

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Josef Dušek**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Návrh úpravy řízení výrobní linky s ohledem na snížení její spotřeby**

Pokyny pro vypracování:

1. Proveďte analýzu výrobní linky v závodě firmy Škoda Auto zaměřenou na energetickou náročnost výroby.
2. Realizujte sběr a zpracování dat potřebných pro snížení spotřeby výrobní linky.
3. Proveďte návrh úpravy řízení výrobní linky pomocí SW knihovny dodané vedoucím práce. Dále proveďte "what-if" analýzu pro jiné režimy výroby (dvou/tří směnný provoz, snížená/plná kapacita výroby).
4. Navržené úpravy řízení ověřte v simulaci a případně i na vlastní lince.
5. Vyhodnotte vliv změny řízení linky na energetickou spotřebu výrobní linky.

Seznam odborné literatury:

- [1] Lennart Merkert, Iiro Harjunkoski, Alf Isaksson, Simo Säynevirta, Antti Saarela, Guido Sand, Scheduling and energy - Industrial challenges and opportunities, Computers & Chemical Engineering, Volume 72, 2 January 2015, Pages 183-198.

Vedoucí: Ing. Přemysl Šůcha, Ph.D.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2017/2018



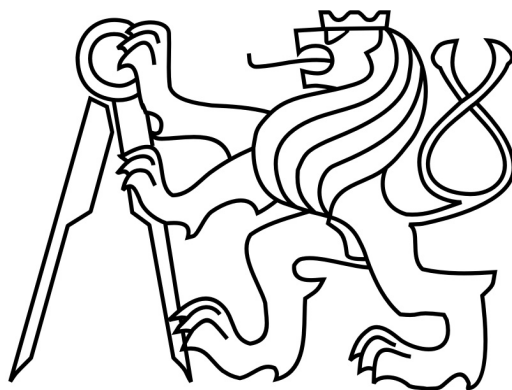
doc. Ing. Zdeněk Müller, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 18. 4. 2016

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky K13115



DIPLOMOVÁ PRÁCE
ADIP25

Návrh úpravy řízení výrobní linky s ohledem na snížení její spotřeby

Josef Dušek

Vedoucí práce: Ing. Přemysl Šůcha, Ph.D.

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Obor: Elektroenergetika

23. května 2016

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Přemyslu Šůchovi, Ph.D. za jeho odborné vedení a cenné rady. Dále bych rád poděkoval Ing. Istvánu Módosovi za ochotu a pomoc při analýze výsledků této diplomové práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval také pracovníkům kalírenské linky ve firmě Škoda Auto a.s., závod Vrchlabí, která je předmětem navrhovaných úprav této diplomové práce a jejíž pracovníci mi při sběru dat a měření provozních hodnot vyšli v nejvyšší míře vstříc. Na závěr děkuji své rodině a svým nadřízeným i kolegům v práci za podporu, kterou mi během studia poskytovali.

Děkuji Vám všem.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Ve Vrchlabí dne 23. 5. 2016

.....

podpis

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je navrhnout úpravu řízení výrobní linky tak, aby došlo ke snížení její spotřeby elektrické energie při zachování výrobní kapacity zařízení. Snahou autora je opustit rámec samotné výrobní linky a analyzovat také následné výrobní procesy za touto linkou. Tato širší perspektiva umožní po důkladné analýze nově definovat potřebná data, která budou použita při rozhodování o provozu linky v energeticky šetrnějším režimu. Práce obsahuje návrh nutných úprav z hlediska nového hardwaru tak i návrhy úprav stávajícího softwaru pro umožnění sběru těchto dat. To vše při co možná největším využití stávající výrobní technologie a minimálních investicích na realizaci.

Abstract

The aim of this thesis is to propose a modification in the control of a production line to reduce its electricity consumption while maintaining the production capacity. This study goes beyond the production line itself and also analyzes the subsequent manufacturing processes in the direction of the material flow. This broader perspective allows, after a thorough analysis, to define the data necessary for deciding on switching among the operational and energy-saving modes of the line. The thesis includes the design of necessary adjustments of the hardware controlling the line and also modifications to the existing software to enable the collecting of these data. All this is achieved with the maximal possible use of existing technology and minimal investment into the implementation of the changes.

Obsah

1	ÚVOD	6
2	KALICÍ LINKA MODUL THERM.....	7
2.1	Struktura linky ALD Modul Therm.....	8
2.1.1	Popis jednotlivých částí linky Modul Therm	8
2.1.2	Popis funkce kalicí linky	12
2.1.3	Popis řídicího systému zařízení KLUA01	14
2.1.4	Zpracovávané díly a jejich podmnožiny	15
2.1.4	Popis optimalizačního problému	16
3	MĚŘENÍ A ANALÝZA DAT	18
3.1	Měření dat procesu	18
3.1.1	Měření spotřeby elektrické energie topné pece BK v průběhu procesu	18
3.1.2	Měření spotřeby elektrické energie topné pece BK v režimu stand-by.....	20
3.1.3	Měření celkové doby procesu od vstupu po výstup vsázky do kalírenské linky	24
3.2	Analýza naměřených dat	25
4	NÁVRH ŘEŠENÍ	28
4.1	Použití optimalizačního algoritmu	28
4.2	Úprava řídicího systému K100	29
4.2.1	Komunikační rozhraní.....	29
4.2.2	Programové změny	30
4.2.3	Úprava rozhraní HMI	36
4.3	Návrh sběru produkčních dat	39
4.3.1	Sklad dílů před montážní linkou DQ200.....	40
4.3.2	Úprava řídicího systému stanic montážní linky	44
4.3.3	Úprava řídicího systému centrální stanice VK1.0	47
5	SIMULACE TÝDENNÍHO PROVOZU	51
5.1	Vyhodnocení výsledků simulace	54
6	ZÁVĚR	55
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	57

1 ÚVOD

Cílem této diplomové práce je navrhnout úpravu řízení výrobní linky tak, aby došlo ke snížení její spotřeby při zachování výrobní kapacity zařízení. Předmětem úprav je kalírenská výrobní linka německého výrobce ALD, model Modul Therm instalovaná ve výrobním závodě na automatické převodovky DQ200 firmy Škoda Auto a.s. ve Vrchlabí. Kalírenská linka je souborem jednotlivých zařízení, která slouží k dopravě, tepelnému zpracování a zakalení jednotlivých kalírenských vsázek, které se skládají z ozubených kol a hřídelí, které jsou následně součástí automatické převodovky.

Pro výrobní podniky je jedním z nejdůležitějších provozně-ekonomických parametrů ziskovost. Zvýšení ziskovosti lze dosáhnout různými způsoby, nejběžněji personálními opatřeními, automatizováním pracovišť doposud s lidskou obsluhou či investicí do zcela nového výrobního zařízení. Dalším způsobem může být ale i optimalizace spotřeby stávajícího výrobního zařízení. Touto otázkou se mimo jiné zabývá také nově se prosazující směr ve výrobním průmyslu a tím je přechod na tzv. „Chytrou továrnu“ (angl. *Smart factory*) což je jedna z komponent strategie *Industry 4.0*. *Industry 4.0* je směr ve svém názvu odkazující na myšlenku 4. průmyslové revoluce, která spojuje řadu klíčových principů a díky stále většímu využití moderních řídicích a komunikačních „smart“ technologií umožňuje realizovat výrobu, ve které jednotlivé stroje a výrobky společně navzájem komunikují. Nejde tedy o zapojení nových zařízení, ale o maximální využití stávajících technologií k dosažení komunikací jednotlivých zařízení mezi sebou. Díky zapojení této vzájemné komunikace výrobních zařízení do výrobního procesu lze predikovat různé stavy výroby v různou dobu výrobního dne a tím následně dopředu řídit části následující výroby s ohledem na požadované kritérium. Pokud tímto kritériem bude spotřeba zařízení, lze pak ideálně optimalizovat tuto spotřebu a tím výrobnímu podniku snížit fixní náklady výroby a zvýšit jeho ziskovost. Toto vše lze v současné době provést na většině stávajících výrobních zařízení s minimální nutností investic do „smart“ technologií. Pro každý konkrétní případ lze pak daný systém individualizovat a tím dosáhnout ještě lepší výsledky ve sledovaných žádaných parametrech.

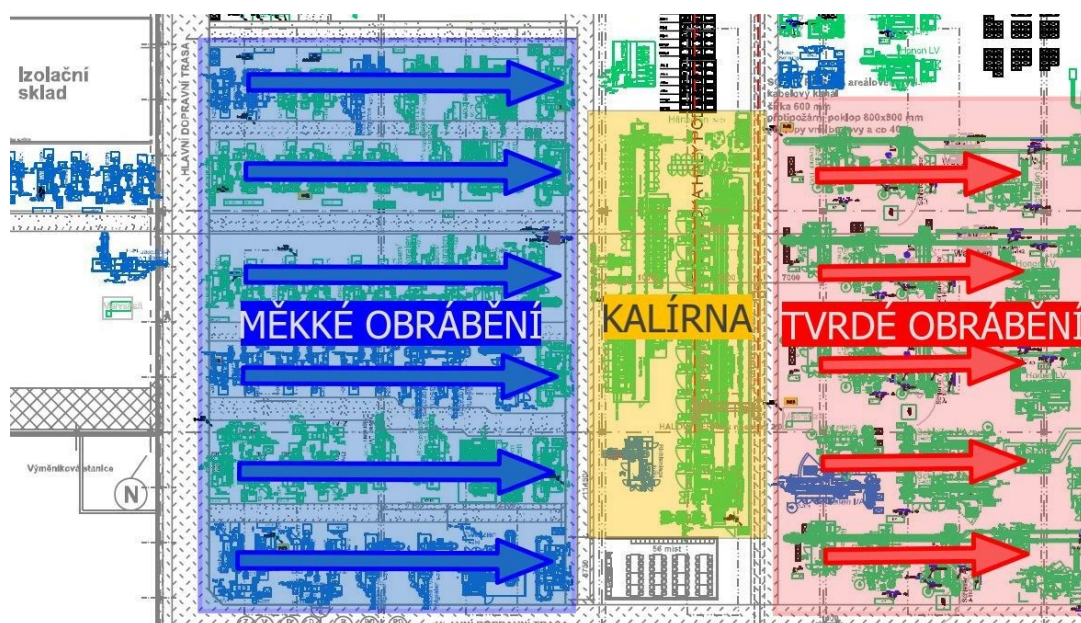
Ve výrobním závodě na automatické převodovky DQ200 firmy Škoda Auto a.s. ve Vrchlabí se již trend „Chytré továrny“ prosazuje a to zejména v oblasti kvality, kdy dochází ke sběru kvalitativních dat vyráběných dílů a jejich vyhodnocení. K tomuto účelu byly ve firmě instalovány interní datovou síť propojené pracoviště kvality přímo v prostorech výrobní haly u obráběcích strojů, kde u právě obrobených kusů dochází k měření jejich rozměrů a ověření kvalitativních parametrů. Po změření dochází k archivaci dat, která jsou tak kdykoliv dohledatelná a použitelná při analýze zmetkovitosti a hledání nápravných opatření pro její snížení. U výrobních strojů v obráběcí části vrchlabského závodu na automatické převodovky zatím nedochází. Pro potřeby této diplomové práce tak bylo vybráno zařízení s největší

měrnou spotřebou elektrické energie a tím jsou právě dvě identické kalící linky firmy ALD, Modul Therm, s interním označením KLUA01 a KLUA02.

Kýženým výsledkem této diplomové práce je využití nově zbudovaného propojení stávajících zařízení kalící linky a obráběcích strojů z předešlých operací tak, aby prostřednictvím provedených měření, sběru dat z obráběcích strojů, analýzy nasbíraných dat, vytvoření algoritmu pro zpracování těchto dat a vložení tohoto algoritmu do řídicího systému kalírenské linky došlo pomocí tohoto nového řízení vnitřního procesu linky ke snížení její energetické náročnosti a tím ke znatelné úspoře finančních prostředků provozovatele této linky. Uvažovaná úprava nesmí v žádném případě snížit výrobní kapacitu kalící linky, jejíž navržená maximální hodnota je 2000 dílů za den.

2 KALICÍ LINKA MODUL THERM

Vrchlabský závod firmy Škoda Auto a.s. aktuálně produkuje 2000ks automatických převodovek denně. Stejně výrobní kapacity jsou přizpůsobeny i operace obrábění rozdělené do tří částí (obr. 1) v montážní hale M1, tzv. „měkké“ obrábění, kde jsou surové díly opracovávány při operacích soustružení, frézování, drážkování a mytí. Následuje fáze kalení. Po výstupu z kalících linek navazuje část tzv. „tvrdého“ obrábění. V části „tvrdého“ obrábění dochází k rovnání kalením pokřivených hřídelí a k broušení styčných ploch ozubených kol a hřídelí. Převodovka se skládá z 5ti druhů hřídelí a 13ti druhů ozubených kol včetně ozubeného kola diferenciálu (viz. tabulka č. 1). Všechny díly tak musejí projít částí kalících linek, kdy při zakalení těchto dílů dojde k úpravě zejména pevnostních parametrů povrchových částí těchto dílů.

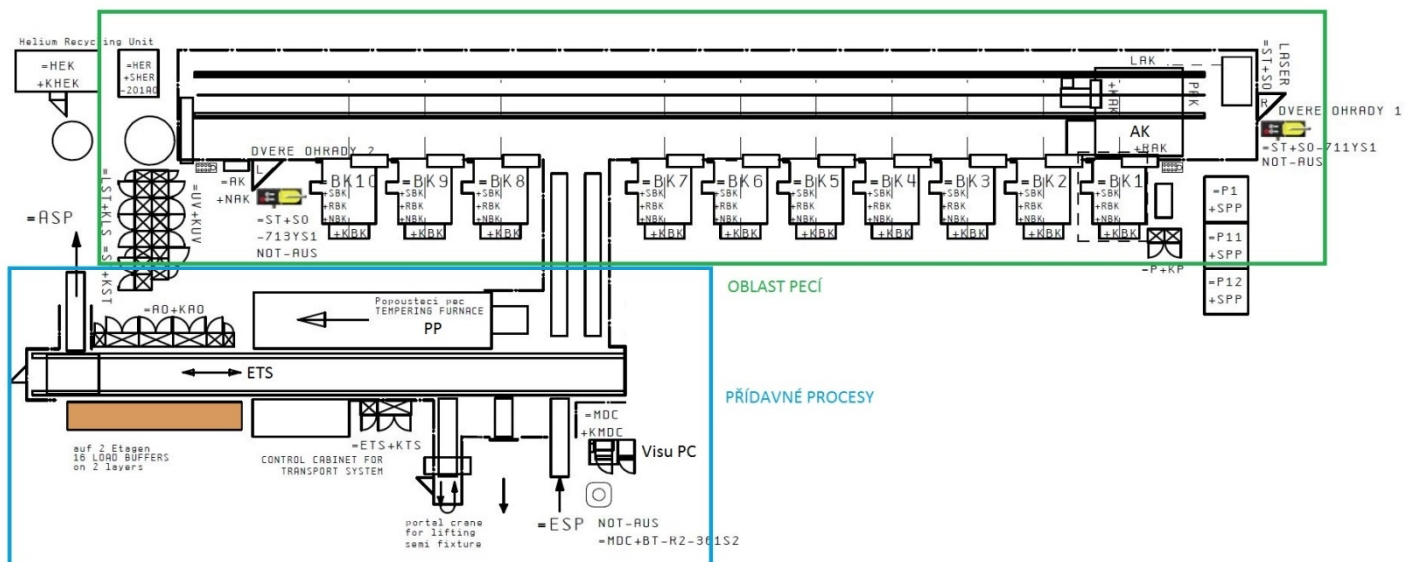


Obr. 1: materiálový tok v hale obrábění M1

Primárně každá kalící linka KLUA01 i KLUA02 zpracovává obrobky v části, ve které je instalována, tedy buď ozubená kola či hřídele. Díky univerzálnosti těchto linek lze ale v případě potřeby zpracovávat oba typy obrobků v obou kalících linkách. Z hlediska probíhajících procesů lze celou linku rozdělit do dvou základních oblastí:

- Oblast pecí – zde se nacházejí *topné pece* BK a pojízdná *kalící pec* AK
- Oblast přídatných procesů – v této oblasti se nachází transportní zařízení ETS, *popouštěcí pec* PP a jsou zde i vstup a výstup

2.1 Struktura linky ALD Modul Therm



Obr. 2: rozložení kalírenské linky KLUA01

2.1.1 Popis jednotlivých částí linky Modul Therm

ETS

Externí transportní systém slouží k transportu vsázek v rámci kalící linky mezi nakládací a vykládací pozicí, mezi vstupem pro pojízdnou pec AK a jejím výstupem a pro transport do vstupu a z výstupu popouštěcí pece PP (viz obr. 1). Zároveň jsou v oblasti dráhy

ETS umístěny dva zásobníky:

- Zásobník vstupní – zde se odkládají vsázky vkládané do kalírny obslužným personálem a to v případě, že veškeré topné pece BK jsou obsazené.
- Zásobník dochlazení – zde se odkládají vsázky před vstupem do popouštěcí pece PP a to v případě, že vstup popouštěcí pece je v okamžiku vývozu vsázky z pojízdné pece AK vstupní pozice popouštěcí pece PP obsazena.



Obr. 3: transportní zařízení ETS u odkládacího zásobníku

BK

Topné pece BK jsou rozmístěny v řadě a slouží k ohřevu vsázky na procesní teplotu. Jejich řada společně s pojízdnou pecí AK tvoří tzv. „oblast pecí“ (viz obr. 1). Procesní teplota v těchto pecích v průběhu procesu je nastavena na 960°C. Vsázky jsou při této teplotě udržovány po dobu nutnou k dostatečnému prohřátí materiálu. Tato doba se pohybuje okolo 2,5 hodiny. Ohřátí vsázek probíhá konvekcí ze tří topných spirál, které jsou umístěny po vnitřním obvodu pece. Proud je do každé topné spirály distribuován z jedné výstupní fáze 180kVA transformátoru umístěného pod pecí a tyto spirály jsou spojeny do hvězdy. Proud do transformátoru je dodáván tyristorovým měničem firmy AEG, model Thyro-P [1], který je řízen samostatným PLC umístěným v rozvaděči dané pece BK. Regulace této teploty je pomocí PID členu a dvou teplotních snímačů umístěných ve vnitřním prostoru pece, se vzájemným posunem 180° pro správný odečet vnitřní teploty pece. Každá pec BK je ochlazována skrze centrální chladicí zařízení, které není součástí kalící linky. Důvodem chlazení je nutnost zamezit přehřátí a následnému poškození jednotlivých částí pece BK. Chladicí okruhy jsou celkem čtyři:

- Chladicí okruh vnitřního pláště pece
- Chladicí okruh proudového transformátoru
- Chladicí okruh vnějšího pláště pece
- Chladicí okruh proudových průchodek topných spirál

Proces v pecích BK probíhá ve vakuovaném vnitřním prostoru pece, které je ve všech pecích zajišťováno centrálně dvěma vakuovými pumpami. Při průběhu procesu jsou do prostoru pecí vpouštěny plyny N a C₂H₂ v poměru dle receptu dané vsázky. Tato receptura vsázky je řízena z centrálního řízení K100, odkud jsou veškeré procesní parametry přeneseny do pece BK prostřednictvím vnitřní komunikační sítě. Součástí této receptury jsou i požadované hodnoty teploty v průběhu ohřevu. Teplota mimo proces (prázdná pec) je pak stále řízena prostřednictvím K100 a právě tato teplota a její případná změna se stala předmětem zkoumání v rámci této práce. Pece jsou z hlediska spotřeby elektrické energie jejím největším odběratelem v rámci kalírenské linky a jsou všechny v případě bezporuchového provozu zapnuté a temperované na procesní teplotu.

Z hlediska provozního stavu se u zapnutých pecí BK rozlišují režimy:

- Automatický – topná pec v plně automatickém režimu, vnitřní teplota dle procesních parametrů (standardně 960°C)
- Semi-automatický – topná pec sama reguluje ručně zadanou vnitřní teplotu, nakládání pouze na pokyn obsluhy kalírenské linky
- Stand-by (tlumení pecí) – vnitřní teplota snížena na programově definovanou teplotu, nakládání pece není umožněno



Obr. 4: vstupní otvory topných pecí BK společně s pojízdnou pecí AK



Obr. 5: umístění transformátoru topných spirál pod pecí BK



Obr. 6: rozvodná skříň pece BK s řídicími prvky

AK

Pojízdná kalící pec (modul) AK slouží k rozvážení vsázek mezi jednotlivými pecemi BK, k jejich zakalení a k následnému vyvezení vsázky z oblasti topných pecí na výstup, kde je vsázka převzata transportním zařízením ETS a navedena dále do popouštěcí pece PP. K tomuto transportnímu účelu má modul AK dvě vnitřní komory – první pro transport a druhou pro proces kalení. Může tak i v průběhu kalení rozvážek vsázky mezi pecemi a vstupem či výstupem oblasti pecí.

Pojízdný modul AK (odtud název kalírenské linky Modul Therm – kalení probíhá v jednom pojízdném modulu společném pro všech deset pecí BK) v případě, že vsázka je v peci BK již dostatečně prohřátá a došlo ke všem fázím procesu (ohřev, oplach dusíkem, obohacení uhlíkem), tuto vsázku převezme z pece BK a naveze do své druhé, procesní kalící komory. Zde za pomoci helia dojde k prudkému ochlazení vsázky a tím k jejímu zakalení. Helium použité při tomto procesu je následně z prostoru pece zpětně odsáto do recyklační nádrže, kde dojde k jeho opětovnému stlačení a použití při dalším procesu. Tento proces trvá okolo deseti minut. Následně je vsázka při teplotě kolem 40°C vyvezena na výstup oblasti pecí a transportním systémem ETS navedena na vstup popouštěcí pece PP.

PP

Popouštěcí pec PP slouží k dochlazení vsázky z teploty kolem 40°C na teplotu okolí. K tomuto dojde v průběhu dvou hodin, během kterých vsázka pojíždí v taktu pecí PP, která má celkem 7 pozic. Po vyjetí vsázky z pece PP je tato vsázka převezena transportním systémem ETS na výstup z kalírenské linky a tato vsázka je pak dále zpracována v procesu „tvrdého“ obrábění.

2.1.2 Popis funkce kalící linky

Vstupním prvkem kalících linek je vsázka. Vsázka se skládá z několika desítek kusů obrobků umístěných na kalírenských roštích. Na tyto rošty jsou obrobky odkládány po konečné fázi „měkkého“ obrábění – po průchodu myčkou. Takto hotové vsázky jsou uskladněny u vstupu kalírenské linky, odkud je pracovník kalírenské linky nakládá do zařízení v pořadí určeném potřebou konkrétních dílů v části „tvrdého“ obrábění. Pro obsluhu kalírenské linky je zde instalován vizualizační PC s instalovaným HMI softwarem, kde lze sledovat jednotlivé části procesu, ovládat pomocí ručního či semi-automatického režimu jednotlivé části a zadávat nové vsázky zakládané na vstupu do kalírny. Pro obě kalírenské linky je pak instalováno jedno PC s recepturami pro zadávání procesního hodnot jednotlivých druhů vsázek.



Obr. 7: kalírenské vsázky na vykládce dílů z poslední fáze „měkkého“ obrábění

Po naložení vsázky obslužným personálem do kalící linky je tato vsázka v závislosti na obsazenosti topných pecí zavezena buďto na vstupní pozici pojízdny kalící pece AK, odkud pak vsázka dovezena do volné topné pece BK. V případě obsazení všech deseti topných pecí BK je vsázka odvezena do nakládací skladovací pozice v pracovní oblasti ETS.

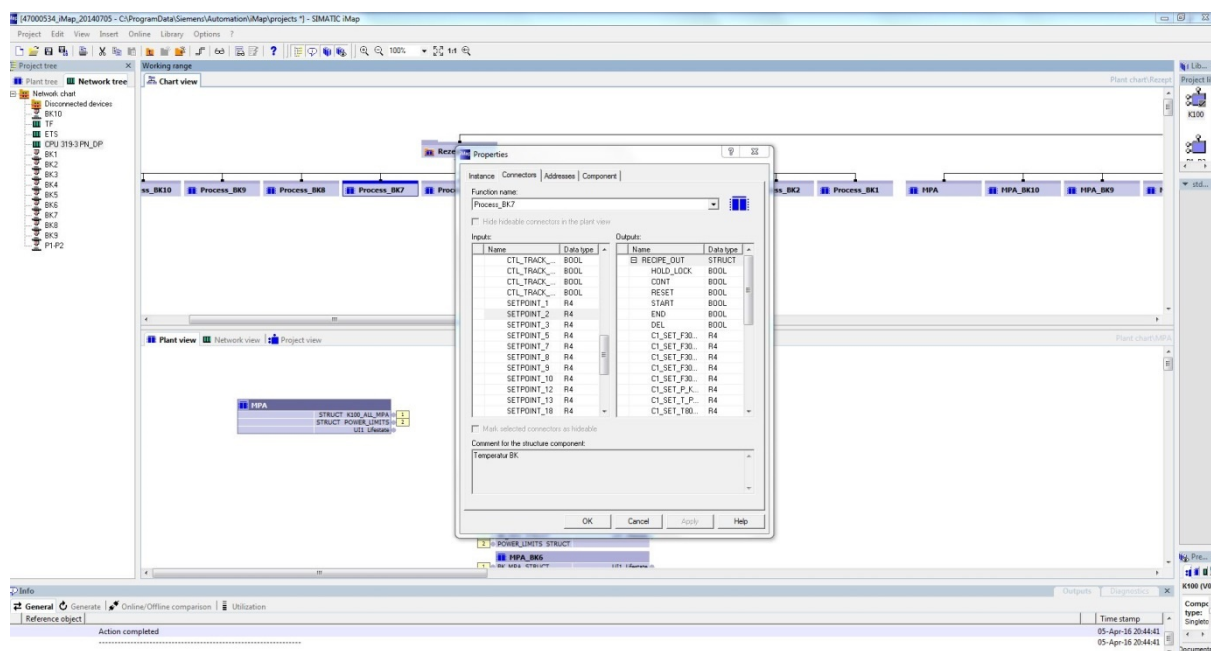
V případě zavezení vsázky do topné pece BK je v této peci vsázka zahřáta na procesní teplotu (960°C), po dosažení procesních parametrů je odebrána pojízdnou kalící pecí AK, zde dojde k zakalení vsázky a vyvezení z oblasti pecí do popouštěcí pece PP. Odtud již vsázka putuje na výstup z kalírenské linky.

Minimální pracovní takt kalící linky, to znamená doba mezi zakalením dvou vsázek, byla v době psaní této práce nastavena na 16 minut. Maximální výrobní kapacita je již zmíněných 2000 ks obrobků (tzn. hřídelí nebo ozubených kol) denně. Tuto kapacitu následně snižují nejen poruchy na kalírenské lince samotné, ale také poruchy na obráběcích strojích předešlých operací měkkého obrábění a také případné poruchy na olejové kalírně diferencíalových kol.

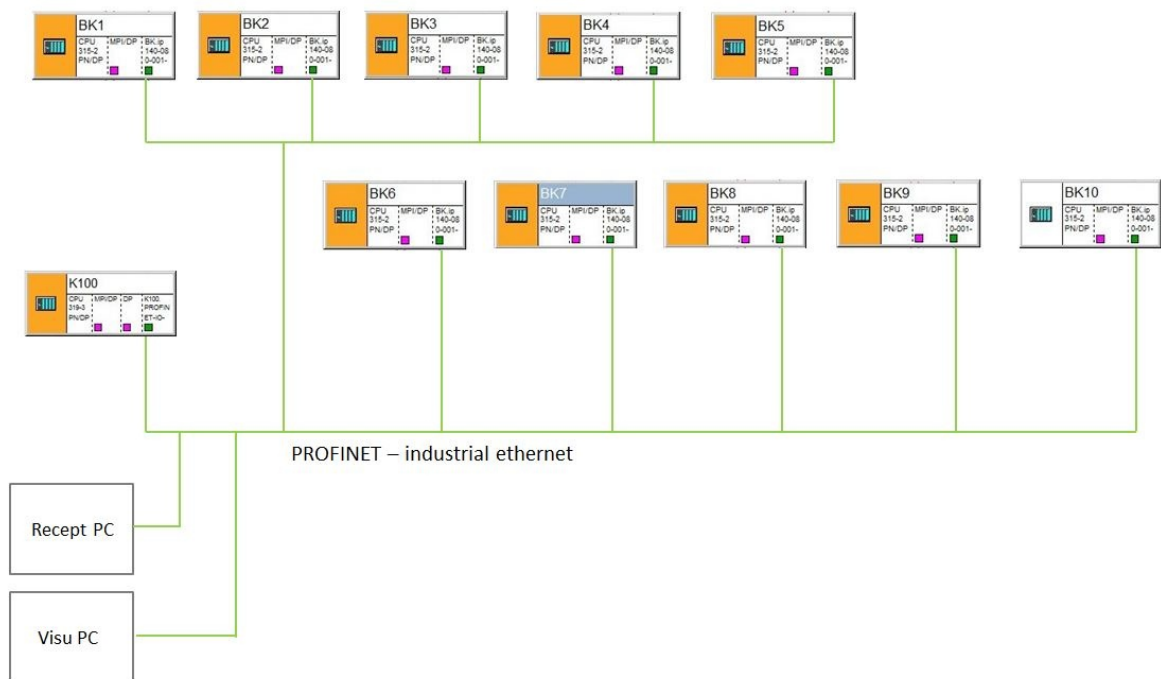
2.1.3 Popis řídicího systému zařízení KLUA01

Řídicí systém je složen z několika vzájemně propojených programovatelných automatů (angl. PLC) od výrobce Siemens, řady SIMATIC S7-300 [2]. Hlavní řídicí PLC nese název K100. Programový projekt tohoto PLC byl psán v softwarovém prostředí firmy Siemens pro PLC SIMATIC a to SIMATIC Manager [3]. Z tohoto projektu jsou řízeny veškeré kroky jednotlivých zařízení, jsou předávány receptury jednotlivým pecím a probíhá zde sběr informací, které jsou následně zobrazovány vizualizačním PC, které má k dispozici obsluha pro sledování procesů. Toto PC je umístěno u nakládacího místa, jelikož jsou prostřednictvím tohoto PC zadávány nové vsázky vstupující do kalírny.

Samotnou činnost jednotlivých zařízení, popsaných v popisu kalící linky, pak zajišťují jejich vlastní PLC instalovaná v samostatných rozvodných skříních. Tyto samostatná PLC jsou datově propojena s hlavním PLC K100. Komunikace mezi všemi komponenty linky probíhá prostřednictvím sítě PROFINET [4]. Jedná se o industriální verzi TCP/IP protokolované komunikace. Programově je komunikační propojení řešeno v rámci nadstavby programového prostředí SIMATIC Manageru, programem iMap [5]. V programu iMap jsou vytvořeny komunikační kanály mezi jednotlivými částmi a jsou zde definované struktury dat, které se vyměňují mezi zařízeními. V různých komunikačních kanálech si tak zařízení vyměňují informace o receptuře, provozních stavech, požadovaných hodnotách (angl. setpoint), tyto komunikační kanály jsou mezi sebou nezávislé.



Obr. 8: ukázka prostředí iMap s definovaným komunikačním propojením pro zadávání receptur pecím BK



Obr. 9: komunikační propojení jednotlivých PLC CPU sítí PROFINet řízení K100, pecí BK a obslužných PC

2.1.4 Zpracovávané díly a jejich podmnožiny

Označení obrobku		Typ obrobku	Počet obrobků v sázce
hřídele	TW1	hnací hřídel	176
	TW2	hnací hřídel	120
	TW3	hnací hřídel	264
	AWI	hnací hřídel	156
	AWA	hnaná hřídel	80
ozubená kola	SR1	hnané kolo 1. rychl. stupně	200
	SR5	hnané kolo 5. rychl. stupně	460
	AAR	diferenciálové kolo	64
	SR2/SRRW	hnané kolo 2. rychl. stupně	192
	SRRW		192
	SR3/ZSBR	hnané kolo 3. rychl. stupně	320
	ZSBR		320
	SR4/FR7	hnané kolo 4. rychl. stupně	400
	SR7	hnané kolo 7. rychl. stupně	400
	SR6/SR7		500
	SR7	hnané kolo 2. rychl. stupně	500
	FR3/FR5		500
	FR5	hnací kolo 5. rychl. stupně	500

Tabulka č. 1: typy a počty obrobků v jedné vsázce

Zpracovávané díly, obsažené v kalírenských vsázkách, se dělí nejen podle typu (hřídel či ozubené kolo) a označení výrobku (TW1, TW2 apod.), ale také podle jednotlivých indexů těchto obrobků. Index je podskupina v rámci daného typu obrobku lišící se ve vlastnostech jako je počet zubů frézovaného ozubení, rozdílných průměrů jednotlivých osazení hřídelí či vnitřních průměrů ozubených kol.

Různé indexy dílů jsou důležitou informací pro plánovaný optimalizační algoritmus, jelikož nestačí monitorovat pouze stav a důležitost jednotlivých typů obrobku, ale samozřejmě také jejich index. Ačkoli sklad před montážní linkou, kde jsou uskladněny hotové obrobky připravené k montáži, je schopen pojmout okolo 3000ks jednotlivých obrobků, což je více jak 1,5 násobek průměrné denní produkce této montážní linky, je nutné počítat s možností nedostatku konkrétního dílu a nutnosti jeho co možná nejrychlejší výroby a na tento požadavek samozřejmě musí kalírenská linka umět reagovat a zabezpečit tuto urgenci.

2.1.4 Popis optimalizačního problému

Při optimalizaci chodu obecného systému je vždy výhodou znát, jak se daný systém chová a tím umožnit potřebnou předpověď chování tohoto systému. Při znalosti toho, jak se systém bude chovat, je pak možné předem upravovat jeho parametry tak, aby došlo k optimálnímu chodu s co nejnižšími náklady. Celkový proces na kalící lince je ale nerovnoměrný, nakládání vsázek do kalící linky v průběhu směny či dne není rovnoměrné. Nedá se proto jednoduchým odhadem zjistit okamžik, kdy nebude linka plně vytížena či naopak, kdy bude nutné udržovat kapacity v plné výši.

Optimalizace řízení vytápění pece BK spočívá zejména v tom, určit kdy je nutné pec vytápět a kdy nikoliv. K tomu je nutné použít predikci využití kalící linky. Při správné predikci je pak možné vybranou pec buď vypnout zcela, nebo alespoň temperovat na nižší teplotu a tím snížit aktuální spotřebu této pece. Opět na základě předpovědi pak bude teplota opět zvýšena na provozní a to v případě, že se vyhodnotí jako nutné zapojit tuto pec zpět do provozního režimu. Pro tyto potřeby je ale nutné znát, co se odehrává před samotnou kalící linkou a co se odehrává za ní, ve směru toku výroby. Důležité jsou zejména stavy dílů ve skladu před montážní linkou převodovek DQ200.

Jako zdroj dílů pro kalírenskou linku jsou zde jednotlivé výrobní řady strojů v oblasti měkkého obrábění, které produkují jednotlivé typy ozubených kol a hřídelí. Těchto řad je celkem šest vedle sebe stojících a reprezentujících vždy jeden typ obrobku. Řada sestává z obráběcích strojů, řazených dle operací od začátku: soustružení, frézování, obrázení, praní. Pokud bychom z těchto řad měli informace o stávající produkci, mohli bychom snadno určit, kolik vsázek bude ve stanoveném termínu možné zpracovat. Pak bychom měli přehled o zbývajícím čase do zhotovení kompletní vsázky a na základě těchto časů bychom mohli řídit chod topných pecí.

Jako příklad uvedu možnou situaci, kdy na měkkém obrábění ozubené hřídele TW2 dojde k poruše jednoho z výrobních strojů, které zajišťují obrázení hřídele. Tento stroj nemá

Všechny uvedené příklady a úvahy ale nemohou fungovat bez správné analýzy celkového procesu na kalírenské lince a bez provázání linky s informacemi o stavu výroby v části měkkého obrábění a informacích o denním plánu. Bylo tedy nutné provést jednotlivá měření procesních hodnot a získat historická výrobní data, která by popisovala typické chování kalírenské linky v průběhu standardního výrobního týdne. Standardním výrobním týdnem je pak myšlen týden, kdy vstupem pro kalírenskou linku hřídelové části byly pouze díly primárně pro kalírnu určené, bez diferencíalových kol, které se standardně kalí v samostatné olejové kalírně a bez vážných poruch, které by se na zařízení v týdnu objevily a zdeformovali tak výstupy analýzy dat. Na základě těchto údajů je pak nutné vytvořit algoritmus řízení, který bude zaimplementován do řízení současného a umožní tak energeticky optimální a úsporné řízení kalírenské linky.

3 MĚŘENÍ A ANALÝZA DAT

3.1 Měření dat procesu

Pro analýzu a hledání potenciálních úspor byly vybrány topné pece BK, jelikož u těchto pecí se předpokládala nejvyšší spotřeba elektrické energie. Jednotlivé body provedené analýzy:

- Měření spotřeby elektrické energie topné pece BK v průběhu procesu
- Měření spotřeby elektrické energie topné pece BK v režimu stand-by
- Měření celkové doby procesu od vstupu po výstup vsázky do kalírenské linky

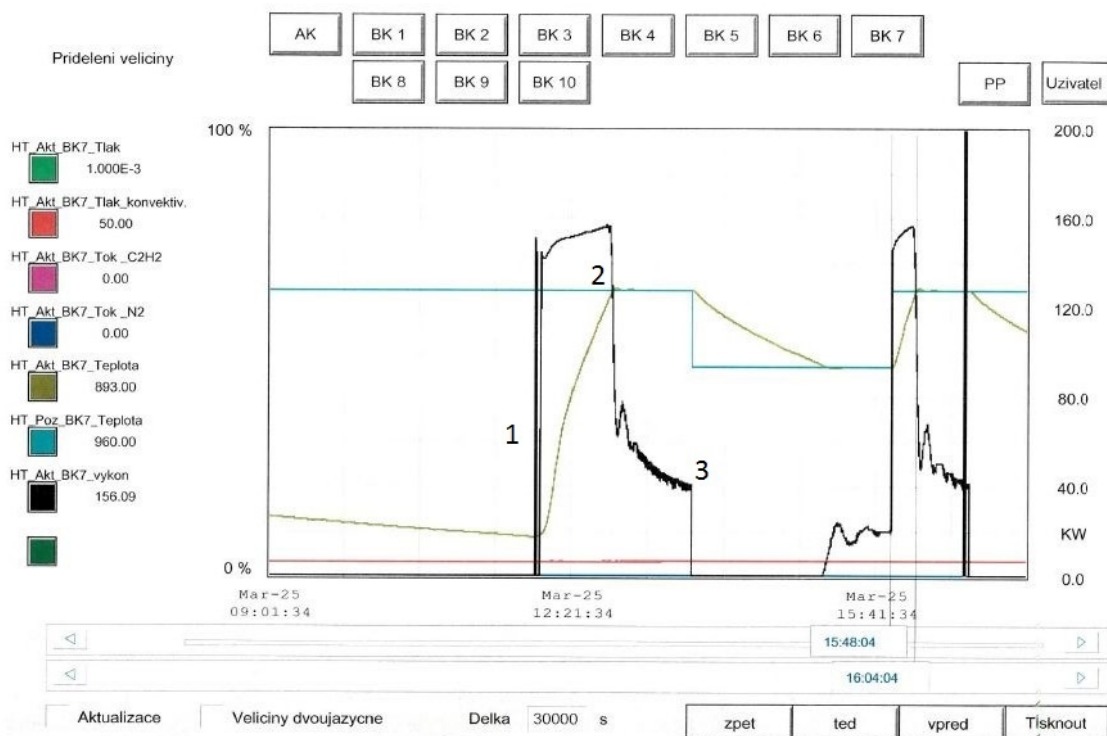
3.1.1 Měření spotřeby elektrické energie topné pece BK v průběhu procesu

Měření spotřeby elektrické energie pece BK v průběhu procesu probíhalo na peci BK7. Probíhalo dvojím způsobem. První způsob bylo přímé měření spotřeby elektrické energie na vstupním přívodu do rozvodné skříně pece BK7 (viz obr. 10). Do rozvodné skříně této pece byl pro tyto účely zapojen měřicí přístroj firmy FLUKE, model 1730 Energy logger [6], S/N: 3060 9397. Vzorové měření probíhalo ve dnech 25. 03. 2016 a 26. 03. 2016 v průběhu odstávky kalící linky KLUA01. Naměřené hodnoty s popisem průběhu procesu jsou graficky znázorněny na obr. 10.

Druhý způsob byl grafický odečet hodnot z HMI (angl. human machine interface) PC řídicího systému K100. Tento HMI počítač zobrazuje naměřená data, která byla odečtena řídicím systémem přímo z tyristorového řízení AEG umístěného v rozvodné skříně pece BK7. Tento způsob odečtu byl výhodný zejména proto, že ve stejném grafu jsou znázorněny také ostatní křivky procesních hodnot, zejména teploty a je tak možné sledovat koleraci mezi křivkou výkonu a křivkou teploty. Ukázka tohoto grafu z HMI PC je na obr. 12.



Obr. 11: měřicí přístroj FLUKE 1730 Energy logger



Obr. 12: ukázka grafického zobrazení průběhu procesních hodnot na HMI PC

Z grafického znázornění z obr. 11 průběhu spotřeby elektrické energie (černý graf), aktuální teploty (zelenohnědý graf) a požadované hodnoty teploty (set point – světle modrý graf) jsou patrné tyto body:

- 1) Prudký nárůst spotřeby v okamžiku navedení nové vsázky do pece, kdy v této peci je pokles teploty, zapříčiněný nižší teplotou vsázky (obecně má vsázka teplotu okolí). V tento okamžik řízení topných spirál reaguje na pokles teploty plným otevřením

tyristorů a tím pádem plnou dodávkou výkonu do topných spirál, každá o nominálním výkonu 180 kW.

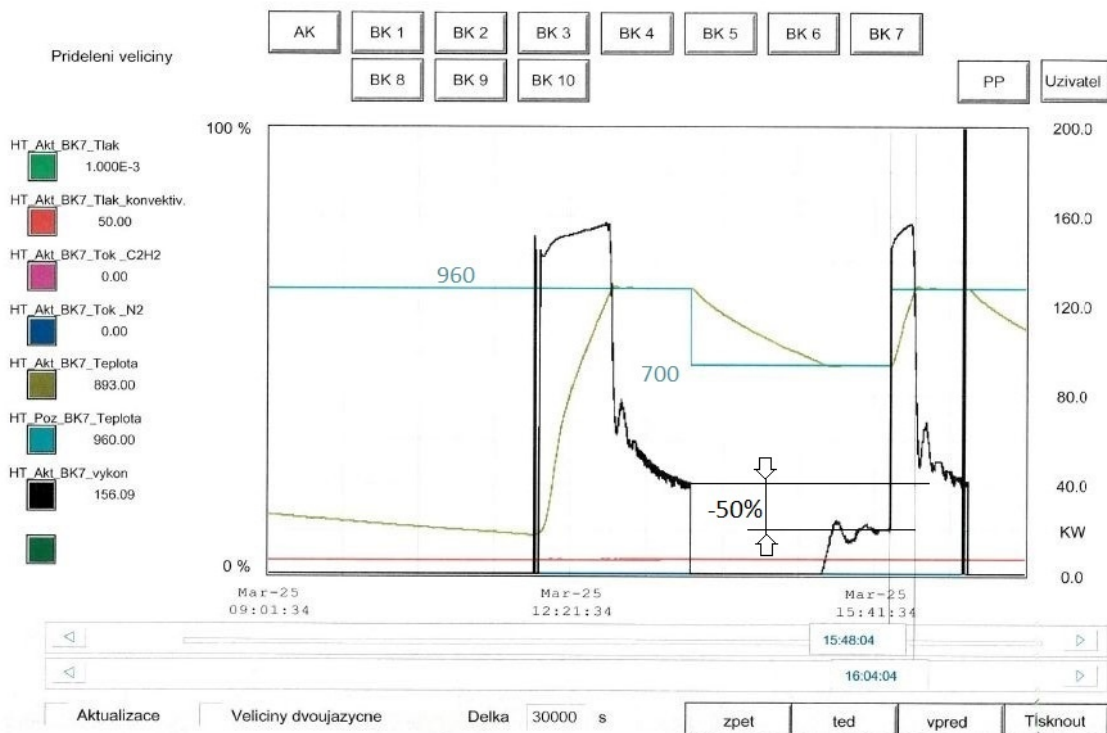
- 2) Po dosažení aktuální teploty na hodnotu požadované teploty je výkon snížen, křivka výkonu klesá
- 3) Křivka výkonu se při procesní teplotě 960°C ustálí na hodnotě spotřeby 40kW, toto je hodnota příkonu v okamžiku pece nahřáté na 960°C.

Na hodnotě 40 kW se spotřeba ustálí do doby, než dojde k vyvezení vsázky kalící peci AK. Obvyklá doba je kolem dvou hodin. Předchozí přechodný průběh výkonu při nahřívání pece po naložení nové vsázky (body 1 a 2) nebyl brán v potaz, jelikož tomuto jevu se nelze vyhnout a tudíž tuto část procesu tato diplomová práce neřeší.

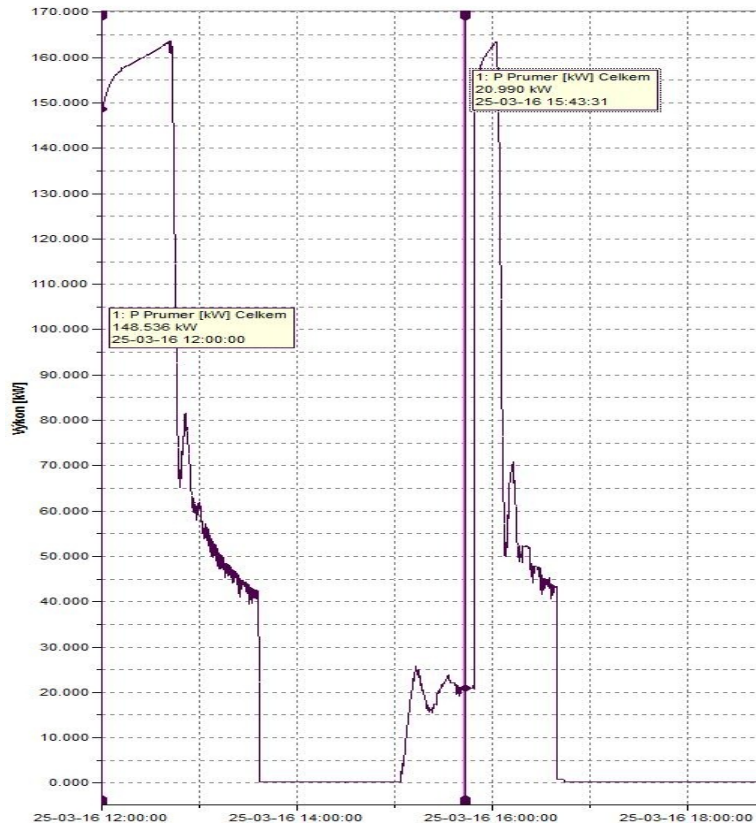
3.1.2 Měření spotřeby elektrické energie topné pece BK v režimu stand-by

Režim stand-by je speciální režim topné pece BK, kdy dochází ke snížení vnitřní teploty prázdné pece na teplotu nižší nežli je procesní hodnota požadované teploty. Měření tedy probíhalo při snížené vnitřní teplotě pece BK. Z procesní hodnoty 960°C byla hodnota teploty experimentálně snížena nejprve na 700°C a při druhém měření proběhlo snížení teploty z 960°C na 600°C. Měření probíhalo o víkendu ve dnech 25. 03. 2016 a 26. 03. 2016 v průběhu odstávky kalící linky KLUA01 na prázdné peci BK7.

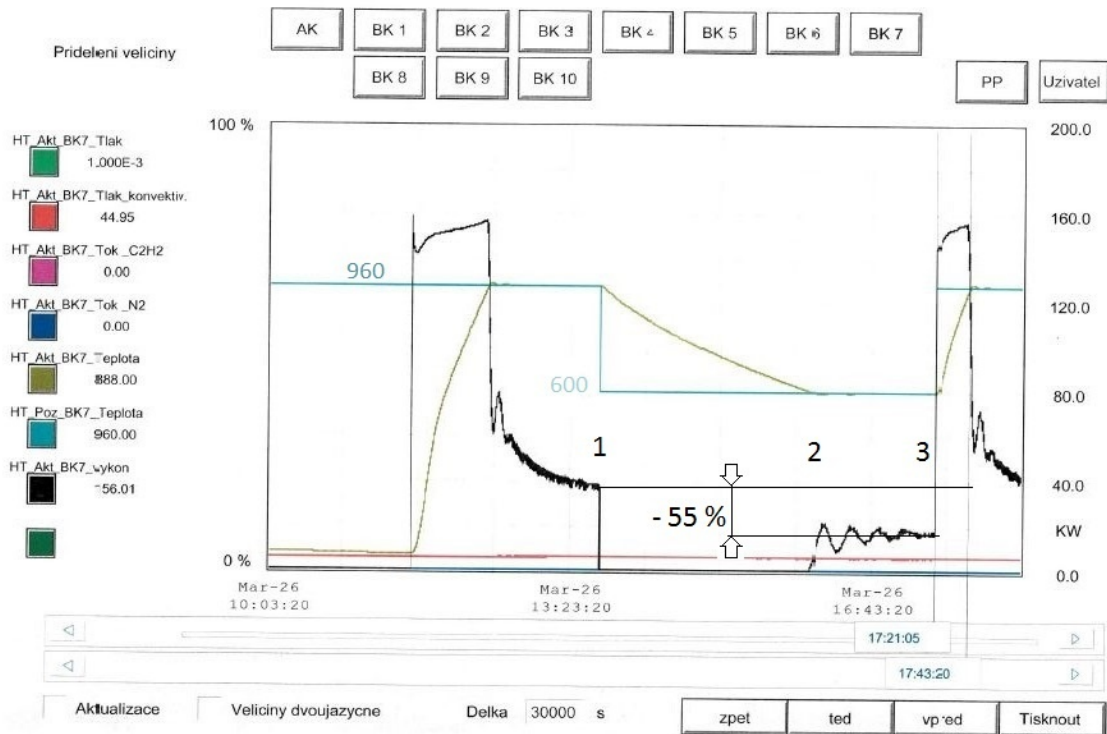
Naměřené průběhy jsou zobrazeny na obr. 13, obr. 14, obr. 15 a obr. 16.



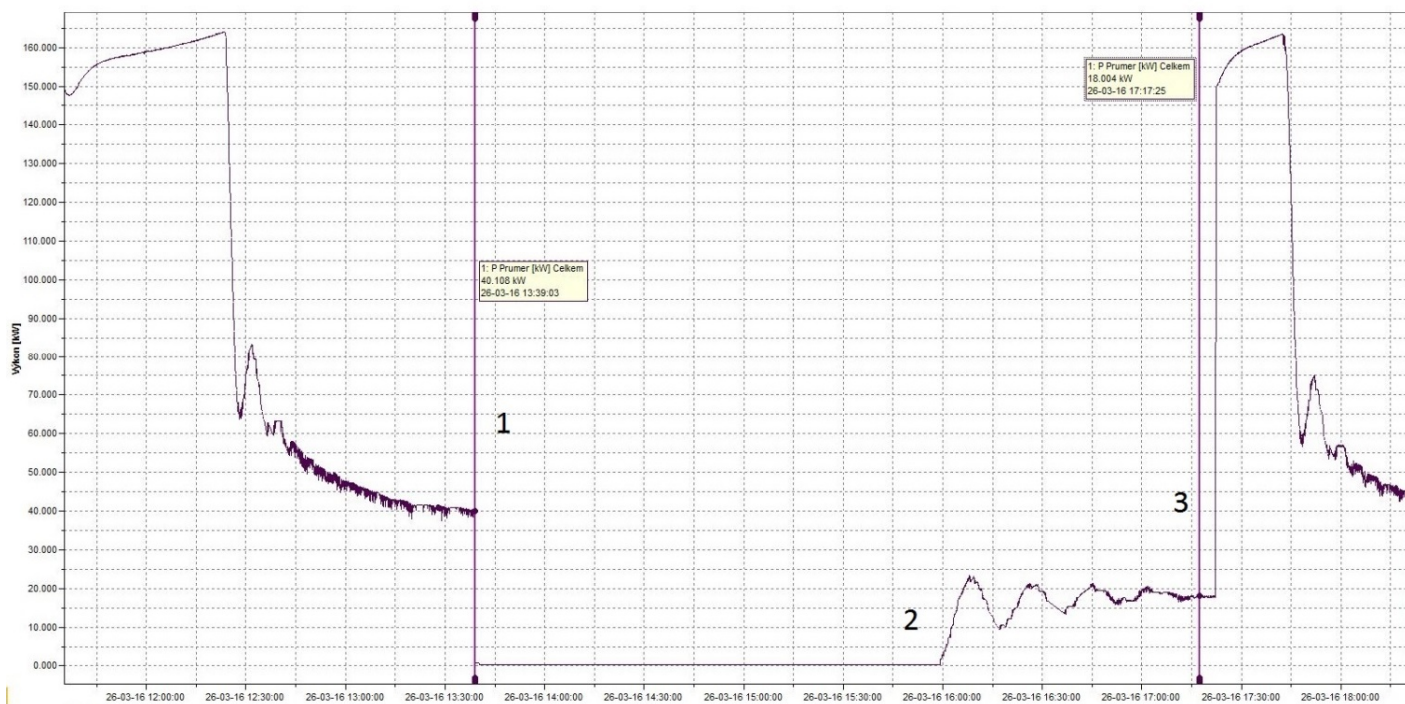
Obr. 13: Naměřené průběhy při snížení teploty na 700°C doplněné o popisky, zdroj HMI PC



Obr. 14: naměřené hodnoty spotřeby při snížení teploty na 700°C, zdroj Fluke Energy logger



Obr. 15: naměřené hodnoty při snížení teploty na 600°C doplněné o popisky, zdroj HMI PC



Obr. 16: naměřené hodnoty spotřeby při snížení teploty na 600°C, zdroj Fluke Energy logger

Měření v režimu stand-by prokázalo, že při snížení teploty prázdné pece o 260°C na 700°C dojde k poklesu spotřeby ze 40kW na 20kW. Tedy zhruba o 50% úsporu přiváděné energie. Při snížení teploty prázdné pece o 360°C na 600°C dojde k poklesu spotřeby při ustáleném stavu (bod 3 obr. 14 a obr. 15) ze 40kW na 18kW, tedy zhruba o 55%.

Jak je z grafů (obr. 12 až obr. 15) patrné, v průběhu poklesu teploty (body 1 až 2 na obr. 14 a body 1 až 2 na obr. 15) není topným spirálám dodávána žádná energie. Tudiž spotřeba je v tomto intervalu nulová. Tento interval bez odběru energie trvá přibližně 90 minut pro pokles teploty o 260°C, respektive 150 minut pro pokles teploty o 360°C a je odvislý od parametrů izolace topné pece BK. Až v momentě podkročení požadované teploty (bod 2 obr. 14 a obr. 15) dochází opět k regulaci aktuální teploty. Tento regulační interval (body 2 až 3 na obr. 14 a obr. 15) od začátku (bod 2) po ustálený stav (bod 3) trvá přibližně jednu hodinu, následuje ustálený stav s přibližně konstantní spotřebou 20kW pro teplotu 700°C, respektive 18kW pro teplotu 600°C.

V zobrazených grafech následuje po bodu 3 opět nastavení procesní hodnoty požadované teploty na 960°C a je tak patrný nárůst spotřeby elektrické energie při vytápění na tuto zadanou teplotu.

Z grafu je také patrný nerovnoměrný průběh spotřeby při běžném provozu topné pece. Pro vyhodnocení případných úspor bylo nutné určit průměrnou spotřebu topné pece. Proto proběhlo dne 12. 7. 2015 měření spotřeby v běžném provozu topné pece měřicím přístrojem Fluke Energy logger a při vyhodnocování byla využita funkce zobrazení kumulativní spotřeby. Výsledný graf je patrný na obr. 17. Z grafu tak byla odečtena průměrná spotřeba topné pece při jednom cyklu běžného provozu (cyklus jedné vsázky trvající přibližně

3 hodiny) 60kWh. Během jednoho cyklu topné pece je pak dle grafu na obr. 17 spotřebována energie 0,180MWh (bílá ohraničená oblast mezi dvěma žlutými značkami).



Obr. 17: graf kumulativní spotřeby topné pece BK7 při automatickém provozu, zdroj Fluke Energy logger

Pokud budeme uvažovat spotřebu při tlumeném provozu pece, je nutné brát v úvahu, že přecházíme-li z automatického režimu do režimu stand-by, tedy z procesní hodnoty vnitřní teploty pece 960°C na hodnotu 600°C v režimu stand-by, je v prvních přibližně 2,5 hodinách spotřeba nulová, po tuto dobu pec chladne. Až po této době je teplota uvnitř pece opět regulována a spotřeba je pak 40kWh do doby, nežli je režim stand-by ukončen. Při ukončení režimu stand-by a opětovném vyhřátí vnitřního prostoru pece na 960°C je z technologického důvodu topná pec pro vsázku nepřístupna ještě 2 hodiny, veškeré tyto časy je tak nutné brát v úvahu při určení spotřeby v tlumeném provozu, kterážto je samozřejmě závislá zejména na tom, jak dlouho se topná pec bude nacházet v režimu stand-by.

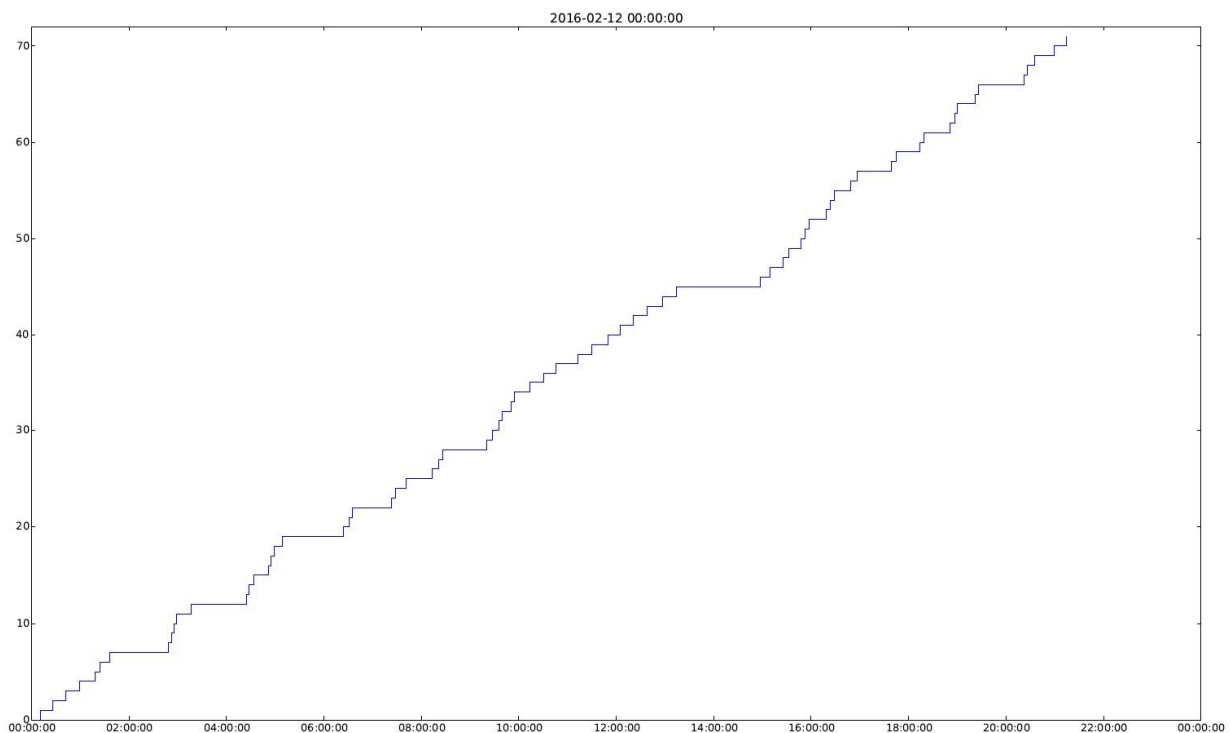
S přihlédnutím k výsledkům měření při režimu stand-by, lze usoudit, že v případě provozu topné pece v tomto režimu se sníženou procesní teplotou dojde minimálně k poloviční úspoře elektrické energie. Tato úspora je pak přímo úměrná době, po kterou je topná pec udržována v režimu stand-by.

3.1.3 Měření celkové doby procesu od vstupu po výstup vsázky do kalírenské linky

Přesné zjištění celkového času procesu je pro tuto práci důležité z hlediska analýzy možných úprav řazení vsázek a kontroly dosažení požadované produkce v případě úprav řízení procesu. Měřením byl potvrzen velký rozptyl od několika minut po desítky minut mezi nakládáním vsázek. Pro optimální řízení je záhodno, aby tento rozptyl byl co nejmenší a vsázky byly do kalírenské linky naváženy plynule.

Zdrojem byl záznam výrobních dat ze dne 25. 02. 2016, z intervalu od 00:08:55 do 17:30:17. Během této doby bylo zaevidováno 58 vsázek. Z tohoto vzorku byla vypočtena průměrná doba průběhu cyklu jedné vsázky (všech typů) na 6 hodin 24 minut. Tato doba je brána od naložení vsázky na nakládací pozici kalírenské linky po její vyvezení z vykládací pozice linky. Do celkové doby procesu jsou započítávány jak časy přesunů v rámci interních dopravníků a přesuny mezi jednotlivými zařízeními kalírenské linky, tak časy nahřívání v topných pecích BK, čas kalení v kalící peci AK a čas dochlazování v popouštěcí peci PP.

Zároveň proběhl záznam výrobních dat, konkrétně časů vstupujících vsázek do zařízení KLUA01 a to z celého týdne od 8. 2. 2016 do 13. 2. 2016. Tato data posloužila jako podklad pro analýzu četnosti vstupujících vsázek a možné změně (přizpůsobení) pravidelnosti těchto vstupujících vsázek. Promítnutím těchto dat do grafické podoby můžeme získat typický průběh vstupujících vsázek do kalírenské linky.



Obr. 18: graf průběhu vstupních vsázek do kalírenské linky KLUA01 ze dne 12. 2. 2016

Graf průběhu vstupních vsázek na obr. 18 využívá data ze dne 12. 2. 2016. Na svislé ose je vynesena počet vsázek, vodorovná osa je čas ve dni. Jedná se o exponenciální distribuci, kdy čas mezi jednotlivými příchody vsázek je průměrně 14 minut. Z grafu je zřejmá nerovnoměrnost intervalu mezi jednotlivými vsázkami.

3.2 Analýza naměřených dat

Z měření příkonu topné pece BK při změnách žádaných hodnot vnitřní teploty byl zjištěn potenciál až padesáti procentní úspory elektrické energie při snížení vnitřní teplotě, tj. tlumení této pece. K tlumení pece však může dojít teprve, když bude zajištěna dostatečná kapacita výroby ve zbylých pecích.

Grafy použité v této části diplomové práce byly generovány v programu *Python* s použitím knihovny *matplotlib*. Autorem grafů je Ing. István Módos, student doktorského studia na katedře řídicí techniky při ČVUT v Praze. Zdrojem dat pro tyto grafy byly naměřené hodnoty z předešlé podkapitoly této diplomové práce. Grafické znázornění průběhu vstupu zpracování vsázek v kalírenské lince KLUA01 je vhodným nástrojem pro analýzu díky možnosti sledování rozdílů časů zpracování mezi jednotlivými vsázkami.

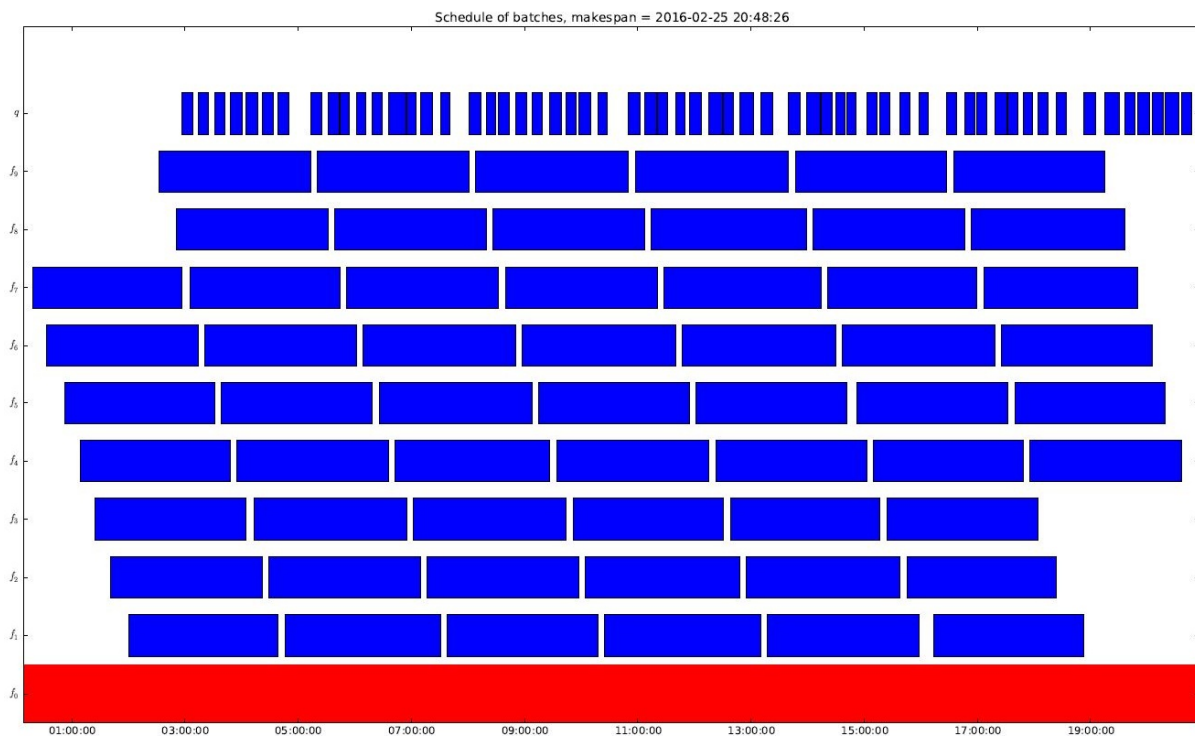
Průběh obsazení jednotlivých topných pecí a dobu jejich pobytu v kalícím modulu AK ukazuje graf na obr. 19. Ten reprezentuje rozvrh obsazení pecí ve standardním výrobním dni.



Obr. 19: grafické zobrazení rozložení přítomnosti vsázek v topných pecích BK a kalící peci AK

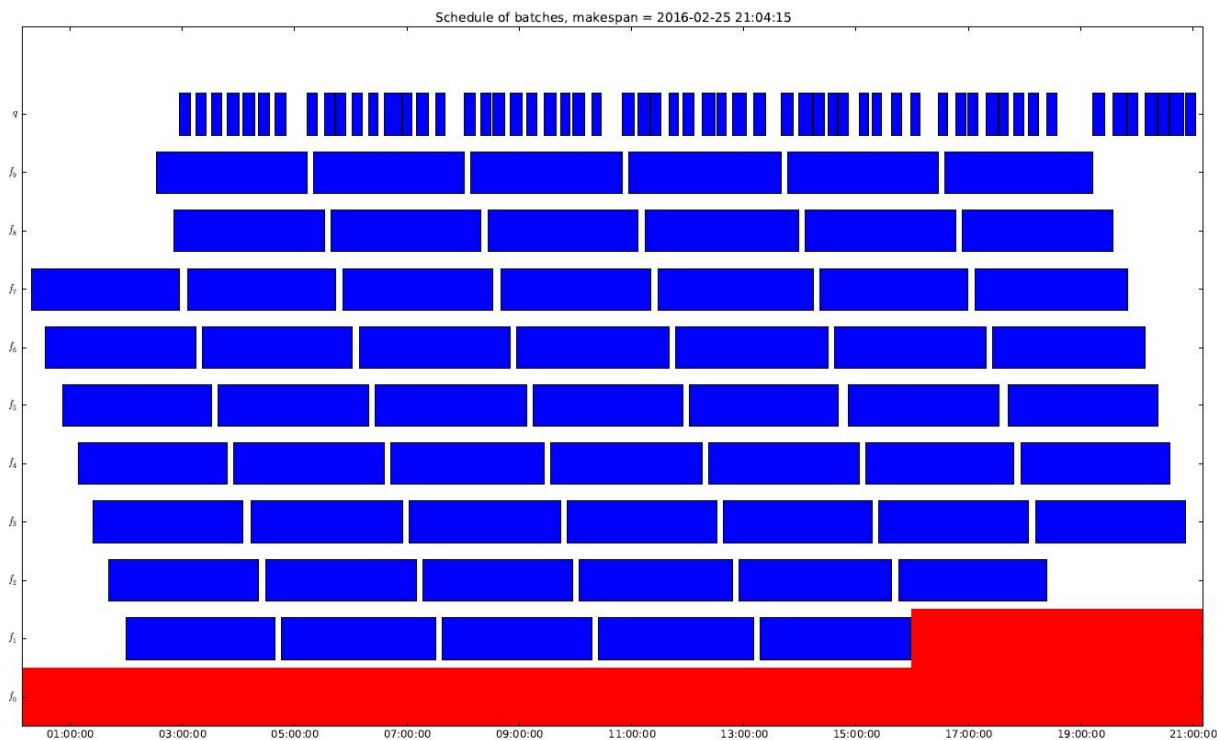
Na vertikální ose Ganttova diagramu na obr. 19 se nacházejí jednotlivé topné pece f_0 až f_9 (BK1 až BK10). Řádek q pak zobrazuje obsazení kalici pece AK. Jako vstupní data pro toto zobrazení posloužila data 58 vsázek ze dne 25. 2. 2016.

Dalším krokem bylo vygenerování grafů při simulaci tlumení pecí. Na základě těchto dat bylo vytvořeno rozhodovací pravidlo. To bylo vytvořeno s maximální snahou o přiblížení se ke grafu z obr. 18. S využitím tohoto rozhodovacího pravidla byly vygenerovány nové grafy pro zobrazení průběhu při tlumení nejprve jedné a poté dvou pecí. Cílem bylo zjistit, o jaký časový interval se prodlouží doba kalení stejného počtu vsázek jako v případě z obr. 19. Výsledky této analýzy jsou na obr. 20 a obr. 21.



Obr. 20: grafické zobrazení rozložení přítomnosti vsázek topných pecí BK a kalici pece AK při celodenním tlumení výkonu jedné topné pece BK

Z grafu na obr. 20 lze vyzorovat posun doby zpracování všech 58mi vsázek o celkem 20 minut při snížené době mezi vstupy jednotlivých vsázek do topných pecí BK (následek použití navrženého rozhodovacího pravidla). Tlumená pec je symbolizována červenou barvou. Tlumení bylo simulováno po dobu celého dne.



Obr. 21: grafické zobrazení rozložení vsázek topných pecí BK a kalící pece AK při celodenním tlumení výkonu jedné topné pece BK a tlumení výkonu druhé pece v závěru dne

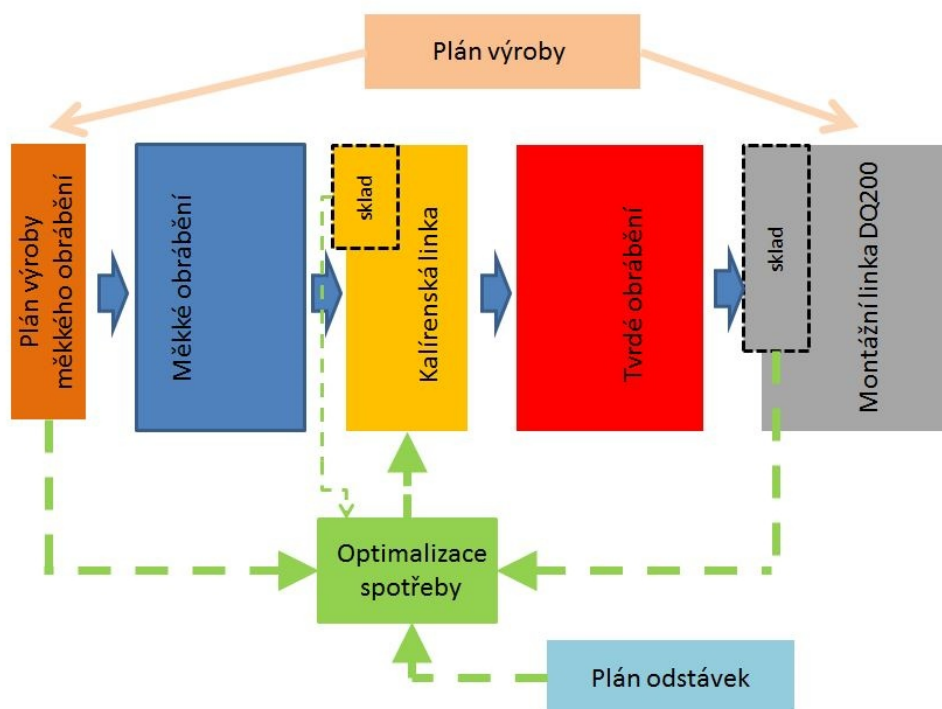
U grafu z obr. 21 se již jedná o posun doby zpracování 58mi vsázek o přibližně půl hodiny. Zde přibylo tlumení i druhé pece (řádek f_7) po dobu 5 hodiny v závěru dne.

Analýzou dat byl potvrzen očekávaný potenciál využití snížené kapacity kalírenské linky při utlumení výkonu topné pece BK při maximálním možném využití zbylých topných pecí, kdy pro 58 vsázek se jedná o prodloužení doby jejich zpracování o přibližně 20 minut v případě vypnutí jedné topné pece. Pro umožnění tohoto způsobu kalení vsázek je předpokládán bezporuchový chod všech zbývajících pecí. Stejně tak je předpoklad dostatečné kapacity výroby na měkkém obrábění a plynulý příchod vsázek z měkkého obrábění na vstup kalírenské linky v přesných intervalech. Jelikož je tento vstup nezpracovaných vsázek zajišťován lidským personálem, je v rámci této diplomové práce zvažována také možnost tento proces polo-automatizovat tak, že pracovník bude ve správný čas vyzván k zavezení požadovaného typu vsázky na vstup kalírenské linky. Toto vyhodnocení bude probíhat v rámci řídicího programu kalírenské linky a pracovník bude vyzván prostřednictvím proměnného displeje umístěného nad vstupním portálem kalírenské linky. Touto úpravou nijak nedojde ke změně vytížení pracovníka kalírenské linky ani k nutnosti změny počtu obslužného personálu.

4 NÁVRH ŘEŠENÍ

4.1 Použití optimalizačního algoritmu

Pro použití v rámci této diplomové byl dle zadání této diplomové práce využit optimalizační algoritmus, který navrhl Ing. István Módos, student doktorského studia na katedře řídicí techniky při ČVUT v Praze společně s vedoucím této diplomové práce Ing. Přemyslem Šúchou, Ph.D. Optimalizační algoritmus je součástí softwaru, jehož umístění je plánováno v rámci přidruženého HMI PC, komunikačně propojeného s řídicím PLC K100. Tento algoritmus využívá informací ze skladu hotových dílů (hřídelí a ozubených kol) umístěných před montážní linkou DQ200, dále informace z aktuálního denního plánu výroby a informace o naskladněných vsázkách a jejich indexu ve vstupním skladu kalírenské linky dle obr. 22.



Obr. 22: schéma toku výroby a navrhovaného sběru dat optimalizačního algoritmu

Po zpracování zmíněných informací jsou výstupní data algoritmu přenesena do řídicího systému K100 kalířenské linky KLUA01. Řídicí systém, po nutných úpravách, pak na základě těchto informací provede požadované úkony. Je nutné zároveň upravit řídicí systém některých stanic montážní linky převodovky DQ200 a to z důvodu poskytnutí aktuálních údajů o zásobě hotových, připravených dílů na vstupním skladu této montážní linky. Tyto

údaje algoritmus využívá pro kontrolu stavu naskladněných a připravených dílů a pro případné vyhodnocení akutní potřeby dodávky konkrétního typu dílů se správným indexem.

Nutné úpravy pro umožnění funkční optimalizace se dají shrnout do dvou základních témat:

- 1) Úprava řídicího systému K100, pro umožnění řízení tlumení pecí
- 2) Návrh sběru produkčních a provozních dat pro optimalizační algoritmus

4.2 Úprava řídicího systému K100

Pro umožnění použití optimalizačního algoritmu je nutné programově upravit stávající řídicí systém kalírenské linky K100. Systém řízení bude zachován stávající, s řídicím procesorem PLC Siemens SIMATIC S7-319-3PN/DP [7] a s podružnými decentrálními periferiemi (viz obr. 9). Úprava se týče hlavně vytvoření komunikačních bloků v rámci projektu systému v programu SIMATIC Manager. Vytvoření těchto komunikačních bloků je nutné pro výměnu signálů mezi řídicím PLC kalírenské linky a programem optimalizačního algoritmu instalovaném na HMI PC.

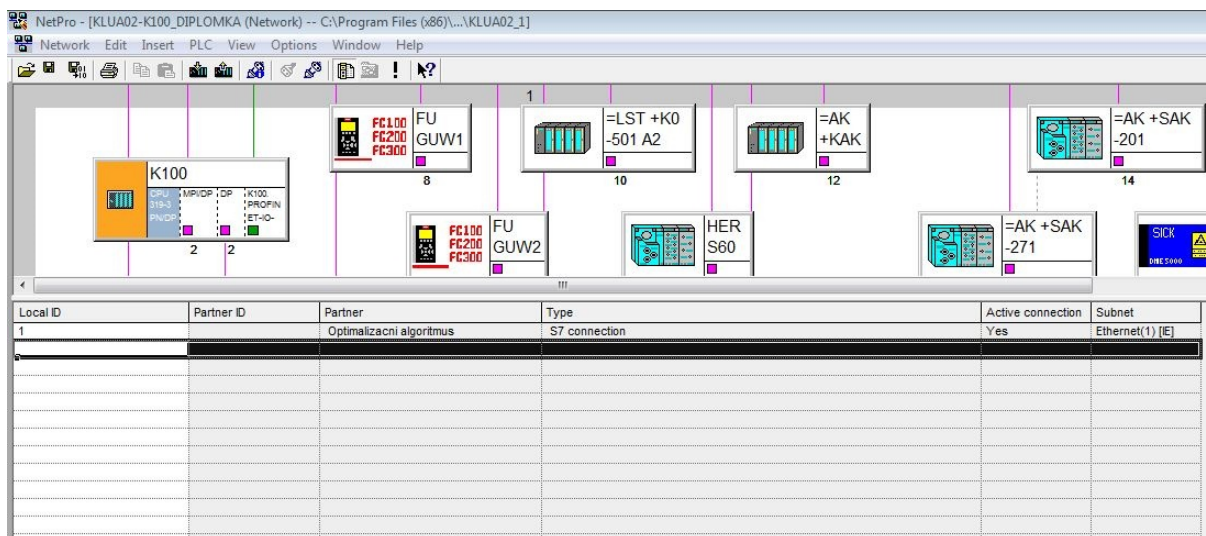
PLC procesor Siemens SIMATIC S7-319-3PN/DP zpracovává v sobě obsažený program cyklicky. Program se skládá z organizačních bloků (OB), funkčních bloků (FB), jednotlivých funkcí (FC) a datových bloků (DB) určených k ukládání jednotlivých binárních (i ve formátech Byte, Word, Double Word) informací. Pro obecnou definici sady dat pro datové bloky DB slouží vnitřní univerzální datové bloky UDT, které umožní předdefinovat sadu dat a v jednotlivých datových blocích DB tak používat předdefinované vzory. Součástí navrhovaných úprav jsou právě i datové bloky DB využívající těchto UDT. Cyklické zpracování probíhá tak, že nejprve jsou zpracovány organizační bloky OB a všechny jejich jednotlivé *networky*, zkráceně NW, což jsou oddíly v rámci jednoho bloku. První jsou zpracovány bloky OB s vyšší prioritou s jednotlivými voláními funkčních bloků FB, nebo funkcí FC v rámci těchto organizačních bloků (obr. 23) a následně jsou zpracovávány další bloky OB s nižší prioritou. Po dokončení jednoho cyklu, tzv. „*scanu*“, je započat další nový cyklus. Interval jednoho cyklu je v rozmezí 20 – 25ms v závislosti na složitosti programu, výpočetních funkcích a také v závislosti na rychlosti PLC procesoru SIMATIC. Pro tento projekt byl již dodavatelem zařízení použit nejvýkonnější PLC procesor řady SIMATIC a to z důvodu množství komunikačních partnerů, jejichž informace je nutné zpracovávat. Do tohoto systému vzájemné komunikace mezi jednotlivými částmi kalírenské linky a do systému zpracování informací je nutné pro uskutečnění úpravy řízení zasáhnout.

4.2.1 Komunikační rozhraní

Dalším krokem je nastavení samotné komunikace s nově vzniklým komunikačním partnerem. Komunikace mezi těmito dvěma partnery je navrhována prostřednictvím stávající TCP/IP sítě, kdy bude vytvořen nový kanál v rámci projektu K100 a je plánována taktéž oboustranně, stejně jako všechny stávající komunikační kanály, a to jak přijímání, tak odesílání dané sady dat. K100 poskytuje zejména informace o stavu systému kalířní linky a

přijímá informace o žádaném stavu tlumených pecí, tzn. pecí se sníženou požadovanou hodnotou teploty.

Pro umožnění této komunikace byl procesor PLC K100 nastaven nový komunikační partner v nadstavbě NetPro (obr. 23), která je součástí programu SIMATIC Manager a která slouží pro definici vzájemných komunikačních propojení v rámci projektu zařízení, v našem případě v rámci celého projektu iMap. Pro optimalizační algoritmus byla nastavena IP adresa v adresním rozsahu stávajících připojení 140.80.2.X. Další úpravy v hardwarové konfiguraci PLC K100 nebyly díky dostatečné komunikační propojenosti stávajícího projektu nutné.



Obr. 23: nastavení komunikačního partnera pro procesor K100 v programu NetPro

4.2.2 Programové změny

Následující úpravy se týkají samotných programových dat a zdrojových kódů v projektu K100. Zobrazení zdrojového kódu a tím pádem i samotné programování v programu Simatic Manager probíhá v rámci této diplomové práce z důvodu přehlednosti v jazyce LAD což je blokový schematický jazyk, který umožňuje lépe diagnostikovat stav a chod programu. Tato přehlednost je stěžejní v případě ladění psaného programu a při případném hledání důvodu poruchy zařízení. Zároveň je tento jazyk předepsán interním technickým standardem společnosti Škoda Auto a.s., jakožto vlastníka a provozovatele kalírenské linky. Další varianty programovacího jazyka jsou STL, což je variace jazyku *assembler*, čili textové zobrazení programu a FBD, což je opět blokový schematický jazyk.

Nejprve je nutné vložit do projektu dva systémové bloky ze standardní knihovny Siemens a to bloky sloužící pro komunikaci procesoru s dalším partnerem po síti *ethernet (PROFINet)*, v případě této diplomové práce je partnerem vizualizační PC s instalovaným a spuštěným optimalizačním algoritmem. Tyto bloky jsou již zmiňované FB63 a FB64. První blok FB63 slouží pro odesílání dat a FB64 slouží pro příjem dat. Pro použití těchto bloků je nutné vytvořit komunikačního partnera v rámci programu *NetPro*, který byl vytvořen a popsán v předchozím kroku této diplomové práce a při použití bloků FB63 a FB64 pak pro

identifikaci komunikačního partnera již zadáváme pouze jeho *ID* (identifikační číslo v rámci *NetPro*) namísto celé adresy. Tento způsob je výhodný v případě použití více komunikačních partnerů a případné změny jejich IP adres, kdy při změně měníme adresy pouze v rámci programu *NetPro* a nemusíme již nikterak zasahovat do zdrojových kódů programu SIMATIC Manager. Po vložení komunikačních bloků FB63 a FB64 je nutné tyto bloky zakomponovat do programu. A tak bude jako výchozí funkční blok optimalizačního řízení vytvořen nový parametrizovaný blok FB400, který slouží jako hlavní blok komunikace s optimalizačním algoritmem a také pro komunikaci s ostatním zařízením kalírenské linky, zejména topnými pecemi BK. V rámci tohoto funkčního bloku FB400 bude docházet i k samotnému řízení tlumících funkcí jednotlivých pecí a to pomocí rozhodovacích částí kódů, které zajistí, že k utlumení dojde pouze při vyžádání tlumení optimalizačním algoritmem a pouze u topné pece, která splní požadované podmínky pro umožnění tlumení. K funkčnímu bloku FB400 bude přidružený datový blok DB400 obsahující datovou strukturu přenášených dat. Blok bude do projektu K100 zapracován v rámci organizačního bloku OB1 a bude tak volán cyklicky, bez přerušování či podmíněného volání. Je ale nutné v rámci stávající hierarchie volání jednotlivých podprogramů, aby k volání bloku FB400 docházelo až po volání stávajících funkčních bloků pro řízení topných pecí BK. Proto je nutné nejprve provést analýzu samotného programu, zjistit posloupnost jednotlivých volání a vložit FB400 tak, aby byl blok volaný jako poslední a ovlivnil tak proces pece dle požadavku optimalizačního algoritmu. Proces analýzy programu je univerzální, použitelný pro jakékoliv zařízení na bázi řídicího systému Siemens SIMATIC a je pro tento účel přístupná funkce v rámci programu SIMATIC Manager tzv. „*křížové reference*“.

Po analýze bylo vyhodnoceno jako nejvhodnější umístit volání nově vytvořených bloků FB63, FB64 a FB400 v rámci hlavního organizačního bloku OB1. Datový blok sloužící pro ukládání informací v rámci komunikace je DB1440 a ve struktuře tohoto bloku jsou informace o požadavku tlumení, požadavku priority vsázky a typu prioritní vsázky.

Funkční blok FB400 byl vytvořen tak, aby obsahoval 15 vstupních a 15 výstupních rozhraní (obr. 24). Z pohledu datového formátu tvoří vstupní rozhraní tři binární vstupy, dva vstupy velikosti Byte a deset zbývajících vstupních rozhraní. Těchto deset vstupních rozhraní je tvořeno nově vloženým UDT, konkrétně UDT400, s programovým pojmenováním „stav_pece“ a obsahem jsou, jak je z názvu patrné, informace o aktuálním provozním stavu topných pecí BK (automatický, semi-automatický a stand-by). Obsah tohoto UDT je v rámci OB1, v části NW24, naplněn provozními informacemi deseti topných pecí BK. Tyto provozní informace přenášené z topných pecí jsou voleny tak, aby zabezpečovaly správné vyhodnocení ovládání topných pecí s použitím informace od samostatně spuštěného optimalizačního algoritmu. Struktura univerzálního datového typu UDT400, tedy dat přijímaných od topných pecí BK, je patrná z obr. 26.

File Edit Insert PLC Debug View Options Window Help

Contents Of: 'Environment\Interfac

Network 26: FB600 - vyhodnoceni tlumeni topnych peci BK

		"DB_ TLUMENI_ PECI"		
		EN	ENO	
"DB_OPT_ ALG".	life_bit_ in	life_bit_ in	life_bit_ out	"m_life_ bit_out"
"DB_OPT_ ALG".	uvolneni_ tlumeni	uvolneni_ ext	uvolneni_ tlumeni	"m_ uvolneni_ tlumeni_ BK"
"mw_pocet_ peci"	pocet_ peci		tlumeni_ BK1	M1452.0
#stav_BK1_ in	stav_BK1		tlumeni_ BK2	M1452.1
#stav_BK2_ in	stav_BK2		tlumeni_ BK3	M1452.2
#stav_BK3_ in	stav_BK3		tlumeni_ BK4	M1452.3
#stav_BK4_ in	stav_BK4		tlumeni_ BK5	M1452.4
#stav_BK5_ in	stav_BK5		tlumeni_ BK6	M1452.5
#stav_BK6_ in	stav_BK6		tlumeni_ BK7	M1452.6
#stav_BK7_ in	stav_BK7		tlumeni_ BK8	M1452.7
#stav_BK8_ in	stav_BK8		tlumeni_ BK9	M1453.0
#stav_BK9_ in	stav_BK9		tlumeni_ BK10	M1453.1
#stav_ BK10_in	stav_BK10	porucha_ life_bit		"m_ porucha_ vystup"
"mw_ posledni_ tlumena_ BK"	posledni_ tlumena	porucha_ pece		"m_ porucha_ pece"
M16.0	reset_ poruchy			

Network 27: Komunikace - odeslani informaci (send)

Libraries

Program ... Call st... Networks

Obr. 24: volání funkčního bloku FB400 v rámci organizačního bloku OB1 v NW26

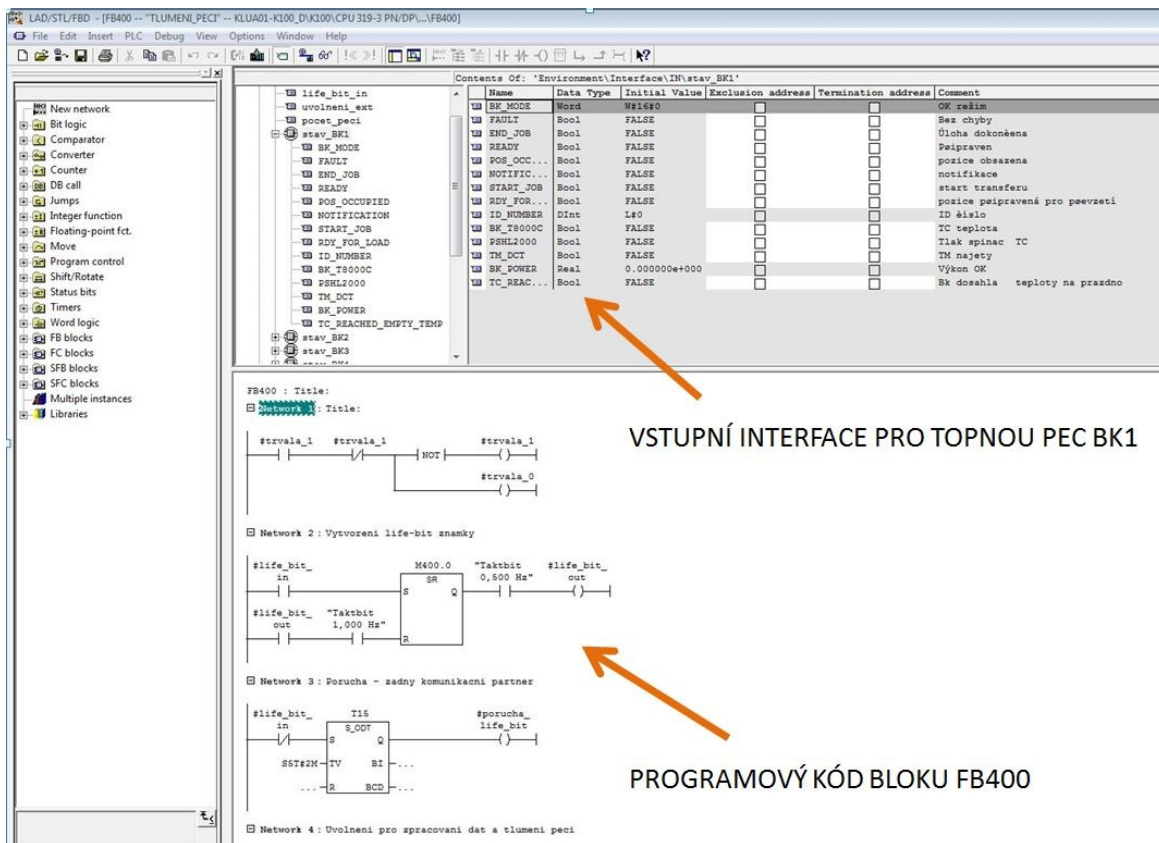
Address	Name	Type	Initial value	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	BK_MODE	WORD	W#16#0	OK režim
+2.0	FAULT	BOOL	FALSE	Bez chyby
+2.1	END_JOB	BOOL	FALSE	Úloha dokončena
+2.2	READY	BOOL	FALSE	Připraven
+2.3	POS_OCCUPIED	BOOL	FALSE	pozice obsazena
+2.4	NOTIFICATION	BOOL	FALSE	notifikace
+2.5	START_JOB	BOOL	FALSE	start transferu
+2.6	RDY_FOR_LOAD	BOOL	FALSE	pozice připravená pro převzetí
+4.0	ID_NUMBER	DINT	L#0	číslo ID
+8.0	BK_T8000C	BOOL	FALSE	TC teplota
+8.1	PSHL2000	BOOL	FALSE	Tlak spínač TC
+8.2	TM_DCT	BOOL	FALSE	TM (transportní modul) najety do topné pece BK
+10.0	BK_POWER	REAL	0.000000e+000	Výkon OK
+14.0	TC_REACHED_EMPTY_TEMP	BOOL	FALSE	BK dosáhla teploty na prázdnou
=16.0		END_STRUCT		

Obr. 25: datová struktura UDT400

S využitím informací z jednotlivých pecí lze vyhodnotit, zda lze danou pec použít pro pohotovostní režim, tedy pro tlumení výkonu topení pece a snížení vnitřní teploty. Topná pec nesmí být právě obsazena vsázkou, nesmí být v poruchovém stavu a provozní režim pece musí být automatický.

Ve vnitřním programovém kódu funkčního bloku dochází k vyhodnocení těchto informací pro každou pec samostatně, rozdělením informací ze vstupního rozhraní bloku FB400 do jednotlivých proměnných ve vnitřní struktuře FB400 (obr. 27). Princip vyhodnocovací funkce použité v programovém kódu FB400 je takový, že pokud pec v daném okamžiku splňuje požadavky pro zařazení do optimalizačního procesu (kombinace sériových podmínek Bitových vstupních proměnných), pak je přičtena ke všem ostatním pecím, splňující stejné požadavky a tím je vytvořen vnitřní seznam pecí uvolněných ke změně provozního režimu.

V momentě příchodu impulsu od optimalizačního algoritmu pro tlumení pece dojde k výběru uvolněné pece. Kód funkčního bloku FB400 je nastaven tak, aby, pokud je to umožněno, došlo k výběru vždy jiné pece tak, aby došlo k co možná největšímu prostřídání tlumených topných pecí BK. Pro tento účel dochází po výběru pece a jejímu přeřazení do pohotovostního režimu je evidování jejího pořadového čísla a tento údaj je pak přenesen na vstupní rozhraní FB400. Pořadí vyhodnocování stavu pecí a jejich případný výběr pro provedení tlumení výkonu probíhá taktéž cyklicky, tudíž v pořadí daném pořadím komunikačního volání těchto pecí. Komunikace mezi pecemi probíhá vzestupně, v pořadí od BK1 po BK10. Proto pokud by nedošlo k této úpravě, hrozilo by, že pro tlumení pece budou vybírány topné pece ze začátku tohoto pořadí.



Obr. 26: vstupní interface funkčního bloku FB400

Jako volitelná možnost byla do programového kódu vložena možnost navolení tlumení více topných pecí v jeden okamžik. Počet požadovaných topných pecí pro tlumení bude odeslán optimalizačním algoritmem. Tato informace bude přijata skrze vstupní rozhraní programovým blokem FB400. Následně bude porovnán požadovaný počet topných pecí pro tlumení s aktuálním počtem volných pecí. Pokud je aktuální počet volných pecí nedostatečný, je v okamžiku uvolnění další topné pece tato pec také převedena do pohotovostního režimu.

Výstupní interface funkčního bloku FB400 obsahuje kromě komunikačního konfirmačního Bitu, tzv. Life-Bitu zejména deset Bitových informačních proměnných, které slouží pro přechod topné pece do stand-by (pohotovostního) režimu. Tyto Bity jsou pro každou pec použity při volání řídicích parametrů pro danou pec ve stávajícím programu a v případě hodnoty TRUE (logická 1) u tohoto Bitu jen daná pec převedena do pohotovostního režimu. Zároveň se pro tento pohotovostní režim ve stejném funkčním bloku FB nastaví hodnota cílové teploty v topné peci (temperature setpoint) na hodnotu 600°C.

Výstupem funkčního bloku FB400 je také poruchový Bit, jež přenáší informace o poruše v rámci algoritmu bloku FB400, o poruše v komunikaci s optimalizačním algoritmem či o poruše vyhodnocení volných topných pecí BK. V případě nastavení tohoto poruchového Bitu je optimalizace vyřazena do chvíle ukončení poruchového stavu. Následuje opětovné obnovení funkčnosti optimalizačního algoritmu.

Další programovou úpravou provedenou v řídicím systému K100 byla úprava logiky naskladňování vstupujících vsázek do vstupního skladu kalírny. Tento sklad je umístěn v části přidavných procesů kalírny a je tvořen celkem 16 ti pozicemi ve dvou řadách nad sebou. Na obr. 1 je sklad označen světle hnědou barvou a pozice nesou označení 101 – 116. Důvodem úpravy bylo umožnění funkce nastavení priority požadované vsázky. Teoreticky jde o příklad, kdy na montážní lince dochází k úbytku konkrétního typu hřidelí, konkrétního indexu. Tato informace bude optimalizačním algoritmem vyhodnocena a vznikne požadavek prioritní výroby tohoto typu hřidelí s tímto indexem. Pokud bude daný typ hřidele naskladněn ve vstupním skladu kalírenské linky, bude prioritně zavezen do první volné topné pece tak, aby se co nejvíce uspíšila jeho výroba. V danou chvíli tak chod kalírenské linky nebude optimalizován, ale uvolnění této prioritní vsázky umožní po jejím průchodu kalírenskou linkou opět optimalizované rozložení výroby dílů a tím úspornější provoz kalírenské linky.

The screenshot shows the SIMATIC Manager interface for a PLC program. At the top, the title bar indicates the project name: "LAD/STL/FBD - [FB401 -- "FB_RIZENI_PRIORITY" -- KLUJA01-K100_D\K100\CPU 319-3 PN\DP\...\FB401]". The main window is divided into several sections:

- Contents Of: 'Environment\Interface\IN'**: A table listing variables:

Name	Data Type	Address	Initial Value	Exclusion address	Termination address	Comment
optimalizace_bezi	Bool	0.0	FALSE			
prioritizace	Bool	0.1	FALSE			
typ_dilu	RIZEN...	2.0				
- Network 2: Presun cisla dilu a cisla indexu**: A ladder logic network with two parallel branches. The first branch contains a normally open contact labeled "#optimalizace_bezi" and a normally closed contact labeled "#prioritizace". This is followed by a "MOVE" instruction with "EN" and "ENO" terminals, and a "LD26" instruction with "IN" and "OUT" terminals. The second branch contains a "MOVE" instruction with "EN" and "ENO" terminals, and a "LD30" instruction with "IN" and "OUT" terminals.
- Network 3: Algoritmus prohledani DB401 = seznam naskladnenych vsazek**: A text-based program listing:

```

OPN "DB_RIZENI_PRIORITY" // otevreni DB401
L 0
T #_i
cykl: L #_i // zacatek cyklu prohledani DB401 - naskladnene dily
L 12 // maximalni pocet prubehu cyklu hledani = maximalni pocet pozice skladu
<=I
JCN ven1 // v pripade prekroceni posledního čísla pozice ukončení hledání s negativním výsledkem
L #_i // aktuální číslo průchodu cyklem
ITD
L L#112 //nasobení 112 Bity - 14 Bytu což je délka informace jedné pozice v DB401
+D
TAK
LARI
A( // porovnání shody požadovaného dílu v "i-te" pozici skladu
L DBD [ARI,P#6.0]
L LD 26
==D
)
A( // porovnání shody požadovaného indexu v "i-te" pozici skladu
L DBW [ARI,P#10.0]
L LW 30
==D
)
JC shol1 // v případě nalezení shody programový skok na navesti "shol1"
// při negativním výsledku hledání pokračování v cyklu hledání
L #_i // povýšení čísla pozice o 1
L 1
+I
JP cykl
shol1: L #_i // navesti "shol1"
T #cislo_pozice // zapis čísla pozice s požadovanou vsazkou do výstupní proměnné
ven1: NOP 0

```
- Network 4: Title:** A simple box containing the text "KON1".

Obr. 27: algoritmus hledání žádané prioritní vsázky ve vstupním skladu kalírenské linky v bloku FB401

V návrhu úpravy programového kódu bylo počítáno s informací přenesenou optimalizačním algoritmem, která bude indikovat prioritu typu hřidele a indexu této hřidele. Bude vytvořen nový funkční blok FB401, název FB_RIZENI_PRIORITY, který bude opět

obsahovat definované vstupní a výstupní rozhraní. Volání funkčního bloku je navrženo ihned po volání funkčního bloku FB400. Součástí vstupního rozhraní je binární informace o nutnosti nastavení priority následovaná informací o požadovaném typu hřídele a jejím indexu. Na základě těchto dvou informací bude vybrána vhodná vsázka ze skladu vstupních vsázek. To sebou nese zároveň nutnost evidence naskladněných vsázek pro umožnění jejich výběru. Tato evidence je plánována jako součást funkčního bloku FB401, kdy informace o každé nově naskladněné vsázce budou uloženy do datového bloku DB401 DB_RIZENI_PRIORITY. Evidované informace v datovém bloku DB401 budou obsahovat pozici, typ a index vsázky. V případě nutnosti nastavení priority bude datový blok DB401 prohledán (obr. 28) a v případě nalezení vhodné vsázky bude tato přednostně vyvezena. Nalezení vhodné vsázky bude indikováno skrze výstupní rozhraní bloku FB401, kdy bude kromě binární informace o prioritním vyskladnění vsázky výstupem také číslo pozice, ze které má ETS přednostně vyvézt požadovanou vsázku. Tato výstupní informace bude přenesena do řízení dopravníku ETS a ten při dalším svém pojezdu vykoná tento pokyn vyvezení. Touto úpravou tedy přibudou celkem dva nové programové bloky FB401 a DB401 a jeden univerzální datový typ UDT401 použitý při přenosu vstupních a výstupních informací v rámci programového kódu.

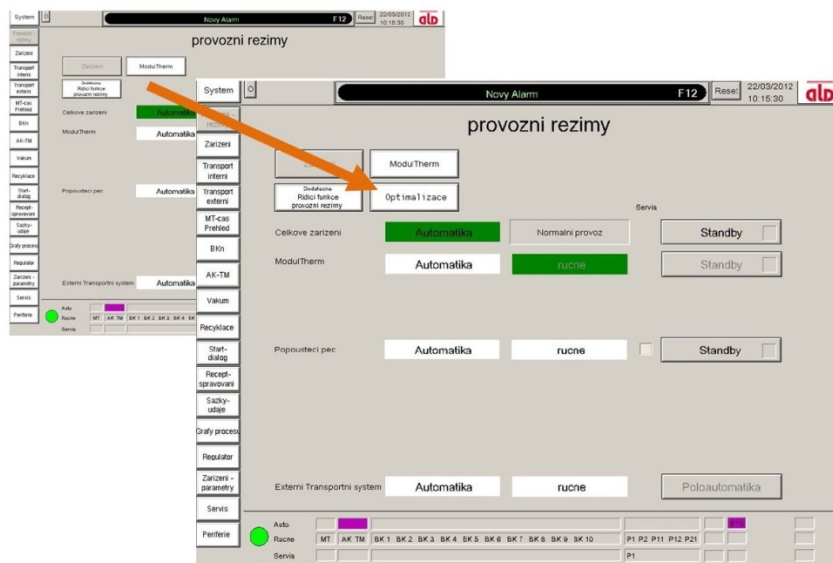
K ovlivnění provozu ETS pak je využito stávající rozhraní mezi samostatným řídicím systémem ETS a řídicím systémem K100 projektované v prostředí iMap. Ve stávajícím programovém kódu dojde k obsazení odesílané informace o nakládací pozici výstupním slovem bloku FB401 ve formátu Integer do chvíle, nežli transportní zařízení ETS tuto informaci převezme a začne tak cyklus navedení vsázky.

Jak již bylo dříve zmíněno, veškeré programové úpravy v rámci projektu K100 kalírenské linky hřídelí KLUA01 jsou prováděny s cílem o co největší modularitu a univerzálnost použitého řešení tak, aby se bez větších úprav daly tyto úpravy a nové programové bloky vložit do jiného projektu. Toto sebou nese několik ústupků, které je potřeba udělat v rámci programového kódu, kdy s využitím nepřímé adresace proměnných dochází ke ztrátě části diagnostických dat. Tyto části pak nelze obvyklým způsobem nalézt v rámci programového kódu při hledání příčiny poruchy či nestandardního stavu zařízení. Proto je nutné do programového kódu dodat části týkající se možných poruch v tomto optimalizačním algoritmu tak, aby je bylo možné diagnostikovat bez nutnosti analýzy programového kódu projektu K100.

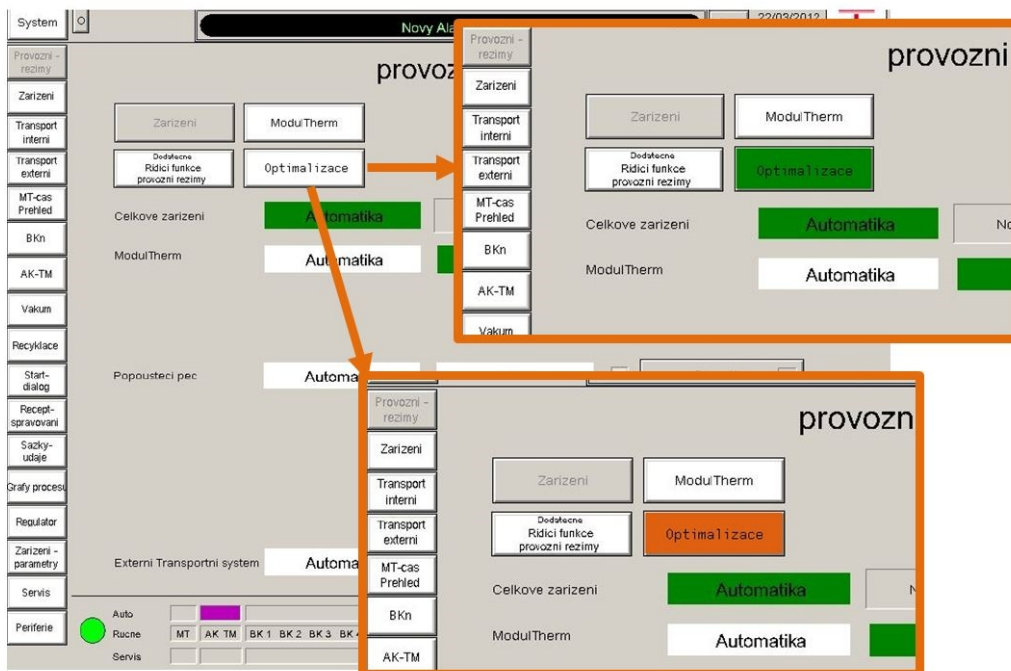
4.2.3 Úprava rozhraní HMI

Aby mohla obsluha stroje kontrolovat chod a funkci algoritmu, je nutné provést úpravy v HMI prostředí kalírenské linky. Na obslužném počítači, na kterém je HMI prostředí spuštěné je nutné upravit uživatelskou obrazovku režimu provozu tak, aby obsluha s požadovaným oprávněním měla možnost optimalizaci spustit či vypnout. Zároveň je skrze tuto obrazovku obsluha informována o funkci optimalizačního algoritmu. Pokud je optimalizace v provozu, pak je nově přidané tlačítko „Optimalizace“ podbarveno zelenou barvou (obr. 30). Pokud je optimalizace vypnutá, je tlačítko podbarveno bíle (obr. 28). Pokud

je optimalizace zapnuta, ale z provozních důvodů (priorita výroby, výpadek jedné z topných pecí) nelze optimalizaci provádět, je tlačítko podbarveno oranžově (obr. 29).



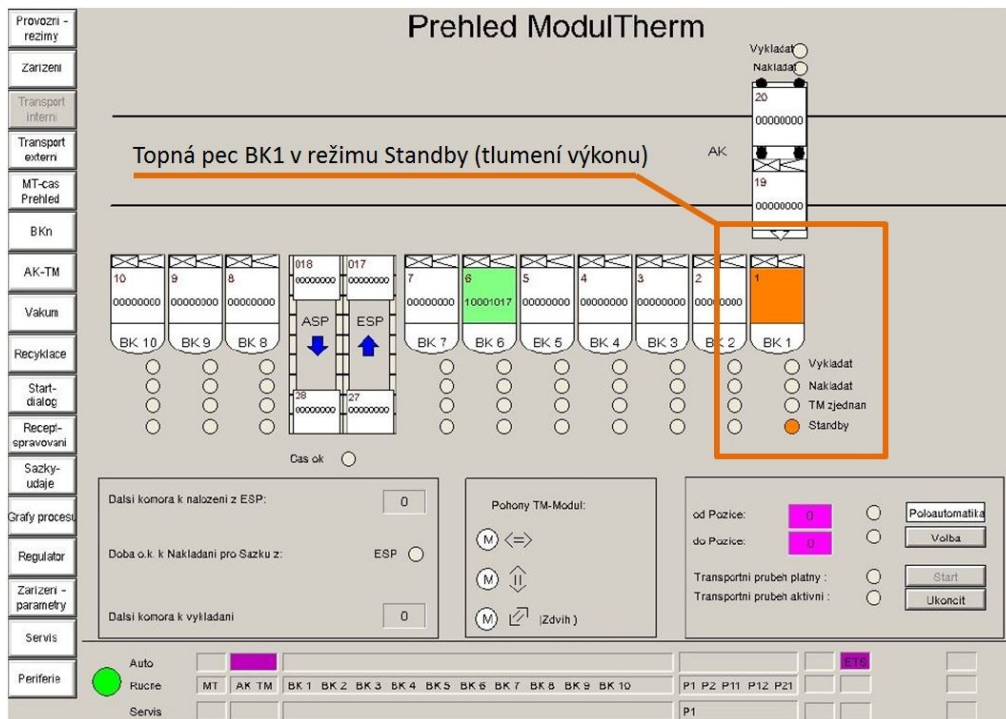
Obr. 28: implementace nového tlačítka „Optimalizace“ v prostředí HMI na obrazovce „Provozní režim“



Obr. 29: grafické zobrazení režimu optimalizace při různých provozních stavech

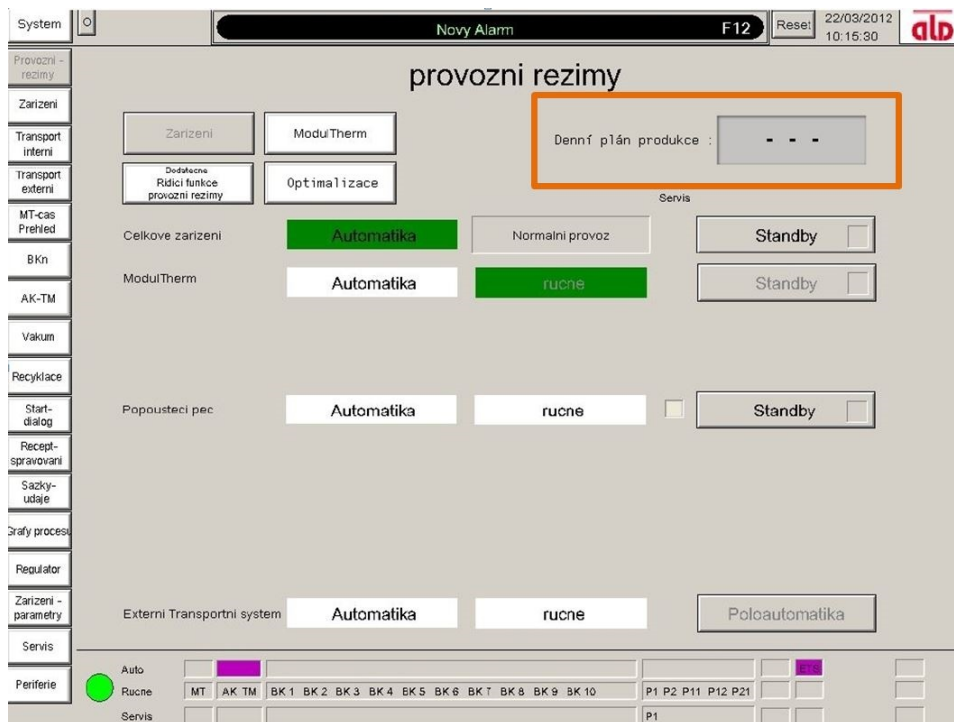
Zároveň je potřebné pro obsluhu kalírenské linky zobrazit informaci o režimech topných pecí, jejichž výkon je v rámci optimalizace tlumen. Tyto pece jsou nově na HMI obrazovce „Přehled Modul Therm“ zobrazeny pomocí oranžové barvy s indikací stavu

v režimu Stand-by (obr. 30). Obsluha má tak okamžitý přehled o počtu pecí v tlumeném režimu a má také informaci o tom, jaká pec se právě v tomto režimu nachází.



Obr. 30: nové zobrazení režimů topných pecí v prostředí HMI

Nově bylo také nutné implementovat do obrazovky „Provozní režimy“ vstupní rozhraní sloužící pro zadání denního plánu výroby hřidel (obr. 31). Tento denní plán je aktuálně tvořen z týdenního plánu a jeho tvorbu má na starosti zástupce výrobního oddělení měkkého obrábění. Plánovanou úpravou dojde k povinnosti zodpovědného pracovníka měkkého obrábění zadat před začátkem ranní směny daného dne tento denní plán na obrazovce „Provozní režimy“. V případě nezadání tohoto údaje dojde k pozastavení funkce optimalizace a obsluha o tomto bude informována změnou zobrazení stavu funkce optimalizace na stejné obrazovce.



Obr. 31: nově vytvořené vstupní pole pro zadání aktuální denního plánu výroby měkkého obrábění

Budoucím návrhem je zanesení denního či týdenního plánu do vnitropodnikového informačního systému *SAP* a vytvoření propojení mezi tímto systémem a systémem řízení kalírenské linky tak, aby aktuální informace o denním plánu měkkého obrábění byla dostupná automaticky. Tento návrh komunikačního propojení je ale nad rámec návrhů v této diplomové práci.

Veškeré grafické úpravy HMI prostředí na obslužném PC obsluhy zařízení jsou prováděny ve zdrojovém kódu softwaru, který byl vyvinut vývojářským týmem firmy ALD. Toto HMI rozhraní je pak přímo komunikačně provázáno s řídicím systémem PLC K100 kdy jednotlivé vstupní a výstupní prvky na obrazovkách HMI prostředí (tzn. tlačítka, informační prvky, textová pole) jsou generovány v programu řídicího PLC procesoru a tak není nutné provádět rozsáhlé úpravy v tomto softwaru, vyjma přidání zmíněných grafických prvků na dotčených obrazovkách HMI, ale zásadní úpravy, týkající se nových grafických prvků, budou provedeny v programovém prostředí SIMATIC Manager v projektu K100.

4.3 Návrh sběru produkčních dat

Produkční data jsou informace o budoucím i aktuálním stavu produkce. Do oblasti budoucího stavu produkce patří vytvořený měsíční, týdenní a denní plán výroby montážní linky i obráběcí haly. Návrh na zadání tohoto denního plánu výroby měkkého obrábění, který vychází z výrobního plánu montážní linky, byl zmíněn v předešlé části této diplomové práce. Zbývá tedy sběr informací o aktuálním stavu zásob vyrobených dílů. Do oblasti aktuálního stavu produkce patří zejména stav skladu hotových dílů před montážní linkou a aktuální

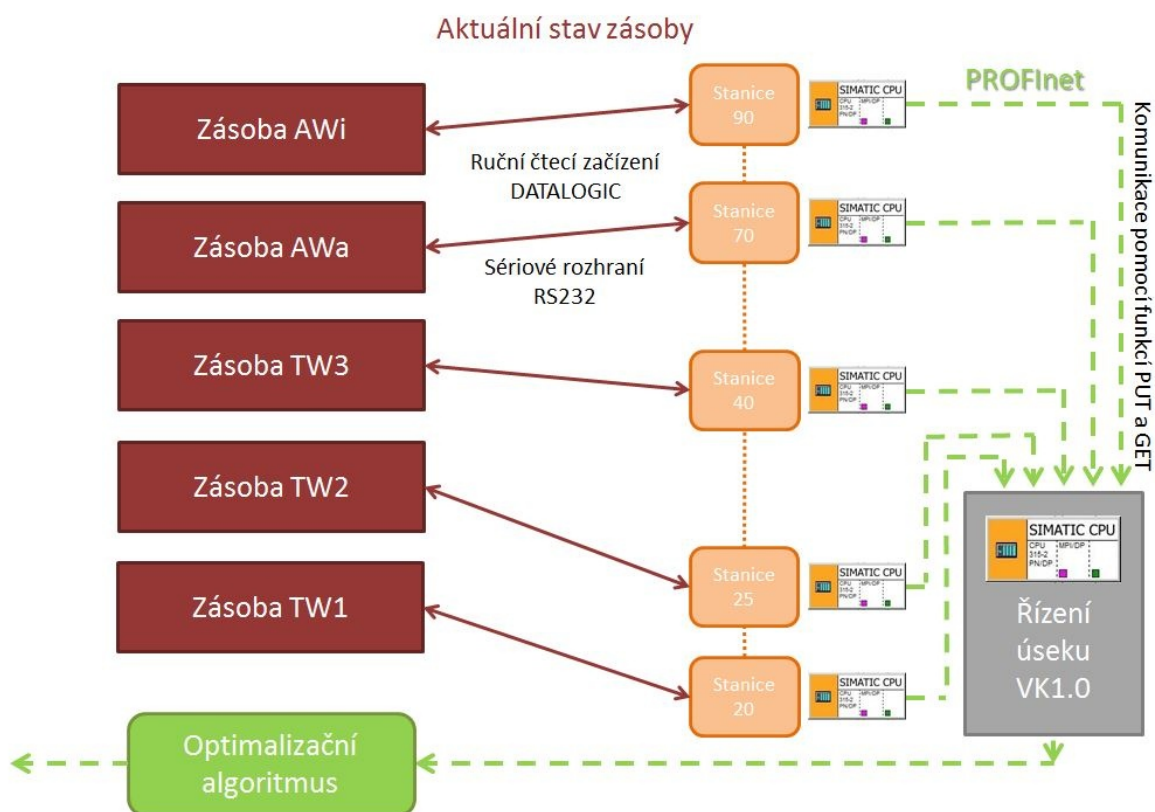
plnění denního plánu montážní linky. Veškeré tyto informace jsou velice důležité pro správnou a přesnou funkci optimalizačního algoritmu.

Ve stávajícím produkčním schématu nejsou tyto produkční data centralizována a v tomto stavu tak není možné provázání produkčních dat s optimalizačním algoritmem. Informace o stavu skladu jsou momentálně zaznamenávána lidskou obsluhou, vedoucími pracovníky v oblasti obrábění hřídelí a ozubených kol, kteří zapisují stav do papírových tabulek, které pak následně přenášejí do elektronické formy v tabulkách pracovních PC. Tyto tabulky jsou poté přístupné online, avšak pro případ optimalizace je nutné mít veškeré tyto informace co možná nejdříve. Proto je tato část diplomové práce zaměřená na návrh nového systému sběru dat, který by zajistil aktuální a přesné informace o stavu produkce s co možná nejmenší nutností zásahu lidské obsluhy.

Je dobré zmínit, že v současné době probíhají v závodě na výrobu automatických převodovek Škoda Auto a.s. ve Vrchlabí úpravy v oblasti výrobních strojů měkkého a tvrdého obrábění ozubených kol a hřídelí tak, aby byly přesuny obrobků mezi jednotlivými obráběcími stroji (výrobními operacemi) více automatizovány. Pro představu se jedná například o zrušení systému převozu obrobků mezi jednotlivými stroji na vozících, na kterých jsou obrobky vyskládány v odkládacích platech nad sebou a nahrazení těchto převozu obrobků dopravníkovým řešením, kde mezi stroji jsou obrobky jeden po druhém přepravovány na paletkách pohybujících se po automaticky řízených dopravnících. Důvodem pro tyto úpravy je mimo jiné zvýšení plynulosti výroby, snížení pracnosti prováděných operací a v neposlední řadě také personální úspory. Tohoto trendu lze s výhodou využít v rámci této diplomové práce, kdy tak bude alespoň částečně splněn požadavek eliminace lidského faktoru v oblasti sběru produkčních dat.

4.3.1 Sklad dílů před montážní linkou DQ200

Tento sklad se nachází v oblasti mezi halou obrábění a halou montážní linky DQ200. Sklad se sestává ze všech vyráběných dílů uskladněných před montážní linkou převodovky DQ200. Jeho rozmístění je takové, aby v toku montážní linky převodovky byly u jednotlivých stanic montážní linky k dispozici konkrétní hřídele či ozubená kola na této stanici zakládáné (obr. 33). Na grafickém zobrazení na obr. 32 je nově navržený způsob skladování dílů a způsob propojení mezi obsahem skladu, pracovními stanicemi montážní linky DQ200 a centrálním řízením prvního úseku montážní linky VK1.0. Propojení mezi informací o obsahu skladu daného typu hřídele a montážní stanicí, na které se tato hřídel zpracovává, v současné době neexistuje, naproti tomu propojení mezi pracovními stanicemi a centrálním řízením úseku VK1.0 již existuje a v rámci návrhu v této diplomové práci dojde k jeho úpravě s ohledem na nově přenášená data.



Obr. 32: grafické zobrazení skladu dílů a výrobních stanic montážní linky, které díly zpracovávají a navrhované komunikační propojení mezi jednotlivými účastníky

Současný stav vstupní části montážní linky se skladem dílů je takový, že veškeré naskladněné díly jsou uloženy na vozících, ve kterých jsou vyrovnány v transportních obalech v přesných počtech. Informace o počtu a typu naskladněných dílů na vozících je na průvodní kartě umístěné na vozíku. Tyto informace na průvodní kartě jsou zapisovány jednotlivými pracovníky obráběcích stroj, na kterých se díl zpracovával. Pracovník uvede přesný počet dílů v dávce, číslo stroje a čas zpracování. Pracovník u posledního stroje v řadě daného typu pak vykládá díly do vozíku a vozík odváží při jeho naplnění do pozice ve skladu dílů pro montážní linku. Informace z průvodních karet pak po umístění vozíku do skladu dílů před montážní linkou zaeviduje vedoucí obrábění hřídelů či ozubených kol a poté přenesou do elektronické tabulky. Tím si tak vedoucí obrábění kontroluje stav dílů ve skladu.



Obr. 33: vozíky s dávkami dílů různých typů hřídelí ve skladu před montážní linkou. Materiálová průvodka je umístěna na madle vozíku

MATERIÁLOVÁ PRŮVODKA
MATERIALBEGLEITKARTE

Číslo dílu: **0AM 311 103 Q** Číslo dávky: **054/18**
Teil Nr. Zahnnummer

Název dílu: **AWI** Tabva / Index / Zpracování
Bezeichnung: **Antriebswelle - innen** Schmelze / Index / Bearbeitung

Vsázka **10053084** H / 12 / 28
Charge

Zpracovací komora: **8** ID výrobní dávky: **PL371605040076**
Behandlungskammer Produktionslos

Velikost dávky: **78**
Losgröße


MATERIÁLOVÁ PRŮVODKA
MATERIALBEGLEITKARTE


Číslo dílu: **0AM 311 103 Q** Číslo dávky: **054/18**
Teil Nr. Zahnnummer

Název dílu: **AWI** Bezeichnung: **Antriebswelle - innen**

Počet kusů: _____
Anzahl St.

Poznámka: _____






10 VR_VH - PL3716050400760010

K operaci Zur	C. Nr.	Název operace Arbeitsstufe	Počet kusů Anzahl St.	Dokončení op. - razítka Fertig - Stempel	Stroj č. Maschine Nr.	Datum
X	10	Zarovnání čel a oprac.konců+navrt	78	103	MSHW01	6.5
X	20	Soustružení	78	103	MSHW02	6.5
X	30	Frézování + sražení hran	78	135	MFAC02	6.5
X	70	Válcování	78	130	MVHP02	6.5
X	82	Praní	78	130	HPHW02	6.5
X	90	Cementace	78	514		6.5
X	100	Popouštění	78	514		6.5
X	120	Kontrola TZ	78	514		6.5
X	125	Rovnění	78	112	TVHM02	9/
X	130	Broušení záříché a čel	78	117	TBH04	10
X	140	Broušení průměru	78	117	TBH02	10
X	150	Honování ozubení	78	123	THHP03	9.5
X	162	Praní	78	123	TPHW03	9.5
X	200	Pevnostní tryskání	78	256	TPHW02	7.5
X	212	Konečné praní	78	138	TH101	7.5

19

Závěska: **PL371605060032**



Obr. 34: obě strany materiálové průvodky hřídele AWI s evidencí průběhu výroby celé dávky

Návrhem popsáním v této diplomové práci je veškeré výše zmíněné úkoly digitalizovat přímo ve výrobním procesu. Pokud bychom uvažovali co nejmenší zásah do

stávajícího systému výroby, pak jako ideální řešení se jeví evidence dávek a tím pádem i počtu naskladněných kusů pracovníkem, který tyto díly na vozíku zaváží do skladu před montážní linkou. K tomuto účelu s výhodou využijeme stávající *datamatrix* kód umístěný na druhé straně materiálové průvodky. Ten obsahuje mimo jiné i všechna potřebná data, zmíněná v předešlé části textu. Tento *datamatrix* kód byl na materiálovou průvodku umístěn na požadavek pracovníků vrchlabského závodu pro umožnění evidence právě zpracovávaných dílů na montážní lince. V praxi to znamená, že pracovník logistického oddělení naveze k lince vozík s právě zpracovávanými díly a se správným indexem těchto dílů. Pro potvrzení započítání zpracování této dávky načte pracovník logistiky *datamatrix* kód na průvodce dávky ruční čtečkou data matrix kódů a data o právě zpracovávané dávce se tak nahrají do řídicího PLC konkrétní výrobní stanice montážní linky, kam byl vozík s díly přivezen.



Obr. 35: pracoviště nakládání dílů do montážní linky a stávající načítání materiálových průvodek

Před samotnou evidencí dávek nově umístěných do skladu dílů před montážní linkou je nutné určit, kam se data o těchto dávkách budou ukládat a evidovat a jak budou předána optimalizačnímu algoritmu. Podle návrhu, zobrazeném na obr. 32, byl jako nejvýhodnější koncentrátor těchto dat vyhodnocen centrální řídicí systém VK1.0, sdružující prvních deset stanic montážní linky, na kterých se zpracovávají veškeré hřídele i ozubená kola. Seznam skladovaných dílů tak bude uložen a provozován v rámci tohoto centrálního řídicího systému a z tohoto systému odesílán do optimalizačního algoritmu k vyhodnocení.

Nově by tak pracovník vykládající díly z poslední operace na tvrdém obrábění po dokončení celé dávky dílů načel data matrix kód na materiálové průvodce dávky nově přidaným čtecím zařízením umístěným při stroji poslední výrobní operace. Tímto by byly data o dávce přeneseny do nově vytvořeného datového bloku v rámci řídicího systému příslušné stanice na montážní lince DQ200, která výrobky (hřídele) z načtené dávky

zpracovává. Opět je nutné, aby byl pro umožnění přenesení a evidence těchto dat upraven programový kód řídicího systému PLC na dotčených stanicích montážní linky DQ200.

4.3.2 Úprava řídicího systému stanic montážní linky

Následující úpravy se týkají načítání dat jednotlivých dávek hřidelí zavezených do skladu, jejich zpracování a odesílání požadovaných dat centrální stanici VK1.0. Stanice VK1.0 shromažďuje výrobní data prvního úseku montážní linky, ve kterém se nacházejí pracovní stanice, které zpracovávají hřidlele ze skladu dílů před montážní linkou. Data se budou sestávat z informací o jednotlivých naskladněných typech hřidelí a jejich indexů. Programové úpravy jsou opět v rámci prostředí SIMATIC Manager a jsou autorem navrhovány tak, aby se daly aplikovat identicky pro všechny dotčené výrobní stanice bez nutnosti úprav.

S dříve navrženým přidáním čtecích zařízení na konci výrobních řad na tvrdém obrábění přibudou funkční a datové bloky v rámci PLC programu jednotlivých výrobních stanic. Tyto stanice nyní budou fungovat také jako sběrné místo informací o skladové zásobě těchto hřidelí. Tyto stanice pak budou vyměňovat data s centrálním řídicím PLC VK1.0, které bude data zpracovávat a odesílat optimalizačnímu algoritmu.

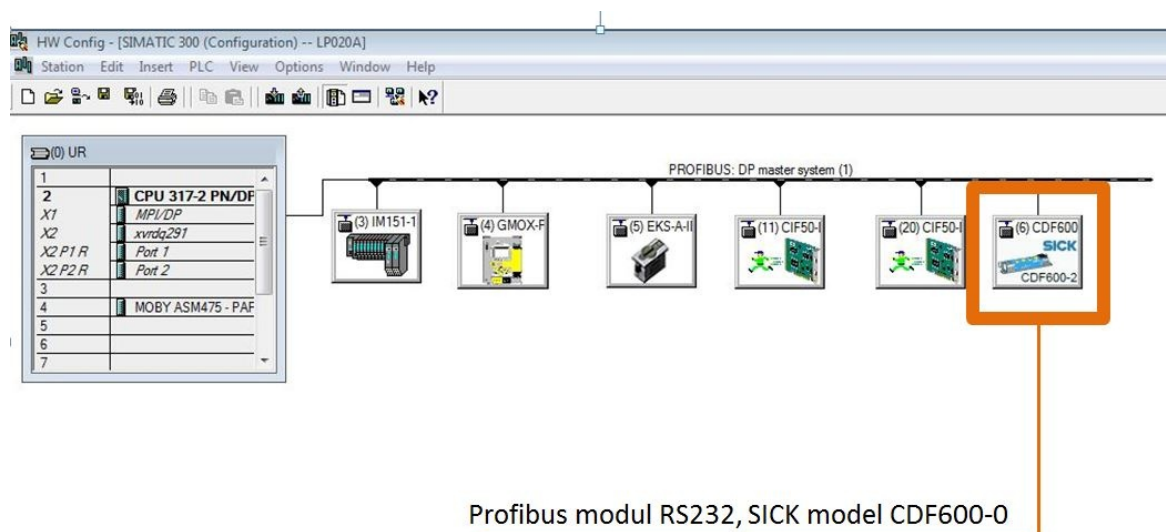
Pro čtecí zařízení je navrhován bezdrátový systém firmy Datalogic, model POWERSCAN M8300 [8] (obr. 36). Tento model je navrhován vzhledem k již stávajícímu použití tohoto systému v montážní oblasti výroby automatické převodovky.



Obr. 36: bezdrátové čtecí zařízení Datalogic POWERSCAN M8300 instalované na konečné výrobní stanici montážní linky DQ200

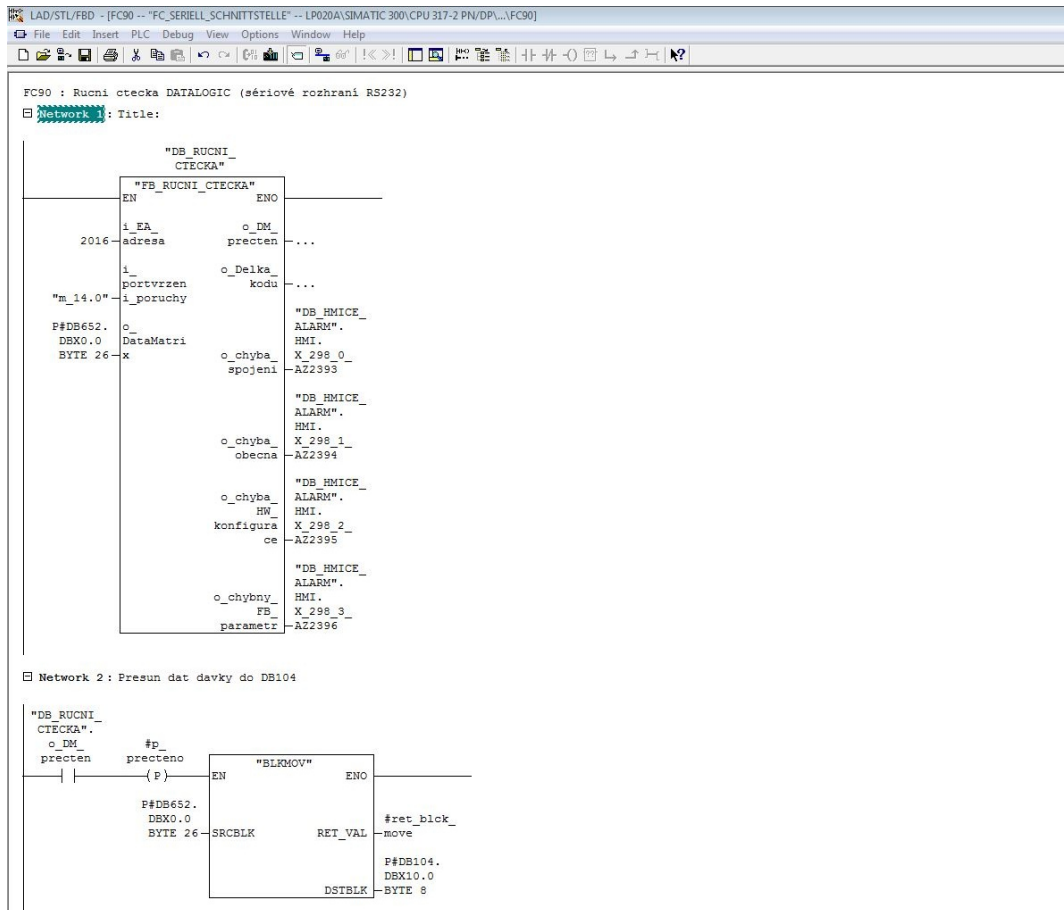
Výhodou tohoto modelu čtecího zařízení je jeho komunikační propojení pomocí sériového datového rozhraní *RS232*, na které je v rámci stávající hardwarové konfigurace PLC montážních stanic již připravena komunikační karta, výrobce firma SICK, model CDF600-0 [9]

(obr. 37). V rámci softwaru montážních stanic pak dojde k naprogramování tohoto rozhraní a rozřídění přenesených dat.



Obr. 37: RS232 modul použitý pro komunikaci s čtecím zařízením Datalogic POWERSCAN M8300

Do programového kódu budou v prostředí SIMATIC Manager přidány funkční blok FB488 společně s datovým blokem DB488. Funkční blok FB488 slouží pro samotnou komunikaci se čtecím zařízením a jeho volání bylo umístěno do prvního networku stávající funkce FC90, která v rámci programu stanice sdružuje jednotlivá volání po sériové komunikační sběrnici. Pomocí tohoto bloku jsou jednotlivá data přenesena po sběrnici RS232. Po přenesení jsou data rozdělena a uložena v definované struktuře. Struktura dat je definována v datového bloku DB488. Z datového bloku DB488 jsou pak konkrétní data přesunuta do datového bloku DB104, který slouží pro komunikaci s VK1.0. V tomto datovém bloku DB104, který se v programovém kódu nacházel již před úpravami, bude přidáno celkem 8 Bytů, které slouží pro uložení a přenesení dat týkajících se konkrétní zpracovávané hřídele. Pro ukázkou na obr. 39 byla zvolena stanice montážní linky LP020A, kde se zakládá hřídel TW1 a data pro tuto stanici se tak týkají právě těchto typů hřídel. Nově vytvořená datová struktura v rámci DB104 obsahuje zejména údaje o množství hřídelí, které byly na vozíku zavezeny do skladu – celkem 2 Byty a o jejich indexu – 1 Byte. Dalším přenášeným (vyčteným) údajem je ID dávky, neboli pořadové číslo, které je důležité pro správné rozlišení jednotlivých dávek, to znamená příchod nové dávky materiálu do skladu před montážní linkou. Při změně tohoto čísla řídicí systém centrální stanice VK1.0 rozpozná, že došlo k načtení nové dávky a navýší tak aktuální počet dílů ve skladě o právě vyčtený počet. Programově je porovnání ID dávek a zápis nového počtu dílů ve skladu zařízení v rámci jednoho cyklu programu („scanu“), tak aby nikdy nemohlo dojít ke špatnému zápisu počtu nových dílů a stav skladu byl tak vždy korektně evidován.



Obr. 38: volání nově vytvořeného funkčního bloku FB488 pro komunikaci se čtecím zařízením Datalogic

Address	Name	Type	Initial value	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	zur_ZEN	"ST_ZEN"		Standardní rozsah (na každé stanici stejný)
+4.0	zur_VK	"ST_VK"		Standardní rozsah (na každé stanici stejný)
+8.0	res0_0	BOOL	FALSE	Individuální signály
+8.1	res0_1	BOOL	FALSE	
+8.2	res0_2	BOOL	FALSE	
+8.3	res0_3	BOOL	FALSE	
+8.4	res0_4	BOOL	FALSE	
+8.5	res0_5	BOOL	FALSE	
+8.6	res0_6	BOOL	FALSE	
+8.7	res0_7	BOOL	FALSE	
+9.0	res9_0	BOOL	FALSE	
+9.1	res9_1	BOOL	FALSE	
+9.2	res9_2	BOOL	FALSE	
+9.3	res9_3	BOOL	FALSE	
+9.4	res9_4	BOOL	FALSE	
+9.5	res9_5	BOOL	FALSE	
+9.6	res9_6	BOOL	FALSE	
+9.7	res9_7	BOOL	FALSE	
+10.0	data_TW1_1	BYTE	B#16#0	
+11.0	data_TW1_2	BYTE	B#16#0	
+12.0	data_TW1_3	BYTE	B#16#0	
+13.0	data_TW1_4	BYTE	B#16#0	
+14.0	data_TW1_5	BYTE	B#16#0	
+15.0	data_TW1_6	BYTE	B#16#0	
+16.0	data_TW1_7	BYTE	B#16#0	
+17.0	data_TW1_8	BYTE	B#16#0	
+18.0		END_STRUCT		

Obr. 39: nová struktura datového bloku DB104 s přidáními údaji o dávkce hřidelí TW1 (platí pro stanici LP020A)

Veškeré úpravy v rámci pěti stanic montážní linky, jmenovitě LP020A, LP025M, LP040A, LP070A a LP090M, ve kterých dochází ke zpracování naskladněných hřídelí, se tak v duchu *Industry 4.0* nesou pouze v úpravách programového kódu bez nutnosti investic do nových zařízení. To samozřejmě neplatí pro náklady za pořízení celkem pěti kusů čtecích zařízení Datalogic POWRSCAN M8300, které jsou ale plánovány jako společný projekt výrobního úseku a úseku sledování kvality, který údaje z těchto čtecích zařízení může zakomponovat do svých stávajících databázových struktur.

4.3.3 Úprava řídicího systému centrální stanice VK1.0

Komunikace mezi montážními stanicemi a řízením prvního úseku, centrální stanicí VK1.0 je již zřízena, probíhá komunikačním protokolem *PROFINET* (TCP/IP) a v rámci programu montážních stanic je řešena komunikačními funkcemi *PUT* a *GET* (obr. 32), což jsou předdefinované komunikační funkční bloky programu SIMATIC Manager *FB14 FB_GET* a *FB15 FB_PUT*. Tyto bloky slouží k přenosu dané struktury dat mezi dvěma stanicemi PLC SIMATIC. Stanice s PLC SIMATIC, která má naprogramovanou funkci *GET* získá pomocí této funkce data z datového bloku umístěného ve volané stanici. Datové bloky, které se mezi stanicemi vyměňují tak musí být identické. Hlavní PLC VK1.0 takto získá postupně data ze všech pěti stanic, ve kterých se zpracovávají monitorované hřídele.

Nově bude do programové struktury stanice VK1.0 vložen datový blok DB1450, který bude shromažďovat aktuální informace o stavu skladu dílů před montážní linkou DQ200. Nový bude též funkční blok FB1450, který bude spravovat data v datovém bloku DB1450. Tento funkční blok bude monitorovat nově načtené dávky hřídelí zjištěné z jednotlivých stanic a bude také monitorovat stav výroby, čili jaký index převodovky se právě vyrábí na které stanici. Každá odbavená paleta v konkrétní stanici pak znamená ponížení stavu dané hřídele daného indexu ve skladu před montážní linkou DQ200. Tím je tak zaručen aktuální stav dílů v rámci datového bloku DB1450. Funkčním blokem FB1450 bude dále monitorován stav aktuálního plánu výroby převodovek, konkrétní počet a typ převodovek, které jsou právě zadány do výroby a které do výroby teprve zadány budou. Tato informace je důležitá z hlediska kontroly potřebných dílů a v případě nedostatku jejich prioritní výroba – zakalení.

Nový bude také komunikační blok FB1451, který slouží ke komunikaci s optimalizačním algoritmem. Toto nové komunikační propojení si již vyžádá zásah do hardwarové konfigurace systému centrální stanice VK1.0, kdy je nutností instalace nové síťové karty a její konfigurace. V rámci funkčního bloku FB1451 tak bude doházet k přípravě odesílaných dat a v případě požadavku také k jejich odeslání optimalizačnímu algoritmu. Tato komunikace je navrhována opět protokolem TCP/IP. Síťová karta zvolena z řady SIMATIC CP 343-1 Lean [10], objednáací číslo 6GK7 343-1CX10-0XE0, verze firmware 3.0. IP adresa síťové karty bude nastavena do stejného adresního rozsahu s optimalizačním algoritmem, tedy 140.80.2.X.

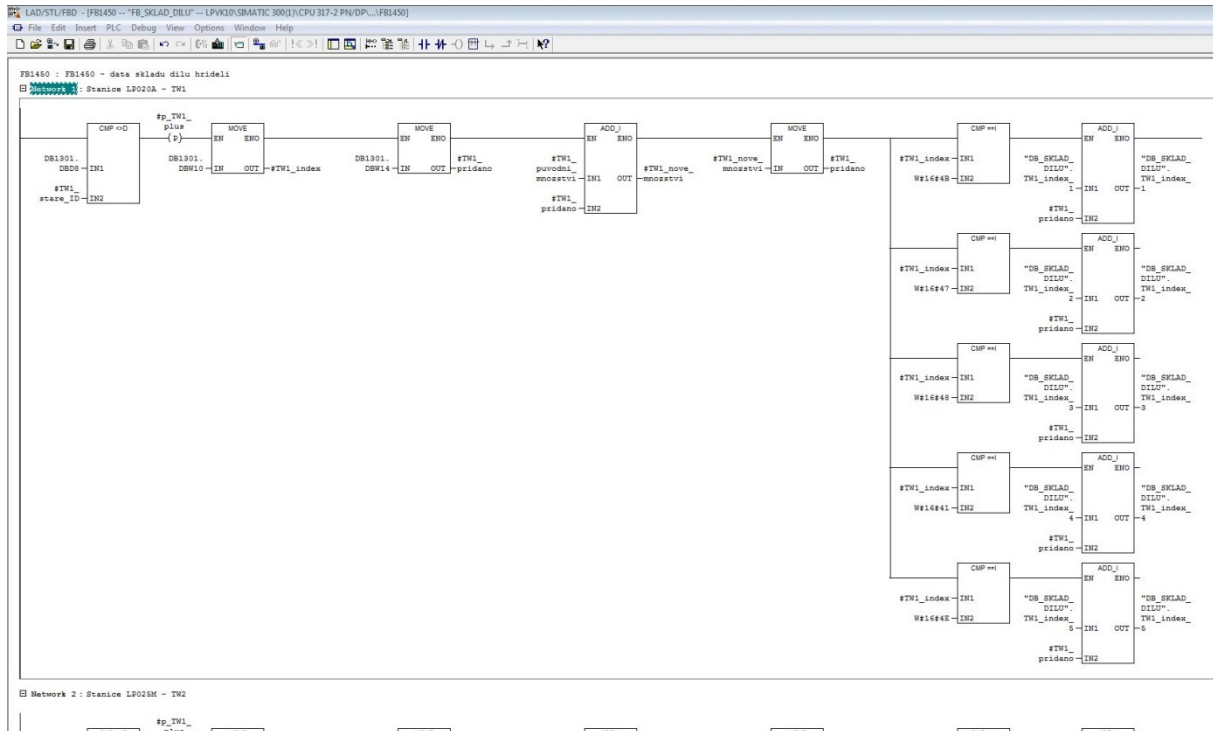
Address	Name	Type	Initial value	Comment
0.0		STRUCT		
+0.0	tmp_1	WORD	W#16#0	temp promenna
+2.0	tmp_2	WORD	W#16#0	temp promenna
+4.0	tmp_3	WORD	W#16#0	temp promenna
+6.0	TW1_index_1	WORD	W#16#0	TW1_index_AK
+8.0	TW1_index_2	WORD	W#16#0	TW1_index_AG
+10.0	TW1_index_3	WORD	W#16#0	TW1_index_AH
+12.0	TW1_index_4	WORD	W#16#0	TW1_index_AA
+14.0	TW1_index_5	WORD	W#16#0	TW1_index_T
+16.0	TW1_index_6	WORD	W#16#0	TW1_index_AN
+18.0	TW1_index_7	WORD	W#16#0	TW1_index_AP
+20.0	TW1_index_8	WORD	W#16#0	TW1_index_AQ
+22.0	TW1_index_res	WORD	W#16#0	TW1_index_rezerva
+24.0	TW1_index_res_1	WORD	W#16#0	TW1_index_rezerva_1
+26.0	TW2_index_1	WORD	W#16#0	TW2_index_AK
+28.0	TW2_index_2	WORD	W#16#0	TW2_index_AG
+30.0	TW2_index_3	WORD	W#16#0	TW2_index_AH
+32.0	TW2_index_4	WORD	W#16#0	TW2_index_AA
+34.0	TW2_index_5	WORD	W#16#0	TW2_index_T
+36.0	TW2_index_6	WORD	W#16#0	TW2_index_AN
+38.0	TW2_index_7	WORD	W#16#0	TW2_index_AP
+40.0	TW2_index_8	WORD	W#16#0	TW2_index_AQ
+42.0	TW2_index_res	WORD	W#16#0	TW2_index_rezerva
+44.0	TW2_index_res_1	WORD	W#16#0	TW2_index_rezerva_1
+46.0	TW3_index_1	WORD	W#16#0	TW3_index_AK
+48.0	TW3_index_2	WORD	W#16#0	TW3_index_AG
+50.0	TW3_index_3	WORD	W#16#0	TW3_index_AH
+52.0	TW3_index_4	WORD	W#16#0	TW3_index_AA
+54.0	TW3_index_5	WORD	W#16#0	TW3_index_T
+56.0	TW3_index_6	WORD	W#16#0	TW3_index_AN
+58.0	TW3_index_7	WORD	W#16#0	TW3_index_AP
+60.0	TW3_index_8	WORD	W#16#0	TW3_index_AQ
+62.0	TW3_index_res	WORD	W#16#0	TW3_index_rezerva
+64.0	TW3_index_res_1	WORD	W#16#0	TW3_index_rezerva_1
+66.0	AWi_index_1	WORD	W#16#0	AWi_index_AK
+68.0	AWi_index_2	WORD	W#16#0	AWi_index_AG
+70.0	AWi_index_3	WORD	W#16#0	AWi_index_AH
+72.0	AWi_index_4	WORD	W#16#0	AWi_index_AA
+74.0	AWi_index_5	WORD	W#16#0	AWi_index_T
+76.0	AWi_index_6	WORD	W#16#0	AWi_index_AN
+78.0	AWi_index_7	WORD	W#16#0	AWi_index_AP
+80.0	AWi_index_8	WORD	W#16#0	AWi_index_AQ
+82.0	AWi_index_res	WORD	W#16#0	AWi_index_rezerva
+84.0	AWi_index_res_1	WORD	W#16#0	AWi_index_rezerva_1
+86.0	AWa_index_1	WORD	W#16#0	AWa_index_AK
+88.0	AWa_index_2	WORD	W#16#0	AWa_index_AG
+90.0	AWa_index_3	WORD	W#16#0	AWa_index_AH
+92.0	AWa_index_4	WORD	W#16#0	AWa_index_AA

Obr. 40: struktura nově vytvořeného datového bloku DB1450 s evidencí dílů ve skladu před montážní linkou DQ200

Datový blok DB1450, ve kterém jsou evidovány počty naskladněných hřídelí všech typů a indexů, které jsou ve skladu dílů před montážní linkou DQ200, obsahuje celkem 106 Bytů informací. Prvních šest Bytů bylo ponecháno pro komunikační potřeby mezi optimalizačním algoritmem a centrálním řízením VK1.0. Zbýlých 100 Bytů jsou pak již informace o samotných hřídelích a jejich počtech. Těchto 100 Bytů je pak odesíláno v rámci komunikačního funkčního bloku FB1451 do optimalizačního algoritmu (obr. 42). Struktura těchto 100 Bytů je pevně definovaná (obr. 40) a je nutné, aby byla dodržena. V případě nutnosti pozdějších úprav této struktury by bylo zapotřebí změnit nejen strukturu na straně odesílatele, čili centrálního řízení VK1.0, ale také na straně příjemce, čili optimalizačního algoritmu. Pro případ pozdějších úprav či přidání nových indexů vyráběných dílů byly do navrhované struktury předem přidány rezervní pozice indexů, každá o velikosti 1 Word a tak

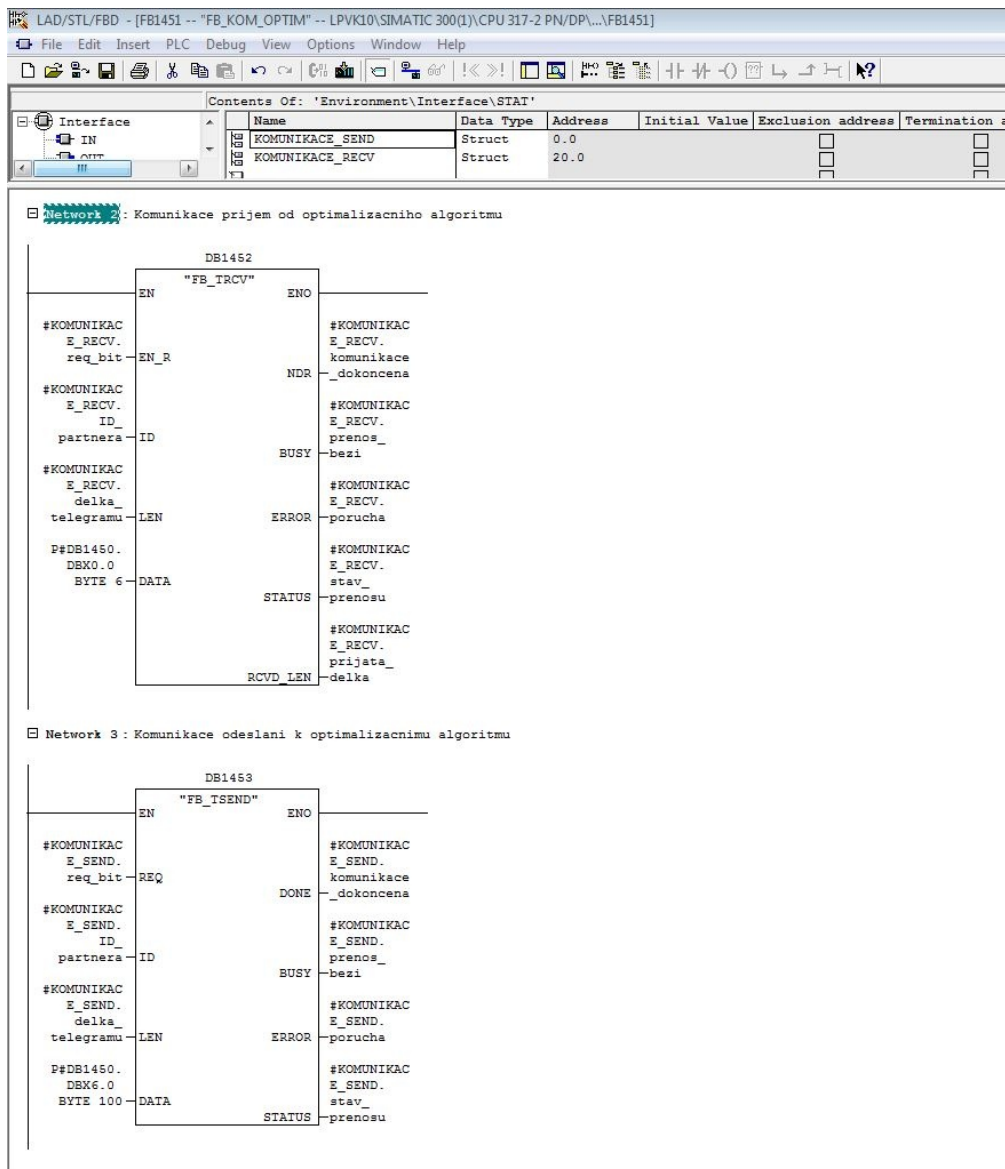
je celý navrhovaný systém připraven pro pozdější úpravy bez nutnosti změny programového kódu.

Naplnění datového bloku DB1450 a k operacím s údaji o počtech dílů dochází v novém funkčním bloku FB1450, kde od *networku* 1 jsou rozepsány funkce pro přičítání a odečítání konkrétních dílů v datovém bloku umístěných (obr. 41).



Obr. 41: logické operace přičtení nově načteného počtu dílů pro hřídel TW1 v novém funkčním bloku FB1450

Odeslání dat je naprojektováno nově vytvořeným funkčním blokem FB1451, jehož programové volání je umístěno do funkčního bloku FB1450. Komunikační funkční blok FB1451 obsahuje mimo nutných pomocných funkcí dvě hlavní komunikační funkce, které byly vybrány, stejně jako v případě úprav řídicího systému K100 kalírenské linky, z knihovny standardních funkcí, která je součástí SIMATIC Manager softwaru. Konkrétně se jedná o komunikační funkce FB63 *FB_TSEND*, sloužící pro odesílání dat, a FB64 *FB_TRCV*, sloužící pro příjem dat. Komunikační bloky je nutné nakonfigurovat dle aktualizované hardwarové konfigurace s nově vloženou síťovou kartou SIMATIC CP343-1 Lean. Zdroj odesílaných informací je datový blok DB1450, adresně pak 100 Bytů počítaných od šestého Bytu tohoto datového bloku (obr. 42). Zbýlé části funkčního bloku FB1451 slouží pro diagnostiku komunikace tak, aby v případě poruchy komunikace či chybného odeslání byla skrze stávající stavový interface na HMI rozhraní informována obsluha u centrální stanice VK1.0.



Obr. 42: použití komunikačních bloků FB63 a FB64 pro příjem a odesílání dat o stavu skladu dílů před montážní linkou k optimalizačnímu algoritmu

S nově vytvořenými funkcemi na montážních stanicích a na centrální stanici VK1.0 přibily i nové diagnostické hlášení. To sebou nese potřebu dodatečného proškolení obslužného personálu těchto stanic i jednotlivých vedoucích těchto úseků. Samotná porucha přenosu dat ať již mezi čtecími zařízeními na konci výrobních řad tvrdého obrábění, mezi montážními stanicemi a centrální stanicí VK1.0, nebo mezi centrální stanicí VK1.0 a optimalizačním algoritmem nezpůsobí výpadek produkce na montážní lince. Může ale způsobit výpadek funkce optimalizačního algoritmu kalírenské linky. Proto je nutné dostatečně proškolit veškerý obslužný personál tak, aby v případě, že k takovéto poruše dojde, byly v co nejkratší době podniknuty kroky k odstranění této poruchy.

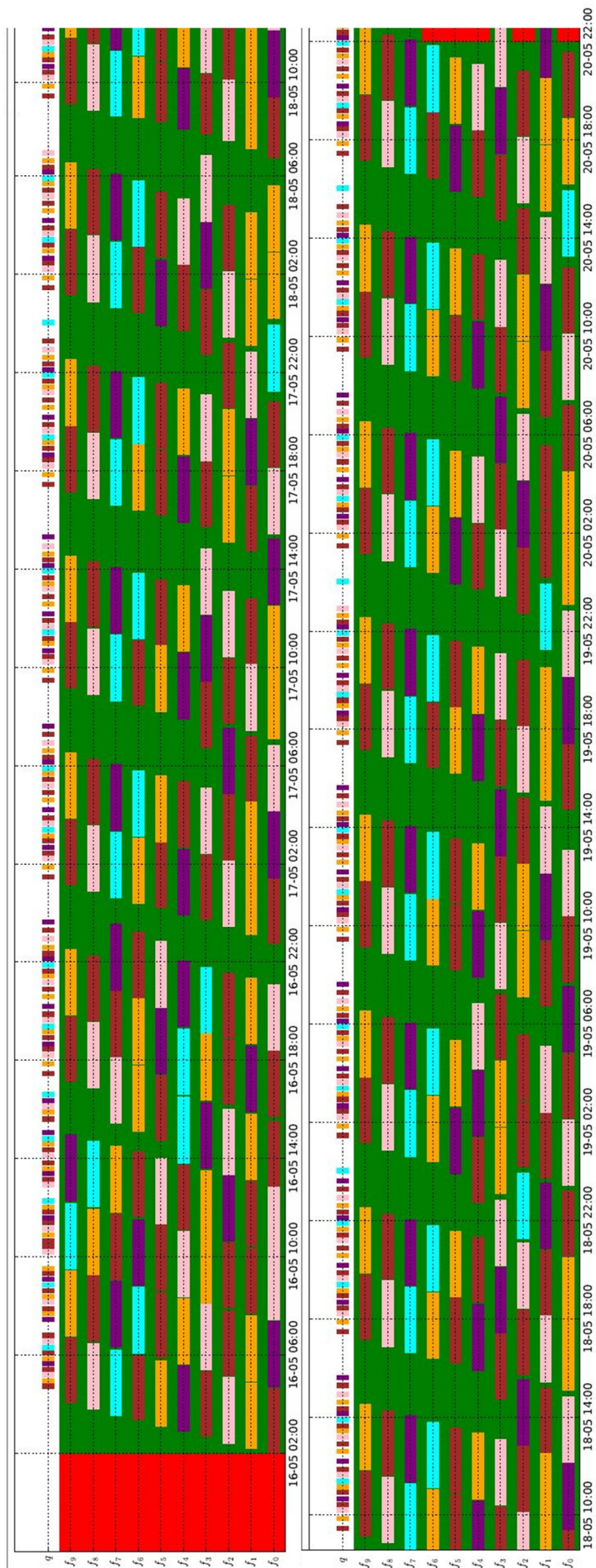
Shrnutí úprav pro sběr informací ze skladu dílů před montážní linkou:

- Navržení nového systému evidence informací o dávkách zavezených do skladu dílů před montážní linkou pomocí bezdrátového čtecího zařízení a jeho implementace do stávajícího řídicího systému stanic montážní linky DQ200
- Návrh a konfigurace nové datové struktury přenášené mezi jednotlivými stanicemi a centrální stanicí VK1.0 v úseku montáže hřídelí a ozubených kol tak, aby byly informace o nových dílech ve skladu dílů před montážní linkou přeneseny do nově vzniklého seznamu těchto dílů v rámci řídicího systému VK1.0
- Návrh nové evidence naskladněných dílů ve skladu před montážní linkou DQ200 v projektu řídicího systému VK1.0, nově vytvořené komunikační propojení a přenos informací s optimalizačním algoritmem

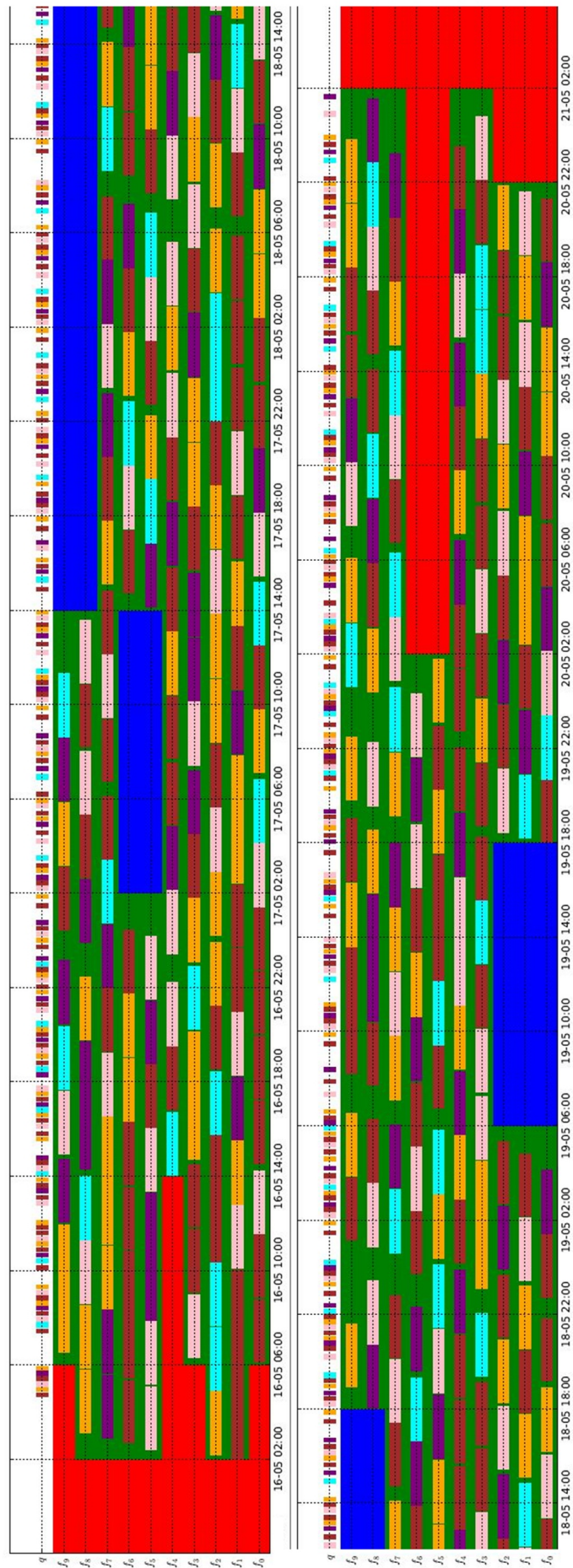
Výše zmíněnými úpravami dojde ke sběru výrobních dat ze skladu dílů před montážní linkou a k jejich odeslání k dalšímu zpracování. Tyto data jsou potřebná pro správnou funkci optimalizačního algoritmu. Může tak dojít k porovnání aktuálního stavu skladu dílů před montážní linkou DQ200 s dalšími sledovanými vstupními parametry optimalizačního algoritmu popsány v předchozích kapitolách. Veškeré úpravy stanic montážní linky jsou prováděny v rámci softwaru SIMATIC Manager, pro jednotlivé projekty montážních stanic a jsou opět navrženy tak, aby jejich případné další použití bylo možné bez dalších úprav i pro zbylé projekty montážních stanic.

5 SIMULACE TÝDENNÍHO PROVOZU

Pro ověření správnosti návrhu a zamýšlených úprav byla provedena Ing. Istvánem Módošem z katedry řídicí techniky, Elektrotechnické fakulty ČVUT v Praze, simulace týdenního optimalizovaného provozu kalírenské linky KLUA01. Jako zdroje dat pro tuto simulaci posloužily reálné produkční údaje nasbírané při týdenním provozu ve dnech od 8. 2. 2016 do 12. 2. 2016. Z těchto dat byly převzaty zejména informace o denním počtu vsázek vstupujících do kalírenské linky a jejich intervalech příchodu. V simulaci je počítáno s denním plánem výroby 1800 kusů převodovek, čili zároveň i 1800 kusů hřídelí. Vsázky jsou rovnoměrně rozpočítány mezi všechny tři výrobní směny. Nejprve, pro porovnání časové náročnosti a případných energetických úspor, byla vygenerována simulace provozu bez tlumení výkonu topných pecí. Následně byla vygenerována simulace provozu s tlumením jednotlivých pecí. Týdenní grafické vyobrazení obou těchto simulací bylo opět provedeno programem *Phyton* s využitím knihovny *matplotlib*. Grafy, obsahující všechny pracovní dny daného týdne, zobrazují na svislé ose jednotlivé pece reprezentované řádky *f0* až *f9* (BK1 až BK10), barvy pak odpovídají jednotlivým typům hřídelí. Řádkem *q* je reprezentována obsazenost kalící pece AK. Pokud je topná pec vypnuta, je reprezentována červenou barvou, pokud je topná pec v režimu tlumení výkonu (teplota v peci snížena na 600°C) je pec zobrazena modrou barvou.



Obr. 43: Graf simulovaného průběhu týdenního provozu kalírenské linky bez optimalizace řízení



Obr. 44: graf simulovaného průběhu týdenního provozu kalírenské linky při použití optimalizovaného řízení

5.1 Vyhodnocení výsledků simulace

Graf na obr. 44 zobrazuje simulovaný optimalizovaný týdenní provoz kalírenské linky KLUA01. Modré úseky jsou tlumené topné pece. K prvnímu tlumení dochází v úterý 17. 5. od 02:00 do 14:00, tedy na 12 hodin a to u pecí BK6 a BK7 (f_5 a f_6). Do času tlumení, čili do úseku označené modrou barvou, jsou započítávány také časy opětovného náběhu pece do provozního režimu a nutní technologické pauzy po tomto náběhu určené k dostatečnému prohřátí vnitřního prostoru pece před dalším zavezením vsázky do této pece.

Druhý úsek s tlumenými pecemi následuje ihned po prvním, tedy 17. 5. od 14:00 a trvá až do následujícího dne 18. 5. do 18:00. Během tohoto 28 hodin dochází k tlumenému provozu topných pecí BK9 a BK10. K poslednímu tlumení pak dochází 19. 5. od 06:00 do 18:00 toho samého dne, tedy opět na 12 hodin. V tomto případě jsou tlumeny pece BK1, BK2 a BK3 (f_0 , f_1 a f_2).

Důležité jsou také časy zapnutí topných pecí. Na rozdíl od neoptimalizovaného provozu z obr. 43, kdy jsou všechny topné pece po víkendové odstavce zapnuty ve stejnou dobu v neděli 16. 5. ve 02:00, jsou v případě optimalizovaného provozu pece zapínány v různých časových úsecích. Pece BK2, BK3, BK6, BK7, BK8 a BK9 jsou zapnuty také v 02:00, ale pece BK1, BK4 a BK10 jsou zapnuty s odstupem dalších 4 hodin, tedy až v 06:00 a pec BK5 je zapnuta až v 14:00. Stejně tak vypínání pecí probíhá odlišným způsobem, kdy topné pece BK6 a BK7 jsou zcela vypnuty již v pátek v 02:00 a ostatní topné pece pak zpracují zbylé vsázky.

Zmíněné rozdíly v provozních režimech topných pecí oproti neoptimalizovanému provozu vedou ke znatelné úspoře elektrické energie. Pokud vycházíme z průměrné spotřeby jedné topné pece 60kWh pak při neoptimalizovaném provozu je při denním plánu 1800 převodovek spotřeba za celý týden provozu 75MWh. Pokud dojde k optimalizaci pak výsledkem simulace je týdenní spotřeba 70MWh. Při použití optimalizačního algoritmu zapojeného do řízení kalírenské linky je tedy uvažovaná úspora, na základě výsledku simulace, přibližně 6% oproti stávajícímu způsobu řízení kalírenské linky KLUA01.

Výsledky simulace byly umožněny zapojením nově navrhovaných metod pro využití informací z produkce, navrhovanou úpravou naskladňování vsázek v rámci vstupního zásobníku a tím tak zrovnoměněním příchodu vsázek do kalírenské linky. Získal se tak potřebný předpoklad pro použití optimalizačního algoritmu, který, jak již bylo dříve zmíněno, bude, dle zadání této diplomové práce, dodán pracovníky katedry řídicí techniky a jehož výsledkem je právě graf z obr. 44.

6 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo navržení takové úpravy řízení kalírenské linky, aby došlo k úspoře spotřeby elektrické energie. V duchu strategie *Industry 4.0*, jejímž cílem je využití soudobé moderní technologie a komunikačních prostředků k dosažení optimálnějšího provozu stávajících výrobních zařízení bylo navrženo řešení pro kalírenskou linku umístěnou v montážní hale M1 vrchlabského závodu firmy Škoda Auto a.s. na výrobu automatické převodovky DQ200.

Aby mohl návrh vzniknout, bylo nutné, aby byla autorem diplomové práce dokonale pochopena problematika provozu kalírenské linky. Kromě původně zamýšlené úpravy řídicího systému kalírenské linky musel autor pojmout problém optimalizace obsírněji, nejenom z pohledu samotné kalírenské linky, ale z pohledu celého materiálového toku a zejména z pohledu spotřeby produkce kalírenské linky – montážní linky převodovky. Autorem diplomové práce tak byly provedeny měření spotřeby topných pecí kalírenské linky, časově náročný sběr a analýza dat výroby na této lince, ale také rozvaha nad celým systémem výroby a materiálového toku při produkci automatických převodovek. S pomocí vedoucího práce Ing. Přemysla Šůchy, Ph.D. z katedry řídicí techniky a jeho kolegy Ing. Istvána Módose, studentem doktorského studia této katedry pak byly navrženy úpravy nezbytné pro úpravu řízení kalírenské linky s uvážením veškerých uvedených problematik.

Návrh spočívá ve využití informací z výrobního úseku, které umožní při zapojení optimalizačního algoritmu, jež bude dodán katedrou řídicí techniky elektrotechnické fakulty ČVUT v Praze, energeticky šetrnější řízení kalírenské linky převodovkových hřídelí KLUA01. Byl navržen nový systém sběru těchto informací tak, aby bylo reálné jeho použití při co možná největším zachování stávající výrobní technologie a při maximálním využití stávajících komunikačních propojení, přesně dle zásad strategie *Industry 4.0*. Ze zmíněných produkčních informací se jedná zejména o informace o aktuálním denním plánu výroby, který je nutné dodržet, informace o aktuálním stavu dílů ve skladu před montážní linkou, který je nutné dodržet a monitorovat vzhledem k plánované výrobě na montážní lince a zbylých produkčních informací popsanych v této diplomové práci.

Úkolem autora diplomové práce bylo navrhnout reálný způsob sběru těchto dat a integrovat tyto informace do systému řízení a to sebou neslo nutnosti programových úprav jednotlivých řídicích systému dotčených zařízení. Kromě úprav na řídicím systému programovatelného automatu PLC samotné kalírenské linky došlo také k úpravám řídicích systému na pracovních stanicích montážní linky, centrální stanici VK1.0 na montážní lince a navržení sběru dat o dílech umístěných ve skladu před montážní linkou. Návrh obsahoval nový prvek čtecího zařízení, který znamená jedinou nutnou investici v celém návrhu úprav. Zde odstraněna věta o cenových nákladech na čtecí zařízení.

Dalším návrhem úpravy bylo již zmíněné řízení kalírenské linky, konkrétně úpravy systémů programovatelných automatů PLC řídicích dotčená zařízení kalírenské linky jako jsou topné pece BK či transportní zařízení ETS. Úpravy byly provedeny tak, aby bylo možné nově získané produkční informace zpracovávat, vyhodnocovat a umožnit změnu řízení topných pecí. K tomuto byl nově navržen provozní režim topných pecí stand-by, při kterém dochází k tlumení výkonu dotčené topné pece a výsledkem je tak nižší aktuální spotřeba topné pece. Aby mohly být režimy pecí přepínány mezi automatickým provozem a provozem stand-by navrhl autor úpravy v rámci hlavního řídicího systému kalírenské linky K100. Upravena byla logika řízení topných pecí, řízení vstupního skladu a nové komunikační rozhraní pro výměnu signálů s optimalizačním algoritmem s plánovanou instalací na operátorském PC v kalírenské lince umístěném. Toto operátorské PC bylo také dotčeno návrhem úprav a to z hlediska možnosti monitorování a ovládání optimalizovaného chodu pecí.

Při všech těchto úprav autor uplatnil své znalosti v oblasti programování PLC automatů a nově se také obeznámil s problematikou optimalizace ve výrobě a možnosti využití těchto PLC automatů při návrhu a provádění této optimalizace.

V neposlední řadě byly na základě nasbíraných dat provedeny Ing. Istvánem Módosem týdenní simulace provozu kalírenské linky KLUA01, ze kterých při optimalizovaném provozu vyplývá potenciál úspory přibližně 6% spotřebované elektrické energie. Při přesném vyčíslení finanční úspory pak hlavní roli hraje cena, za kterou je elektrická energie nakupována. Autorem této práce je predikována roční úspora v řádu statisíců korun českých. Potenciál úspor je pak vyšší při uvážení možnosti zapojení také druhé, vedle KLUA01 stojící identické kalírenské linky KLUA02, která je primárně určena pro zpracování ozubených kol a jejíž zapojení do optimalizované výroby by přineslo vyšší úsporu elektrické energie. Problematika synchronní optimalizace obou kalírenských linek již ale svým rozsahem vysoce přesahuje rámec této diplomové práce.

Potenciální úspora je také závislá na aktuální ceně elektřiny. Tato cena není konstantní a je v čase proměnná. Například dle údajů z webu www.kurzy.cz [11] byl propad ceny elektřiny od roku 2012 do roku 2016 téměř poloviční. Nyní cena elektřiny opět roste a v době psaní této práce je cena na hladině okolo 680 Kč/MWh. V případě růstu ceny energie by tak úspory díky navrhovanému řešení rostly úměrně s růstem cen elektřiny.

Je nutné zmínit, že autor také respektovat a bral v úvahu podmínku nikoliv pro vznik této diplomové práce, nýbrž pro případnou realizaci navrhovaných úprav a tou je návratnost investic, která je v rámci podniku Škoda Auto a.s. kalkulována na dva roky. Díky minimální nutnosti investic tak autor věří, že tato podmínka je splněna a v případě kladného vyhodnocení přínosů pro firmu Škoda Auto a.s., závod Vrchlabí lze návrh, tak jak je popsán v diplomové práci, realizovat.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *AEG Thyro-P Data Sheet*. [Online] Červen 2014. [Citace: 13. Duben 2016.] Dostupné z: <http://www.aeg-ups.cz/cz/download/1404042110/?at=1>.
- [2] *SIMATIC S7-300*. [Online] [Citace: 13. Duben 2016.] Dostupné z: <http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/advanced-controller/s7-300/pages/default.aspx>.
- [3] *SIMATIC Manager*. [Online] [Citace: 12. Duben 2016.] Dostupné z: <http://w3.siemens.com/mcms/simatic-controller-software/en/step7/step7-professional/pages/default.aspx>.
- [4] *PROFINET*. [Online] 22. Prosinec 2014. [Citace: 13. Duben 2016.] Dostupné z: <https://support.industry.siemens.com/cs/document/109478798/configuration-and-application-of-profinet-i-device-function?dti=0&lc=en-DE>.
- [5] *Getting started with iMAP*. [Online] Prosinec 2003. [Citace: 10. Duben 2016.] Dostupné z: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/688/18403688/att_75914/v1/Getsta_iMAP_e.pdf.
- [6] *FLUKE 1730 Energy logger Quick Reference guide*. [Online] Říjen 2013. [Citace: 11. Duben 2016.] Dostupné z: http://www.fluke.com/fluke_www/images/fluke/Web2_0/Common/download.
- [7] *Simatic CPU series S7-300 Data Sheet*. [Online] 2011. [Citace: 24. Duben 2016.] Dostupné z: http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/advanced-controller/s7-300/cpu/standard-cpus/Documents/brochure_simatic-controller_en-42_table.pdf.
- [8] *Datalogic POWERSCAN Data Sheet*. [Online] 2015. [Citace: 23. Duben 2016.] Dostupné z: <http://www.datalogic.com/tools/download.aspx?iddwnfile=14604&path=%2fupload%2fmarketlit%2fdatasheets%2fDS-POWER.pdf&name=PowerScan+PM8300+%7e+English+A4>.
- [9] *SICK CDF6000 Data Sheet*. [Online] 2014. [Citace: 23. Duben 2016.] Dostupné z: https://www.sick.com/media/dox/1/61/661/Operating_instructions_CDF600_0100_PROFIBUS_DP_Field_bus_module_en_IM0027661.PDF.
- [10] *SIMATIC CP 343-1 Lean Data Sheet*. [Online] 2013. [Citace: 23. Duben 2016.] Dostupné z: <http://w3.siemens.com/mcms/industrial-communication/en/ie/system-interfacing/simatic-s7-sinumerik-o/s7-300/pages/cp343-1lean.aspx>.
- [11] *Elektřina - aktuální a historické ceny elektřiny, graf vývoje ceny elektřiny*. [Online] 2016. [Citace: 25. květen 2016.] Dostupné z: <http://www.kurzy.cz/komodity/index.asp?A=5&idk=142&od=25.05.2012&do=24.5.2016&curr=CZK>