

VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Hornicko-geologická fakulta

Institut ekonomiky a systémů řízení

AUTOMATIZACE ELEKTRICKÉ POPOUŠTĚCÍ PECE

Automation of electric tempering furnace

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Vladislav Vančura, Ph.D.

Datum zadání:

31.10.2007

Datum odevzdání:

30.4.2008

Ostrava 2008

Tomáš CZOPNIK

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo;
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo bakalářskou práci nevýdělečně užít ke své vnitřní potřebě (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Úřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v abstraktu budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO;
- bylo sjednáno, že užití své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- závěrečnou prací anebo dílem se myslí bakalářská práce v případě bakalářského studia, diplomová práce v případě magisterského studia a disertační práce v případě doktorského studia.

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

Tomáš Czopnik

Ječmínková 19
79601 Prostějov

Chtěl bych poděkovat technickému řediteli Hanáckých železáren a péroven, a.s. panu Ing. Tomáši Grulichovi za jeho vstřícný postoj k mé práci a umožnění provedení experimentu.

Chci rovněž poděkovat vývojovému pracovníku Hanáckých železáren a péroven, a.s. panu Ing. Zdeňkovi Hajkrovi za poskytnutí informací o technologii výroby listových pružin.

Obsah

ABSTRAKT BAKALÁŘSKÉ PRÁCE.....	5
1. Úvod.....	6
2. Listové pružiny	7
2.1 Typy listových pružin.....	8
2.1.1 Trapézové pružiny.....	8
2.1.2 Parabolické pružiny.....	8
3. Technologie výroby listových pružin.....	9
4. Výrobní linka HŽ9.....	11
4.1 Prováděné operace.....	12
5. Technologie popouštění.....	13
6. Popouštěcí elektrická pec.....	17
6.1. Popis popouštěcí elektrické pece.....	17
6.1.1 Vstupní sekce	19
6.1.2 Ohřívací sekce.....	19
6.1.3 Výstupní sekce	20
6.1.4 Pohon pásu.....	20
6.1.5 Elektrický rozváděč.....	21
6.2 Popis funkce systému elektrické popouštěcí pece.....	21
6.3 Popis jednotlivých prvků systému.....	23
6.3.1 Terminál (operační panel) OP 15–C1	23
6.3.2 Programovatelný logický automat (PLC) Simatic S5–95U	23
6.3.3 Relé.....	24
6.3.4 Stykače.....	24
6.3.5 Teplotní snímače - termočlánky.....	25
6.3.6 Topné spirály	25
7. Praktická část.....	27
7.1 Poznámky:.....	28
7.1.1 Řídicí systém	28
7.1.2 Automatizace	29
7.1.3 Energetická ztráty	29
8. Závěr.....	32
9. Seznam zkratk.....	34
10. Seznam odborné literatury.....	35
11. Seznam tabulek.....	36
12. Seznam obrázků.....	37

ABSTRAKT BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Současný moderní průmyslový svět skloňuje slovo „optimalizace“ ve všech pádech. Ne jinak je tomu ve strojírenství. I zde se firmy snaží optimalizovat výrobu tak, aby stroje vyráběly maximum výrobků požadované kvality při minimálních provozních nákladech.

Bakalářská práce se zabývá automatizací elektrické popouštěcí pece, která je součástí výrobní linky pro výrobu listových pružin ve firmě Hanácké železářny a pérovny, a.s. Analyzuje chování systému při změně vstupní veličiny, ze kterého pak vyplývají maximální technické možnosti systému a jeho optimální využití.

ABSTRACT

Nowadays, the expression „optimization“ is being used by the modern industrial world everywhere. It is the same in engineering. The companies are trying to optimize the production so that machines produces the maximum of the products at the required quality level with minimum operating cost.

The bachelor thesis deals with automation of electric tempering furnace, which is the part of the production line for the production of flat spring in Hanácké železářny a pérovny, a.s. It analyses the behaviour of the system in case of change of input value, which results in maximum technical capabilities of the system and its optimal use.

1. Úvod

Jedním z nástrojů firemní strategie jak dosáhnout vyššího zisku ve výrobní společnosti je bezesporu optimalizace výroby. Cílem této bakalářské práce je provést analýzu systému elektrické popouštěcí pece a zjistit jeho maximální technické možnosti ve firmě, Hanácké železárně a pérovny, a.s., která je významným výrobcem šroubových a listových pružin.

Jelikož se jedná o velice žádané zboží na evropských i mimoevropských trzích, snaží se firma optimalizovat výrobu a najít rezervy, aby vyhověla nejen požadované kvalitě, ale i kvantitě.

Elektrické popouštěcí pece jsou součástí strategických výrobních linek – dvou výrobních linek pro výrobu listových pružin (HŽ6 a HŽ9) a dvou výrobních linek pro výrobu šroubových pružin (HŽ1 a Heuser). Principy těchto pecí jsou stejné, liší se pouze v použitých řídicích systémech. Má práce se zabývá elektrickou popouštěcí pecí pro výrobu listových pružin označenou jako HŽ9.

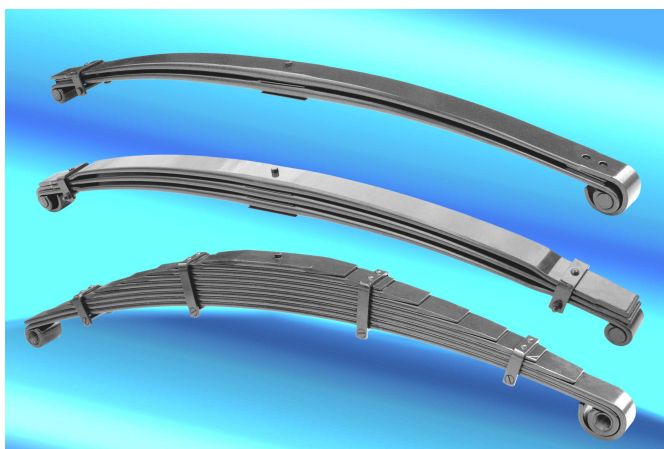
Ve druhé kapitole bakalářské práce jsou zmíněny základní informace o listových pružinách, jejich rozdělení a použití. V následující kapitole je popsána technologie výroby listových pružin. Ve čtvrté kapitole je specifikována výrobní linka HŽ9. Ve páté kapitole je popsána technologie popouštění. V šesté kapitole je podrobně popsána elektrická popouštěcí pec jako systém a současně jsou analyzovány její prvky. Z tohoto základu vychází praktická část obsažená v sedmé kapitole. V této kapitole je analyzováno chování systému při změně vstupní požadované veličiny (teploty) až na technologii stanovenou teplotní hranici 550°C. Kromě vlastního zhodnocení systému jsou navrhována možná řešení na jeho vylepšení.

Bakalářská práce je založena na teoretických poznatcích získaných během studia a na poznatcích získaných během odborné praxe v oboru elektrotechniky.

2. Listové pružiny

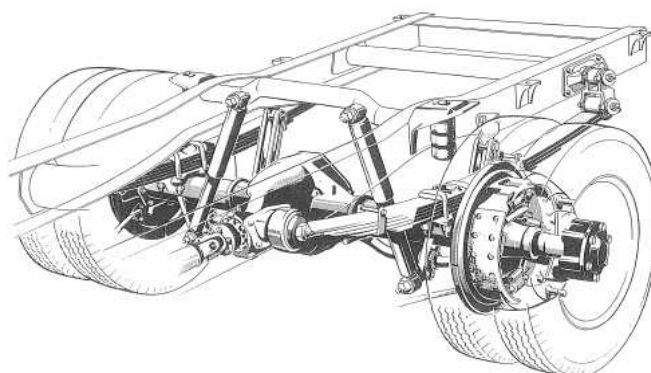
Listové pružiny (viz. obrázek 1) se vedle rozsáhlého použití ve všeobecném strojírenství používají hlavně jako nosné pružiny silničních a kolejových vozidel. U silničních vozidel jsou především použity u lehkých užitkových vozidel typu Ford Transit, LDV, Fiat Ducato, Avia a nebo v konstrukci nákladních automobilů např. Scania, Volvo, Man, Tatra, Iveco.

Obr. 1 Listové pružiny



Listové pružiny se konstruují tak, že kromě svého hlavního úkolu – pružení, mohou ještě přejímat další funkce (např. udržovat směrovou stabilitu jízdy což je důležité zejména z důvodu bezpečnosti provozu).

Obr. 2 Listová pružina umístěná na vozidle v podélném směru



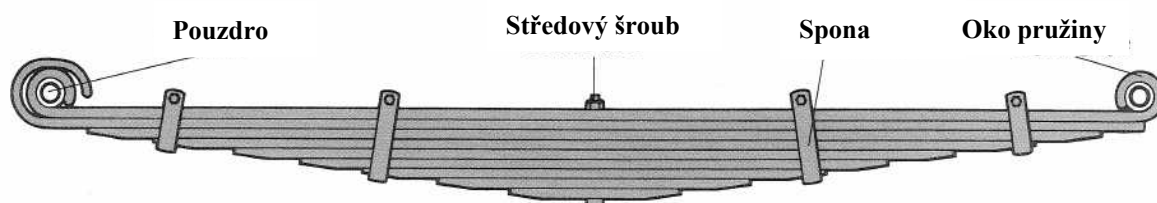
Nejčastěji jsou listové i parabolické pružiny umístěny párovým způsobem v podélném směru vozidla nad nebo pod nápravou (*viz. obrázek 2*). Střed pružiny je opřen o sedlo nápravy a je upevněn objímkou. Na koncích hlavního pružinového listu jsou obvykle stočena oka, která přes vložená pouzdra nebo silentbloky zajišťují spojení s nástavbou vozidla.

2.1 Typy listových pružin

2.1.1 Trapézové pružiny

Listové trapézové pružiny (*viz. obrázek 3*) jsou nejstaršími typy pružin používaných v podvozcích automobilů. Jednotlivé listy trapézové pružiny se dotýkají po celé délce jeden druhého a při pružení přenášejí síly místními tlaky mezi sebou. Pružiny jsou velice efektivně schopné absorbovat otřesy a vibrace. Výhodou je taky jejich poměrně nižší cena oproti parabolickým pružinám a to z důvodu jednodušší výroby.

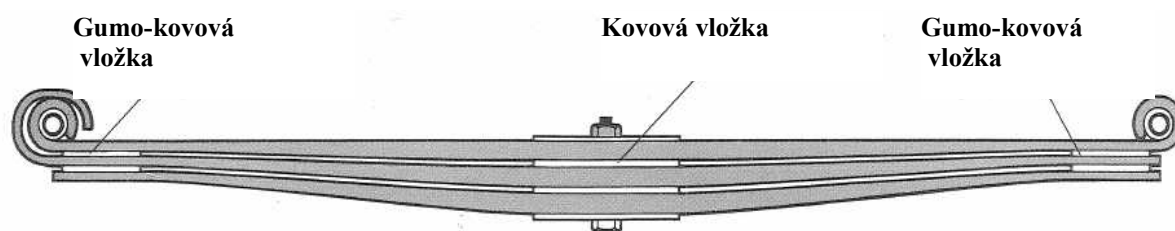
Obr. 3 Těleso trapézové pružiny



2.1.2 Parabolické pružiny

Parabolické pružiny (*viz. obrázek 4*) jsou zdokonalené listové pružiny, kdy je několik listů pružiny vzájemně od sebe odděleno tak aby mezi jednotlivými listy nedocházelo ke tření. Speciálně vyválcovaný parabolický profil listu umožňuje rovnoměrněji rozložit napětí skrze celou pružinu. Ve svém důsledku je pružinový materiál zužitkován s maximální efektivitou a to tak, že parabolická pružina má cca jen jedno-třetinovou váhu jako stejná trapézová listová pružina. Parabolické listové pružiny mají delší životnost, zvyšují komfort a bezpečnost jízdy než klasické trapézové pružiny bez ohledu na jejich zatížení.

Obr. 4 Těleso parabolické pružiny

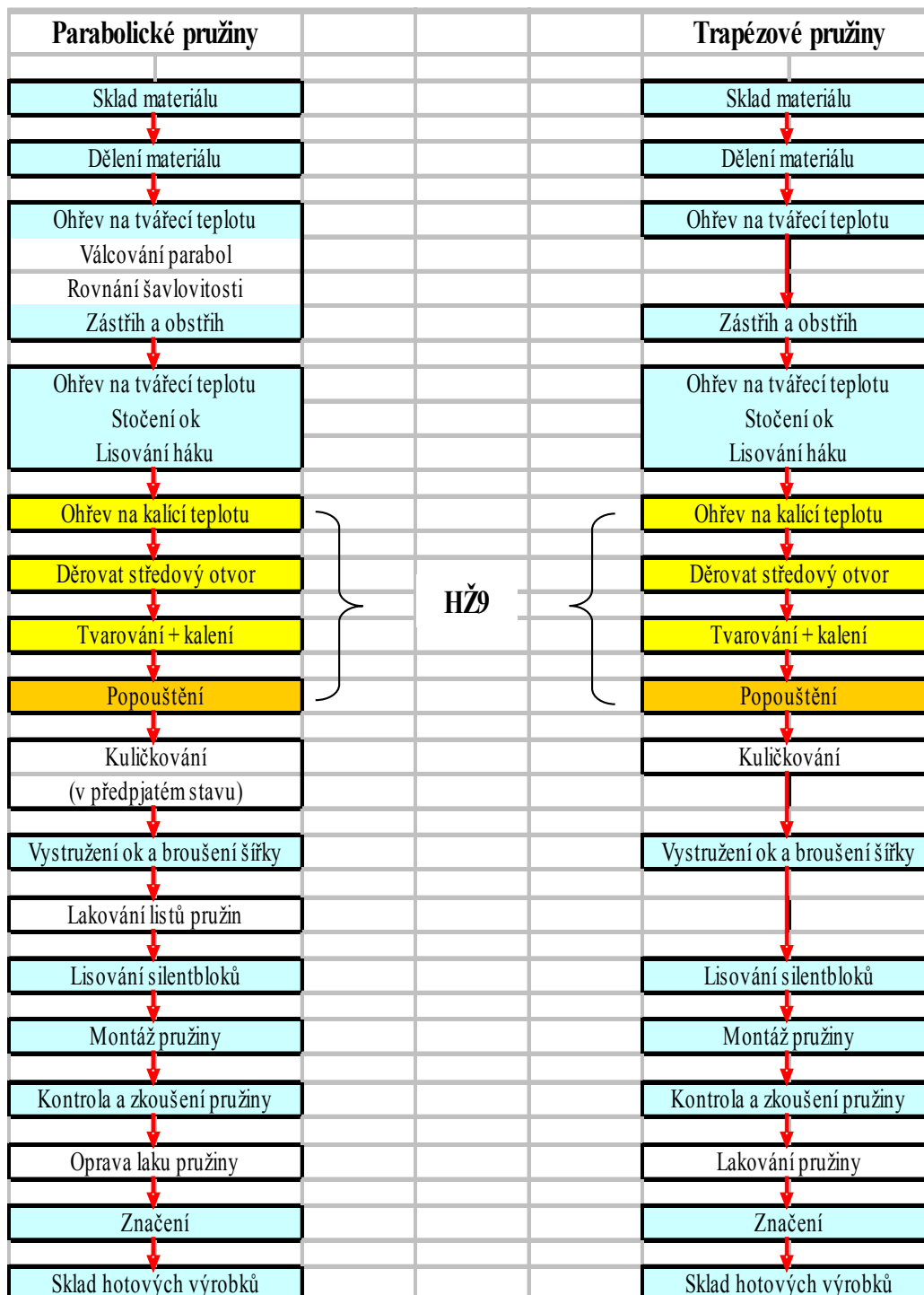


3. Technologie výroby listových pružin

Pružinové prvky tvarované za tepla se vyrábějí podobně, ať už se jedná o pružiny listové, parabolické, nebo šroubové. Pružina se musí natvarovat, zušlechtit, kuličkovat a

opatřit vhodnou ochranou proti korozi. Podle druhů pružin a jejich konstrukce se pak volí speciální pracovní postupy znázorněné v blokovém schématu (viz. obrázek 5) [1].

Obr. 5 Blokové schéma průběhu výroby listových pružin

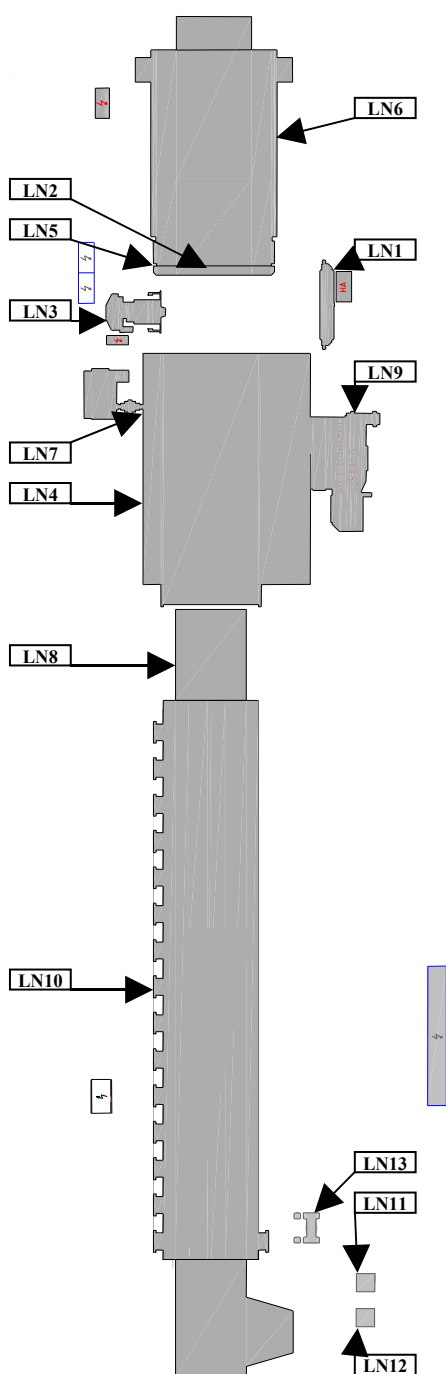


4. Výrobní linka HŽ9

Výrobní linka HŽ9 je stěžejní linkou pro výrobu listových pružin. Je provozována nepřetržitě a plynová ohřívací pec řízená průmyslovým počítačem ještě před dvěma roky byla nejmodernější ohřívací pecí v celém výrobním závodě.

Výrobní linka HŽ9 je složena ze třinácti strojních zařízení schematicky zobrazených na obrázku 6 [2].

Obr. 6 Rozložení pracoviště



Legenda:

Označení	Zařízení
LN1	Prstový lis
LN2	Rovnačka šavovitosti HŽ 9
LN3	Vystředňovací lis LP100
LN4	Nádrž olejová kalící
LN5	PYROFAST
LN6	Pec plynová kroková
LN7	Buben kalící ohýbací
LN8	Vynášecí dopravník z kalící kádě
LN9	Chlazení oleje
LN10	Pec popouštěcí pásová
LN11	Tvrdoměr průměr 10
LN12	Tvrdoměr průměr 2,5
LN13	Bruska dvoukotoučová

4.1 Prováděné operace

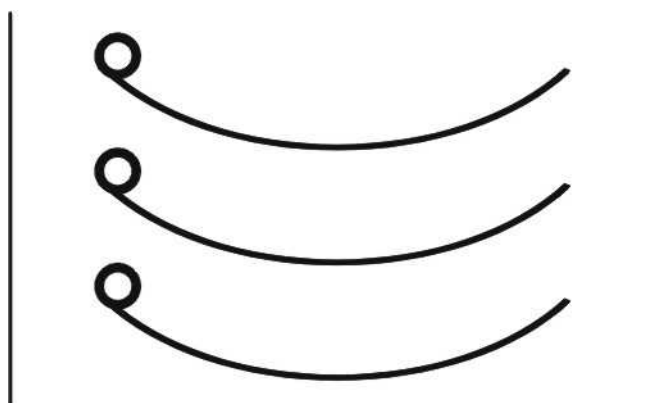
Jak vyplývá z rozložení pracoviště (*obrázek 6*), jedná se o poměrně složitý systém, ve kterém jsou jednotlivá strojní zařízení řazená za sebou a jednotlivé operace na sebe navazují. Na této výrobní lince se provádí tyto operace:

- navážení materiálu
- naložení listů do krokové pece s mezerami dle SKL
- ohřev listů na předepsanou teplotu
- rovnání šavlovitosti
- lisování středícího důlku nebo děrování středového otvoru na výstředníkovém lisu
- předhyb listu před vložením do šablony (výstředníkový lis, prstový lis)
- tvarování a kalení
- popouštění
- kontrolní měření tvrdosti po popouštění
- odložení listů do palet
- označení palet průvodkou a odvážení zpracovaných listů na úložiště
- kontrola chodu linky a zapisování předepsaných hodnot dle příslušného kontrolního plánu
- autonomní údržba a úklid pracoviště
- udržování pořádku a přehledu na úložišti kalících šablon

5. Technologie popouštění

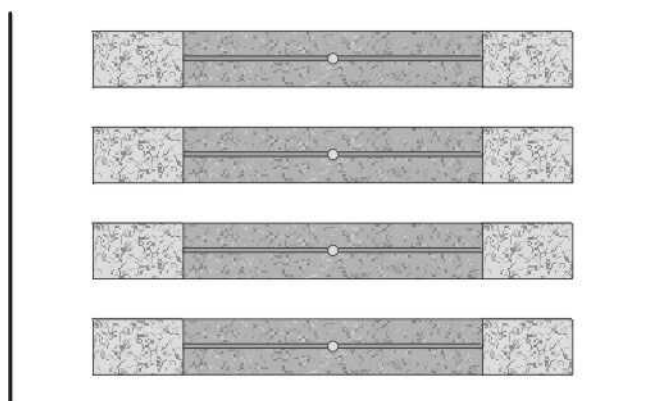
Zakalené pružinové listy se bezprostředně po zakalení musí popustit. Po vypadnutí z dopravníku kalící linky je musí pracovník šetrně narovnat na pás, aby se nezkrátila životnost pásu. Listy se kladou na pás buď na hranu (*viz obrázek 7*) u listů s dostatečným zaoblením, nebo na plochu (*viz. obrázek 8*) u listů které nemají dostatečné zaoblení [3].

Obr. 7 Pružiny kladené na hranu



Před započítím popouštění zkusí pracovník, zda listy jdou stavět na hranu. Listy pružiny s okem a listy s hákem se musí klást na hranu vždy. Všechny listy, které jdou klást na hranu se musí takto popouštět. Jen v tom případě, že listy na hranu stavět nejdou, je možno tyto klást na plochu [3].

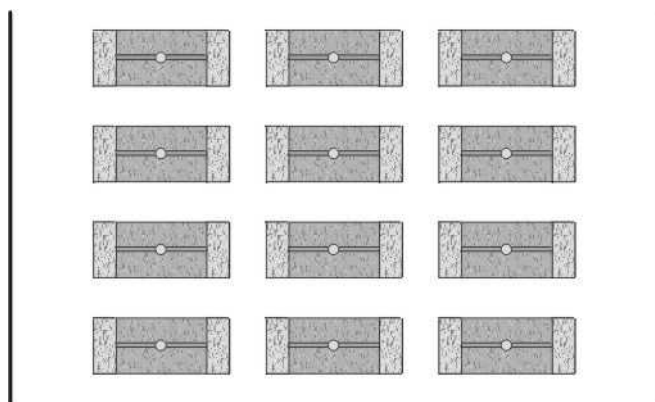
Obr. 8 Pružiny kladené na plochu



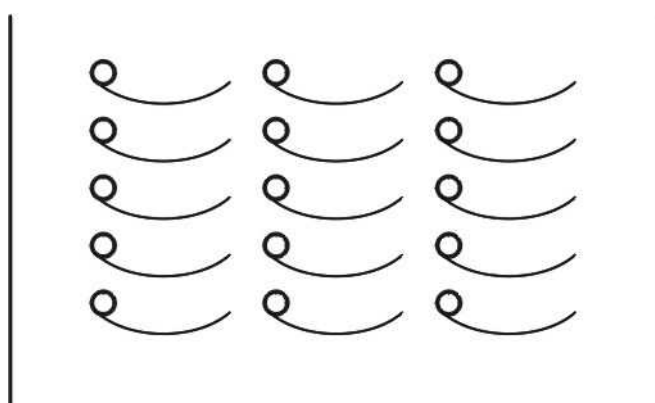
Při započetí práce na popouštěcí peci je nutné, aby materiál byl vsazován na pás až po dosažení předepsané teploty. Pružinové listy se kladou do takových vzdáleností od sebe, aby na jeden metr pásu byl dán počet listů, který zabezpečuje nepřetěžování pásu.

Maximální nosnost pásu na 1 m je 200 kg. Krátké listy se kladou na popouštěcí pás dle *obrázku 9* a *obrázku 10*. Dlouhé listy, které jdou klást na hranu materiálu, se kladou buď v jedné řadě za sebou (*viz. obrázek 11*), nebo se mohou klást druhým způsobem (*viz. obrázek 12*). Tento způsob je výhodnější, protože váha materiálu je rovnoměrně rozložena na pás.

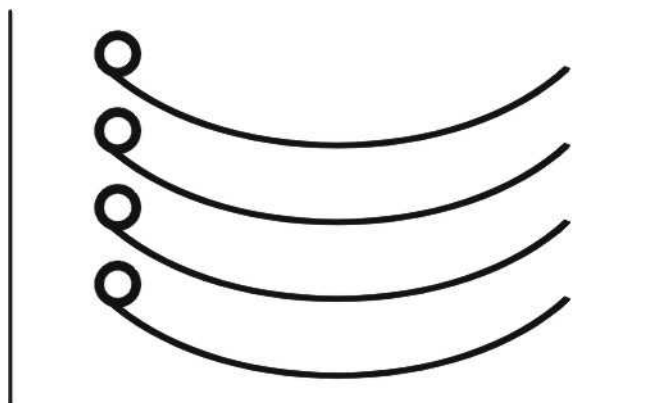
Obr. 9 Krátké listy kladené na plocho vedle sebe



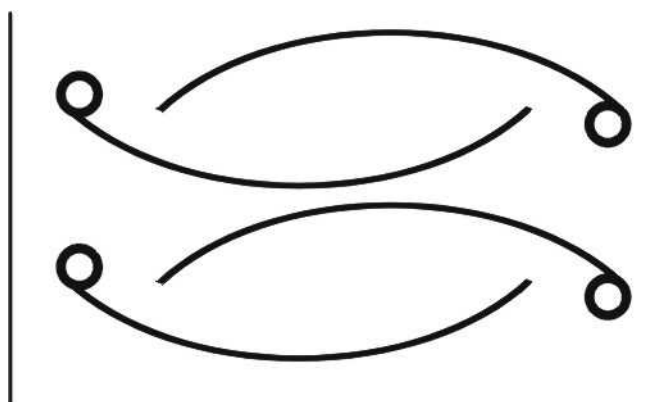
Obr. 10 Krátké listy kladené na hranu vedle sebe



Obr. 11 Dlouhé listy kladené na hranu za sebou – první způsob



Obr. 12 Dlouhé listy kladené na hranu za sebou – druhý způsob



Mezi listy musí být vždy ponechána mezera a listy se nesmí vzájemně překrývat. Při obsluhování pece je nutné dbát na to, aby dopravní pás a všechny ventilátory byly v chodu vždy, když teplota v peci přesáhne 200 °C. Obsluha linky nastaví teploty jednotlivých sekcí s dostatečným předstihem, aby se linka stačila natopit na požadovanou teplotu a listy měly předepsanou tvrdost dle výkresu.

Rychlost pásu je nastavena na 11,2 m/hod. a lze ji zpomalit pomocí variátoru, pokud je to předepsáno v technologické dokumentaci nebo postupu. Minimální doba, při které musí listy setrvat na předepsané teplotě je 90 minut.

Dobu setrvání na popouštěcí teplotě, ovlivňuje taktéž rozměr pružinových listů. Jestli tvrdost prvních kusů neodpovídá požadavku na jakost stanovenou výkresem, je povinen pracovník technické kontroly, odzkoušet tvrdost několika listů z konce pásu. Nevyhovují-li tyto předepsanému v dokumentaci, odkládá je stranou a informuje

mistra nebo vedoucího linky, který provede regulaci teploty dle potřeby. Jsou-li listy příliš tvrdé provede se regulace teploty směrem nahoru. Jsou-li příliš měkké provede se regulace teploty směrem dolů. Tato regulace se provádí tak dlouho, až se dosáhne požadované tvrdosti. Po nastavení požadované teploty se popouští jednotlivé listy pružiny. Odložené listy, které nevyhověly předepsané tvrdosti se znovu popustí. Tvrdost listů se měří dle technologického předpisu L 26.

6. Popouštěcí elektrická pec

6.1. Popis popouštěcí elektrické pece

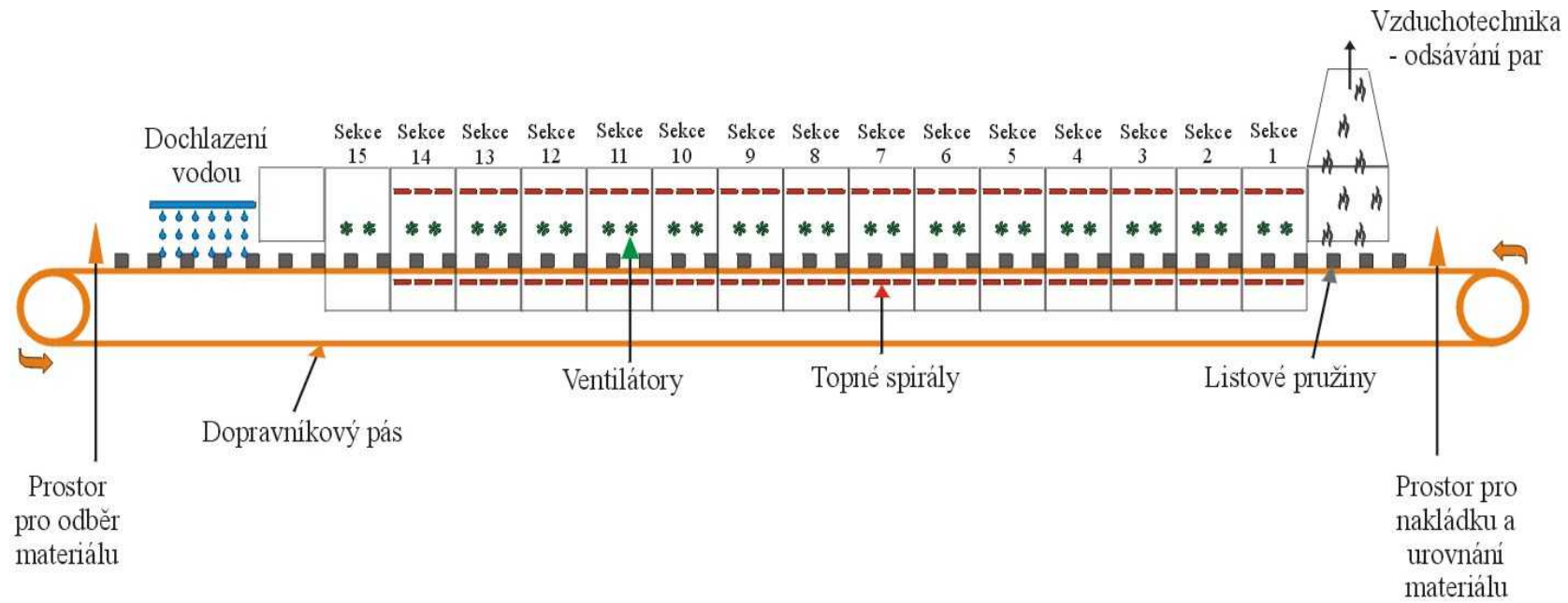
Popouštěcí elektrickou pec (viz. obrázek 13) můžeme rozdělit na pět částí, které jsou vzájemně propojeny a tvoří celek. Jsou zde:

- vstupní sekce
- ohřívací sekce
- výstupní sekce
- pohon pásu
- elektrický rozváděč

Obr. 13 Popouštěcí elektrická pec – pohled od kalícího dopravníku



Celková délka popouštěcí pece je 28 m, výška (bez vzduchotechniky) je 1,7 m a šířka samotné pece (včetně ventilátorů bez pohonu a převodových skříní pásu) je 3,5 m. Schematicky je znázorněna na obrázku 14.



6.1.1 Vstupní sekce

Délka vstupní sekce (viz. obrázek 15) je 3 m. Vstupní sekce slouží ke dvěma účelům:

- a) pracovník obsluhy po vypadnutí listů pružiny z kalícího dopravníku narovná listy na pohybující se pás (dle předpisu)
- b) pomocí vzduchotechniky se odsávají páry vzniklé procesem kalení

Obr. 15 Vstupní sekce popouštěcí pec



6.1.2 Ohřívací sekce

K samotnému procesu popouštění dochází v ohřívacích sekcích (viz. obrázek 16), které jsou pomocí šesti elektrických topných spirál ohřáté na předepsanou teplotu. Ohřívacích sekcí je celkem 14+1 (poslední sekce není vytápěna) a délka každé je 1,4 m. Celková délka tedy činí 21 m.

Obr. 16 Ohřívací sekce



Aby teplota byla v jednotlivých sekcích rovnoměrně rozložená, každá sekce je vybavena dvěma ventilátory (viz. obrázek 17) poháněnými asynchronním motorem.

Obr. 17 Ventilátory



6.1.3 Výstupní sekce

Aby bylo možno s popuštěnými listy dál pracovat, je potřeba je zchladit na teplotu okolí. Ke zchlazení dochází ve výstupní sekci (viz. obrázek 18) dlouhé 4 m, kde na listy pružiny teče studená voda.

Obr. 18 Výstupní sekce



6.1.4 Pohon pásu

Pohon pásu (viz. obrázek 19) je realizován pomocí asynchronního motoru. Protože požadujeme velký kroutící moment (moment síly) a velmi nízké otáčky, je použita převodová skříň a tři převody do pomala ozubenými koly. Aby bylo možné regulovat rychlost pásu, bylo použito variátoru.

Obr. 19 Pohon pásu (vpředu pohon s variátorem, vzadu převodová skříň)



6.1.5 Elektrický rozváděč

Celý proces popouštění je řízen prvky umístěnými v elektrickém rozváděči (viz. obrázek 20).

Obr. 20 Elektrický rozváděč



V něm (viz. obrázek 21) jsou umístěny ovládací a jistící prvky pro spouštění pohonu pásu, ovládací a jistící prvky pro pohony ventilátorů a jistící a spínací prvky pro topné spirály včetně programovatelného automatu.

Obr. 21 Uvnitř elektrického rozváděče



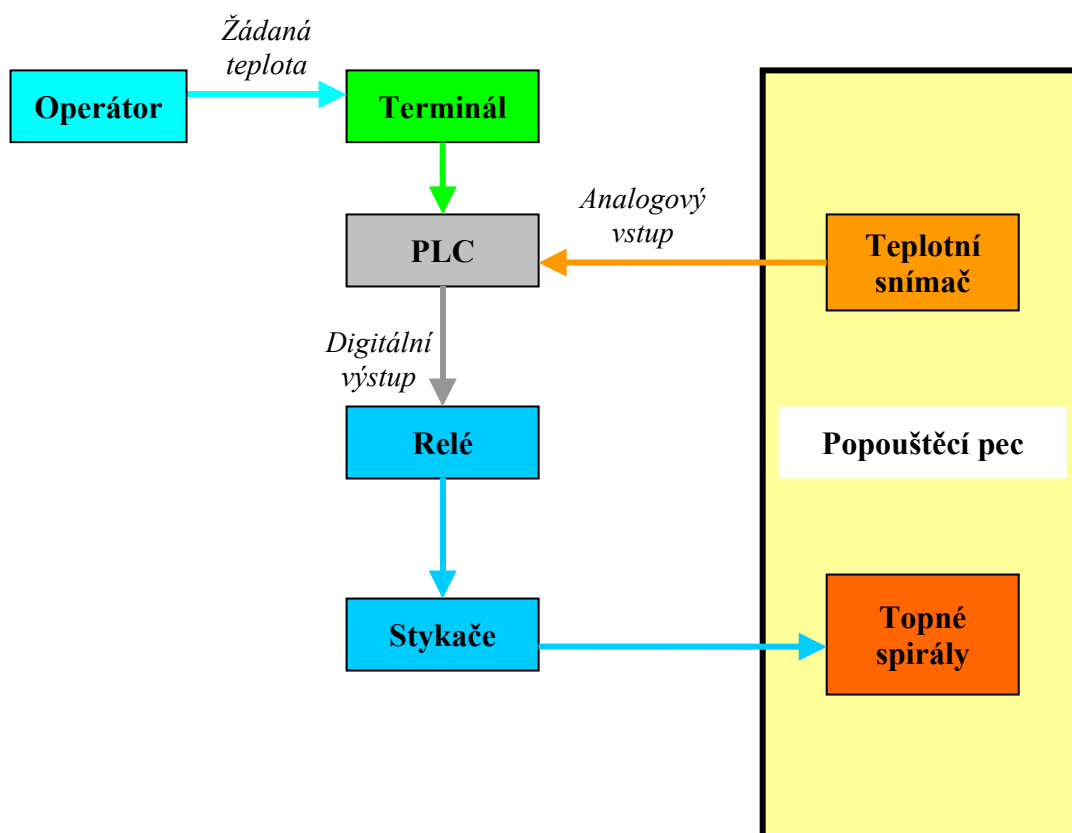
6.2 Popis funkce systému elektrické popouštěcí pece

Systém řízení elektrické popouštěcí pece (viz. obrázek 22) funguje tak, že obsluha pece na terminálu nastaví žádanou teplotu. Terminál (operační panel) přes komunikační rozhraní tuto informaci předá programovatelnému automatu (PLC), který nejprve zjistí na základě vstupního analogového signálu teplotního čidla, jaká je aktuální teplota v peci (dané sekci). V případě, že teplota v peci je stejná, nebo vyšší než je žádaná, PLC

neaktivuje žádné relé. V případě, že teplota v peci je nižší než žádaná, PLC aktivuje relé, které následně sepne stykač, který pak pustí elektrický proud do topných spirál. Tím dojde k ohřevu pece a současně teplotního čidla, které změnu teploty v podobě změny vstupního analogového signálu předá PLC, který ji následně vyhodnotí.

Aby regulace teploty probíhala s co nejmenšími regulačními odchylkami, PLC vyhodnocuje rozdíl mezi teplotou žádanou a skutečnou, a na základě velikosti regulační odchylky spíná (pomocí relé a stykačů) topné spirály buď do hvězdy nebo do trojúhelníku. V případě regulační odchylky větší než 2°C sepne topné spirály do trojúhelníku a bude jimi probíhat větší elektrický proud, což bude mít za následek přeměnu elektrické energie na více tepla (pec se rychleji ohřeje). V případě regulační odchylky menší než 2°C sepne topné spirály do hvězdy a bude jimi probíhat menší elektrický proud, což bude mít za následek přeměnu elektrické energie na méně tepla, ale překmit a trvalá regulační odchylka bude menší než u spojení spirál do trojúhelníku.

Obr. 22 Systém řízení elektrické popouštěcí pece



6.3 Popis jednotlivých prvků systému

6.3.1 Terminál (operační panel) OP 15–C1

Terminál (viz. obrázek 23) zobrazuje skutečné hodnoty teplot v popouštěcí peci a slouží k nastavování žádaných hodnot teploty pece v jednotlivých sekcích.

Obr. 23 Operační panel OP 15-C1



Přestože vytápěných sekcí je 15, na terminálu je možné vidět pouze 11 hodnot teplot, které nám poskytují teplotní čidla v peci. Je to proto, protože některé sekce jsou řízeny na základě hodnoty teploty v sousední sekci. Sekce 1,2,3,4,5,6 mají samostatné teplotní čidla, dvojice sekcí 7-8, 9-10, 11-12, 13-14 mají vždy jedno teplotní čidlo v jedné sekci pro řízení obou sekcí. Sekce jsou totiž uvnitř pece propojeny a tedy teplota v jedné sekci ovlivňuje teplotu jiné sekce. Protože žádané teploty v jednotlivých sekcích jsou stejné, vzájemné ovlivňování nevádí. Koncová sekce 15 nemá topné spirály, má pouze teplotní čidlo pro informativní účely.

Terminál je napájen 24 VDC a komunikuje s PLC přes AG–INTERFACE (V.24/TTY-INTERFACE SS2A).

6.3.2 Programovatelný logický automat (PLC) Simatic S5–95U

Programovatelný automat Simatic S5 - 95 U (viz. obrázek 24) je produktem firmy Siemens. V současnosti je nahrazován mnohem výkonnějším typem Simatic S7 – 300 a Simatic S7 – 400. Programuje se v programu Step 5 (pro Simatic S5), nebo Step 7 (pro Simatic S7).

Obr. 24 Simatic S5-95U



PLC na základě programu vyhodnocuje vstupy (hodnoty teplot, hlášení o sepnutí relé) a řídí výstupy – spíná relé, která ovládají stykače pro topné spirály, nebo zvukovou signalizaci hlásící poruchu systému. PLC informaci o poruchovém stavu a typu poruchy předává operačnímu panelu, kde si ji může obsluha přečíst a vykonat nápravná opatření. PLC je napájen 24 VDC, obsahuje procesor, 1 modul digitálních vstupů – 2 x (16 x DC24V), 1 modul digitálních výstupů 2 x (16 x DC24V;0,5A) a 3 moduly analogových vstupů (4 x $\pm 50\text{mV}$) pro termočlánky.

6.3.3 Relé

Relé (viz. obrázek 25) jsou ovládána programovatelným počítačem a slouží ke spínání stykačů, které pak spínají topné spirály.

Obr. 25 Relé RP 700 PC-P



V elektrickém rozvaděči jsou použita relé firmy Siemens, typu RP 700 PC-P. Ovládací napětí je 24 VDC. Každé relé je označeno (žlutým štítkem) a zakresleno v elektrotechnickém schématu.

6.3.4 Stykače

Stykače (viz. obrázek 26) slouží ke spínání velkých elektrických proudů. U topných spirál proudy dosahují hodnoty až 100 A.

Obr. 26 Stykače C100 (AC3/10-500V-100A)



Stykače spínají topné spirály do hvězdy nebo do trojúhelníku dle požadovaného výkonu. V systému jsou použity stykače typu C 100 (AC3/10-500V-100A) s ovládací cívkou pro napětí 240 ACV.

6.3.5 Teplotní snímače - termočlánky

Jako teplotní snímače jsou v systému použity termočlánky typu J (viz. obrázek 27) s rozsahem teploty 0 až +800°C s krytím IP 65 vyráběné firmou ZPA Nová Paka.

Obr. 27 Termočlánek typu J



Termočlánky využívají principu termoelektrického jevu. Při nárůstu teploty se zvýší na svorkách snímače napětí (řadově v desítkách mikrovoltů) a pomocí elektricky vodivého kabelu je přiveden do analogového modulu PLC [4].

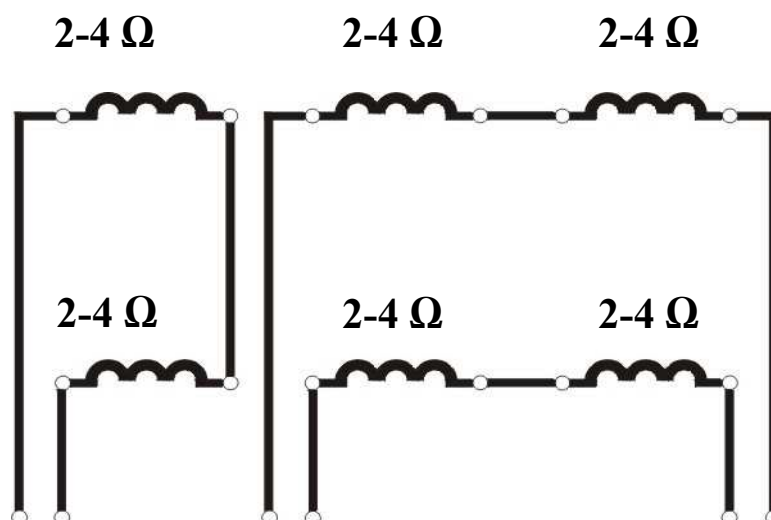
6.3.6 Topné spirály

Topné spirály (viz. obrázek 28) jsou pro tyto pece vyráběny firmami KNTL a.s. a ELSKLO spol. s r.o. na zakázku. Je to odporový drát o elektrickém odporu 2-4 Ω navinutý na speciální keramický nosič připomínající žebřík. Při průchodu elektrického proudu dochází k jeho ohřevu.

Obr. 28 Topná spirála



Obr. 29 Elektrické schéma topných spirál v jedné sekci



Topných spirál je v jednotlivých sekcích šest. Tři spirály jsou nahoře a tři dole. Topné spirály jsou v elektrickém rozvaděči pomocí stykačů zapojeny do hvězdy nebo do trojúhelníku. Elektrické schéma zapojení topných spirál je na *obrázku 29* [5].

7. Praktická část

Z technologického hlediska nás zajímá, jaké technické možnosti má elektrická popouštěcí pec a z toho vyplývají tyto možné úkoly:

1. Proved'te pozorování chování systému na změnu požadované teploty.
2. Zjistěte maximální dosažitelnou provozní teplotu elektrické popouštěcí pece (s technologií omezenou hranicí 550°C).
3. Zjistěte maximální trvalou regulační odchylku.
4. Změřte maximální rychlost pásu řízeného variátorem.

Na operačním panelu byla pro všechny topné sekce nastavena požadovaná teplota 550°C. Aby teploty v jednotlivých topných sekcích byly rovnoměrně rozloženy, byly zapnuty ventilátory. Vzhledem k tomu, že teplota okolí byla 5°C a popouštěcí pec byla několik dní vypnutá (a tedy zcela vychladla), byly vytvořeny velmi příznivé podmínky pro experiment.

Teploty byly měřeny v půlhodinových intervalech, jak můžeme vidět v *tabulce 1*. Celková doba experimentu trvala 10 hodin. Během této doby dosáhlo deset topných sekcí teploty 550°C, poslední dvě topné sekce teploty 505°C, a první dvě topné sekce teplot 283°C a 435°C.

Hlavním důvodem, proč první dvě topné sekce nebyly schopny dosáhnout vyšších teplot je skutečnost, že na vstupu je nainstalován ventilátor pro odsávání par z listových pružin, které opustily kalící olejovou lázeň. Tento ventilátor současně s odsáváním par částečně odsává i sálající teplo z nejbližších topných sekcí, čímž je ochlazuje.

U posledních dvou topných sekcí bylo dosaženo teploty 505°C, což je pro současný standardní provoz dostačující, ale tato teplota je u těchto dvou sekcí teplotou maximální. Tyto topné sekce jsou totiž umístěny na konci popouštěcí pece, kde dochází k úniku tepla do okolí navíc v místě výstupu listových pružin z popouštěcí pece.

Po 5,5 hodině vytápění popouštěcí pece došlo u topné sekce číslo 5 k maximálnímu překmitu o 3°C a tento stav trval 10 minut. Systém v experimentu (i v běžném provozu) vykazoval trvalou regulační odchylku 2°C.

Pro změření maximální rychlosti pásu byl nejprve seřízen variátor na maximální rychlost. Poté byla na vstup položena listová pružina a spuštěny stopky. Po vyjetí pružiny z popouštěcí pece byly stopky zastaveny. Abychom získali maximální rychlost

pásu, vydělili jsme délku popouštěcí pece (měřeno v metrech) naměřeným časem (měřeno v minutách a následně převedeno na hodiny).

Výpočet maximální rychlosti:

dráha $s = 21 \text{ m}$

naměřený čas $t = 44,5 \text{ min.} \rightarrow \frac{44,5}{60} = 0,74 \text{ hod.}$

$$v_{\max} = \frac{s}{t} = \frac{21}{0,74} = 28,4 \text{ m.hod}^{-1}$$

Maximální naměřená rychlost pásu je $28,4 \text{ m.hod}^{-1}$.

Elektrická popouštěcí pec má tyto vlastnosti:

- ✓ Je schopna dosáhnout a udržet maximální teplotu 550°C v topných sekcích 3-12.
- ✓ V topné sekci 1 (po 10 hod.) byla naměřena teplota 283°C .
- ✓ V topné sekci 2 (po 10 hod.) byla naměřena teplota 435°C .
- ✓ V topných sekcích 13 a 14 byla naměřena maximální teplota 505°C .
- ✓ Maximální překmit byl naměřen u sekce č. 5 a dosáhl hodnoty 553°C , což představuje 3°C od požadované hodnoty. Tento překmit trval 10 minut.
- ✓ Systém pracuje s trvalou regulační odchylkou 2°C .
- ✓ Přestavením variátoru lze postupně od 0 dosáhnout maximální rychlosti pásu $28,4 \text{ m.hod}^{-1}$.

7.1 Poznámky:

Při analýze systému byly zjištěny některé skutečnosti, na které bych rád upozornil. Tyto skutečnosti se týkají zastaralého řídicího systému, možnosti vyššího stupně automatizace a eliminace energetických ztrát.

7.1.1 Řídicí systém

Z hlediska použitého řídicího systému (PLC – Simatic S5 – 95U) je třeba poznamenat, že je již zastaralý a nevyrobí se. Lze jej poměrně snadno nahradit PLC – Simatic řady S7. Současně používaný software lze transformovat pro Simatic S7. Tato transformace softwaru spočívá v importu dat z používaného PLC řady S5 do externího počítače, který má nainstalován speciální software firmy Siemens – STEP 7. Tento program data přetransformuje pro konkrétní PLC řady S7 a poté je možné tato data přehrát do nového PLC řady S7.

7.1.2 Automatizace

V technologii popouštění je jedním z úkolů obsluhy zapnout všechny ventilátory a pohon pásu vždy, když teplota některé z topných sekcí dosáhne hodnoty 200°C. Toto by šlo velmi snadno zautomatizovat dopsáním programu a doplněním relé a stykače. Systém by pak fungoval tak, že ve chvíli, kdy teplota v jedné topné sekci dosáhne teploty 200°C, PLC sepne relé. Relé sepne pomocný stykač, který pak sepne všechny ventilátory a pohon pásu.

7.1.3 Energetická ztráty

U použité technologie vznikají poměrně velké energetické ztráty vzniklé únikem tepla. Při pohledu na schéma popouštěcí pece (*viz. obrázek 14*) je zřejmé, že pohybující se ocelový pás je v peci nejprve ohříván na teplotu cca 500°C a následně vodou ochlazen na teplotu cca 30°C. Po přesunutí pásu na vstup do pece je opět zahříván na teplotu cca 500°C. Toto jsou poměrně velké tepelné ztráty.

Nabízí se zde jedno poměrně náročné řešení: Rozdělit dopravník na dvě části (nebo dva dopravníky) v sekci číslo 15 (*viz. obrázek 30*). Ohřátý pás by pak nebyl ochlazován na teplotu okolí, protože v místě chlazení by byl druhý dopravník, který by neabsorboval teplo z popouštěcí pece. Velký význam by pak měla i tepelná izolace pásu probíhajícího pod popouštěcí pecí, která by bránila ochlazení ohřátého pásu v době přesouvání na vstup.

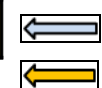
Z hlediska bezpečnosti by pak bylo nutno zabránit popálení obsluhy pece rovnající pružinové listy na neochlazený ocelový pás.

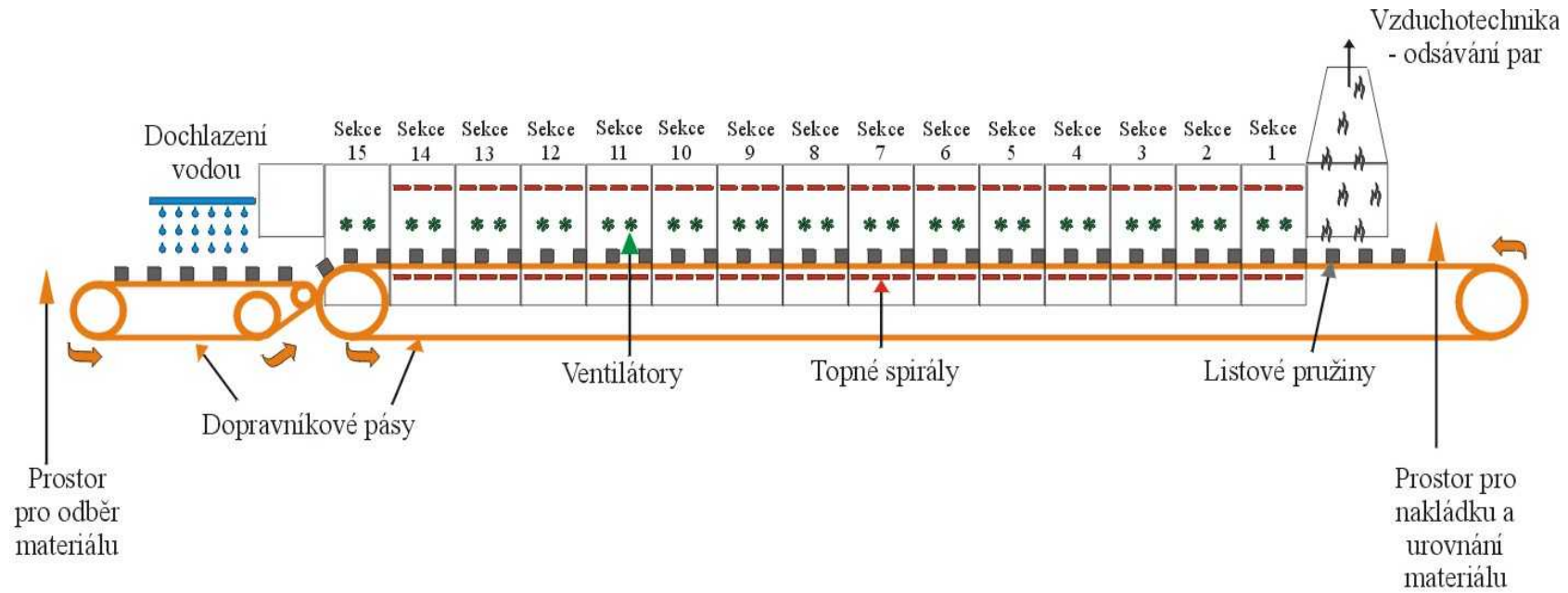
Čas
(hod)

10	505	505	550	550	550	550	551	551	550	549	548	550	435	283
9	506	506	550	550	549	549	550	550	551	550	549	548	432	282
	505	505	549	549	550	550	549	549	550	551	550	550	428	273
8	491	491	544	544	550	550	551	551	550	551	549	546	421	269
	471	471	528	528	549	549	549	549	550	550	550	535	411	262
7	453	453	511	511	549	549	550	550	551	550	550	525	400	258
	434	434	494	494	551	551	548	548	550	550	552	514	391	253
6	405	405	469	469	548	548	550	550	550	552	541	498	378	249
	386	386	446	446	538	538	551	551	550	550	532	482	366	244
5	363	363	422	422	515	515	537	537	544	553	519	464	352	237
	336	336	395	395	486	486	515	515	535	551	505	443	335	228
4	309	309	368	368	457	457	493	493	526	549	491	422	318	219
	286	286	343	343	427	427	458	458	494	521	462	394	298	202
3	263	263	318	318	396	396	423	423	462	492	432	365	277	184
	237	237	287	287	359	359	380	380	420	452	391	337	252	174
2	210	210	255	255	316	316	337	337	378	411	350	308	227	163
	182	182	224	224	276	276	293	293	332	367	307	278	201	151
1	154	154	192	192	236	236	248	248	286	323	264	248	175	139
	117	117	149	149	179	179	185	185	208	257	203	203	134	124
0	76	76	105	105	119	119	119	119	143	179	136	144	83	75
	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5
	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1				

550 teplota 550°C
500 teplota 500°C

Topné sekce
Číslo teplotního čidla





8. Závěr

Má-li být výrobní firma úspěšnou v dnešním moderním konkurenčním světě, musí se mimo jiné také zabývat optimalizací výroby. Hlavním předpokladem optimalizace výroby je nejen znalost jednotlivých prvků výrobního systému a jejich technické možnosti, ale také jejich vzájemná závislost a návaznost.

Cílem mé bakalářské práce byla analýza a zjištění maximálních technických možností jednoho z mnoha prvků systému zvaného „Technologie výroby listových pružin“. V podsystému „Výrobní linka HŽ9“ hraje elektrická popouštěcí pec nezastupitelnou roli.

V kapitole druhé jsem se zmínil o použití listových pružin a vysvětlil rozdíl mezi listovými pružinami parabolickými a trapézovými. Z blokového schématu výroby listových pružin (*obrázek 5*) z kapitoly třetí vyplývá, že listové pružiny parabolické jsou z hlediska výroby náročnější, což ovlivňuje jejich cenu.

Výrobní linku HŽ9 a na ní prováděné operace popisují v kapitole čtvrté. Technologií popouštění se podrobně zabývám v kapitole páté, protože z ní vyplývají technické požadavky na popouštěcí pec a jejich omezení.

Kapitola šestá je rozdělena do dvou částí. První rozděluje popouštěcí pec na pět vzájemně propojených částí. Druhá část se zabývá funkcí systému a jeho řízení. Jsou v ní podrobně popsány prvky systému a jejich vzájemná závislost.

V sedmé kapitole popisují praktické úkoly, které souvisí s cílem mé bakalářské práce. Při experimentu jsem na operačním panelu zvýšil žádanou teplotu popouštěcí pece o 10% (tedy o 50°C) než je nastavena v běžném provozu, a monitoroval jsem chování jednotlivých topných sekcí v průběhu deseti hodin. Ukázalo se, že dvě topné sekce 13 a 14 (*viz. tabulka 1*), které dosahují běžné provozní teploty 500°C, nebyly schopné žádané teploty 550°C dosáhnout.

Z hlediska stability lze popouštěcí pec hodnotit jako stabilní systém, který má své hranice.

Systém pracuje s trvalou regulační odchylkou 2°C. Při experimentu došlo u páté topné sekce k překmitu o 3°C, který trval 10 minut.

Druhým praktickým úkolem bylo změření maximální rychlosti ocelového pásu, na kterém jsou uloženy popouštěné pružiny projíždějící popouštěcí pecí. Při měření maximální rychlosti pásu se ukázalo, že rychlost pásu v tomto systému není limitující,

protože maximální naměřená rychlost je $28,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a běžně nastavena rychlost pásu je $11,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Závěrem lze konstatovat, že tato bakalářská práce pro firmu Hanácké železářny a pérovny, a.s. je praktickým přínosem. Zjištěné výsledky experimentu mohou být cennými informacemi pro technology.

Autorovi umožnila bakalářská práce aplikovat teoretické poznatky v praxi, v reálně fungujícím systému.

9. Seznam zkratk

L26	technologický předpis
PLC	programovatelný automat
SKL	technologický předpis
Step 5,7	software pro programování automatů Simatic řady S5 a S7

10. Seznam odborné literatury

- [1] Ing. Hajkr, Z.: *Základní parametry listových pružin, interní příručka pro zaměstnance*, Hanácké železářny a pérovny a.s., Prostějov; 2007
- [2] Kajánek: *Technologický předpis pro kalení listových a parabolických pružin na lince HŽ9-L24e*, Hanácké železářny a pérovny a.s., Prostějov; 7.5.1996
- [3] Lužný, D.: *Popouštění pružinových listů v elektrických pásových pecích linky HŽ6 a HŽ9-L25*, Hanácké železářny a pérovny a.s., Prostějov; 25.2.1998
- [4] Encyklopedie Wikipedia (internet), pojem „*Termočlánek*“, ze dne 19.11.2007
- [5] Ing.Kábrt: *Technická dokumentace elektro – Elektrická popouštěcí pec HŽ9*, Hanácké železářny a pérovny a.s., Prostějov; 12.3.1999
- [6] Ing.Follprecht, J.: *Řízení strojírenských provozů*, Praha, SNTL, 1984, L13 - B3 - V - 31/22717
- [7] Prof.Ing. Chvála, B., Prof.Ing.Nedbal, J., doc.Ing.Dunay, G.: *Automatizace*, Praha, SNTL jako společné vydání s n.p. ALFA, 1985, L13 - C3 - IV - 41/28796

11. Seznam tabulek

		strana
Tabulka 1	Tabulka naměřených hodnot	30

12. Seznam obrázků

	strana	
Obrázek 1	Listové pružiny	7
Obrázek 2	Listová pružina umístěna na vozidle v podélném směru	7
Obrázek 3	Těleso trapézové pružiny	8
Obrázek 4	Těleso parabolické pružiny	9
Obrázek 5	Blokové schéma průběhu výroby listových pružin	10
Obrázek 6	Rozložení pracoviště	11
Obrázek 7	Pružiny kladené na hranu	13
Obrázek 8	Pružiny kladené na plocho	13
Obrázek 9	Krátké listy kladené na plocho vedle sebe	14
Obrázek 10	Krátké listy kladené na hranu vedle sebe	14
Obrázek 11	Dlouhé listy kladené na hranu za sebou - první způsob	15
Obrázek 12	Dlouhé listy kladené na hranu za sebou - druhý způsob	15
Obrázek 13	Popouštěcí elektrická pec - pohled od kalícího dopravníku	17
Obrázek 14	Popouštěcí elektrická pec - schematicky	18
Obrázek 15	Vstupní sekce popouštěcí pece	19
Obrázek 16	Ohřívací sekce	19
Obrázek 17	Ventilátory	20
Obrázek 18	Výstupní sekce	20
Obrázek 19	Pohon pásu (vpředu pohon s variátorem, vzadu převodová skříň)	20
Obrázek 20	Elektrický rozvaděč	21
Obrázek 21	Uvnitř elektrického rozvaděče	21
Obrázek 22	Systém řízení elektrické popouštěcí pece	22
Obrázek 23	Operační panel OP15-C1	23
Obrázek 24	Simatic S5-95U	24
Obrázek 25	Relé RP 700 PC-P	24
Obrázek 26	Stykače C100 (AC3/10-500V-100A)	25
Obrázek 27	Termočlánek typu J	25
Obrázek 28	Topná spirála	25
Obrázek 29	Elektrické schéma topných spirál v jedné sekci	26
Obrázek 30	Popouštěcí pec - schematicky s rozděleným dopravníkem	31