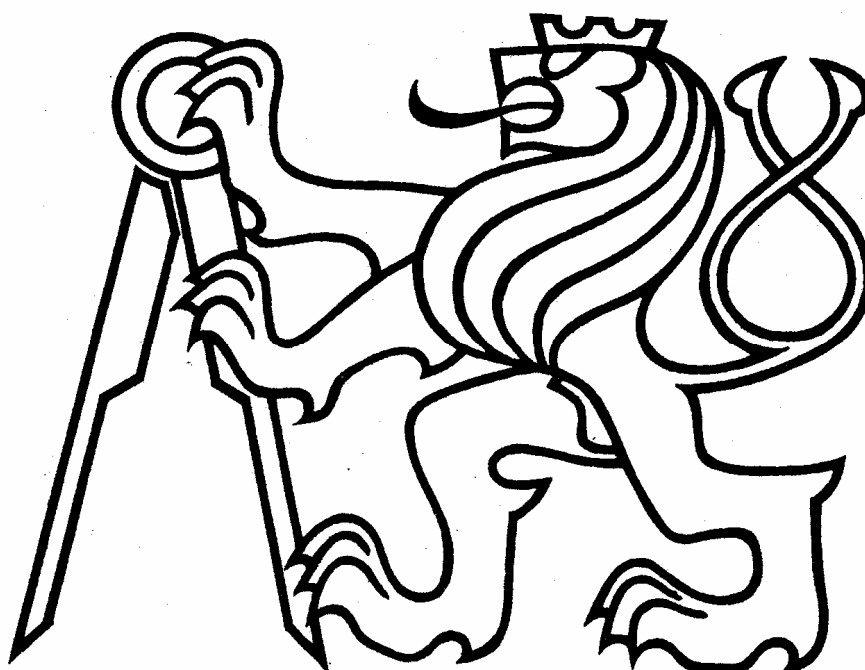


Bakalářská práce

Řídicí systém hlubinné kalící pece



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra řídicí techniky

2009

Josef Necid



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

Zaměření: Kybernetika a měření

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Josef Necid**

Studijní program: Elektrotechnika a informatika (bakalářský), strukturovaný
Obor: Kybernetika a měření

Název tématu: **Řídicí systém kalící hlubinné pece**

Pokyny pro vypracování:

1. Prostudujte si stávající systém řízení elektrické hlubinné pece určené pro zahřívání kovových obrobků dle dané teplotní křivky.
2. Vypracujte řídicí program pro programovatelný automat B&R řady X20, který bude řídit ohřev železných součástí v hlubinné peci při procesu kalení.
3. Navrhněte parametry PID regulátorů teplot v této peci.

Seznam odborné literatury:

Podklady dodá: atx - technická kancelář pro komplexní automatizaci s.r.o., Žďár nad Sázavou

Vedoucí: Ing. Richard Šusta, Ph.D.

Platnost zadání: do konce zimního semestru 2009/10

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry



12.
doc. Ing. Boris Šimák, CSc.
děkan

V Praze dne 27. 2. 2009

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW, atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Ve Frankově Zhořci dne: 4.6.2009

Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval zejména společnosti atx- technická kancelář pro komplexní automatizaci, která mě při zpracování materiálně i finančně podpořila, dále p. Ing. Šustovi za připomínky k obsahu práce.

V neposlední řadě děkuji své rodině, přátelům a kolegům za morální a psychickou podporu během celého studia.

Anotace

Předmětem této bakalářské práce je navrhnout hardware a implementovat software pro hlubinnou kalící (žíhací) pec pro systém Bernecker&Rainer X20. Porovnat navržené řešení s již použitým systémem B&R 2005 po funkční i ekonomické stránce.

Dále je předmětem práce návrh parametrů PID regulace.

Klíčová slova

Hlubinná kalící pec, X20, Bernecker&Rainer, PID regulátor, B&R2005

Abstract

The subjects of this bachelors work are designing hardware and implementation software for soaking hardening furnace with Bernecker&Rainer X20 system and comparing with the old B&R 2005 system in the function and economical factor. Next point of this work is concept parameters for PID regulation.

Keywords

Soaking hardening furnace, X20, Bernecker&Rainer, PID regulator, B&R2005



Obsah

1.	Úvod.....	12
2.	Popis technologického vybavení a procesu žíhání.....	13
2.1.	Hlubinná žíhací pec.....	13
2.1.1.	Technická specifikace pece.....	13
2.1.2.	Elektrická specifikace pece.....	14
2.1.3.	Struktura řídicího systému.....	14
2.1.4.	Komunikace první a druhé úrovně.....	15
2.2.	Tepelné zpracování slitin železa.....	15
2.2.1.	Žíhání	16
2.2.1.1.	Žíhání bez překrytí.....	16
2.2.1.2.	Žíhání s překrytím	18
3.	Programovatelný logický automat (PLC):	20
3.1.	Princip činnosti PLC.....	20
3.1.1.	Cyklus činnosti (PLC SCAN):.....	21
3.1.2.	Vlastnosti PLC v logickém řízení:	21
3.2.	Architektura PLC	21
3.3.	Režimy PLC.....	21
3.4.	Vzhled a popis PLC programů	22
4.	Řídicí systém	23
4.1.	Popis jednotlivých prvků systému	23
4.1.1.	Procesor (CPU).....	23
4.1.2.	Zdroj energie	23
4.1.3.	I/O moduly	23
4.1.4.	Komunikační moduly.....	24
4.1.5.	Další komponenty:	24
4.2.	Systém B&R 2005.....	25



4.3.	Systém B&R X20.....	25
4.3.1.	Parametry a vylepšení oproti systému 2005.....	26
4.3.1.1.	Parametry celého systému:.....	26
4.3.1.2.	Procesory (CPU):	26
4.3.1.3.	I/O moduly:.....	27
4.3.1.4.	Další vylepšení oproti systému 2005:.....	27
4.4.	Návrh nových komponent a jejich parametry.....	28
4.4.1.	CPU.....	28
4.4.2.	Karta digitálních vstupů.....	29
4.4.3.	Karta digitálních výstupů.....	29
4.4.4.	Karta analogových vstupů.....	30
4.4.5.	Karta analogových výstupů.....	30
4.4.6.	Karta teplotních vstupů.....	31
4.4.7.	Sběrníkový modul.....	31
4.4.8.	Zdroj napětí	32
5.	<i>Ekonomický rozbor</i>	33
5.1.	Srovnání cen HW systému.....	33
6.	<i>Návrh řídicího systému</i>	36
6.1.	Popis běhu hlubinné pece	36
6.1.1.	Teplotní křivka	36
6.1.2.	Start pece.....	39
6.1.3.	Test spirál.....	39
6.1.4.	Regulace teploty v peci.....	39
6.1.5.	Hlídání teploty v peci	39
6.1.6.	Blokovací podmínky v peci.....	41
6.1.7.	Poruchové stavy.....	42
6.2.	Regulace technologického procesu	42



6.2.1.	Návrh parametrů pro žhací pec.....	44
6.2.1.1.	Odezva pece na jednotkový skok vstupní veličiny	44
6.2.1.2.	Návrh parametrů PID regulátoru	46
6.2.1.3.	Vlastní návrh parametrů.....	46
6.3.	Popis implementovaného softwaru	49
6.3.1.	Hardwarová konfigurace.....	49
6.3.2.	Implementace samotného softwaru	50
6.3.2.1.	cyklus „start“	51
6.3.2.2.	cyklus „energie“	52
6.3.2.3.	cyklus „cas“.....	52
6.3.2.4.	cyklus „termo“.....	52
6.3.2.5.	cyklus „krivka“.....	52
6.3.2.6.	cyklus „zazeh“	52
6.3.3.	Testování software	53
6.4.	Porovnání nového a původního softwaru.....	53
7.	<i>Závěr</i>	55
8.	<i>Literatura</i>	56

Seznam obrázků

<i>Obrázek 2-1 Pohled do hlubinné pece</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 2-2 Pohled na rozvadeč REALISTIC.....</i>	<i>14</i>
<i>Obrázek 4-1 Elfistor</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 4-2 Modul CPU systému 2005 (vlevo) a decentralizovaná deska systému X20 s CPU a napájecím zdrojem.....</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 4-3 Modulární uspořádání systému zajišťující jednoduchou instalaci.....</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 4-4 3 vodičové Obrázek 4-5 2 vodičové Obrázek 4-6 1 vodičkové zapojení</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 4-7 Modul nově navrhovaného CPU.....</i>	<i>28</i>
<i>Obrázek 4-8 Modul digitálních vstupů</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 4-9 Modul digitálních výstupů.....</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 4-10 Modul analogových vstupů</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 4-11 Modul analogových výstupů.....</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 4-12 Modul teplotních vstupů.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 4-13 Modul pro rozšíření CPU pro komunikaci po sběrnici RS-485/232.....</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 4-14 Modul zdroje napětí.....</i>	<i>32</i>
<i>Obrázek 6-1 Teplotní křivka žádané a regulované teploty</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 6-2 Diagram běhu pece.....</i>	<i>38</i>
<i>Obrázek 6-3 Diagram startovací sekvence pece</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 6-4 Diagram kontroly blokovacích podmínek.....</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 6-5 Porovnání průběhu naměřených hodnot a systému s odhadnutou soustavou</i>	<i>45</i>
<i>Obrázek 6-6 Porovnání odezvy systémů s původním a novým regulátorem na rampu.....</i>	<i>48</i>
<i>Obrázek 6-7 Odezva uzavřené smyčky na referenci na vstupu</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 6-8 Podokno s HW konfigurací.....</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 6-9 Nastavení adres vstupů a výstupů na kombinované I/O kartě.....</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 6-10 Pohled na inicializační a cyklickou část programu.....</i>	<i>51</i>

Seznam tabulek

<i>Tabulka 4-1 HW konfigurace systému 2005</i>	<i>25</i>
<i>Tabulka 5-1 Finanční náklady na systém 2005.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabulka 5-2 Finanční náklady na systém X20 s kombinovanými moduly</i>	<i>34</i>
<i>Tabulka 5-3 Finanční náklady na systém X20 s klasickými I/O moduly</i>	<i>34</i>
<i>Tabulka 5-4 Finanční náklady na systém S7-300</i>	<i>34</i>

1. Úvod

Předmětem této bakalářské práce je vytvořit řídicí systém hlubinné žíhací (kalící) pece, navrhnout regulaci teploty a porovnat navržený systém se stávajícím. Jedná se o elektrickou hlubinnou pec určenou pro zahřívání kovových obrobků dle dané teplotní křivky. Pec je rozdělena do šesti sekcí, teplota každé sekce je snímána termočlánky a řízena PID regulátory. V následujících částech práce se budu věnovat jak samotnému principu žíhání, popisu pece, tak návrhu nového systému řízení včetně algoritmů určení a nastavení parametrů regulace pro celý systém.

2. Popis technologického vybavení a procesu žíhání

V této části provedu technologický popis žíhací pece, její elektrickou specifikaci a popíšu druhy žíhání.

2.1. Hlubinná žíhací pec

Podrobnější informace ohledně hlubinné žíhací pece jsou v [1],[2].

2.1.1. Technická specifikace pece

Elektrická hlubinná pec je určena k žíhání vsazeného materiálu do teploty 1100°C. Proces se provádí dle zadané žíhací křivky ve tvaru gradient, teplota, prodleva, která je zadávána z operátorského stanoviště pomocí PC. Celé zařízení má 2 základní části. Horní vrata (víko) pece a samotný žíhací prostor-pec. Pec je rozdělena do 6-ti nad sebou umístěných částí, a každá část je vytápěna 3-mi odporovými spirálami po obvodu pece. Teplota v peci je regulována řízením 3-fázového polovodičového prvku Elfistoru a aktuální teplota v peci je měřena pomocí 6-ti termočlánků, po jednom v každé části pece. Teplotních křivek může být v programu uloženo několik, ovšem funkční bude vždy pouze poslední přidaná do řídicího systému.

Technické parametry pece:

- Výška kostry: **9387 mm**
- Šířka kostry: **1950 mm**
- Výška víka: **377 mm**
- Celková hmotnost zařízení: **> 10 tun**

Celý technický výkres viz [4]



Obrázek 2-1 Pohled do hlubinné pece

2.1.2. Elektrická specifikace pece

Hlavní rozvaděč REALISTIC je napájen ze sítě 230 ACV, jističen hlavním jističem 16 A. V tomto rozvaděči je zapojeno veškeré přístrojové vybavení pro realizaci funkce pece (PLC, Vstupní i výstupní karty atd.)



Obrázek 2-2 Pohled na rozvaděč REALISTIC

2.1.3. *Struktura řídicího systému*

Řídicí systém je dvouúrovňový:

- První úroveň řízení

je tvořena pomocí programovatelného PLC (viz kapitola 3) firmy Berneker&Rainer 2005. Tento automat zajišťuje automatické řízení pece, komunikaci s druhou úrovní a kontroluje stav technologie. Jeho umístění je v rozvaděči.

- **Druhá úroveň řízení**

je realizována pomocí osobního počítače firmy DELL, sloužící jako vizualizace technologického procesu. PC DELL slouží zároveň jako kontaktní místo operátor-technologie pece. Vizualizace slouží k zobrazení stavu technologie, zadávání a uchovávání dat pro řízení.

2.1.4. Komunikace první a druhé úrovně

Probíhá pomocí sériového protokolu realizovaného kroucenou dvojlinkou na normě RS485.

2.2. Tepelné zpracování slitin železa

Tepelné zpracování, nejenom slitin železa, je proces, při kterém se za pomoci účinků tepelné energie na strukturu materiálu tato struktura mění. Řízeným tepelným zpracováním se potom rozumí technologický proces, kdy se zároveň se strukturou mění k lepšímu i vlastnosti zpracovávaného produktu. Samostatné průběhy zpracování se liší podle použité technologie a požadovaných výsledných vlastností. Průběh tepelného zpracování využívá řízené změny teploty, změny chemického složení povrchových vrstev při změně teploty anebo změnu výsledků plastické deformace při změně teploty. Vlastní technologie zohledňují i konkrétní velikost a tvar zpracovávané součásti, požadavky na kvalitu povrchu, rozměrovou a tvarovou stabilitu. V průběhu tepelného zpracování dochází ke změně vnitřního pnutí, které může dosáhnout takových hodnot, při kterých vznikají v produktu trhliny a plastické deformace. Mezi nejdůležitější způsoby tepelného zpracování se řadí žíhání (cílem je dosažení rovnovážného stavu struktury) a kalení (vzniká silně nerovnovážený stav struktury).

Více informací o vlastnostech slitin železa a všech způsobech jejich tepelných úprav je v **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů..** Dále se vzhledem k náplni práce budu zabývat pouze žíháním.



2.2.1. Žihání

2.2.1.1. Žihání bez překrytalizace

Jedná se o způsob žihání u polymorfních¹ ocelí pod hodnotou teploty, při které dochází k strukturálním změnám. Při žihání nepolymorfních vysoce legovaných² ocelí se vždy jedná o žihání bez překrytalizace.

S rostoucí teplotou probíhá v slitinách železa rozpouštění karbidů a dalších vytvrzujících fází ve feritu³ nebo v jejich austenitu⁴.

Žihání na snížení pnutí :

Provádí se vždy s cílem snížit nebo úplně odstranit konečné pnutí, vniklé ve výrobcích předchozím zpracováním jako důsledek místního ohřevu, tváření za studena, rozsáhlého třískového opracování nebo nerovnoměrného ochlazování výrobků složitějších tvarů nebo větších rozměrů.

Tento druh žihání se provádí za teplot v okolí 500 až 650 °C. Při teplotách v rozmezí 600 až 650°C postačuje prodleva při žihání v délce 1 až 2 hodiny. Aby při ochlazování nevznikalo nové vnitřní pnutí, je zapotřebí, aby ochlazování probíhalo pozvolně v peci do teploty v okolí 300°C (150-400°C) podle velikosti a tvárnosti výrobku.

Rekrystalizační žihání:

Slouží k odstranění deformačního zpevnění, dosaženého tvářením probíhajícím za studena. Při tomto způsobu žihání se žihací teploty volí v intervalu 550-700°C u polymorfních ocelí, u nepolymorfních ocelí při teplotách mezi 800 až 1100°C podle dalšího druhu oceli. Prodleva se pohybuje od 1 do 5 hodin. Žihání se provádí za účelem zjemnění zrna.

¹ Ferit se nachází ve smíšené struktuře **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

² Ocel s obsahem nad 5% legovacích prvků (Mn, Si a další) **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

³ Oceli s obsahem mezi 13 a 30% Cr **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

⁴ Tuhý roztok uhlíku v železe **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

Žihání na měkko:

Provádí se kvůli snížení tvrdosti a obrobitelnosti oceli. Oceli se žihají v oblasti teplot 600-800°C po dobu ne kratší než 4 hodiny, po tomto následuje pomalé ochlazení v peci.

Protivločkové žihání:

Tento typ žihání se používá zpravidla u ocelových polotovarů, náchylných ke vzniku vloček (vnitřní trhliny přibližně kruhového tvaru, vznikající v těžkých odlitcích jako důsledek zvýšeného obsahu vodíku při ochlazování ocele), jako jejich prevence. Při odlévání nesmí teplota výrazně klesnout pod teplotu austenitické přeměny ocele a poté se polotovar vloží do pece, kde nastává velmi pomalé ochlazování (cca 5°C za hodinu), popřípadě se zařazuje prodleva o délce až tisíců hodin při teplotě 600-680°C. Při tomto procesu přebytečný vodík uniká difúzí.

Žihání pro odstranění křehkosti po moření:

Při odstraňování okují pomocí moření dochází k uvolňování vodíku, který poté difunduje do odlitku, což má za následek zkřehnutí materiálu. Difúze vodíku je ale omezená, proto lze tento vodík odstranit žiháním již při teplotách pohybujících se v rozmezí 300-500°C po dobu do 4 hodin.

Rozpouštěcí žihání:

Používá se u nepolymorfních ocelí za účelem rozpuštění minoritních fází (karbidy, nitridy). Ochlazovací rychlosti se určují tak, aby nedocházelo k opětovnému vyloučení těchto fází a zůstala tedy zachována homogenní struktura. Tato struktura si musí zároveň ponechat svoje ústřední vlastnosti jako houževnatost, tvárnost, odolnost proti korozi. Žihací teploty dosahují až hodnot okolo 1100°C a ochlazování probíhá za účasti proudícího vzduchu nebo olejovou, popřípadě vodní lázní. Způsob ochlazování závisí na velikosti a členitosti polotovaru.

2.2.1.2. Žihání s překrytí

Při tomto způsobu žihání dochází k úplné nebo téměř úplné přeměně výchozí feriticko-cementické¹ struktury v austenit.

Homogenizační žihání:

Provádí se za účelem zmenšení chemické homogenity, vznikající při tuhnutí odlitků.

Lokální změny se provádí zpravidla difúzí závislé na parametru $p = D_i t L^{-2}$ (D_i - difúzní koeficient prvku i , jehož hodnota výrazně závisí na době žihání, t - doba žihání, $2L$ - zpravidla vzdálenost dendritických² větví). Teploty při tomto žihání jsou velmi vysoké, zpravidla 1100-1250°C a prodleva na této teplotě je proměnná podle hrubosti zrna od 5 do 15 hodin. Tímto žiháním lze účinně snížit dendritickou segregaci³.

Dlouhodobý vysokoteplotní ohřev dále vede k oxidaci, oduhličení a zhrubnutí austenitických zrn. Jejich následného zjemnění se dosahuje tvářením za tepla a následnou rekrytí a normalizací (viz dále).

Normalizační žihání (normalizace):

Provádí se za účelem zjemnění austenitického zrna a zrovnoměnění sekundární struktury materiálu. Je vhodné pro uhlíkové a nízkolegované oceli. Normalizací procházejí zpravidla výkovky, svařované předměty a odlitky.

U padeutektoidních⁴ ocelí se provádí ohřev 30-50°C nad teplotu A3 a následné ochlazení na klidném vzduchu nebo pozvolným ochlazováním v peci. Tento postup zabezpečuje nízkou úroveň vnitřních pnutí. Volbou rychlosti ochlazování lze rozpadem austenitu získat při malém přechlazení struktury hrubší, tvárnější, měkčí anebo při větším přechlazení, struktury jemnější, pevnější a tvrdší.

U nadeutektoidních ocelí se normalizační žihání provádí výjimečně.

¹ Karbid železa **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

² Větvící se stromová struktura

³ Distribuční křivka prvku v kovu **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

⁴ Ocel s menším než 2% obsahem uhlíku **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

Izotermické žíhání:

Spočívá v rychlém ochlazení austenitové oceli na teplotu izotermického rozpadu austenitu v oblasti perlitické¹ přeměny. Aplikace tohoto žíhání vede ke zlepšení obrobiteľnosti a jakosti obráběného povrchu za současného zkrácení doby tepelného zpracování. Za izotermické žíhání lze považovat i patentování drátů, kterým se dosahuje ideální kombinace pevnosti a plasticity, nutné k tažení drátů za studena. Teplota lázně bývá okolo 500°C a konečnou strukturou je mimořádně jemný perlit.

Kombinované žíhání:

Posledním druhem žíhání je žíhání kombinované. Skládá se zpravidla z normalizačního žíhání a bezprostředně následujícího žíhání bez překrytí, kterým může být žíhání na měkko nebo žíhání ke snížení pnutí. Používá se často u uhlíkových a legovaných ocelí místo žíhání s ochlazováním v peci.

¹ Přeměna podchlazeného austenitu **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

3. Programovatelný logický automat (PLC):

Programovatelný logický automat (PLC-Programable Logic Controller) je podle [7] malý průmyslový počítač používaný pro real-timeovou¹ automatizaci a řízení procesů, strojů nebo výrobních linek. Jeho charakteristickým znakem je vykonávání procesu v cyklech.

PLC automaty se neodlišují od klasických počítačů pouze způsobem vykonávání programu, ale též i přizpůsobením pro přímé napojení na technologické procesy. Základní periférie tvoří z převážné části digitální vstupy DI a digitální výstupy DO, ale také analogové vstupy AI a analogové výstupy AO pro napojení a zpracování informací a spojitých signálů přímo z technologie. Jako další periférie se k PLC připojují funkční bloky, například pro komunikační procesory pro přenos dat, a mnohé další, specifické pro konkrétního výrobce.

Konstrukčně lze PLC zařadit do skupiny **kompaktních** a **modulárních** systémů. **Kompaktní systém** v jednom modulu obsahuje CPU, digitální a analogové vstupy, výstupy, základní podporu komunikace a v některých případech i zdroj. Jejich rozšiřitelnost je ovšem omezena.

Modulární systém obsahuje komponenty rozdělené do částí-modulů. Celý systém PLC je potom složen z modulů zdroje, CPU, I/O modulů a funkčních modulů. Modulární systémy je možno rozšiřovat v nepoměrně větším rozsahu, než kompaktní systémy.

3.1. Princip činnosti PLC

Kvůli nárokům na vysokou bezpečnost provozu se musí práce PLC odlišovat od klasického PC. Při řízení technického procesu nelze akceptovat zejména časové požadavky klasického PC při startu (náběh OS, spuštění programů atd.) proto se pro řízení procesu používají systémy speciálně vyvinuté, schopné práce několik okamžiků po svém zapnutí, ať již plánovaným nebo po výpadku napájení. Ten samý požadavek na časovou prodlevu je i v detekci poruchy paměti, kdy je potřeba o tomto problému vědět hned a ne v době, kdy je tato paměť potřebná.

¹ Proces probíhající v reálném čase

PLC program se vykonává periodicky, kde se na vstupně/výstupní rozhraní (dále i jako I/O) nepřistupuje přímo, ale zpracovává se obraz dat uložený ve dvou pamětech (obrazy vstupů a výstupů). Více o PLC viz [5].

3.1.1. Cyklus činnosti (PLC SCAN):

- **Vzorkování vstupů:** načtení hodnot vstupů do paměti obrazu vstupů
- **Výpočet programu:** vykonání celého programu, výpočet nových hodnot výstupů a jejich uložení do paměti
- **Zápis výstupů:** zápis obrazu výstupů do výstupních modulů

3.1.2. Vlastnosti PLC v logickém řízení:

- Program se vykoná vždy celý při jednom PLC scanu
- Program lze v kterémkoliv kroku přerušit a znovu spustit
- Možnost řešení jen programu odpovídajícího vzorkovacímu teorému¹

3.2. Architektura PLC

Při přístupu do paměti PLC lze postupovat pouze připojením přes externí počítač, připojený přes komunikační linky, což je výhodné při často těžko dostupném umístění PLC.

Operační paměti PLC lze v porovnání s pamětmi typického PC označit za malé, ovšem vzhledem k tomu, že se v operační paměti zpracovává výhradně běh programu z hodnot vstupů technologického procesu bez GUI apod., jsou tyto paměti dostačující.

Pro komunikaci s PLC se využívá několika způsobů přístupu, vycházejících zpravidla ze standartu RS232 a RS485, který využívají různé firemní standarty typu Profibus, DeviceNet apod.

3.3. Režimy PLC

- **RUN-** probíhá celý proces klasického PLC scanu, včetně zásahů do technologie

¹ $f_{vz} \geq 2f_{max}$, vztah maximální frekvence signálu a vzorkovací frekvence pro zachování informace ve vzorku

- **STOP-** neběží uživatelské programy, režim se používá zpravidla pro nahrávání nové verze programu apod.
- **TEST-** není u všech automatů, vykonává se celý program z načtených vstupů, ovšem bez ovlivnění hodnoty reálných výstupů- mění se pouze hodnoty obrazu výstupů v programu- běh bez zápisu výstupů

3.4. Vzhled a popis PLC programů

PLC programy se vyznačují svými odlišnými rysy oproti klasickým programovacím jazykům (Java, C).

PLC programy jsou psány různými jazyky, dbající na jednoduchost a čitelnost. I jednoduchý proces řízení však může obsahovat desítky až stovky řídicích signálů a k tomu je nutná přehlednost a jednoduchost programu taková, aby jí porozuměli i lidé z odvětví, pro které je program určen.

K programování se používají typy jazyků využívající systémy:

- **strojový kód-** každý výrobce má vlastní
- **žebříčkové diagramy (ladder diagramy)-** programování systémem reléových diagramů
- **logické diagramy-** popis ve stylu logických obvodů
- **popis funkce formou technologického schématu**
- **vyšší programovací jazyky, postavené na bázi Pascalu**
- a mnoho dalších

Běh programu samozřejmě nemusí být lineární, jak by se na první pohled mohlo zdát. Při běhu programu často dochází k požadavkům na vykonání různých prioritně důležitějších nebo pomocných podprogramů, funkcí a bloků. K obsluze těchto událostí se využívá skokových a návratových sekvencí, zajišťujících provedení dané funkce nebo bloku v požadovaném okamžiku.

4. Řídicí systém

V této části navrhnu nový řídicí systém, který nahradí původní systém 2005. Nový řídicí systém pro řízení hlubinné kalící pece je, stejně jako předchozí systém, od společnosti B&R automation. Celý řídicí systém se skládá z několika prvků jejichž funkční popis je uveden v následující části.

4.1. Popis jednotlivých prvků systému

Jednotlivé prvky se od sebe liší svojí funkcí a možnostmi. Správné sestavení těchto prvků je důležité pro chod a případné další rozšíření systému. Podrobnější informace k níže uvedeným komponentám viz [12].

4.1.1. Procesor (CPU)

Je to funkční jádro celého systému, zajišťuje vykonávání programu, obsluhu přerušení a obsluhu modulů I/O. Je montován zpravidla na lištu v hlavním rozvaděči. Ve většině případů jsou uzpůsobeny pro komunikaci po sběrnici s decentralizovaným systémem a pro komunikaci s PC uživatele (programátora, obsluhy).

4.1.2. Zdroj energie

Tyto zdroje slouží k napájení všech komponent systému požadovaným napětím (zpravidla 24 VDC). Jsou vyráběny v několika variacích podle potřeby napájení, jak pro samotné CPU a moduly přímo k němu připojené, tak i pro moduly decentralizované, popřípadě i pro jiné součásti technologie, nepřímou související se systémem řízení.

4.1.3. I/O moduly

Slouží pro přenos informace mezi CPU a samotným technologickým procesem. Díky standardizovaným rozsahům je jednoduché předat pomocí senzorů, teploměrů a jiných prvků informaci automatu. Ten po jejich vyhodnocení opět pomocí I/O modulu předá na výstupy požadované akční zásahy do technologie.

4.1.4. Komunikační moduly

Používají se pro zajištění komunikace mezi dvojící zařízení. Jedná se komponenty pro sběrnice RS485, RS232, Profibus, Ethernet a jiné.

4.1.5. Další komponenty:

Tyto komponenty nejsou přímou součástí řídicího systému, ale jsou nezbytné pro funkci technologie jako celku.

Elfistory:

Jedná se o polovodičovou spínací součástku pro bezztrátové spínání. Jejímí přednostmi jsou velká životnost a odolnost proti rušení. Principiálně se jedná o dva antiparalelně zapojené tyristory řízené pomocí citlivého detektoru spínání. Spínání je ovládáno mikroprocesorem. K sepnutí dochází už při nepatrném napětí na řídicím prvku. K řízení technologického procesu žíhání je použito šesti elfistorů. O elfistorech více v [11].

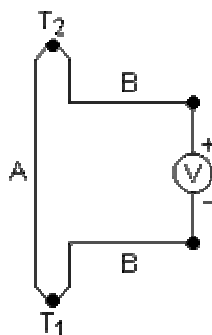


Obrázek 4-1Elfistor

Termočlánky :

Jsou to zdroje elektrického napětí vznikajícího na základě termoelektrického jevu¹. Termočlánek typu K, použitý v hlubinné peci, je kombinací chromu a hliníku (chromel-alumelový článek). Jeho teplotní rozsah je -200 až 1250°C při změně napětí 40,8 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. V hlubinné peci je použito 6 termočlánků s přesností určení teploty 0,1°C .

¹ Termoelektrický jev byl náhodně objeven v roce 1821, kdy německý Thomas J. Seebeck zjistil přítomnost elektrického napětí na koncích kovové tyčky, mezi kterými byl teplotní rozdíl.



Obrázek 4-2 Schéma funkce termočláčku

4.2. Systém B&R 2005

Systém B&R 2005 vyvinutý společností Berneker&Rainer je kompaktnější a výkonnější než předchozí systém B&R 2003, kde je vidět posun v oblasti výkonu zejména u procesorových jednotek, které mají větší frekvenci a paměť.

Druh komponenty	Název	Počet	Vstupy, výstupy
Zdroj napětí	PS485	1	
CPU modul	CP153	1	
Digitální vstupy	DI476	2	32
Digitální výstupy	DO479	1	16
Analog. vstupy	AI775	1	8
Analog. výstupy	AO350	1	8
Termočl. vstupy	AT660	1	8

Tabulka 4-1 HW konfigurace systému 2005

Požadavky na HW systému (vstupy, výstupy) zůstávají i pro novou verzi na systému X20 totožné.

4.3. Systém B&R X20

Systém B&R X20 byl uveden na trh na podzim roku 2004, a jako celek systém zaujal hned několika novinkami, které zjednodušují práci se systémy tohoto typu, a zároveň jsou šetrné jak k finančním zdrojům tak k nárokům na prostor. V návrhu nového systému jsou uvedeny nejen parametry systému, ale i vylepšení oproti systému 2005. Vše o systému X20 naleznete v [12].

4.3.1. Parametry a vylepšení oproti systému 2005

Rozbor nejdůležitějších parametrů a vylepšení nově navrhovaného systému X20 oproti již používanému systému 2005.

4.3.1.1. Parametry celého systému:

- nová nosná decentralizovaná deska „X2X-Link“
- možnost seřazení až 250 modulů vedle sebe (až 3000 I/O kanálů)
- vzdálenost mezi moduly až 100 m
- mnoho typů podporovaných sběrnic (Profibus-DP, DeviceNet, Ethernet-Powerlink¹)
- dvojnásobný počet I/O kanálů při stejné šířce komponent
- možnost centralizovaného, decentralizovaného i kombinovaného propojení



Obrázek 4-2 Modul CPU systému 2005 (vlevo) a decentralizovaná deska systému X20 s CPU a napájecím zdrojem

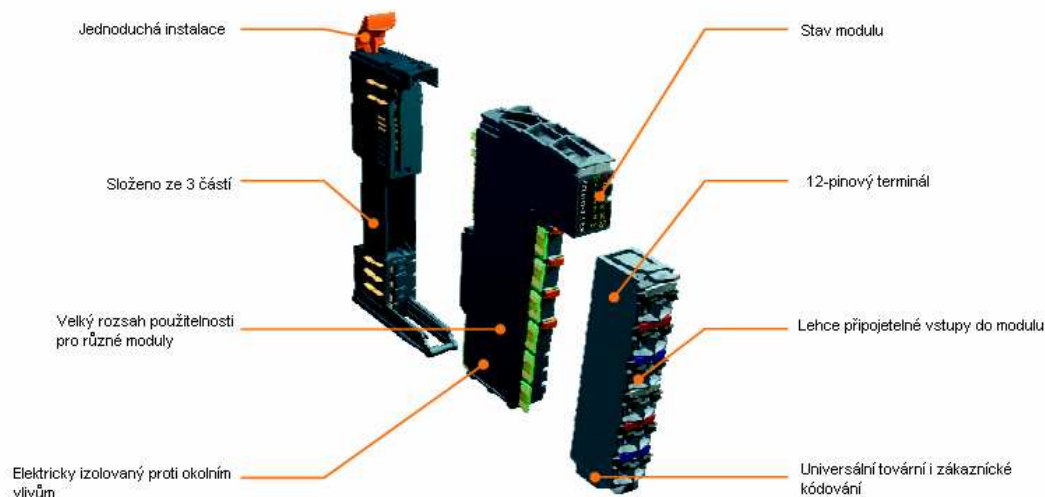
4.3.1.2. Procesory (CPU):

- procesor Celeron
- několik variant podle náročnosti na výpočetní výkon
- 2x rozhraní USB, Ethernet
- možnost připojení modulu jak přímo na desku k CPU nebo decentralizovaně
- možnost doplnění až o 3 komunikační moduly
- kompatibilní se staršími CPU-přenositelnost programu
- nejkratší doba cyklu až 200 μ s

¹ Průmyslové sběrnice vyvinuté nezávisle na systému X20

4.3.1.3. I/O moduly:

- nově modul DI2551 pro připojení až 250 VAC¹
- kombinovaný modul 8xDI +4xDO
- kombinovaný modul 4xDI+2xDO+1xAI+1xAO+2x čítač

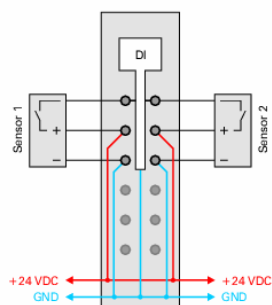


Obrázek 4-3 Modulární uspořádání systému zajišťující jednoduchou instalaci

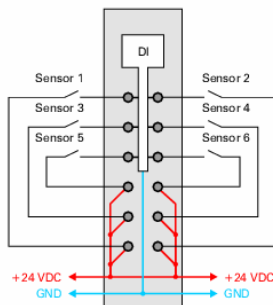
4.3.1.4. Další vylepšení oproti systému 2005:

Možnost několika druhů připojení senzorů:

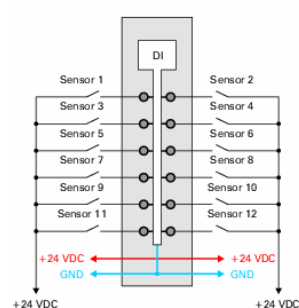
- 1 vodičové
- 2 vodičové
- 3 vodičové



Obrázek 4-4 3 vodičové



Obrázek 4-5 2 vodičové



Obrázek 4-6 1 vodičkové zapojení

¹ Střídavé napětí

Mezi mnoho dalších vylepšení patří automatická teplotní kompenzace teplotních vstupů od termočlánků a měřících čidel, možnosti využívat širokou škálu průmyslových sběrnic, včetně nově vyvinutého otevřeného **ETHERNET POWERLINK** standardu.

4.4. Návrh nových komponent a jejich parametry

Při návrhu jsem uvažoval mimo požadavků na možnosti použitého HW i požadavky na výkon CPU a cenu pro konečného zákazníka. Počty vstupů, výstupů jsem zachoval totožné se systémem 2005, viz 4.2. Parametry konkrétních komponent jsou převzaty z [12].

4.4.1. CPU

CPU jsem navrhl podle parametrů programu tak, aby mělo potřebný výpočetní výkon, poskytovalo možnosti pro eventuální rozšíření, ale zároveň nebylo zbytečně předdimenzované. Návrh jsem provedl z hodnot náročnosti programu na paměť původního programu pro systém 2005.

Technické parametry:



<i>Model:</i>	X20CP0201
<i>Paměť:</i>	100 KB SRAM, 1 MB FlashPROM
<i>Čas cyklu:</i>	0.8 μ s
<i>Rozhraní:</i>	RS-232
<i>Příkon:</i>	2,2 W
<i>Počet:</i>	1

Obrázek 4-7 Modul nově navrhovaného CPU

4.4.2. Karta digitálních vstupů

Digitální vstupy snímají hodnoty binárních vstupů systému z technologie. Volil jsem modul s největším možným dostupným počtem vstupů. Celkově nakonec bude digitálních vstupů 36, což je více než původních 32. Pro digitální vstupy a výstupy lze použít i kombinované moduly např. X20DM9324, které obsahují jak digitální vstupy, tak i jejich výstupy. Jejich použití je podle 5.1 ekonomicky dokonce výhodnější oproti klasickému řešení, avšak z hlediska názornosti jsou zde vstupy a výstupy popsány jednotlivě.



Technické parametry:

<i>Model:</i>	X20DI9371
<i>Vstupů:</i>	12
<i>Příkon:</i>	cca 2 W
<i>Počet:</i>	3

Obrázek 4-8 Modul digitálních vstupů

4.4.3. Karta digitálních výstupů

Digitální výstupy předávají technologii pro ni potřebné hodnoty binárních proměnných. Složí hlavně ke spínání a signalizaci stavů technologie.



Technické parametry:

<i>Model:</i>	X20DO4321
<i>Výstupů:</i>	4
<i>Příkon:</i>	cca 0,6 W
<i>Počet:</i>	4

Obrázek 4-9 Modul digitálních výstupů

4.4.4. Karta analogových vstupů

Tento modul snímá spojité signály z technologie a předává je ke zpracování CPU. Zvolil jsem tento model, protože obsahuje největší počet vstupů na jedné kartě z dostupných komponent.



Technické parametry:

Model: X20AI4632

Vstupů: 4

Příkon: 1,5 W

Rozlišení: 12 bitů

Počet: 2

Obrázek 4-10 Modul analogových vstupů

4.4.5. Karta analogových výstupů

Modul předává analogové hodnoty zpracované pomocí CPU zpět do technologie. Pomocí analogových výstupů se provádí spojitá regulace a řízení.



Technické parametry:

Model: X20AOI4622

Výstupů: 4

Příkon: 1,5 W

Rozlišení: 12 bitů

Počet: 2

Obrázek 4-11 Modul analogových výstupů

4.4.6. Karta teplotních vstupů

Modul určený pro předání přesných hodnot ze snímačů teploty do CPU. Volil jsem kartu o 6 vstupech, protože se nepředpokládá rozšíření systému o další teplotní vstupy.



Technické parametry:

<i>Model:</i>	X20AT6402
<i>Vstupů:</i>	6
<i>Příkon:</i>	cca 1 W
<i>Termočl. typ</i>	J, K, N, S
<i>Rozlišení:</i>	16 bitů
<i>Počet:</i>	1

Obrázek 4-12 Modul teplotních vstupů

4.4.7. Sběrníkový modul

Slouží k rozšíření možností komunikace po průmyslových sběrnících pro CPU. Tento modul je zde kvůli zachování komunikace mezi vizualizací a CPU systémem.



Technické parametry:

<i>Model:</i>	X20CS1030
<i>Interface:</i>	1x RS 485/232
<i>Příkon:</i>	cca 1,5 W
<i>Dosah:</i>	1200 m
<i>Počet:</i>	1

Obrázek 4-13 Modul pro rozšíření CPU pro komunikaci po sběrnici RS-485/232

4.4.8. Zdroj napětí

Zdroj napětí jsem zvolil tak, aby výkonově pokryl celou potřebu modulů a zároveň byl dostatečně výkonný pro možné inovace a změny. Celkový potřebný příkon všech modulů je cca 21 W, zvolený modul o výkonu 50W plně dostačuje pro pokrytí napájení všech modulů i možné další inovace.



Technické parametry:

<i>Model:</i>	X20PS2110
<i>Výkon:</i>	50 W
<i>Příkon:</i>	cca 1 W
<i>Počet:</i>	1

Obrázek 4-14 Modul zdroje napětí

5. Ekonomický rozbor

Systém, který jsme navrhli v bodě 4.4. podrobíme ekonomickému rozboru a porovnání s původním systémem.

Porovnávaná oblast obsahuje pouze náklady na nové hardwarové vybavení rozvaděče, nikoliv vývoj nového software (doba vývoje nového SW je totožná s dobou vývoje software pro systém 2005). Dále neuvažují náklady na přeškolení personálu, protože z uživatelského hlediska zůstává systém totožný. Porovnání provádím dle aktuálních ceníků ke dni 24.4.2009. Při výpočtu kusů jednotlivých komponent jsem vycházel z parametrů komponent systému 2005 uvedených v 4.2

5.1. Srovnání cen HW systému

Srovnání provádím podle aktuálního ceníku společnosti B&R automation a z hodnocení vynechám finanční náklady na HW minoritních dodavatelů (kabely, dutinky apod.), který budu považovat za totožný pro oba systémy. Porovnávám všechny komponenty, v nichž se systém X20 liší od původního systému 2005 ve dvou verzích-s kombinovanými moduly obsahující jak vstupy a výstupy na jedné kartě, tak také klasické uspořádání, kde jsou karty vstupů a výstupů odděleny. Dále uvádím cenu tohoto systému, při jeho HW konfiguraci od společnosti Siemens. U ceny komponent společnosti Siemens vycházím z ceníkových cen uvedených v Eurech, přepočítaných aktuálním středovým kurzem ke dni 24.4.2009: 1 Euro= 26,84 Kč

Hlubinná kalící pec, systém 2005				
Obj. číslo:	Popis:	Cena:	Počet	Celk.cena
3PS465.9	2005 Power Supply - 24VDC, 50W, 1 Exp. Slot	11 700,00 Kč	1	11 700,00 Kč
3CP260.60-1	2005 Central Processor - 2xIF, 1MB RAM,	44 750,00 Kč	1	44 750,00 Kč
3AT660.6	2005 Analog IN - 1x8 Thermocouple	16 510,00 Kč	1	16 510,00 Kč
3AI775.6	2005 Analog IN - 1x8 0-20mA, 12Bit	15 470,00 Kč	1	15 470,00 Kč
3AO350.6	2005 Analog OUT - 1x8 +/-10V, 12Bit	20 640,00 Kč	1	20 640,00 Kč
3DI476.6	2005 Digital IN - 4x4 24VDC, 1msec	4 290,00 Kč	2	8 580,00 Kč
3DO479.6	2005 Digital OUT - 2x8 TRA, +0,5A/24VDC	6 010,00 Kč	1	6 010,00 Kč
3BM150.9	2005 Accessory - Blind Module	620,00 Kč	1	620,00 Kč
Celkem				124 280,00 Kč

Tabulka 5-1 Finanční náklady na systém 2005



Hlubinná kalící pec, systém X20, kombinované I/O moduly				
Obj. číslo:	Popis:	Cena:	Počet	Celk.cena
X20CP0201	Compact CPU μ P16	4246	1	4 246,00 Kč
X20PS2110	X20 Power Feed, 24V, Fuse	826	1	826,00 Kč
X20DM9324	X20 Digital Mix 8xI 4xO, 24V 0.5A 1 L.	1887	4	5 661,00 Kč
X20AI4632	4 AI, +/- 10 V / 0..20 mA, 16 bit resolution	6340	1	6 340,00 Kč
X20AO4622	4 AO, +/- 10 V / 0..20 mA, 12 bit resolution	4600	2	9 200,00 Kč
X20AT6402	6 AT, thermocouple	7018	1	7 018,00 Kč
X20CS1030	RS422/485	3244	1	3244,00 Kč
Celkem				36 535,00 Kč

Tabulka 5-2 Finanční náklady na systém X20 s kombinovanými moduly

Hlubinná kalící pec, systém X20, samostatné I/O moduly				
Objednací číslo:	Popis:	Cena:	Počet	Celk.cena
X20CP0201	Compact CPU μ P16	4246	1	4 246,00 Kč
X20PS2110	X20 Power Feed, 24V	826	1	826,00 Kč
X20DI9371	12 DI, 24 VDC	1829	3	5 487,00 Kč
X20DO4321	X20 Digital 4xO	885	4	3 540,00 Kč
X20AI4632	4 AI, +/- 10 V / 0..20 mA	6340	1	6 340,00 Kč
X20AO4622	4 AO, +/- 10 V / 0..20 mA	4600	2	9 200,00 Kč
X20AT6402	6 AT, thermocouple	7018	1	7 018,00 Kč
X20CS1030	RS422/485	3244	1	3244,00 Kč
Celkem:				39 871,00 Kč

Tabulka 5-3 Finanční náklady na systém X20 s klasickými I/O moduly

Hlubinná kalící pec, SIMATIC Siemens S7-300				
Obj. číslo:	Popis:	Cena:	Počet	Celk.cena
6ES7315-6FF01-0AB0	SIMATIC S7-300, CPU 315F	41 360,44 Kč	1	41 360,44 Kč
6ES7321-1BH02-0AA0	SIMATIC S7-300, DIGITAL INPUT	3 838,12 Kč	2	7 676,24 Kč
6ES7322-1BF01-0AA0	SIMATIC S7-300, DIGITAL OUTPUT	4 321,24 Kč	2	8 642,28 Kč
6ES7332-5HF00-0AB0	SIMATIC S7-300, ANALOG OUTPUT	23 001,88 Kč	1	23 001,88 Kč
6ES7331-1KF01-0AB0	SIMATIC S7-300, ANALOG INPUT	10 118,68 Kč	1	10 118,68 Kč
6ES7307-1BA00-0AA0	SIMATIC S7-300, LOAD POWER S.	2 630,32 Kč	1	2 630,32 Kč
6ES7390-1AJ30-0AA0	SIMATIC S7-300, RAIL L=830MM	1 151,44 Kč	1	1 151,44 Kč
Celkem:				94 581 Kč

Tabulka 5-4 Finanční náklady na systém S7-300

Z výše uvedených tabulek je jasně patrné, že ceny starého systému 2005 se výrazně liší od cen nově navrhovaného systému X20, u kterého je cena nižší o téměř 70% v případě kombinovaných modulů a o 68% v případě samostatných I/O modulů. Pro

HW konfiguraci jsem použil sice o něco dražší, ale pro popis funkce transparentnější možnost se samostatnými vstupními a výstupními kartami. Technologie značky Siemens je levnější oproti systému 2005 pouze o 25%, což ukazuje značnou nevýhodnost řešení použitím značky Siemens.

6. Návrh řídicího systému

V tomto bodě se zabývám vlastním návrhem a implementací řídicího systému podle podmínek běhu uvedených v [2]. Řídicí systém implementuji z pohledu vývoje softwaru pro HW sestavu navrženou výše.

6.1. Popis běhu hlubinné pece

Hlubinná žíhací pec se používá k žíhání materiálů různých velikostí a tvarů. Celý proces začíná vložením polotovaru do pece a spuštěním pece. Po spuštění pece, program zkontroluje splnění všech podmínek nutných ke spuštění a následně zahájí samotné spuštění. Nejprve provede tzv. **startovací sekvenci**, kdy kontroluje stav topných spirál, spodní vody a zapnutí všech sekcí. Po provedení startovací sekvence program zahájí regulaci nájezdem na požadovanou **teplotní křivku**.

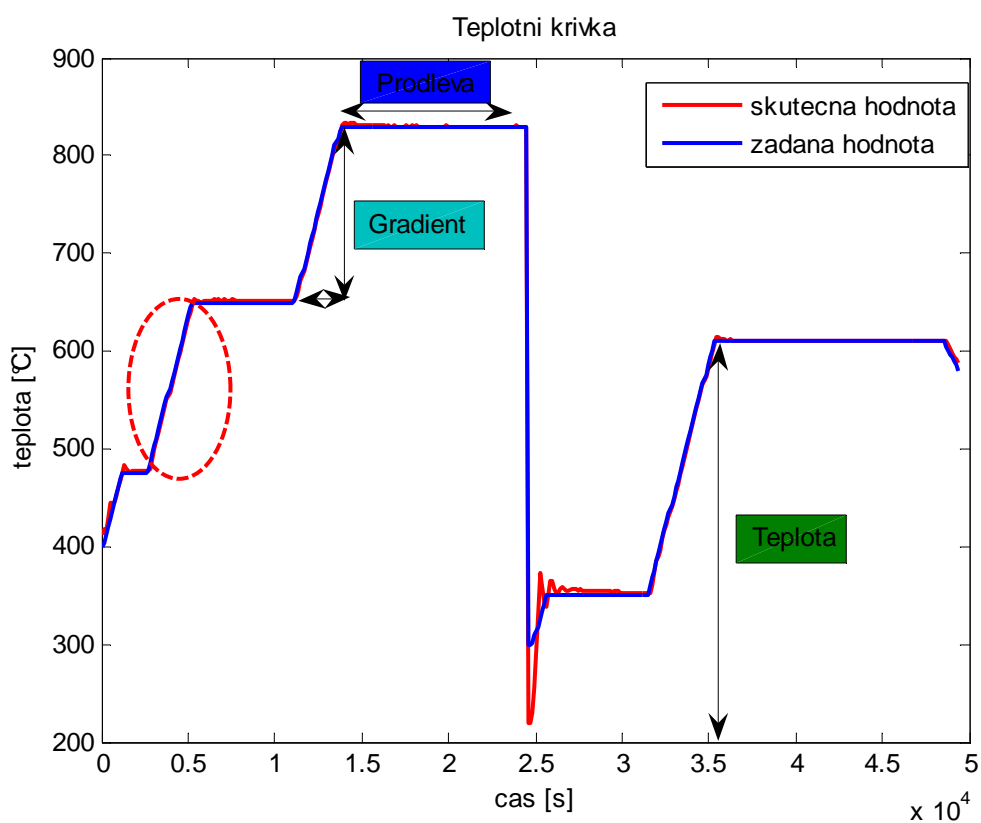
6.1.1. Teplotní křivka

Teplotní křivkou rozumíme průběh požadovaných teplot v průběhu žíhacího procesu. Celá teplotní křivka je při spuštění pece načtena z vizualizace, kam ji zadává obsluha, kde jich může být uloženo několik. Maximální počet zlomů na křivce je 16. Do programu se načte vždy pouze aktuální křivka.

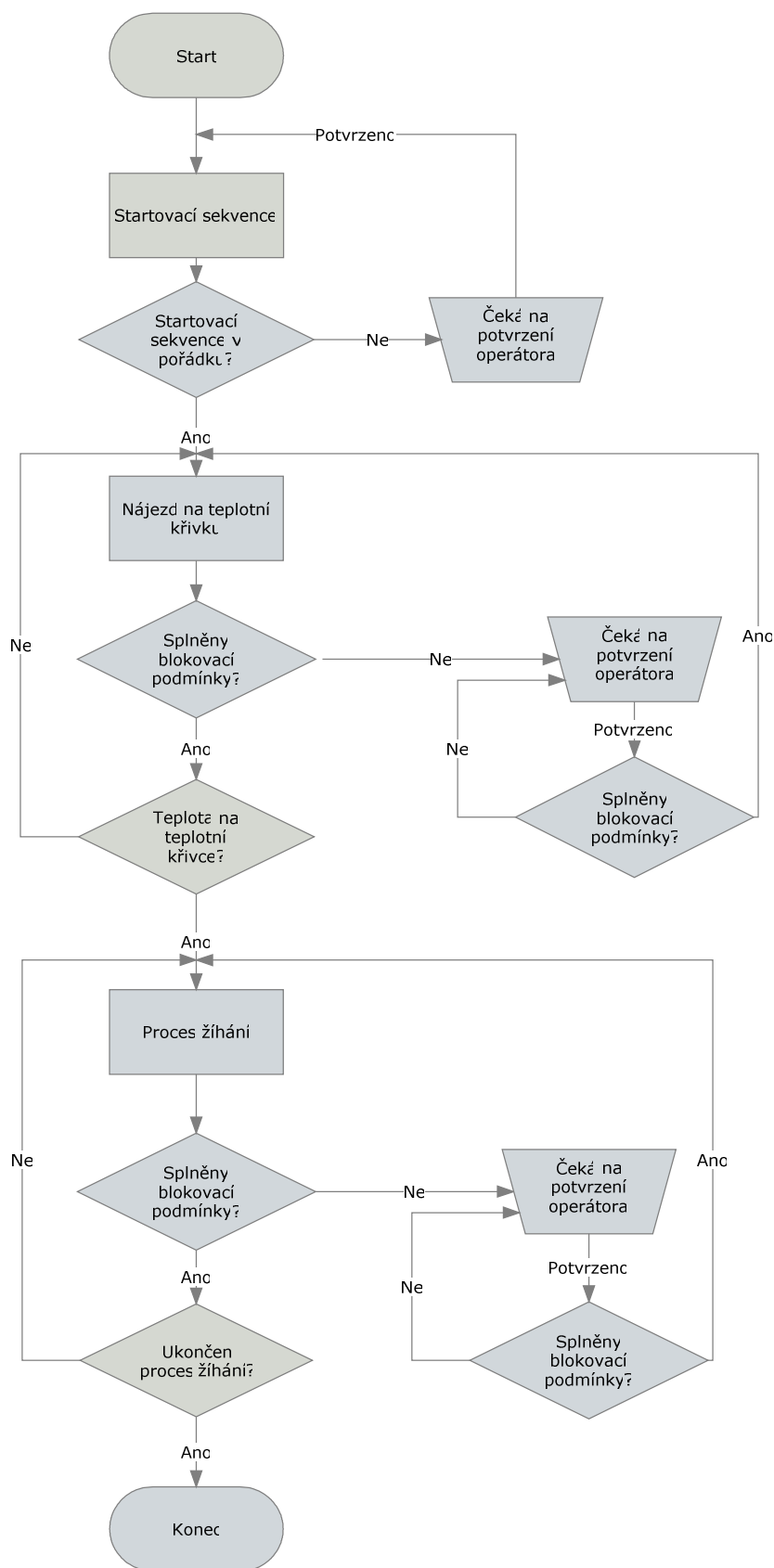
Křivka je uvedena ve tvaru:

- **gradient [°C/hodinu]**- udává, jaký má být nárůst teploty v čase
- **teplota [°C]**- udává, na jaké teplotě se růst gradientu zastaví
- **prodleva [h]**- udává, kolik hodin má zůstat teplota na úrovni určené v bodě **teplota**

Na obrázku uvedeném níže je vidět průběh skutečné teploty oproti teplotě žádané. Poměrně velká chyba regulace teploty, která vznikla v čase přibližně $2,5 \cdot 10^4$ má pravděpodobný původ v otevření pece a přidání nebo odebrání žíhané součásti při stále běžícím procesu jednoho výpalu. K části křivky označené červenou elipsou se vrátím níže.



Obrázek 6-1 Teplotní křivka žádané a regulované teploty



Obrázek 6-2 Diagram běhu pece

6.1.2. Start pece

Roztopení pece se provede z vizualizačního programu po stisku tlačítka START v přehledové obrazovce.

Systém provede náběh dle tohoto postupu:

- Kontrola hlavního vypínače a spodní hladiny vody a otevření horních vrat pece.
- Kontrola zapnutí všech sekcí v peci a blokovacích podmínek
- Začátek regulace teploty v každé sekci dle zadané teplotní křivky a aktuální teploty v dané sekci pece.

6.1.3. Test spirál

Provádí se při každém startu pece na všech osmnácti spirálách v peci. Je možné operátorsky měnit jak dobu testu tak i maximální přípustný počet vadných spirál. Když je počet vadných spirál rovný nebo větší, než je nastavená přípustná hodnota, je s tím operátor obeznámen pomocí hlášení na operátorském panelu. Další chod pece potom záleží pouze na obsluze, jestli proces nechá pokračovat nebo ho ukončí. Správně pracující i nepracující spirály jsou vidět v sekci **schéma pece** na vizualizaci. Po úspěšném testu těchto spirál začne v sekcích 1-6 probíhat regulace teploty.

6.1.4. Regulace teploty v peci

Všechny sekce v peci regulují teplotu nezávisle na sobě, pouze podle skutečné teploty snímané jednotlivými termočlánky T1-T6 a podle požadavků aktuální teplotní křivky pomocí softwarových PID regulátorů.

6.1.5. Hlídání teploty v peci

Teplota v peci je měřena šesti termočlánky typu K. Hodnoty požadované i aktuální teploty jsou zobrazovány na operátorském panelu. Průměrná teplota pece se počítá ze všech šesti termočlánků jako statistický průměr:

$$\bar{\vartheta} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 \vartheta_i$$

Rovnice 6-1 Výpočet průměrné teploty v peci

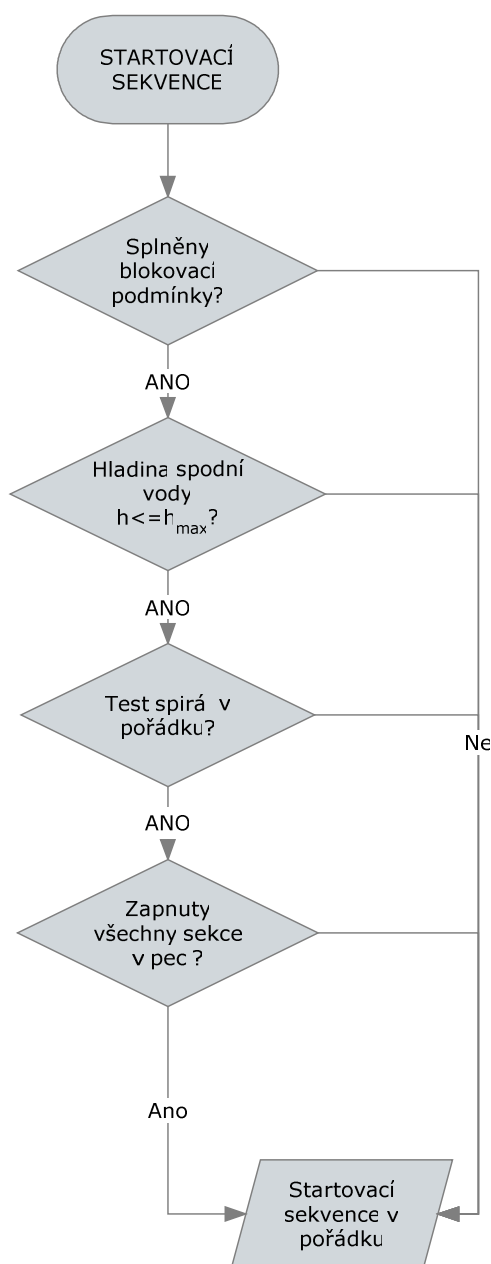
Při poruše některého z termočlánků se jeho příspěvek do průměrné teploty nezapočítává. Pokud teplota nejméně na jednom z termočlánků T1-T6 překročí maximální teplotu, nebo dojde k poruše kteréhokoliv termočlánku, pec je odstavena a zůstává v blokovacím stavu.

Při překročení varovné teploty v peci (1100°C) se na operátorském panelu zobrazí varovné hlášení a událost je zapsána do deníků alarmů.

Časový průběh všech teplot včetně žádané lze vytisknout v podobě grafu nebo tabulky.

Teploty jsou stále zálohovány v databázových souborech a v pravidelných intervalech kopírovány na server.

Pec je vybavena dvojitým HW hlídáním překročení nastavené maximální teploty, které po překročení teploty 1150°C vygeneruje alarm pro operátora a při překročení teploty 1200°C odstaví hlubinnou pec.



Obrázek 6-3 Diagram startovací sekvence pece

6.1.6. Blokovací podmínky v peci

Pro pec jsou určeny tyto blokovací podmínky:

- Teplota (T1-T6) v peci nesmí překročit maximální teplotu
- Mezi jednotlivými termočlánky nesmí být větší teplotní rozdíl než je nastavený na servisní obrazovce
- Mezi žádnou nastavenou a skutečnou teplotou nesmí být větší než nastavený rozdíl

- Nesmí být překročen nastavený gradient v jakémkoliv místě i čase
- Víko musí být při žíhání uzavřeno
- Nesmí dojít vypnutí jakéhokoliv ze šesti topných stykačů
- Výstupní karty řídicího systému musí být pod napětím
- Při startu nesmí být překročen maximální počet vadných spirál

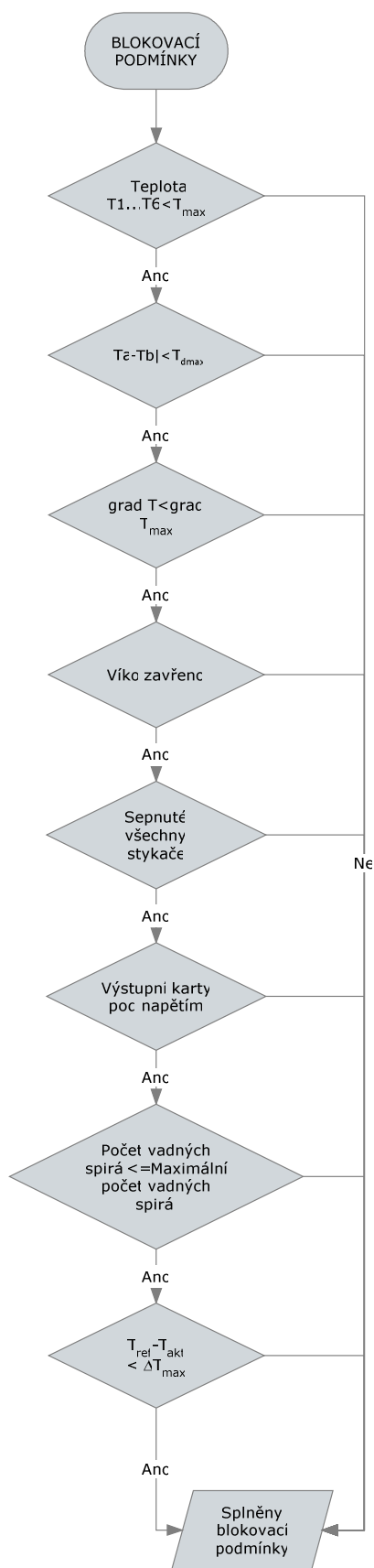
6.1.7. Poruchové stavy

- Překročení maximální hladiny spodní vody
- Výpadek napájení chladicího ventilátoru a osvětlení v rozvaděči
- Porucha chodu čerpadla spodní vody
- Porucha chodu odtahového ventilátoru
- Porucha komunikace mezi PLC a operátorskou stanicí

Pokud nastane některý z těchto poruchových stavů, je obsluha informována varovným hlášením ve vizualizaci a spustí alarm. Čas poruchy je zapsán do souboru s alarmy.

6.2. Regulace technologického procesu

Pojmem regulace technologického procesu je myšleno řízení podmínek a stavů procesu způsobem, který zajistí jejich požadované hodnoty. Regulace je zde prováděna pomocí softwarových PID regulátorů, jejichž hodnoty lze jak nastavovat z vizualizace, tak i ponechat přednastavené z programu. Možnost pozměnit hodnoty z vizualizace je dána díky skutečnosti, že do pece se vkládají různě hmotnostně velké komponenty určené k žíhání. Rozdíly hmotností mezi komponentami mohou činit stovky kilogramů až jednotky tun. Takovýto rozdíl se podílí na změně odezvy systému na jednotkový skok a následném nastavení parametrů PID regulace.



Obrázek 6-4 Digram kontroly blokovacích podmínek

6.2.1. Návrh parametrů pro žhací pec

V dnešní době není výjimkou, že pro rychlé soustavy nižších řádů lze používat autotuning, tedy program, často obsažený ve vývojovém prostředí pro PLC, který nastaví požadované ideální hodnoty regulátoru podle průběhu, který si sám změřil. Pro žhací pec tento způsob použít nelze, protože odezva teploty pece při spuštění vytápění je v řádu několika minut. V důsledku tohoto, se při návrhu musí využít některý ze standardních postupů uvedených výše. Dalším faktorem, který ztěžuje výpočet nastavení parametrů regulace, je nepřetržitý provoz pece, kvůli kterému nelze odměřit přechodovou charakteristiku (odezvu teploty v peci na skok vstupního signálu-proudu elfistorem), potřebnou pro určení přenosu pece. Jediný způsob, jak získat parametry přenosu pece, je v analýze dat z jednoho výpalu pece s již nastavenými známými parametry PID regulace. Vzhledem k nespojitosti dat vzorkovaných po 5 minutách nelze přenos systému určit s úplnou přesností, ale pouze odhadnout jeho parametry.

Níže uvedené vypočítané parametry regulace jsou sice programem nastavené při spuštění PLC, ovšem obsluha je může změnit z operátorského stanoviště.

6.2.1.1. Odezva pece na jednotkový skok vstupní veličiny

Jak je uvedeno v předchozím bodě, není možné odměřit přesnou přechodovou charakteristiku uvedené soustavy, a proto bylo v počátku důležité, co nejpřesněji odhadnout parametry systému. Toto jsem provedl tak, že jsem od obsluhy získal průběh regulace se známými parametry PID regulátoru. Následným postupným přibližováním jsem dostal pravděpodobný systém, jehož odezva ve spojení s regulátorem byla co nejpodobnější průběhu naměřenému. Pro určení jsem si z důvodu co největší přesnosti vybral část křivky, kde probíhá regulace systému v průběhu křivky vyznačeného elipsou na obrázku 6.1.1. V důsledku toho je, v obrázku níže, vstupním signálem (referencí) rampa (není zobrazena). Parametry použitého regulátoru byly:

- $K_p=22,8$
- $T_i=3,7$
- $T_d=1$

Při přepočtu kde $T_i = \frac{K_p}{K_i}$ a $T_d = \frac{K_d}{K_p}$ z tvaru regulátoru podle [9]

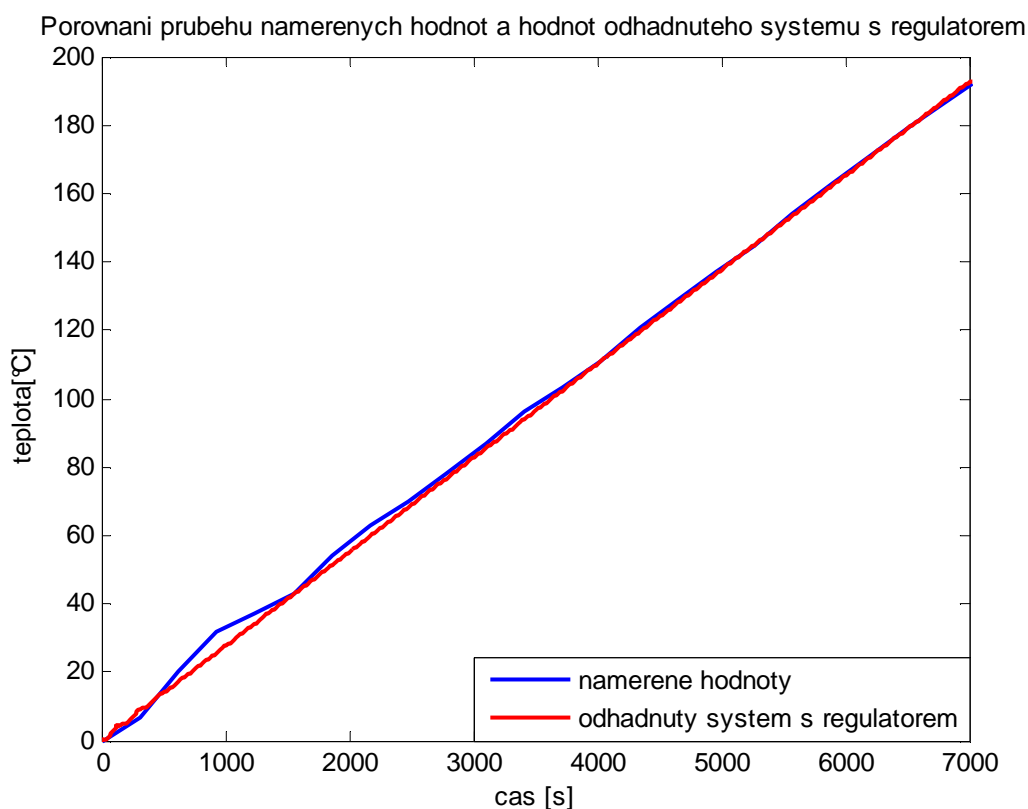
$$P(s) = \frac{Y}{X} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Rovnice 6-2 Přenos PID regulátoru

dostáváme parametry:

- $K_p=22,8$
- $K_i=6,16$
- $K_d=22,8$

Následující signál jsem si pro lepší práci upravil odečtením počáteční hodnoty signálu tak , aby průběh začínal v 0.



Obrázek 6-5 Porovnání průběhu naměřených hodnot a systému s odhadnutou soustavou

Metodou postupné optimalizace jsem získal průběh, který se přibližoval naměřenému průběhu. Pro tento přibližný průběh jsem odečetl hodnotu přenosu soustavy jako:

$$P(s) = \frac{Y}{X} = \frac{1,5259 * 10^{-3}}{s^2 + 0.7s + 0.0005}$$

Rovnice 6-3 Odhadnutý přenos soustavy

6.2.1.2. Návrh parametrů PID regulátoru

Při návrhu parametrů PID regulátoru (viz [9]) je nutné uvážit všechny aspekty námi navrhnutého regulátoru. Nastavováním parametrů regulátoru se mění vlastnosti celé soustavy (uzavřené smyčky regulátoru a soustavy). Při navrhování parametrů se musí vzít v úvahu nejen kladné vlastnosti této změny, ale i vlastnosti záporné, a možnosti soustavy. Při neuvážení všech možných aspektů dochází k nežádoucím jevům jako wind-up (přeintegrování I složky při saturaci akčního zásahu), apod. Při návrhu parametrů PID regulátoru lze vycházet z několika principů:

- **Ziegler-Nichols**
- **Umístění pólů systému**
- **Frekvenční metody**
- **Geometrické místo kořenů**
- a mnohé další.

Každá z těchto metod má svoje výhody i nevýhody, proto pro každý typ soustavy a její chování je vhodná jiná metoda. Podrobnější popis metod návrhu je uveden v [9].

6.2.1.3. Vlastní návrh parametrů

Pro výpočet parametrů jsem si vybral metodu **geometrického místa kořenů (root locus)**. Pro návrh parametrů PID regulace jsem využil funkci **rltool** v prostředí MATLAB. Tato funkce obsahuje i možnost automatického výpočtu parametrů PID regulátoru, které jsem využil pro základní umístění nul a pólů budoucího systému. Vzhledem k tomu, že automatický návrh obsahoval velmi pomalé póly, které prodlužovaly dobu regulace, tak jsem póly systému upravil, aby jeho přechodová charakteristika a tedy i doba regulace byla co nejrychlejší v rámci možností soustavy. Musel jsem uvažovat maximální hodnotu akčního zásahu (která je v tomto

případě 11111111111b čili 4096 dekadicky), aby nevznikal wind-up jev viz [9]. Po odladění průběhu systému na požadovaný jsem dostal výsledný přenos regulátoru bez filtrace:

$$P(s) = \frac{118,57s^2 + 395,35s + 1,04}{s}$$

Rovnice 6-4 Přenos navrhnutého regulátoru

Z tohoto lze již jednoduše spočítat parametry regulátoru:

- $K_p=395$
- $K_i=1$
- $K_d=119$

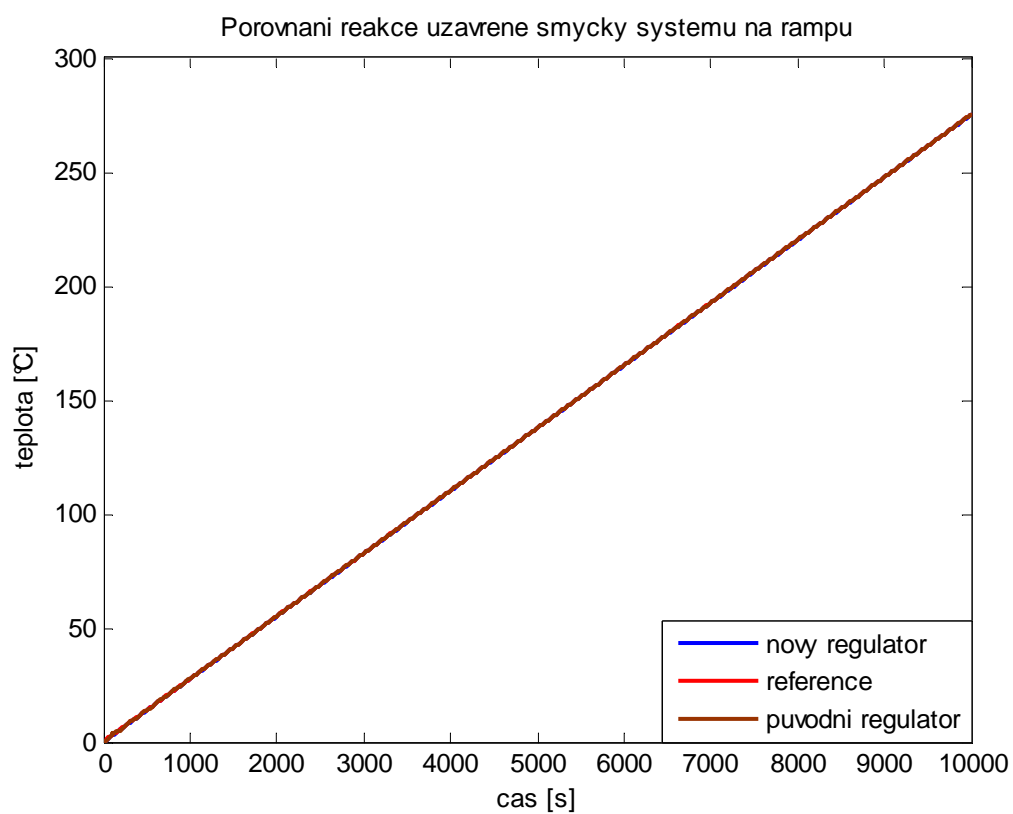
Po přepočtení na časové parametry regulátoru:

- $K_p=395$
- $T_i=395$
- $T_d=0,3$

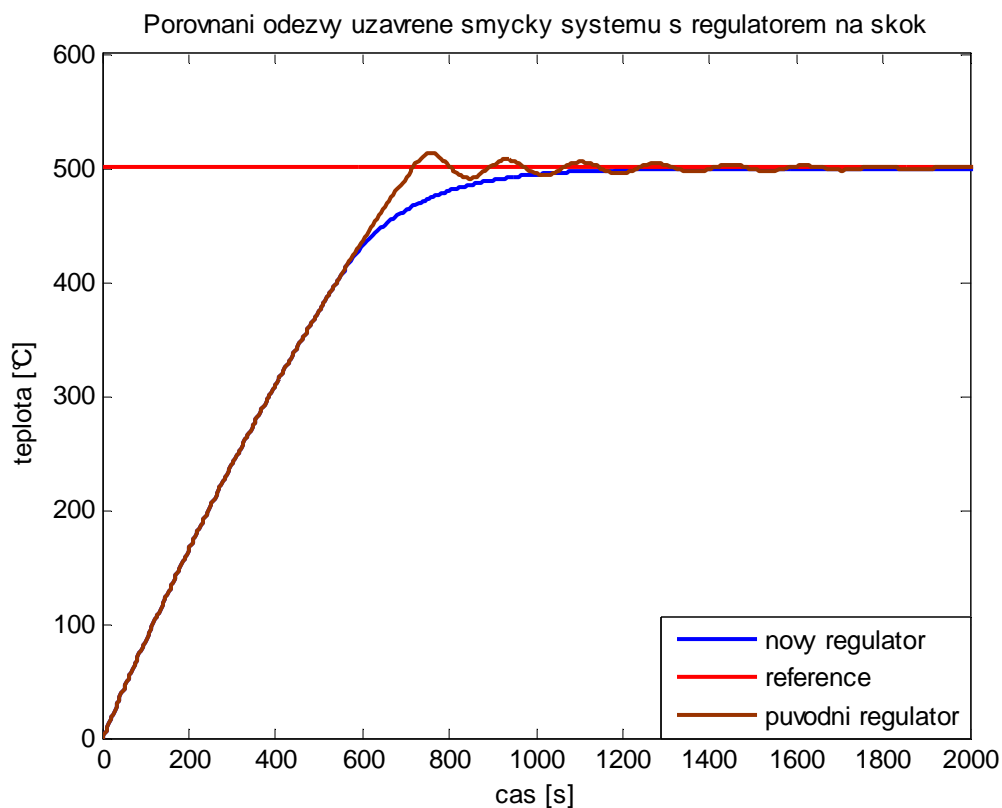
Z porovnání odezvy systémů s uzavřenou smyčkou (closed loop viz [9]) s původním regulátorem a s nově vypočítaným je patrné, že nový regulátor se podstatně **liši** od původního. Tento stav může být dán nepřesnou identifikací soustavy, popřípadě odlišným způsobem určení parametrů regulace v původním procesu (byly nastavovány metodou pokus-omyl). Nový regulátor sleduje přesněji rampu, ale při zadané skokové referenci je, co se týká rychlosti dosažení okolí požadované hodnoty, pomalejší, ovšem ustálí se na požadované hodnotě dříve, než původní regulátor, a bez překmitů. Proto bych tento regulátor doporučil pro další použití jako lepší. V části nastavování regulátoru jsem k regulátoru ještě uvažoval jeho filtrační část. Obvykle se dává pól filtrace 10x dál od počátku souřadnic (definováno v [9]), než hodnota D složky (hodnota je 10x menší). Filtrační konstantu T_f jsem proto zvolil 0,03.

$$P(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + \frac{T_d s}{0,1T_d s + 1} \right) = 395 \left(1 + \frac{1}{395s} + \frac{0,3s}{0,03s + 1} \right)$$

Rovnice 6-5 Výsledný přenos regulátoru



Obrázek 6-6 Porovnání odezvy systémů s původním a novým regulátorem na rampu



Obrázek 6-7 Odezva uzavřené smyčky na referenci na vstupu

6.3. Popis implementovaného softwaru

Tento bod obsahuje popis řídicího programu, který jsem vyvinul pro systém X20. Celý program má 2 části. První je HW konfigurace systému, sestaveného podle návrhu v kapitole 3. Druhou je samotná implementace SW.

6.3.1. Hardwarová konfigurace

Hardwarová konfigurace se nastavuje v k tomu určenému podokně programu.

Model no.	Slot	Description
HLUB1		
X20CP1485		X20 CPU Celeron 400, POWERLINK, 1x IF
X20PS2110	ST1	24 VDC power supply module for internal IO supply, fuse
X20DM9324	ST2	8 Digital Inputs 24 VDC, Sink; 4 Outputs 24 VDC / 0.5 A, Source
X20DM9324	ST3	8 Digital Inputs 24 VDC, Sink; 4 Outputs 24 VDC / 0.5 A, Source
X20DM9324	ST4	8 Digital Inputs 24 VDC, Sink; 4 Outputs 24 VDC / 0.5 A, Source
X20AI4632	ST5	4 Inputs ±10 V / 0 to 20 mA
X20AO4622	ST6	4 Outputs ±10 V / 0 to 20 mA
X20AO4622	ST8	4 Outputs ±10 V / 0 to 20 mA
X20AT6402	ST9	6 Temperature Sensor Inputs
X20CS1030	ST11	Interface Modul RS422 / RS485

Obrázek 6-8 Podokno s HW konfigurací

V tomto okně je vidět celá HW sestava systému. Kliknutím myši na jednotlivé komponenty se otevře ve vedlejším podokně jejich nastavení.

Model no.	Skat	Description	I/O Mapping I/O Configuration																																																																																																																
<ul style="list-style-type: none"> HLUB1 <ul style="list-style-type: none"> X20CP1485 X20 CPU Celeron 400, POW/ERLINK, 1x IF X20PS2110 ST1 24VDC power supply module for internal I/O supply, fuse X20DM9324 ST2 8 Digital Inputs 24 VDC, Sink; 4 Outputs 24 VDC / 0.5 A, Source X20DM9324 ST3 8 Digital Inputs 24 VDC, Sink; 4 Outputs 24 VDC / 0.5 A, Source X20DM9324 ST4 8 Digital Inputs 24 VDC, Sink; 4 Outputs 24 VDC / 0.5 A, Source X20M4632 ST5 4 Inputs ±10 V / 0 to 20 mA X20AO4622 ST6 4 Outputs ±10 V / 0 to 20 mA X20AO4622 ST8 4 Outputs ±10 V / 0 to 20 mA X20AT6402 ST9 6 Temperature Sensor Inputs X20CS1030 ST11 Interface Modul RS422 / RS485 			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Channel Name</th> <th>Data Type</th> <th>Task Class</th> <th>PV or Channel Name</th> <th>Inverse</th> <th>Description</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DI_2_OK</td> <td>BOOL</td> <td>Automatic</td> <td>DI_2_OK</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Module st</td> </tr> <tr> <td>DigitalInput01</td> <td>BOOL</td> <td>Automatic</td> <td>I_VRATA_OK</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>24 VDC, C</td> </tr> <tr> <td>DigitalInput02</td> <td>BOOL</td> <td>Automatic</td> <td>I_ELEKTROMER</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>24 VDC, C</td> </tr> <tr> <td>DigitalInput03</td> <td>BOOL</td> <td>Automatic</td> <td>I_CERPADLO_CHOD</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>24 VDC, C</td> </tr> <tr> <td>DigitalInput04</td> <td>BOOL</td> <td>Automatic</td> <td>I_CERPADLO_PORUCHA</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>24 VDC, C</td> </tr> <tr> <td>DigitalInput05</td> <td>BOOL</td> <td>Automatic</td> <td>I_VENTILATOR_CHOD</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>24 VDC, C</td> </tr> <tr> <td>DigitalInput06</td> <td>BOOL</td> <td>Automatic</td> <td>I_VENTILATOR_PORUCHA</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>24 VDC, C</td> </tr> <tr> <td>DigitalInput07</td> <td>BOOL</td> <td>Automatic</td> <td>I_NAPAJENI_ROZVADECE</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>24 VDC, C</td> </tr> <tr> <td>DigitalInput08</td> <td>BOOL</td> <td>Automatic</td> <td>I_NAPAJENI_VYSTUPU</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>24 VDC, C</td> </tr> <tr> <td>DigitalOutput01</td> <td>BOOL</td> <td>Automatic</td> <td>O_ZAP_STYKACE</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>24 VDC /</td> </tr> <tr> <td>DigitalOutput02</td> <td>BOOL</td> <td>Automatic</td> <td>O_VYP_STYKACE</td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>24 VDC /</td> </tr> <tr> <td>DigitalOutput03</td> <td>BOOL</td> <td></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>24 VDC /</td> </tr> <tr> <td>DigitalOutput04</td> <td>BOOL</td> <td></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>24 VDC /</td> </tr> <tr> <td>StatusDigitalOutput01</td> <td>BOOL</td> <td></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Status dg</td> </tr> <tr> <td>StatusDigitalOutput02</td> <td>BOOL</td> <td></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Status dg</td> </tr> <tr> <td>StatusDigitalOutput03</td> <td>BOOL</td> <td></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Status dg</td> </tr> <tr> <td>StatusDigitalOutput04</td> <td>BOOL</td> <td></td> <td></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td>Status dg</td> </tr> </tbody> </table>					Channel Name	Data Type	Task Class	PV or Channel Name	Inverse	Description	DI_2_OK	BOOL	Automatic	DI_2_OK	<input type="checkbox"/>	Module st	DigitalInput01	BOOL	Automatic	I_VRATA_OK	<input type="checkbox"/>	24 VDC, C	DigitalInput02	BOOL	Automatic	I_ELEKTROMER	<input type="checkbox"/>	24 VDC, C	DigitalInput03	BOOL	Automatic	I_CERPADLO_CHOD	<input type="checkbox"/>	24 VDC, C	DigitalInput04	BOOL	Automatic	I_CERPADLO_PORUCHA	<input type="checkbox"/>	24 VDC, C	DigitalInput05	BOOL	Automatic	I_VENTILATOR_CHOD	<input type="checkbox"/>	24 VDC, C	DigitalInput06	BOOL	Automatic	I_VENTILATOR_PORUCHA	<input type="checkbox"/>	24 VDC, C	DigitalInput07	BOOL	Automatic	I_NAPAJENI_ROZVADECE	<input type="checkbox"/>	24 VDC, C	DigitalInput08	BOOL	Automatic	I_NAPAJENI_VYSTUPU	<input type="checkbox"/>	24 VDC, C	DigitalOutput01	BOOL	Automatic	O_ZAP_STYKACE	<input type="checkbox"/>	24 VDC /	DigitalOutput02	BOOL	Automatic	O_VYP_STYKACE	<input type="checkbox"/>	24 VDC /	DigitalOutput03	BOOL			<input type="checkbox"/>	24 VDC /	DigitalOutput04	BOOL			<input type="checkbox"/>	24 VDC /	StatusDigitalOutput01	BOOL			<input type="checkbox"/>	Status dg	StatusDigitalOutput02	BOOL			<input type="checkbox"/>	Status dg	StatusDigitalOutput03	BOOL			<input type="checkbox"/>	Status dg	StatusDigitalOutput04	BOOL			<input type="checkbox"/>	Status dg
Channel Name	Data Type	Task Class	PV or Channel Name	Inverse	Description																																																																																																														
DI_2_OK	BOOL	Automatic	DI_2_OK	<input type="checkbox"/>	Module st																																																																																																														
DigitalInput01	BOOL	Automatic	I_VRATA_OK	<input type="checkbox"/>	24 VDC, C																																																																																																														
DigitalInput02	BOOL	Automatic	I_ELEKTROMER	<input type="checkbox"/>	24 VDC, C																																																																																																														
DigitalInput03	BOOL	Automatic	I_CERPADLO_CHOD	<input type="checkbox"/>	24 VDC, C																																																																																																														
DigitalInput04	BOOL	Automatic	I_CERPADLO_PORUCHA	<input type="checkbox"/>	24 VDC, C																																																																																																														
DigitalInput05	BOOL	Automatic	I_VENTILATOR_CHOD	<input type="checkbox"/>	24 VDC, C																																																																																																														
DigitalInput06	BOOL	Automatic	I_VENTILATOR_PORUCHA	<input type="checkbox"/>	24 VDC, C																																																																																																														
DigitalInput07	BOOL	Automatic	I_NAPAJENI_ROZVADECE	<input type="checkbox"/>	24 VDC, C																																																																																																														
DigitalInput08	BOOL	Automatic	I_NAPAJENI_VYSTUPU	<input type="checkbox"/>	24 VDC, C																																																																																																														
DigitalOutput01	BOOL	Automatic	O_ZAP_STYKACE	<input type="checkbox"/>	24 VDC /																																																																																																														
DigitalOutput02	BOOL	Automatic	O_VYP_STYKACE	<input type="checkbox"/>	24 VDC /																																																																																																														
DigitalOutput03	BOOL			<input type="checkbox"/>	24 VDC /																																																																																																														
DigitalOutput04	BOOL			<input type="checkbox"/>	24 VDC /																																																																																																														
StatusDigitalOutput01	BOOL			<input type="checkbox"/>	Status dg																																																																																																														
StatusDigitalOutput02	BOOL			<input type="checkbox"/>	Status dg																																																																																																														
StatusDigitalOutput03	BOOL			<input type="checkbox"/>	Status dg																																																																																																														
StatusDigitalOutput04	BOOL			<input type="checkbox"/>	Status dg																																																																																																														

Obrázek 6-9 Nastavení adres vstupů a výstupů na kombinované I/O kartě

6.3.2. Implementace samotného softwaru

Programová část byla implementována pomocí programovacího jazyku Automation basic, vyvinutém společností Bernecker&Rainer pro vývojové prostředí Automation studio.

Celý implementovaný software se dělí do cyklů s proměnnou délkou jejich vykonávání (doba od startu cyklu, za kterou se začne cyklus znovu vykonávat). Při určování jejich doby jsem vycházel z reálných požadavků na časovou náročnost a přesnost toho kterého úseku programu a z předchozího softwaru vyvinutého pro systém 2005.

Celý program jsem rozdělil do šesti částí, se dvěma dobami cyklu tak, že rychlejší operace se vykonávají v cyklu 10 ms a zbylé v cyklu 100 ms.

Samotný cyklus se skládá ze dvou částí. Inicializační, která se provede pouze jednou a slouží k jednorázovému nastavení proměnných, a cyklické, která se opakuje po určených časech.

```

0001 (* init program *)
0002
0003 NET2000.station = 25                                (*set station 4*)
0004 NET2000.master = 0                                (*set station to slave*)
0005 NET2000.device = adr("SL10.IF1")                  (*set device with the address of the description of
0006 NET2000.mode = adr("RS485, 19200, I=50")          (*set connection mode*)
0007 NET2000.task_class = 1
0008
0009
0001 (* cyclic program *)
0002
0003
0004 if edgepos (Visu_chod=1) and not konecRegulace then
0005 chod=1
0006 endif
0007
0008
0009 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;nulovani vseho pri nefunkcnosti pece;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
0010
0011 if chod=0 and (stavPece<3) then
0012 scitaniProvedenoOK=0
0013 testEND=0

```

Obrázek 6-10 Pohled na inicializační a cyklickou část programu

Popis jednotlivých cyklů:

Do cyklů vykonávaných 10 ms jsem zařadil cykly:

- *start*
- *energie*
- *cas*

Cykly vykonávané 100 ms jsou:

- *termo*
- *krivka*
- *zazeh*

Kódy všech uvedených cyklů viz příloha na přiloženém DVD

6.3.2.1. cyklus „start“

Tento se spouští při náběhu pece, inicializuje sběrnici pro komunikaci s vizualizací, nastavuje počáteční podmínky pece. V cyklické části je ošetřeno, aby při stavu pece „vypnuto“ byly nulovány všechny hodnoty proměnných a výstupů. Cyklus „start“ se stará o spuštění pece, testování blokovacích podmínek (Obrázek 6-4) během celého cyklu žhání, testování spirál a hlídání stavu I/O karet. Po úspěšném vykonání startovacího algoritmu přejde pec do dalšího stavu vykonávaného v jiném cyklu a cyklus „start“ slouží pouze k hlídání stavu karet a blokovacích podmínek. Průběh celého cyklu je vidět z obrázku na straně 41.

6.3.2.2. cyklus „energie“

Tento cyklus se stará pouze o výpočet energie, a pokaždé, když z elektroměru přijde impuls o spotřebované jedné kWh energie, inkrementuje proměnné, určující energii za žíhací výpal a celkovou energii, o jedničku.

6.3.2.3. cyklus „čas“

Cyklus slouží jako vnitřní hodiny pro PLC, kdy se podle hodnot jeho proměnných určuje doba výpalu a v kombinaci s cyklem „krivka“ i aktuální požadovaná teplota.

6.3.2.4. cyklus „termo“

Cyklus určuje teplotu v peci, jak jednotlivých termočlánků, tak i průměrnou teplotu pece. Hlídá poruchové a havarijní stavy překročení při teploty a překročení maximálního gradientu teploty v peci.

6.3.2.5. cyklus „krivka“

Tento cyklus načítá z vizualizace aktuální teplotní křivku pro výpal. Počítá aktuální požadované teploty v závislosti na prodlevách a gradientech jednotlivých úseků křivky. Křivka začíná částí gradient a končí zadáním hodnoty teploty 0, pro méně než 16 zlomů na křivce. Více o křivce v kapitole 6.1.1.

6.3.2.6. cyklus „zazeh“

Do tohoto cyklu přechází program po bezproblémovém vykonání cyklu „start“. Tento cyklus provede samotné zapálení pece ve smyslu zahájení regulace. Cyklus implementuje softwarové PID regulátory včetně nastavení jejich parametrů, vypočtených v bodě 6.2.1.3. V jeho inicializační části se provede nastavení parametrů regulace podle předdefinovaných hodnot které lze kdykoliv v průběhu regulace změnit z vizualizace. Dále se cyklus stará o uložení aktuálních proměnných v případě blokace regulace při nesplnění některé z blokovacích podmínek. Implementované PID regulátory vypočtou z žádané a aktuální teploty akční veličinu, kterou poté předávají na výstup. Akční veličina regulátorů se pohybuje v rozmezí 0-4096 (12 bitů), přičemž z důvodu ochrany elfistorů, proti častému kmitání je pro hodnoty výstupu menší jak 25 tato hodnota filtrována a nastavena hodnota výstupu do 0. Po ukončení regulace program posílá program alarm na

výstup a čeká na potvrzení konce regulace. Po tomto potvrzení je možné zahájit novou regulaci.

6.3.3. Testování software

Software, popsany v předchozím bodě, nemohl být, vzhledem k nynější podobě systému (řada 2005), otestován přímo na tělese pece, ovšem díky funkci vývojového prostředí nazvané **AR000**, které vytvoří imaginární CPU pro testování, mohl být software částečně otestován.

Testované části programu:

- **Spuštění s testem spirál a kontrolou blokovacích podmínek**
- **Načtení žíhací křivky**
- **Určení aktuální žádané teploty z teplotní křivky a uběhnutého času**
- **Zachování proměnných a následné pokračování při přerušení procesu z důvodu nesplnění blokovacích podmínek**
- **Ukončení regulace, čekání na povel z vizualizace a možnost dalšího spuštění**
- **Funkce PID regulátoru, změny velikosti akčního zásahu při programové změně vstupních teplot**

Všemi výše popsány testy program prošel úspěšně, ovšem lze očekávat, že při aplikaci programu přímo na technologii pece se objeví některé chyby, které bude nutno odstranit.

6.4. Porovnání nového a původního softwaru

Nově implementovaný software, určený pro systém X20, je, co se týče délky a složitosti programu jednodušší, což je dáno hlavně inovacemi vývojového prostředí Automation studio a novými možnostmi a technologiemi při výrobě HW komponent.

Nejvýznamnější zjednodušení programu je v oblasti zjišťování teploty v peci pomocí termočlánků, kde není potřeba, oproti verzi pro systém 2005, implementovat teplotní kompenzaci. Tuto kompenzaci si provádí vstupní teplotní karta sama, bez nutnosti dalších úprav. S teplotou získanou z teplotního vstupu je možné ihned pracovat. Další zjednodušení se objevilo v jednodušší implementaci softwarového PID regulátoru, kterému lze hned při jeho inicializaci nastavit maximální a minimální hodnoty akčního

zásahu a možnost korekce wind-up jevu. Dalšími inovacemi jsou názornější a přehlednější přiřazení vstupů a výstupů k programovým proměnným.

7. Závěr

Úkolem této práce bylo navrhnout systém X20 pro hlubinnou žíhací pec, včetně implementace řídicího algoritmu. Tento systém má nahradit stávající systém B&R 2005.

Nový systém měl splňovat totožné podmínky na chod pece jako systém 2005, včetně zachování komunikačního rozhraní RS485 s vizualizací.

Při porovnání výkonnostních parametrů systémů 2005 a X20 je vidět značný pokrok v technologii a možnostech nově vyvíjených řídicích systémů. Značného pokroku se dočkali nejen samotná CPU, ale i inovované vstupní a výstupní karty. Z ekonomického rozboru v bodě 5 je patrná výhodnost použití nového systému, ovšem vzhledem k dostatečné funkčnosti stávajícího systému se použití verze X20 jeví její použití jako výhodné jen pro nově instalovanou technologii, popřípadě rekonstrukci, nikoliv však pro okamžitou výměnu systému.

Pro PLC nového systému byl, vzhledem k inovacím v programování regulátorů a komunikací mezi CPU, vstupními a výstupními kartami, navržen nový program vykonávající proces řízení na hlubinné peci. Program byl implementován na základě původního programu, požadavků a možností komponent, navržených v bodě 4.4. Do budoucna je možné uvažovat o dalších vylepšeních, týkajících se zlepšení funkce pece, nebo zlepšení uživatelského komfortu. Mezi taková vylepšení patří inovace komunikace mezi pecí a operátorským stanovištěm, zejména v nahrazení sběrnice RS485 novějším s stabilnějším průmyslovým standardem, např. již zmiňovaným standardem **ETHERNET POWERLINK**. Mezi další možné, již podstatnější úpravy je možné zařadit výměnu CPU PLC a PC DELL za průmyslový počítač např. **Automation PC 620** nebo vyšší od výrobce celého stávajícího řídicího procesu Bernecker&Rainer. Z osobního pohledu jsem se při návrhu hlubinné kalící pece dostal trochu hlouběji do oboru průmyslové automatizace a seznámil se s možností využití PLC v praxi a vyzkoušel jsem si návrh stabilního hardwaru implementaci softwaru pro PLC.

8. Literatura

- [1] Kotrch, J., *Návod k obsluze elektrické hlubinné žíhací pece*, 2006
- [2] Kotrch, J., *Systémová analýza elektrické hlubinné žíhací pece*, 2006
- [3] Pokorný, J., *Hlubinná žíhací pec č. 3*, 2006
- [4] Matyáš, *Pec*, 2006
- [5] Bayer, J., Hanzalem, Z., Šusta, R., *Logické systémy pro řízení*, vydavatelství ČVUT, 2000
- [6] Bartošík, P., *X20: Hybnou silou inovací jsou potřeby zákazníků* (online), www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=30938
- [7] Wikipedia, the free encyclopedia, *Programmable logic controller* (online), www.wikipedia.org
- [8] Molnár, M., Hanzlík, J., *Chráněná bezkontaktní kompenzace*, (online), www.volny.cz/molnarm/pdf/stykos.pdf
- [9] Franklin, G.,F., Powel J., D., Emami-Naeini, A., *Feedback control of dynamic systems*, Upper Saddle River: Prentice Hall, 2006
- [10] Ptáček, L., kolektiv autorů, *Nauka o materiálu II.*, Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002
- [11] ELFIS-T spol s.r.o., *SPÍNACÍ JEDNOTKY ELFistor 2SC*
- [12] Bernecker&Rainer automation, *Perfection in automation* (online), www.br-automation.com
- [13] Bernecker&Rainer automation, *B&R Automation Software Help* (elektronicky), Automation studio v 2.7.0.7
- [14] atx-technická kancelář, *Hlub3*, projekt původního systému kalící pece

9. Obsah přiloženého CD

1) Projekty

- Původní projekt systému kalící pece **Hlubink3**
- Nový projekt pro systém X20 **hlub1**

2) Obrázky a tabulky

- Všechny obrázky použité v práci
- Všechny tabulky použité v práci

3) Elektronická dokumentace

- Obsahuje elektronickou podobu [1][2][3][4]

4) Bakalářská práce v elektronické podobě