kontaktu a celý svářečcí proces se opakuje. Během automatického procesu na levém pracovišti obsluha identicky založí na pravém pracovišti díly a odstartuje automatický cyklus na pravé straně, který začíná kontrolou polarity. Po ukončení automatického cyklu na levém pracovišti přejede horizontální osa nad pravé pracoviště, aby byla připravena k započetí procesu svařování, až bude na pravé straně dokončena zkouška polarity.

4.3.2 Optimalizace stroje

Optimalizace zvoleného stroje se skládala z několika postupných kroků. Prvním krokem bylo zmapování pohybů a procesů stroje. Poté následovalo vytvoření a implementace *ATD* do stroje. Další krok byl první sběr dat. Následoval krok analyzování dat a hledání řešení vedoucí ke zkrácení délky času automatického cyklu. Dále se v několika smyčkách opakoval postup optimalizace - sběr dat (měření) – analýza. Po třech postupných optimalizacích došlo při porovnání původního a finálního optimalizovaného cyklu k významnému zrychlení stroje. Po prvním sběru dat bylo pomocí průběhů *Opcon Station functions* (4.2.1.7) zanalyzováno, že by válec pro svislý manipulátor zajišťující dolisování vodičů do kontaktů pumpy mohl po zkoušce polarity odjíždět současně s válcem kontaktování pumpy, čímž by umožnil horizontálnímu manipulátoru vyjet dříve do základní polohy. Současné odjetí válců nemohlo způsobit žádné kolizní stavy, a tak byla první část optimalizace realizována úpravou programu *PLC*. Následovala druhá sada sběru dat, která potvrdila úsporu strojního času. Rozdíl před a po tomto optimalizačním kroku je vidět na obrázku 20.

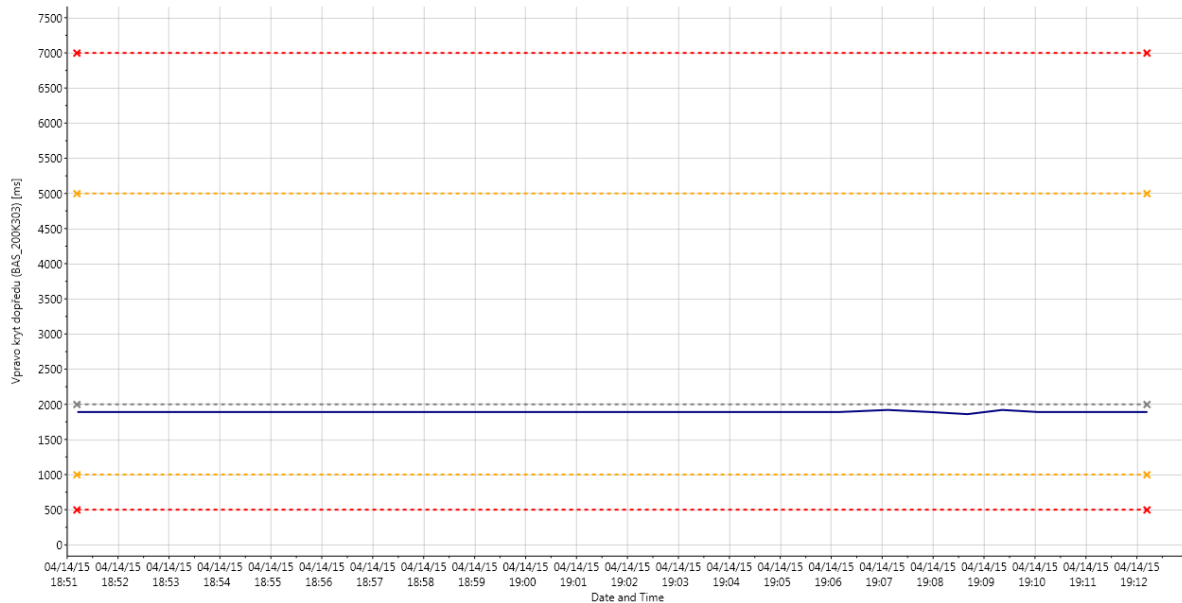
Následně bylo zjištěno, že by mohl válec pro zavírání krytu na konci cyklu vyjet do pracovní polohy dříve, než se opěrka držící dráty odklopí. Opět došlo na úpravu programu *PLC*. Třetí sada sběru dat opět ukázala vylepšení. Poté následovalo doladění škrtec ventilů na krytech a horizontálních manipulátorech. To bylo realizováno za pomoci sledování průběhů náběžných a sestupných hran v *PLC variables*, kdy byly stavy najetí válců časově sesynchronizovány. Následoval poslední kompletní sběr dat, který ukázal opět časovou úsporu oproti předchozímu.



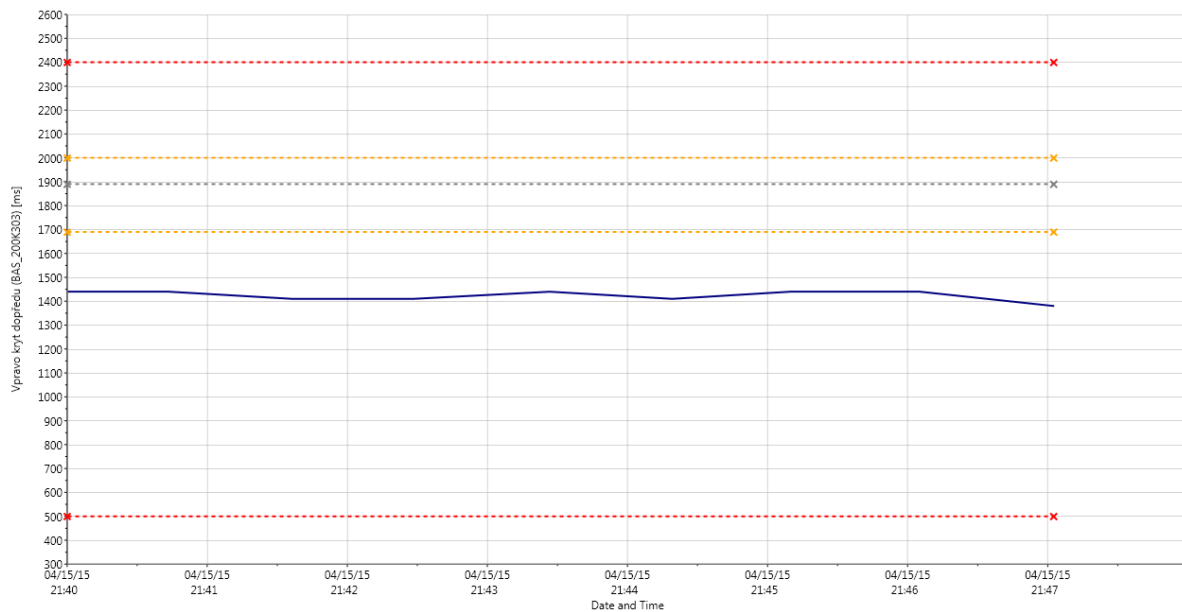
Obrázek 20: Optimalizace současným pohybem válců (BAS_100K201, BAS_100K203)

Jedna z úvah o zkrácení strojního času byla úprava posílání výsledků na server, ale po bližším analýze bylo rozhodnuto, že by úprava programu v *PLC* v tomto případě neměla smysl řešit, protože podprogram obsluhující posílání dat na sever je spuštěný paralelně s programem pro automatický režim a na strojní čas nemá vliv. Sváření, které zajišťuje periferní zařízení svářečka *Miyachi* taktéž nemělo smysl zkoušet optimalizovat, protože nastavování parametrů svářecího procesu je velice citlivá záležitost, kterou řeší specializovaní odborníci, a kteří svářečku udržují v optimalizovaném stavu průběžně, několikrát do týdne.

Zrychlení pohybu pravého krytu při pohybu do základní polohy



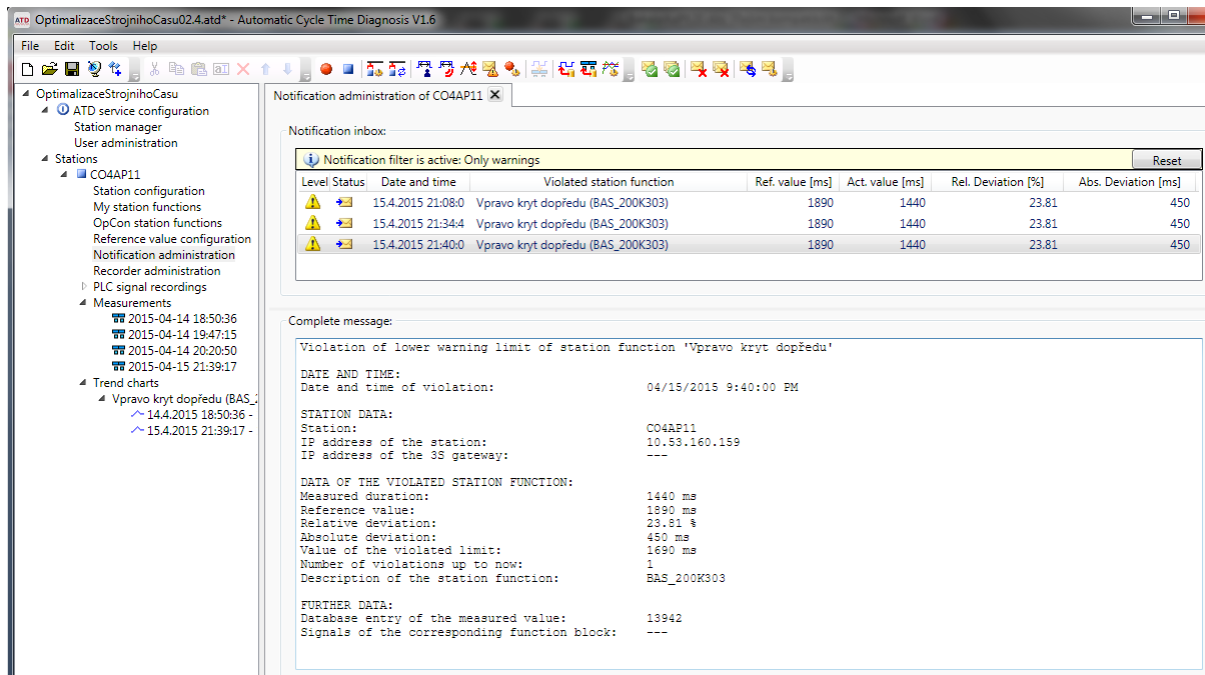
Graf 1: Pohyb krytu dopředu (BAS_200K303) před optimalizací



Graf 2: Pohyb krytu dopředu (BAS_200K303) po odladění škrtkícími ventily

Porovnáním grafů 1 a 2 zřejmé, že zrychlení pohybu válce bylo úspěšné. Zrychlení krytu má za následek možnost přjetí horizontální osy unášející svářecí hlavu do pozice nad druhé pracoviště. Zároveň se časy cyklů pohybu válce krytu natolik změnilo, že by bylo vhodné

v případě zapnutí notifikace pro tento pohyb upravit referenční čas a hodnoty pro varovný interval.



Obrázek 21 Notifikace překročení času varovného intervalu

Časy automatických cyklů se s každou optimalizací vylepšovaly a jejich hodnoty lze vyčíst z tabulky 1.

Měření 1	Měření 2	Měření 3	Měření 4
t_1 [ms]	t_2 [ms]	t_3 [ms]	t_4 [ms]
23910	22440	22380	21870
23850	22440	22410	21720
23790	26250	22350	21750
23820	23850	22350	21840
23820	23820	22380	21840
23820	23880	22380	21810
23850	22440	22380	21780
23850	22440	22380	21900
25230	22380	22410	23280
\bar{t}_1 [ms]: 23993	\bar{t}_2 [ms]: 23327	\bar{t}_3 [ms]: 22380	\bar{t}_4 [ms]: 21977
Δt_{14} [ms]: 2016	Δt_{12} [ms]: 667	Δt_{23} [ms]: 947	Δt_{34} [ms]: 403

Tabulka 1: Časy automatických cyklů

4.4 Stanovení standardů a podkladů pro implementaci do výrobních zařízení v rámci RBCB

4.4.1 Rozhodnutí o implementaci ATD do stroje

ATD je licencovaný produkt a od 1. 1. 2011 je součástí *OpCon licence*, která je na každém stroji postaveným na platformě *OES* zaplacená. Pokud je na stroji vizualizace naprogramována v softwaru *OES* verze alespoň V3.x a licence zakoupena od výše zmíněného data a dále, pokud je stroj připojen do firemní LAN sítě, je možné *ATD* na stroj implementovat.

4.4.2 Zmapování výrobního stroje

Nezbytným krokem pro úspěšnou optimalizaci je detailní zmapování pohybů a procesů stroje probíhajících v automatickém cyklu. Procesy a pohyby je vhodné rozdělit do logických celků a jejich sled vizualizovat například pomocí vývojového diagramu. Ten může být realizován elektronickou či písemnou formou.

4.4.3 Implementace ATD

4.4.3.1 Implementace ATD na straně ATD client

Při editaci *ATD* projektu je vhodné *Opcon station functions* (4.2.1.7) i *PLC variables* (4.2.1.5) uspořádat za sebou v takovém pořadí, v jakém pohyby a procesy na stroji chronologicky probíhají. Nahraná sledovaná data se potom lépe analyzují.

4.4.3.2 ATD konfigurace na straně stroje

V *ATD* editoru v *OES* je nezbytné u všech *ATD collectors* a jejich *Device* nastavit referenční, varovné a chybové časy, jinak nebude možné ze stroje konfiguraci *ATD* úspěšně poslat na *ATD service*. Hodnoty časů mohou být libovolné, respektive nemusí odrážet skutečný stav. Tyto časy se budou ještě upravovat na straně *ATD client* v průběhu optimalizace, kdy budou známy reálné časové údaje.

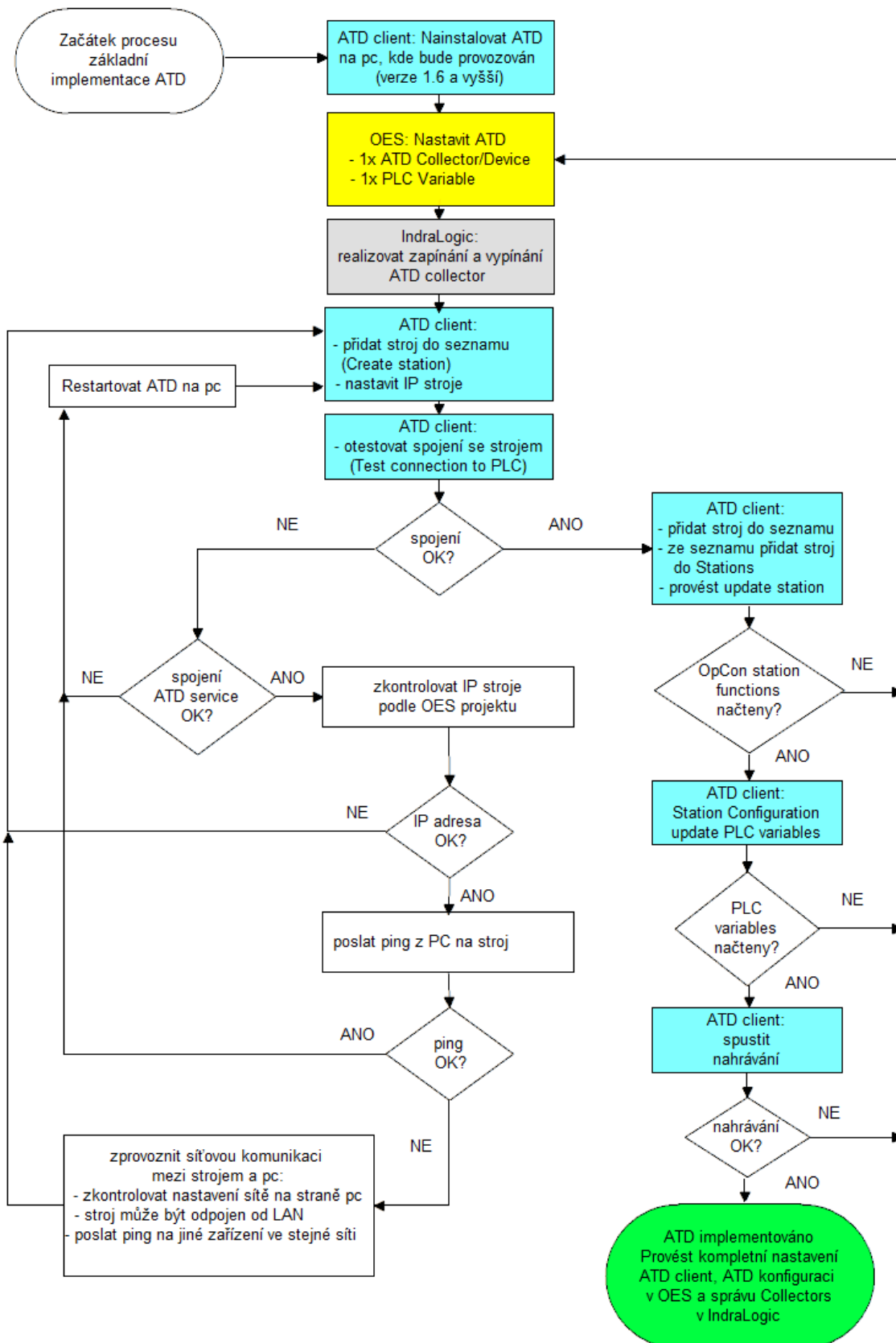
Povolení sběru dat *ATD Collectors*, může být ze strany stroje řešeno přidáním booleovské položky ve staničních datech, na jejíž stav bude zapínání a vypínání *ATD collectors* vázáno a na *ATD service* tak nebudou posílána žádná data.

4.4.3.1 Základní implementace ATD

Poskytuje návod k rychlé implementaci *ATD* do stroje a na pc, kde bude spuštěn *ATD client*. Cílem základní implementace je zprovoznit *ATD* pro sběr dat jednoho pohybu a jedné *PLC* proměnné. Prvním krokem je instalace *Automatic Cycle Time Diagnosis* verze 1.6 nebo vyšší, které se nachází na firemním síťovém disku *Opcon\$*.

Dále je zapotřebí nastavit *ATD* konfiguraci na straně stroje. V *OES* je zapotřebí aktivovat *ATD editor*, ve kterém je nutné přidat *ATD Collector*, do kterého se vloží ze zobrazeného seznamu jedno libovolné *Device from object configuration*. Dále je nutné vytvořit jednu *PLC* proměnnou, která se pomocí okna *Project explorer* uloží do cesty *Configuration/Variables/PLC variables/General*. Následuje export a také refresh a posláni *ATD* konfigurace na spuštěný *ATD Service*. V prostředí *IndraLogic* se provede import těchto úprav a v naimportovaném podprogramu *AtDispatcher* se nastaví *ATDCollectorXY.Start* do hodnoty *TRUE* a provede kompilace. Tím jsou úkony na straně stroje hotovy.

Na straně *ATD client* je ve *Station manager* nutné vytvořit stanici a nastavit IP adresu stroje a otestovat připojení ke stroji volbou *Test connection to PLC*. Dále je zapotřebí přidat stroj pod *Stations* a provést *update station*. Tím se načtou *Opcon station functions* (4.2.1.7) poslané z *OES* na *ATD service*, které budou obsahovat jedinný *ATD collector*. Ve *Station configuration* (4.2.1.5) následuje pomocí *update PLC variables* nahrání *PLC variables* do *ATD client*. Tím je implementace *ATD* hotova a může se provést zkušební nahrávání dat.



Obrázek 22 Základní implementace ATD

4.4.4 Zaměření na dlouhé pohyby pneumatických válců

Velkou úsporu času může přivést urychlení pohybů především na delších vzdálenostech. Pokud je to tedy s ohledem na plynulý a stabilní pohyb válce možné, zvýšit rychlost válce optimálním nastavením škrťících ventilů. Stabilitu válce před a po optimalizaci lze porovnat z průběhu křivky grafu generovaného v *Trend charts* (4.2.1.12), na kterém jsou vyneseny délky cyklů vybraného pohybu v časovém rozvoji. Změnu rychlosti válce je zapotřebí zohlednit v *Reference value configuration* (4.2.1.8) aktualizací referenčního času a varovných a chybových časových intervalů.

4.4.5 Současné pohyby více válců najednou.

Délku strojního času lze výrazně snížit úpravou programu *PLC* naprogramováním paralelních pohybů válců na místech, kde nemůže dojít ke kolizi válců a kde takovou změnu s ohledem na sled pohybů stroje lze provést. Pokud v automatickém režimu probíhá ve stejném kroku kontrola dojetí více válců najednou, je třeba pohyby válců analyzovat v *Measurements* (4.2.1.11), kam lze z databáze *ATD service* importovat nahraná data *Opcon station functions* (4.2.1.7). Poté je zapotřebí zaměřit se na válec dojíždějící do požadované pozice jako poslední a hledat způsob, jak jeho pohyb urychlit.

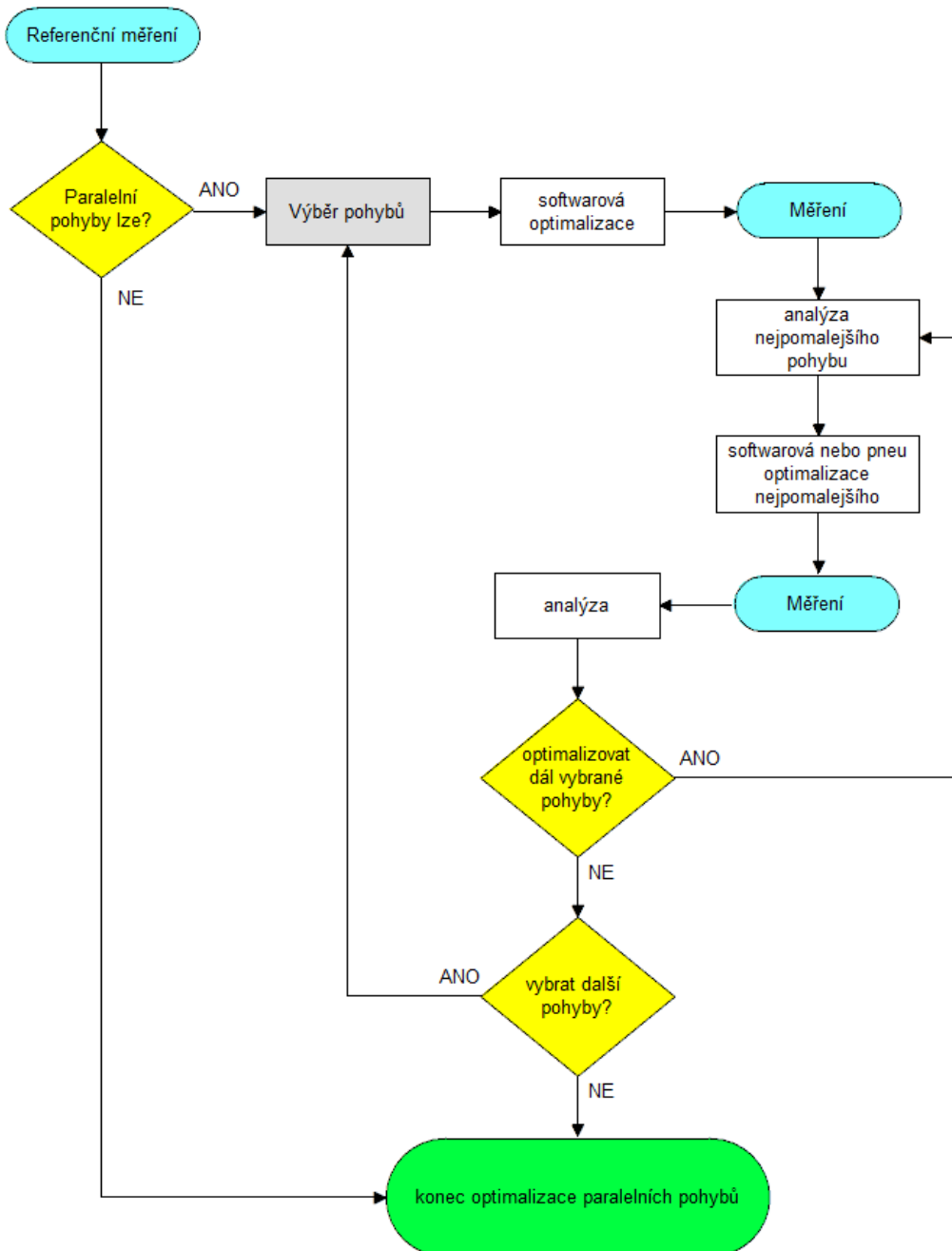
4.4.6 Udržení stroje v optimalizovaném stavu

Po odladění sledovaných pohybů a procesů stroje je důležité nastavit vhodné rozmezí varovných a chybových časových intervalů. Při jejich překročení bude vytvořena notifikace, nebo přímo poslán notifikační mail, na základě kterého bude možné dříve diagnostikovat a vyřešit příčinu.

4.4.7 Metodika procesu optimalizace

Po každé optimalizaci je vhodné provést nový sběr dat a výsledky porovnat s předchozím nebo referenčním měřením. Časové průběhy pohybů pneumatických válců, které jsou zahrnuty v *Opcon Station functions* (4.2.1.7), je nejdříve nutné nahrát z databáze pomocí *Import measurement from database* a pomocí *Snap to project tree* přidat do seznamu *Measurements* (4.2.1.11). Dále je zapotřebí otevřít předposlední měření a pomocí položky v hlavním menu *Add a second measurement* přidat poslední měření k porovnání. Průběhy

obou měření se rozlišují barvami – modrou a světle modrou. Pokud je na první pohled z grafu zřejmé, že optimalizace měla na délku cyklu vliv, je vhodné použít položku v menu *Compare and export*, která vygeneruje tabulku, ve které jsou porovnány časy všech monitorovaných pohybů a seřazeny podle časového rozdílu mezi oběma měřeními.



Obrázek 23: Postup optimalizace paralelních pohybů

5. Závěr

5.1 Splnění cílů práce

Postupnou optimalizací pohybů výrobního zařízení v součinnosti s analyzováním dat získaných implementovaným *ATD* se snížil strojní čas vybraného výrobního zařízení o 8,4%. Optimalizace přinesla časovou úsporu, jejíž hodnota je v průměru 2016 ms. Optimalizované pracoviště bylo nejpomaleším strojem ve výrobní lince, tzv. *bottle neck*, a zkrácení strojního času mělo přímý vliv na zvýšení produktivity výrobní linky. Zkrácení strojního času bylo v několika krocích dosaženo úpravou programu *PLC* a zásahem do vzduchového systému. V *PLC* byla realizována úprava pohybu více válců najednou, prostřednictvím signálů pro pohyb kontaktování pumpy (100K201) a vertikální manipulátor (100K203) na levém pracovišti a obdobně 200K201 a 200K203 na pracovišti pravém. Dále proběhlo zrychlení válců krytů 100K303 a 200K303 pomocí nastavování škrtících ventilů.

Na základě zkušeností s implementací a optimalizací vybraného výrobního zařízení vznikly postupy, které pomáhají urychlit nasazení *ATD* do dalších výrobních strojů. Součástí těchto postupů jsou také vývojové diagramy, které dovolují na proces implementace a optimalizace nahlížet co nejjednodušeji a umožňují tak rychlou základní orientaci a vzhled i zájemcům o téma *Optimalizace strojního času výrobních zařízení*, kteří se s touto problematikou setkávají poprvé. Postup *Základní implementace ATD* popisuje pokyny pro zprovoznění *ATD* na straně stroje a na straně *ATD client* tak, aby byl celý systém implementován co nejjednodušším způsobem a v co nejkratším čase. Postup končí stavem, kdy je zprovozněno nahrávání *PLC Variables* a *OpCon station functions*, tím je funkčnost *ATD* ověřena. Díky postřehům a zkušenostem získaným při realizování této práce lze vyřešit různá úskalí, která jsou s procesem implementace a optimalizace svázána. Nasazení *ATD* se prokázalo jako přínosné a v současné době probíhá postupné nasazování *ATD* na vybrané výrobní lince.

5.2 Možnosti

Při průběžném používání *ATD* je možné výrobní stroj dlouhodobě udržovat v odladěném stavu a zároveň minimalizovat výpadky stroje způsobené selháním komponenty, která má vliv na strojní čas, a jejíž zhoršující se stav může být díky správnému nastavení *ATD* včas diagnostikován a komponenta vyměněna. Notifikační maily by v budoucnu mohly být směřovány na účty firemních odborníků, kteří se prevencí závad na strojích přímo zabývají a pro něž by informace obsažené v notifikacích mohly být přínosné.

6. Bibliografie

- [1] TEAZ s.r.o., Uživatelská příručka montážní stanice AP11 pro linku XLM CO4, 2012.
- [2] Robert Bosch GmbH, OpCon Advanced Programming with VEP30/L40, Stuttgart, Německo, 2011.
- [3] „Programovací režimy pro PLC dle IEC 61131-3 (CoDeSys),“ 3 3 2011. [Online]. Available: <http://automatizace.hw.cz/programovaci-rezimy-pro-plc-dle-iec-611313-codesys>. [Přístup získán 21 1 2015].

Obrázky byly vytvořeny v grafickém editoru Paint, na vytvoření vývojových diagramů byl použit software Diagram Designer. Screenshoty byly pořízeny pomocí programu SnagIt.

7. Seznam obrázků

Obrázek 1: PLC - princip ovládání pohybu pneuválce	2
Obrázek 2: HMI	3
Obrázek 3: IL, Bosch, WinSPS	5
Obrázek 4: ST, Bosch, IndraLogic.....	6
Obrázek 5: LD, Bosch, WinSPS	7
Obrázek 6: LD, Siemens, S7-200.....	7
Obrázek 7: SFC, Bosch Rexroth, IndraLogic.....	8
Obrázek 8: FBD, Siemens, S7-200	9
Obrázek 9: IndraLogic, Bosch Rexroth.....	10
Obrázek 10: Indukční senzor.....	11
Obrázek 11: Optický senzor	12
Obrázek 12: Odporový snímač dráhy.....	13
Obrázek 13: Topologie ATD.....	18
Obrázek 14: ATD client, Station Manager.....	20
Obrázek 15: ATD client, User administration	20
Obrázek 16: ATD client, PLC Configuration	21
Obrázek 17: ATD client, OpCon station functions	23
Obrázek 18: Measurements, porovnávání 2 cyklů	25
Obrázek 19: Výrobek kompletovaný na optimalizovaném stroji [3].....	28
Obrázek 20: Optimalizace současným pohybem válců (BAS_100K201, BAS_100K203).....	30
Obrázek 21 Notifikace překročení času varovného intervalu	32
Obrázek 22 Základní implementace ATD	35
Obrázek 23: Postup optimalizace paralelních pohybů	37