



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH INOVACE MONTÁŽNÍ LINKY TERMOSTATICKÝCH HLAVIC VE FIRMĚ HONEYWELL

ASSEMBLY LINE INNOVATION PROJECT FOR THERMOSTATIC HEADS AT
HONEYWELL

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. Karel Fical

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. Roman Kubík, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Karel Fical

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh inovace montážní linky termostatických hlavice ve firmě Honeywell

v anglickém jazyce:

Assembly line innovation project for thermostatic heads at Honeywell

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem je racionalizovat montážní linku termostatických hlavice ve společnosti Honeywell.

Cíle diplomové práce:

1. Analýza současného stavu výroby na lince
2. Stanovení optimalizačních kritérií v souladu s cíli firmy
3. Návrh možných variant racionalizace linky
4. Zhodnocení variant vzhledem ke zvoleným kritériím (vč. předpokládaných nákladů a přínosů)
5. Volba optimální varianty a vyčíslení ekonomických efektů

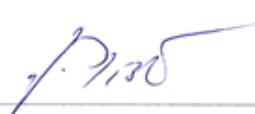
Seznam odborné literatury:

1. HLAVENKA, B. Projektování výrobních systémů: Technologické projekty I. 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 197 s. ISBN 80-214-2871-6.
2. HLAVENKA, B. Manipulace s materiálem: Systémy a prostředky manipulace s materiálem. 4. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. 163 s. ISBN 978-80-214-3607-7.
3. SAMEK, J. Modely optimálního rozmístění výroby. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989. 150 s.
4. SMETANA, J. Projektování technologických pracovišť. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1990. 195 s. ISBN 80-7078-033-9.
5. ZELENKA, A. Projektování výrobních procesů a systémů. 1. vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2007. 136 s. ISBN 978-80-01-03912-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Roman Kubík, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 14.11.2011


prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu




prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Předmětem této práce je návrh inovativního řešení na montážní lince ve firmě Honeywell. Optimalizace této linky bude dosaženo změnou koncepce kalibrování. Stávající stabilizace v klimatizované komoře bude nahrazena operativní kalibrací zakomponované přímo v montážní lince, která bude závislá na teplotě okolí. V této práci bude především obsažen popis stávajícího stavu, navrhované změny a ekonomické zhodnocení.

Klíčová slova

Termostatická hlavice, montážní linka, optimalizace, kalibrace

ABSTRACT

The object of this work is to propose innovative solutions on the assembly line in company Honeywell. Optimization of this line will be achieved by changing the concept of calibration. The current stabilization in air-conditioned chamber will be replaced by operational calibration incorporated in the assembly line, which will depend on ambient temperature. This work will be mainly contained a description of the current status, the proposed changes and economic evaluation.

Key words

Thermostatic head, the assembly line, optimization, calibration

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FICAL, Karel. *Návrh inovace montážní linky termostatických hlavic ve firmě Honeywell*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 61s., příloh 1. Vedoucí diplomové práce Ing. Roman Kubík, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma návrh inovace montážní linky ve firmě Honeywell vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

.....
Bc. Karel Fical

Poděkování

Děkuji tímto panu Ing. Romanu Kubíkovi, Ph.D. a panu Ing. et Ing. Jiřímu Šedovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt	3
Prohlášení	4
Poděkování	5
Obsah	6
Úvod.....	8
1 FIRMA HONEYWELL.....	9
1.1 Historie firmy.....	9
1.2 Honeywell v České republice	9
1.3 Současnost	10
2 REGULACE VYTÁPĚNÍ	11
2.1 Obecně o regulaci.....	11
2.1.1 Regulace centrálního zdroje.....	11
2.1.2 Regulace otopných těles.....	13
2.1.3 Kombinované regulace.....	14
3 FUNKCE TERMOSTATICKÉ HLAVICE	15
3.1 Využití a charakteristiky	15
3.2 Části hlavice a jejich funkce	15
3.3 Doporučení.....	17
4 STÁVAJÍCÍ STAV LINKY	18
4.1 Rozmístění pracovišť a materiál.....	18
4.1.1 Sankeyův diagram	18
4.2 Chronologický popis montáže.....	19
4.2.1 Předmontáž.....	20
4.2.2 Montážní linka.....	20
4.2.3 Transport	23
4.2.4 Kalibrační linka	23
4.2.5 Balicí linka	25
4.3 Vymezení problému pro optimalizaci.....	25
5 KALIBRACE NATÁČENÍM	27
5.1 Princip SMART kalibrace.....	27
5.2 Testovací zařízení.....	28
5.2.1 Vodicí jednotka s úchylkoměrem.....	29
5.2.2 Upínací lože	30
5.2.3 Teplotní čidlo.....	30
5.3 Určení emisivity termoelementu	36
5.4 Charakteristiky termoelementu a celé hlavice.....	36
5.4.1 Charakteristika termoelementu	36
5.4.2 Charakteristika hlavice	38
5.5 Teplotní situace na hale.....	39
5.6 Ruční kalibrace a ověření ve vodní lázni	40
5.7 Určení limitní změny teploty a doba ustálení.....	42
5.8 Návrh stroje do sériové výroby	43
6 SLOUČENÍ LINEK	44
6.1 Návrh 1	44
6.1.1 Sankeyův diagram prvního návrhu.....	45
6.2 Návrh 2	46

6.2.1 Sankeyův diagram druhého návrhu	47
6.3 Ekonomické zhodnocení.....	48
6.3.1 Nutné náklady stávajícího řešení	48
6.3.2 Inovované řešení.....	48
7 SROVNÁNÍ VARIANT	51
7.1 Zhodnocení návrhů.....	52
8 MOŽNOSTI NA OBDOBNÝCH LINKÁCH.....	53
8.1 Základní princip	53
8.2 Návrh stroje.....	54
8.3 Srovnání	55
8.4 Návratnost vložené investice	55
ZÁVĚR	56
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	57
SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	59
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	61

ÚVOD

Vzhledem k pohodlnějšímu stylu života a především ke stále rostoucím cenám energií je regulace vytápění velice aktuální téma. Téměř všechny budovy v naší zeměpisné poloze obsahují otopnou soustavu, která je navrhována na základě výpočtu tepelných ztrát objektu a pro nejnižší venkovní teplotu v daném regionu. V našich krajích jde o teploty cca -15°C (-18°C). Skutečný počet dnů s takto nízkými teplotami je však nepatrný a otopná soustava je tak po většinu trvání topné sezóny značně předimenzovaná. Teplo touto soustavou není proto efektivně využito a ve výsledku to znamená vyšší náklady na spotřebovanou energii. Z toho důvodu je vhodné odpovídajícím způsobem zasáhnout do regulace vytápění. Nyní se nabízí otázka, jak to učinit s co možná nejnižšími pořizovacími náklady, technicky jednoduché, dostatečně účinné a snadné na obsluhu.

Diplomová práce pojednává o možnosti regulace vytápění pomocí termostatických ventilů a především o optimalizaci montážní linky při výrobě těchto hlavice. V první části jsou uvedeny stručné informace o firmě, praktické využití hlavice, funkce systému hlavice či jednotlivých komponentů. V další části je zmapován stávající stav montážní linky, u které jsou navrhovány možné změny v závislosti efektivnosti na návratnosti vložené investice. Závěrem je celá studie zhodnocena a vybrána nejvhodnější varianta.

1 FIRMA HONEYWELL

1.1 Historie firmy

Kořeny firmy Honeywell sahají až do roku 1885, kdy vynálezce Albert Butz se svým kolegou vyvinul regulaci klapek uhelných pecí, které tehdy dokázaly řídit teplotu v obytných domech. Téhož roku si vynález nechali v Minneapolis patentovat a založili společnost "Butz Thermo-Electric Regulator Company", která jako první prodávala produkty pro automatickou regulaci vnitřních teplot budov. V roce 1892 vedení společnosti převzal William Richard Sweatt a o deset let později byla společnost přejmenována na "Electric Heat Regulator Company". V roce 1912 byl vybudován první závod v Minneapolis. [14]

Roku 1927 William R. Sweatt, vlastník společnosti "Minneapolis Heat Regulator Company", a Mark C. Honeywell, vlastník společnosti "Honeywell Heating Specialties Company" ve městě Wabash, Indiana, spojili své společnosti do jedné. Nová firma byla založena jako akciová společnost a vystupovala pod názvem "Minneapolis-Honeywell Regulator Company", v roce 1928 dosáhla obrátu 5,25 milionu dolarů. [14]

Na konci roku 1934 se koupí společnosti působící i na mezinárodním obchodním poli "Brown Instruments Company", rozšířila nabídka produktů pro průmyslové aplikace. Prvním podnikem v Evropě byla společnost "N.V. Nederlandsche Minneapolis-Honeywell" založená v roce 1934 v Holandsku. V období nejvyšších předválečných aktivit zaměstnávala patnáct holandských a německých zaměstnanců. Postupně byly založeny další zahraniční podniky v Anglii (1936) a Švédsku (1938). Po druhé světové válce kromě obnovení společností v Amsterdamu, Londýně a Stockholmu byly vybudovány nové pobočky v Bruselu (1946) a Curychu (1947). Obrát společnosti se sedmnácti tisíci zaměstnanci po celém světě poprvé překročil hranici sta milionů dolarů. [14]

V padesátých letech společnost Honeywell otevřela další pobočky a výrobní závody po celém světě. V šedesátých letech Honeywell vstoupil také do dalších oblastí automatizační techniky (průmyslová automatizace, senzorika, letectví a kosmonautika). V roce 1967 překročily obraty společnosti Honeywell poprvé hranici jedné miliardy dolarů. [14]

1.2 Honeywell v České republice

V roce 1962 vzniklo obchodního zastoupení v Praze v tehdejší ČSSR přes rakouskou pobočku společnosti Honeywell. Roku 1991 proběhlo založení samostatného podnikatelského subjektu Honeywell Service & Engineering s.r.o. s hlavní náplní činnosti v oblasti realizace obchodních zakázek a následné zákaznické podpory. Roku 1993 v rámci Honeywell Service & Engineering s.r.o. vzniká výzkumně-vývojová laboratoř, základ dnešní Honeywell Prague Laboratory, která se tak stala první výzkumně-vývojovou jednotkou společnosti Honeywell mimo území USA. O dva roky později proběhlo sloučení obou stávajících subjektů pod Honeywell spol. s.r.o. spojené s podstatným rozšířením aktivit v oblasti regulací a řízení pro

domácnosti i průmysl. V průběhu dalších let bylo odkoupeno několik dalších firem zabývajících se výrobou komponent pro zabezpečovací systémy, letecké motory, senzory pro automobilový průmysl atd. [8]

Roku 1992 bylo založeno globální vývojové centrum v Brně (nynější HTS CZ-Brno) s cílem posílit technologický potenciál společnosti – projekt obdržel ocenění „Investor roku 2002“ v kategorii investic nejvíce zhodnocující kvalifikovanou pracovní sílu. [8]

1.3 Současnost

V současné době zaměstnává společnost Honeywell v České republice více než dva tisíce sedm set pracovníků, z toho přibližně jeden tisíc v Brně. Společnost má pobočky v Praze, Brně, Olomouci a Ostravě. [8, 20]

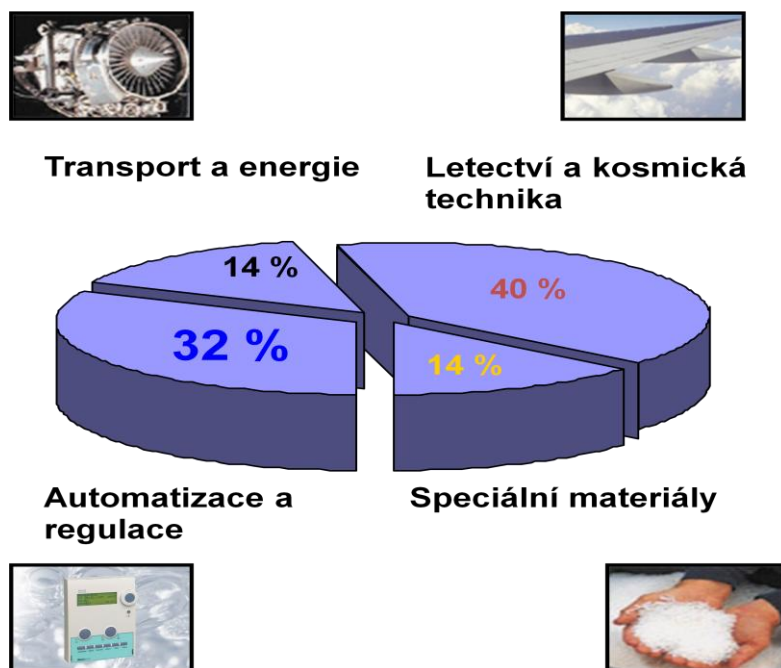
Honeywell se nyní dělí na základní čtyři divize a to:

Letectví a kosmická technika- návrh a výroba částí turbínových motorů, vývojové práce, zákaznická podpora a prodej.

Automatizace a regulace - výrobky pro řízení vnitřní teploty domů, kanceláří a technologické automatizační prostředky s tímto související.

Speciální materiály- Patří sem výroba speciálních fólií, vláken s výjimečnými parametry, reagenty a laboratorní chemikálie, vysoce čisté materiály, jemné a speciální chemikálie, meziprodukty a speciální přísady atd.

Transport a energie – vývoj a výroba zvyšující výkon vozidel, účinnost a vzhled pomocí state-of-the-art technologie.



Obr.1.1. Divize společnosti [20].

2 REGULACE VYTÁPĚNÍ

Regulaci teploty v obytných prostorách znali už ve středověku na hradech a zámcích. Tehdy to bylo řešeno pomocí kamen či jiného zdroje tepla a systémem šachet, průduchů a klapek. Natočením klapek se redukovalo množství přiváděného teplého vzduchu do místnosti.

V dnešní době je tento systém naprosto nepřipustný, ať už z hlediska pracnosti na obsluhu, složitosti na výstavbu, ale především nedokáže poskytnout tepelný komfort jako moderní regulace.

2.1 Obecně o regulaci

V nižší míře se dnes pro vytápění využívá elektrických přímotopů (elektrické konvertory, podlahové topné rohože, sálavé panely), které neobsahují kotel a jsou bez teponosného média. Druhou variantou, která je častější, jsou otopné teplovodní soustavy (etážového typu), které mají různé zdroje (plynovými či elektrickými kotli, kotli na tuhá paliva, tepelnými čerpadly a jiné). Tyto soustavy je třeba regulovat z důvodů kolísání venkovní teploty a s tímto se měnícím výkonem vytápění. [12]

Regulaci můžeme rozdělit na dva základní typy:

- regulace centrálního zdroje,
- individuální regulace otopných těles.

2.1.1 Regulace centrálního zdroje

Tato regulace se týká pouze otopných soustav s teplovodním médiem. V současnosti jsou využívány dva typy.

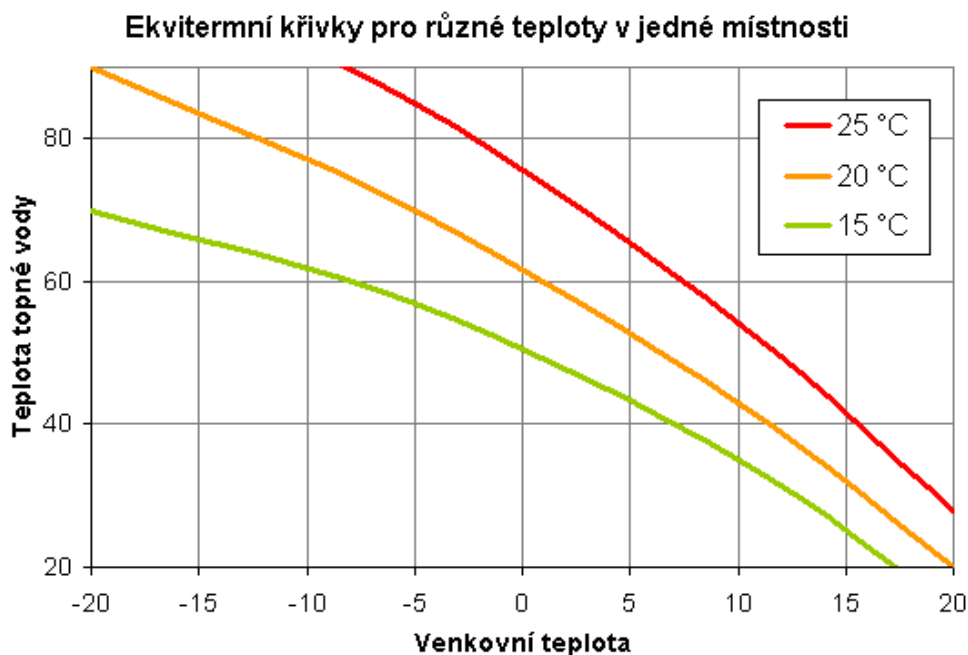
2.1.1.1 Termostat v referenční místnosti

Termostat je umístěn do vybrané místnosti, jejíž teplotní režim je určen jako vztažný a rozhoduje o míře vytápění celého objektu. V rodinném domku to může být např. obývací pokoj, v administrativní budově vhodně vybraná kancelář a podobně. Jakmile je v této místnosti dosaženo požadované teploty, je pokojovým termostatem vyslán povel zdroji s požadavkem jeho vypnutí či potřebného omezení okamžitého výkonu. Dojde-li naopak ke snížení teploty v referenční místnosti pod požadovanou míru (což je dáno citlivostí, resp. hysterezí termostatu), obdrží zdroj povel k zapnutí či zvýšení okamžitého výkonu. Skutečné provedení termostatů se vzájemně liší. Od jednoduchých termostatů ovládaných kolečkem funkcí potenciometru, až po programovatelné stanice s možností nastavení různých útlumů během dne, plynulé zvyšování výkonu kotle a jiné.

Velkou nevýhodou tohoto systému se mi jeví, že nelze řízeně distribuovat teplo do jednotlivých částí objektu. Což v praxi znamená, pokud chceme vyhřát například ložnici a termostatické čidlo máme v obývacím pokoji, tak se tato místnost bude nahřívat současně, i když to nechceme. [3, 4,12]

2.1.1.2 Ekvitermní regulace

Základním principem této regulace je nastavení teploty topné vody v závislosti na venkovní teplotě. Když je venku chladněji, je požadována vyšší teplota dodávané topné vody, aby došlo k rovnováze mezi dodaným teplem a tepelnými ztrátami místnosti a teplota místnosti tak zůstala konstantní. Pro každou místnost v budově se dají určit ekvitermní křivky, které dávají do závislosti venkovní teplotu a teplotu topné vody. [10]



Obr. 2.1. Ekvitermní křivky [10].

Na základě těchto křivek si uživatel zvolí pro něj tu vhodnou a regulátor, pomocí směšovacích ventilů, snímačů teplot a čerpadel koriguje teplotu v místnosti. Čerpadla a ventily jsou ovládány v závislosti na překročení nebo podkročení určité snímané teploty. Pokud se skutečná teplota v místnosti hýbe, tak je špatně nastavená ekvitermní křivka a je nutno ji upravit. Doladění této křivky je dlouhodobou záležitostí, ale pokud je nastavena správně, topení běží kvalitně a bezobslužně do doby, dokud se nezmění charakter budovy, například přestavbou nebo zateplením. Neznamená to ovšem, že bychom museli mít během dne v místnosti jen jednu konstantní teplotu. Může být vytvořen časový program, který bude měnit prostorovou teplotu i několikrát denně. Ekvitermní křivky v podstatě jen kopírují tepelné ztráty objektu při různých venkovních teplotách. [3, 10, 12]

Nevýhodou tohoto systému je možnost oslunění. Pokud bude svítit slunce do referenční místnosti, termostat dříve vypne a ostatní (i neosluněné) místnosti budou chladnější, než je obvyklé. Naopak, budou-li osluněny pouze některé místnosti (nikoliv referenční), otopná soustava to nezaznamená a tyto místnosti budou přetápěny.

2.1.1.3 Zátěžová regulace

Systém regulace je založen na myšlence, že je vyráběno pouze tolik tepla, kolik se spotřebuje v topném okruhu. Spínání kotle je způsobeno díky poklesu teploty ve zpětné větvi okruhu oproti vstupní teplotě. Pomocí zvolené zátěžové křivky a zátěže kotle regulátor průběžně počítá teplotu topné vody. Strmost zátěžové křivky se volí s ohledem na teplotní režim topného systému. Řízení zátěží vyžaduje, aby byl topný okruh regulován termostatickými ventily, nebo jinou regulací (IRC). [15]

2.1.2 Regulace otopných těles

Regulace vytápění obytných prostor pomocí korekce centrálního zdroje tepla jsou na hranici svých možností a s výjimkou nepatrného zvyšování účinnosti jednotlivých komponent otopné soustavy je již nelze dále rozvíjet. Základní myšlenkou pro budoucí vývoj vytápění je vytápět jednotlivé místnosti na takové teploty, které jsou v daný okamžik požadované. V závěru to znamená přechod od regulace zdroje (teplota vody), k regulaci otopných těles pomocí omezení průtoku teplovodního média (množství otopné vody).

Regulace otopných těles lze rozdělit do několika skupin v závislosti na stupni automatizace. [12]

2.1.2.1 Ruční

Zastaralá metoda regulace radiátoru otočením kohoutku je dosti pracná, leč dodnes především ve starších objektech hojně využívána. Nevýhodou je nespolehlivost a skokovitost nastavení. Výhodou je pouze jednoduchost zařízení.

2.1.2.2 Termostatické hlavice

Termostatické ventily jsou přímočinné regulátory s malým pásmem proporcionality. Proporcionalita je rozmezí teplot, na které ventil reaguje (například při 18°C ventil otevřen, při 20°C uzavřen). Hlavice nepracují s žádnou pomocnou energií a reagují na odchylku mezi nastavenou a skutečnou teplotou v místnosti. Teplotní čidlo hlavice (termoelement) je založeno na principu teplotní roztažnosti pracovní látky, která se rozpíná v závislosti na teplotě. Pracovní látka roztáhne vlnovec, který zatlačí na kuželku, která zamezí průchod otopné kapaliny. Požadovaná teplota v místnosti se nastavuje pootočením krycí části hlavice. [3, 9]

Aby otopná soustava plnila funkci, je nutné správné hydraulické vyvážení zabezpečující stejnou tlakovou ztrátu průchodem otopného tělesa a stabilní průtok jednotlivými částmi otopné soustavy. Tohoto lze dosáhnout při budování nových teplovodních rozvodů. Při rekonstrukci stávajících je vyvážení velmi problematické. Reakční doba hlavice je relativně dlouhá a při průtoku jedním ventilem ovlivňuje změnu průtoku jinými ventily. Naprosté vyvážení soustavy je proto téměř nemožné. [5, 9]

Nevýhodou termostatických hlavic je absence programového (časového) nastavení. S tím je i spojena otázka vytápět celý den byt, když se do něj vrátím až odpoledne (s tím i plýtvat penězi), nebo se vrátit do promrzlého

domu? Další nevýhodou je možné zatuhnutí mimo topnou sezónu, kdy se v hlavici usadí vodní kámen a jiné nečistoty.

2.1.2.3 Programovatelné termostatické hlavice

Programovatelné termostatické hlavice pracují na obdobném principu jako klasické a mají navíc programovatelný a akční člen (servomotor). Hlavice navíc obsahuje programátor, který umožňuje, aby hlavice udržovala v požadovanou dobu přednastavenou teplotu. Tím dochází bez snížení komfortu k podstatné úspoře energie. Programátor, podle předem nastaveného programu sděluje regulátoru, jakou teplotu uživatel momentálně požaduje. Regulátor tak podle skutečné teploty, požadavku uživatele a zjištění charakteristiky budovy řídí akční člen. Akční člen přes kuželku termostatického ventilu ovládá průtok otopného média do otopného tělesa. Na rozdíl od standardních termostatických hlavice nefungují tyto hlavice na principu tepelné dilatace kapaliny, plynu, nebo pevné látky. Elektronické termostatické hlavice nejčastěji obsahují odporový teplotní snímač. U tohoto snímače se pak vlivem změny prostorové teploty mění odpor. Hodnota odporu je převáděna na elektrické napětí a změny napětí ovládají akční člen. [16]

2.1.3 Kombinované regulace

Jelikož regulace výše uvedené mají určité nevýhody, vznikl kombinovaný systém, který nedostatky jednotlivých systémů eliminuje. Vznikla například kombinace ekvitermní regulace s termostatickými ventily, zónová regulace a jiné. S rozvojem elektroniky se vyvinula konstrukce systému pro individuální regulaci vytápění jednotlivých místností (IRC), která zvýšila celkový komfort vytápění a snížila potřebné teplo. Elektronické regulační systémy dosahují vyšší přesnosti regulace a zpravidla obsahují akční člen:

- Termopohony pracují na principu jako termostatické hlavice, řídicí veličinou však není teplota okolí, nýbrž teplo vestavěného topného článku vyhřívaného přivedeným elektrickým proudem. Přivedením elektrické energie se ohřeje vlnovec a dojde k uzavření ventilu,
- Servopohony jsou vhodné pro programové řízení vytápění, obsahují malý elektromotor a převodovku s ozubenými koly ze speciálních plastových materiálů a výstupním šnekovým šroubem. Výhodou je plynulá regulace a krátká reakční doba. [3, 5, 12]

3 FUNKCE TERMOSTATICKÉ HLAVICE

Termostatická hlavice je armatura umístěná na přívodním potrubí otopných těles regulující průtok teplotnosného média. Teplota v místnosti je zdrojem informace pro hlavici, zda průtok omezit, nechat stálý či průtok zvýšit.

3.1 Využití a charakteristiky

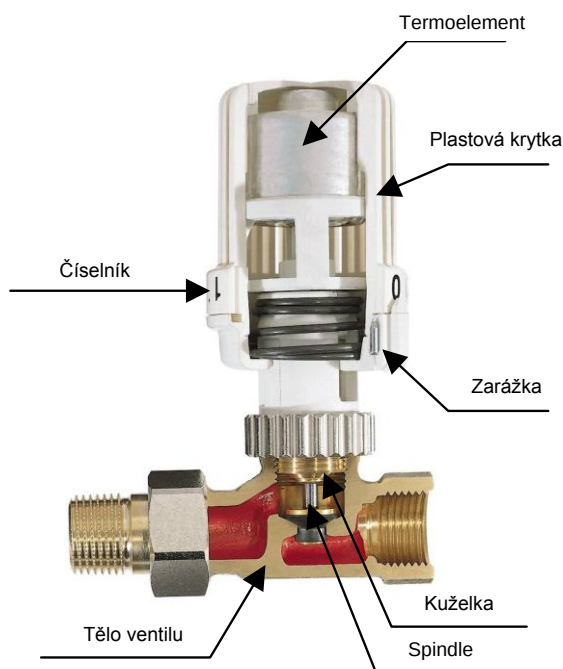
Hlavice mají za úkol samočinně regulovat teplotu vzduchu v prostoru bez složité obsluhy či jiného řízení. Díky nastavení požadované teploty na hlavici, je regulován průtok otopného média soustavou. Hlavice je přímo nasazena na ventilu a funguje na principu teplotní roztažnosti kapaliny, plynu či pevné látky.

V dnešní době je na trhu velké množství a druhů hlavice, které se liší designem, barvou, tvarem, použitými materiály a podobně. Koncový uživatel si tedy může vybrat hlavice, aby mu ladili v interiéru. Základní funkce ovšem zůstává totožná a rozdíly jsou ne příliš velké.

Kvalitnější materiály jsou používány na hlavice, které jsou umístěny do veřejných prostor. Existují i hlavice s pochromovanou vrstvou, která má lepší odolnost proti vlhkosti a tudíž se hodí do sušáren a koupelen. Hlavice s vestavěným teplotním čidlem se umísťuje na otopná tělesa, která jsou špatně přístupná, kolem hlavice dochází k malé cirkulaci vzduchu nebo z jiných speciálních požadavků zákazníka. [3, 4]

3.2 Části hlavice a jejich funkce

Termostatická hlavice se skládá z těla ventilu, vložky (kuželky), hlavice a dalších komponent.



Obr. 3.1. Části termostatické hlavice [16].

Kuželka je zašroubována uvnitř těla ventilu, její tvar je různý podle typu hlavice a plní jednu z hlavních funkcí ventilu, ovlivňuje objemový průtok kapaliny. Tělo ventilu má nosnou funkci komponentů a díky vhodnému tvaru i správný průtok kapaliny. Hlavice slouží k samočinné indikaci teploty v místnosti a následné stlačení hrotu kuželky.



Obr. 3.2. Kuželka a tělo ventilu [16]

Při zvyšující se teplotě okolí termostatické hlavice se látka v termoelementu začne rozpínat, což způsobí tlak na vřeteno termostatického ventilu (stlačení hrotu na kuželce) a tím dojde k uzavření průtoku otopného média. Jelikož každé otopné těleso obsahuje termostatickou hlavici, je tím plně zabezpečována individuální regulace každého otopného tělesa.

Každá termostatická hlavice má natištěnou teplotní stupnici, podle níž uživatel nastaví požadovanou teplotu v prostoru. Stupnice bývají zpravidla pětistupňové (1 – 5), některé hlavice mají i hodnotu 0 (zcela zavřený ventil) nebo * (ochrana proti zamrznutí). Následná regulace prostorové teploty je pak prováděna automaticky bez ohledu na přítomnost uživatele. Hlavice reaguje nejen na změnu venkovních podmínek (oteplení, sluneční svit), ale i na změnu vnitřních podmínek (větším větráním nebo naopak ziskem tepla produkovaným teplotními spotřebiči, příležitostným zapálením biokrbu). Ventil podle potřeby přivírá nebo otevírá ventil pro přívod teponosné kapaliny.



Obr. 3.3. Hlavice s teplotní stupnicí [16]

Některé hlavice obsahují i zarážky (kolíčky) pro zamezení otáčení hlavice a nastavení jiné teploty. Zpravidla jich bývá využíváno v komerčních prostorách.



Obr. 3.4. Zarážky

3.3 Doporučení

Jak už tomu bývá i u jiných zařízení, i s termostatickými ventily se musí umět zacházet. Termostatické ventily ve spojení s termostatickou hlavicí udržují automaticky požadovanou teplotu v místnosti s přesností 1°C. Teploty je možno nastavovat zpravidla od 15°C do 30°C. Obecně platí, že snížení teploty v bytě o 1°C představuje snížení nákladů na tepelnou energii o 6%. U objektů s nově provedenou instalací hlavice jsou úspory v rozmezí od 10% do 20%.

Aby těchto úspor mohlo být dosaženo, musí se dodržovat pravidla:

- správné nastavení teploty na číselníku,
- nezavzdušněná otopná soustava,
- volné proudění vzduchu kolem hlavice - nezakrytá hlavice závěsem, či zastavěná skříní,
- při delším větrání je lepší hlavici nastavit na 0, aby ventil zamezil vyhřívání místnosti,
- při delším opuštění budovy je vhodné nastavit teplotu vytápění na nižší než je pro nás komfortní,
- správné hydraulické vyvážení soustavy – například v bytových domech pak dochází k tomu, že ventily klapou nebo cvakají, což je způsobeno uzavřením velké části ventilů, čímž klesne průtok potrubím. Oběhové čerpadlo zvýší tlak až na hranici, kdy silou „přetlačí“ pružinu v hlavici. Ventil pak na chvíli otevře, tlak prudce klesne a ventil se s klapnutím zase uzavře. Tím se opět zvýší tlak a jev se opakuje. [3, 5]

4 STÁVAJÍCÍ STAV LINKY

Stávající linka byla sestavena téměř před 15 lety a v dnešní době vyžaduje ne zrovna malou investici. Linka je polo-automatizována do té míry, že postačuje k montáži kompletní hlavice pouze dvou operátorů ke vkládacím a obslužným pracím.

4.1 Rozmístění pracovišť a materiál

Linka je docela velkých rozměrů. Byla umístěna do nově postavené budovy a od té doby je nezměněna. Proběhly jen menší úpravy v toku materiálu, rozmístění rozpracované výroby či kanbanových regálů. Kompletní výroba je umístěna v zadní části výrobní haly a zaujímá cca 170 m². Dispozice celé haly je zobrazena v příloze 1.

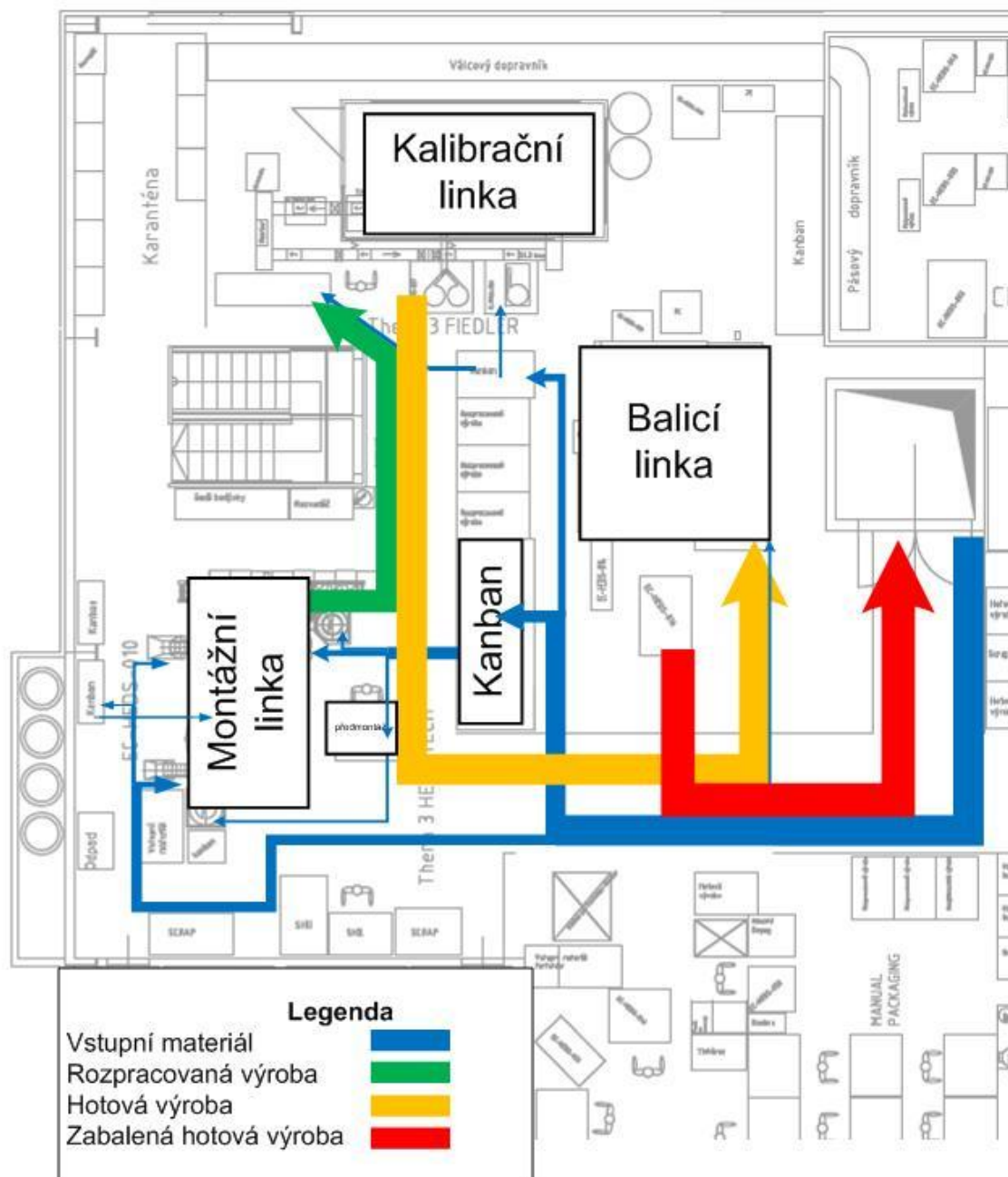
4.1.1 Sankeyův diagram

Sankeyův diagram je obecné grafické schéma, které na základě půdorysného plánu objektu a šachovnicové tabulky dokáže graficky znázornit tok materiálu mezi jednotlivými pracovišti. Pro zpracování se zpravidla využívá maticové tabulky, která udává přepočtené množství přepravovaného materiálu mezi pracovišti ve zvolených jednotkách. Množství zboží může být v hmotnostních objemových nebo početních jednotkách. Takto zjištěné množství materiálu je v Sankeyově diagramu znázorněno šířkou plných šipek, které současně označují směr toku materiálu. Pro větší názornost lze odlišit pohyb jednotlivých druhů materiálu barevně. [1]

Stávající stav toku materiálu je dosti složitý a v určitých místech značně komplikovaný. Především prostor u kalibrační linky je stísněný a přesun hotové výroby musí být realizován na malém ručním vozíku.

Tab. 4.1. Šachovnicová tabulka v kilogramech za rok

Odebírá Odesílá	Sklad	Kanbanové regály	Předmontáž	Montážní linka	Kalibrační linka	Balička	Celkem
Sklad		88200		37800		12600	138600
Kanbanové regály			12600	44100	31500		88200
Předmontáž				12600			12600
Montážní linka					94500		94500
Kalibrační linka						126000	126000
Balička	138600						138600
Celkem	138600	88200	12600	94500	126000	138600	598500



Obr. 4.1. Sankeyův diagram – stávající stav

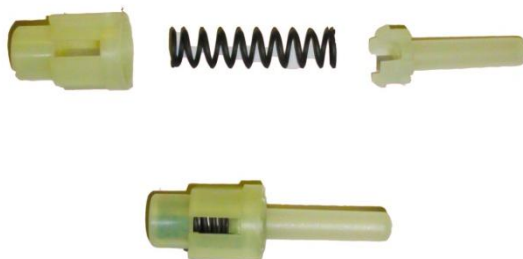
4.2 Chronologický popis montáže

Aby byl v následující kapitole návrh inovace montážní linky názorný, je třeba se s linkou blíže seznámit. V několika dalších bodech je chronologicky uveden, popsán a vyobrazen téměř automatizovaný postup montáže termostatické hlavice.

4.2.1 Předmontáž

Manuální pracovní stanice je nezávislá na následující montážní lince. Běžně se vyrábí několik desítek kusů do kanbanových regálů, protože by bylo velmi obtížné dodržovat systém „one piece flow“.

Do spodní zápustky ručního lisu je vložen platový díl s pružinou, do horní zápustky je vložen hrotový plastový díl a stlačením lisu jsou komponenty spojeny v jednu podskupinu takzvaný feder.



Obr. 4.2. Feder

4.2.2 Montážní linka

Montážní linka o velikosti 5,4x5,2m je téměř kompletně automatizována, obsahuje centrální karusel, do kterého vstupují jednotlivé komponenty pomocí podavačů, vibračních dopravníků nebo vložením operátorem. Jednotlivé procesy budou blíže popsány v následující kapitole.

Tato linka je docela zastaralé konstrukce, ale stále patří k hlavnímu výrobnímu zařízení na hale. Linka je navržena poměrně jednoduše, k manipulaci je využíván stlačený vzduch a elektronika zaujímá řídicí a synchronizační funkci. Linka obsahuje několik optických bran, které mají bezpečnostní funkci. Plexisklové kryty mají bezpečnostní zámky, které brání otevření, pokud je stroj v provozu.

Maximální teoretická roční výrobní kapacita této linky je 630 tisíc kusů v jednosměnném provozu (výrobní takt 9s). Tato kapacita je snížena o nutné opravy poruch, preventivní údržby, operativní řešení problému operátorem, při špatném vložení komponentu a jiné neočekávané problémy.



Obr. 4.3. Montážní linka

Operace 1 – vložení matice

Matice ze zásobníku je pomocí vibračního dopravníku přemístěna až k centrálnímu karuselu. Zde je řízeným manipulátorem uchopena do čelistí a vložena do spodní zápustky otočného stolu.



Obr. 4.4. Vložení matice

Operace 2 - Vložení plastové podskupiny

Do plastového kroužku je operátorem vložena vnitřní dílec se závitem. Celý komplet je umístěn do zápustky karuselu a následně zespodu našroubována matice.



Obr. 4.5. Vložení plastové podskupiny

Operace 3 – Zajištění pojistným kroužkem

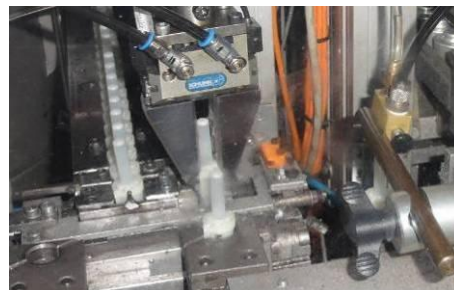
Pojistný kroužek z vibračního zásobníku pomocí vodící dráhy doputuje až k centrálnímu karuselu. Podavač v prvním kroku vloží kroužek na požadované místo, v druhém kroku přitlačí a zajistí plastové díly.



Obr. 4.6. Zajištění pojistným kroužkem

Operace 4 – Umístění podskupiny z předmontáže

Podskupina z předmontáže je pomocí řízeného manipulátoru vložena do vozíků. Podskupina je opět k manipulátoru dopravena vibračním dopravníkem. Vozíky jsou kontinuálně posouvány k centrálnímu karuselu.



Obr. 4.7. Umístění podskupiny

Operace 5 – Nasazení termoelementu

Termoelementy ze zásobníku jsou dopravovány vibrační drahou ke stanovišti, kde dojde k nasazení termoelementu na podskupinu z předmontáže. Správnou orientaci zajistí nájezdné dráhy ve vibračním zásobníku.



Obr. 4.8. Nasazení termoelementu

Operace 6 – Umístění podskupiny a termoelementu do zápustky

Manipulátor uchopí termoelement i podskupinu z předmontáže současně a vloží ji to zápustky v karuselu.



Obr. 4.9. Vložení do zápustky

Operace 7 – Nasazení koše

Manipulátor uchopí regulační koš, který je na pozici dopraven opět vibračním dopravníkem. Koš je dotlačen na zápustku karuselu s komponenty a tím i zacvaknut do spodního dílu.



Obr. 4.10. Nasazení koše

Operace 8 – Umístění do přepravek

Manipulátor na posledním stanovišti montážní linky přemístí smontovanou skupinu do přepravek, které jsou na válečkovém dopravníku. Hlavice jsou připraveny k dokompletování a kalibraci.



Obr. 4.11. Umístění do přepravek

4.2.3 Transport

Přesun z montážní linky k lince kalibrační je realizován pomocí válečkového dopravníku, který zároveň slouží jako skladiště rozpracované výroby.

4.2.4 Kalibrační linka

Kalibrační linka o velikosti 6 x 8 m je téměř kompletně automatizována, obsahuje vozíkové dopravníky, do kterých je vkládána operátorem hlavice z montážní linky. Tato linka je nezbytná pro zajištění kvality výroby, tedy správnou kalibraci deklarovanou klientům. Kalibrace se provádí v komoře klimatizované na $22 \pm 0,5^\circ\text{C}$.

Operace 1 – Vložení do dopravníku

Operátor vloží do vozíku dopravníku hlavici z montáže, která je ve vozíku zajištěna proti pootočení a posunu. Na druhou pozici vozíku je vložena krytka hlavice, která později bude strojně nasazena. Vozíky se pohybují po kolejnicích řízeného dopravníku.



Obr. 4.12. Vložení do dopravníku

Operace 2 – Zarážky

Zarážky jsou instalovány na hlavici, aby nebylo možno zcela přetočit či v opačném případě rozšroubovat hlavici. Zarážky tedy mají funkci určení tolerance nastavení teploty a jsou podávány vibračním dopravníkem k tzv. nafukovačce, která kolík vloží na správnou pozici.



Obr. 4.13. Vložení zarážek

Operace 3 – Víčko

Plastové víčko, na kterém je zpravidla uveden typ hlavice či logo, je naraženo na krytku hlavice. Nástřik na víčko je prováděn na vedlejší lince – Tampoprint (stroj pro tampónový tisk). Tamponový tisk je tiskový proces, který může přenést 2-D obraz na 3-D objekt, to se děje pomocí nepřímého hlubotiskového procesu, kdy se obraz převádí z tiskové desky (klišé) přes silikonový nosič, tzv. tampon, na tiskovou plochu.



Obr. 4.14. Naražení víčka

Operace 4 – Klimatizovaná komora

Hlavice jsou v komoře při teplotě $22,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ stabilizovány po dobu minimálně dvou hodin. Tohoto je dosaženo řízeným paletovým mechanismem s manipulátorem. Při vstupu hlavice do komory je z vozíku vyjmuta a vložena do paletového zásobníku, místo ní je nasazena na vozík již stabilizovaná hlavice.



Obr. 4.15. Klimatizovaná komora

Operace 5 – Natočení

Tato operace je jedna z nejdůležitějších vůbec. Společnost u tohoto typu hlavice deklaruje, pokud bude natočena na stupnici na hodnotu 3, tak při splnění základních podmínek proudění teplotnosného média bude ve vytápěné místnosti stabilně 20°C .

Přesným natočením regulačního koše na požadovaný rozměr, je hlavice kalibrována. Náhodné ověření natočení je realizováno na vodní testovací stanici při teplotě 8°C .



Obr. 4.16. Natočení

Operace 6 – Fixace

Krytka hlavice je manipulátorem uchopena z vozíku z druhé pozice a naražena na již natočenou (kalibrovanou) hlavici. Tímto se koš zaaretuje a je hlavice zcela dokončena.



Obr. 4.17. Fixace

Operace 7 – Tisk

Z důvodu evidence je na hlavici ještě natištěno číslo pro zpětné dohledání série.

Operace 8 – Vyjmutí a transport

Operátor kompletní hlavici vyjme z dopravníku, vloží do přepravy a na ručním vozíku doveze k baličce.

4.2.5 Balicí linka

Toto pracoviště je opět automatizováno. Je zde zapotřebí pouze obsluha jednoho operátora. Operátor vkládá do obdobných vozíků hlavice jako u kalibrační linky a zajišťuje zásobu balicího materiálu.

Stroj složí krabičku, manipulátor do ní umístí hlavici s příbalovým letákem, krabička je následně polepena štítkem s čárovým kódem a skupinově zabalena do fólie a zatavena v peci.



Obr. 4.18. Balicí linka

Toto je poslední pracoviště výroby, u které probíhá i náhodná kontrola. Odtud je zboží transportováno paletovými vozíky a výtahy do expedičního skladu.

4.3 Vymezení problému pro optimalizaci

Výrobní i kalibrační linka je dosti zastaralé konstrukce, ale svojí produkcí se řadí ke stěžejnímu výrobnímu zařízení haly. Vzhledem k velkému počtu vyráběných kusů, potvrzené produkci i v následujících letech a časté poruchovosti nynějšího systému kalibrační linky je nutné vytvořit záložní systém při výpadku kritického zařízení nebo systém modernizovat.

Dalším negativem stávajícího řešení je značně komplikovaný tok materiálu a s ním i související manipulace, která je v určitých místech i fyzicky náročná.

Optimalizační kritéria:

- veškeré provedené změny musí mít podle kritérií firmy návratnost investic maximálně dva roky (u velkých projektů maximálně tři),
- provoz stávající výroby musí být po dobu změn zachován, popřípadě přerušen na co možná nejkratší dobu, aby nedošlo k ohrožení plánované výroby,
- procento shodných kusů stejné nebo nižší,
- množství výroby alespoň totožné,
- provozní náklady stejné nebo nižší,
- složitost transportu komponentů, rozpracované výroby a hotové výroby alespoň jako stávající nebo snadnější,

- poruchovost výrobního systému výrazně nižší než stávající,
- náročnost na obsluhu operátorů stejná nebo menší.

Velmi důležitou a nesnadnou úlohou je určení vah důležitosti, což je snaha potlačit přirozenou subjektivitu jednoho hodnotitele a využít objektivní analytické metody.

Jelikož bylo možné určit pořadí důležitosti, ale i poměr mezi jednotlivými kritérii, bylo možné zvolit metodu určení vah kritérií. K určení hodnot kritérii a jejich agregace bylo využito bodovací metody a částečně metody párového srovnání.

Bodovací metoda podle Metfessela je velmi rychlá, ale dosti subjektivní metoda. Důležitost kritéria se ohodnotí počtem bodů od nuly do sta (čím je kritérium významnější, tím více bodů je mu přiřazeno). Součet bodů přiřazených všem kritériím musí být sto. Normované váhy se spočítají jako podíl bodů přiřazených j-tému kritériu.

Tab. 4.2. Bodovací metoda důležitosti kritérií

	Návratnost investice	Zachování provozu při přestavbě	Produkce shodných kusů	Množství produkce	Provozní náklady	Transport a manipulace	Poruchovost	Náročnost obsluhy
Body	16	12	22	8	8	4	25	5
Váhy	0,16	0,12	0,22	0,08	0,08	0,04	0,25	0,05

5 KALIBRACE NATÁČENÍM

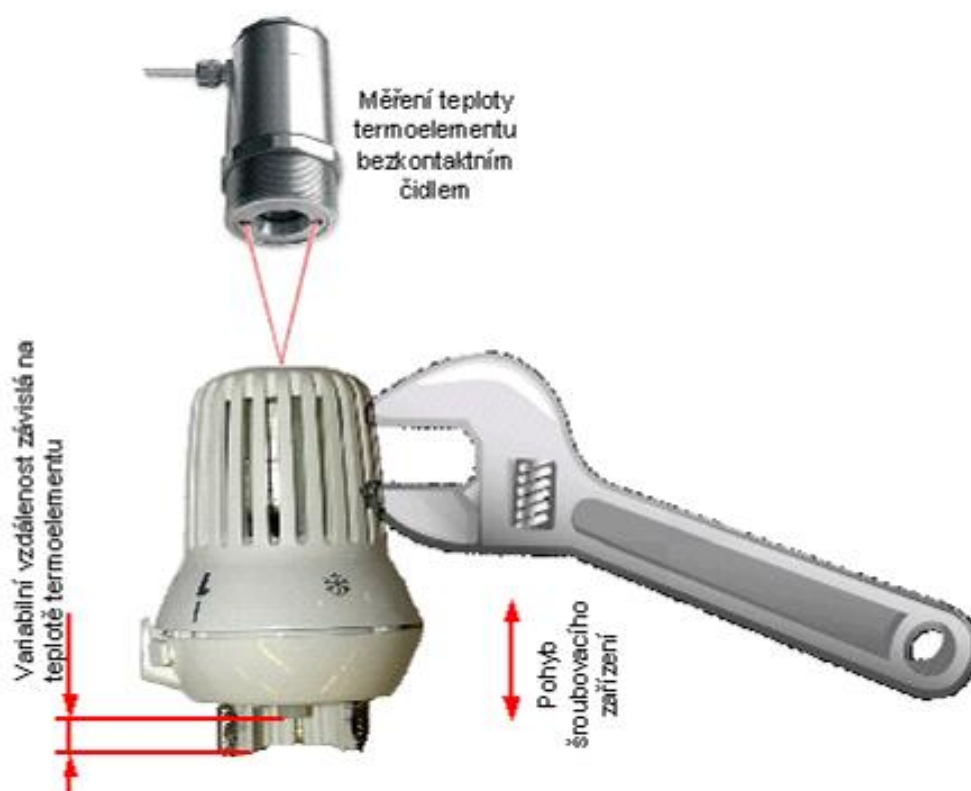
Jak již bylo dříve uvedeno, linka potřebuje inovaci a zde přichází ke slovu nové myšlenky co vylepšit, co ponechat a kterou část nejlépe zcela odstranit s co možná nejmenším úsilím. Cílem firmy je produkovat shodné kusy s interní směrnicí 5PPM (angl. „Product Per Milion“), tj. počet konečnou kontrolou zjištěných kvalitativně neshodných výrobků z milionu vyrobených.

Tento druh kalibrace je možný pouze u hlavice s vnitřním košem. Tento koš zde plní funkci pouze při kalibraci a následně slouží jen ke zpevnění hlavice a jako nosný element.

Odlišné typy hlavice tento komponent nemají a kalibrace je prováděna částečným odfrézováním plastového komponentu převáděcí pružiny.

5.1 Princip SMART kalibrace

Nynější kalibrace je prováděna natočením regulačního koše na fixní hodnotu až po ustálení v klimatizované komoře. Ustálení probíhá po dobu 2 hodin při teplotě $22 \pm 0.5^\circ\text{C}$. Myšlenka je taková, že by se zcela odbouralo stabilizování v klimatizované komoře a natáčení koše by bylo proměnné v závislosti na aktuální teplotě termoelementu a teplotní situaci na hale.



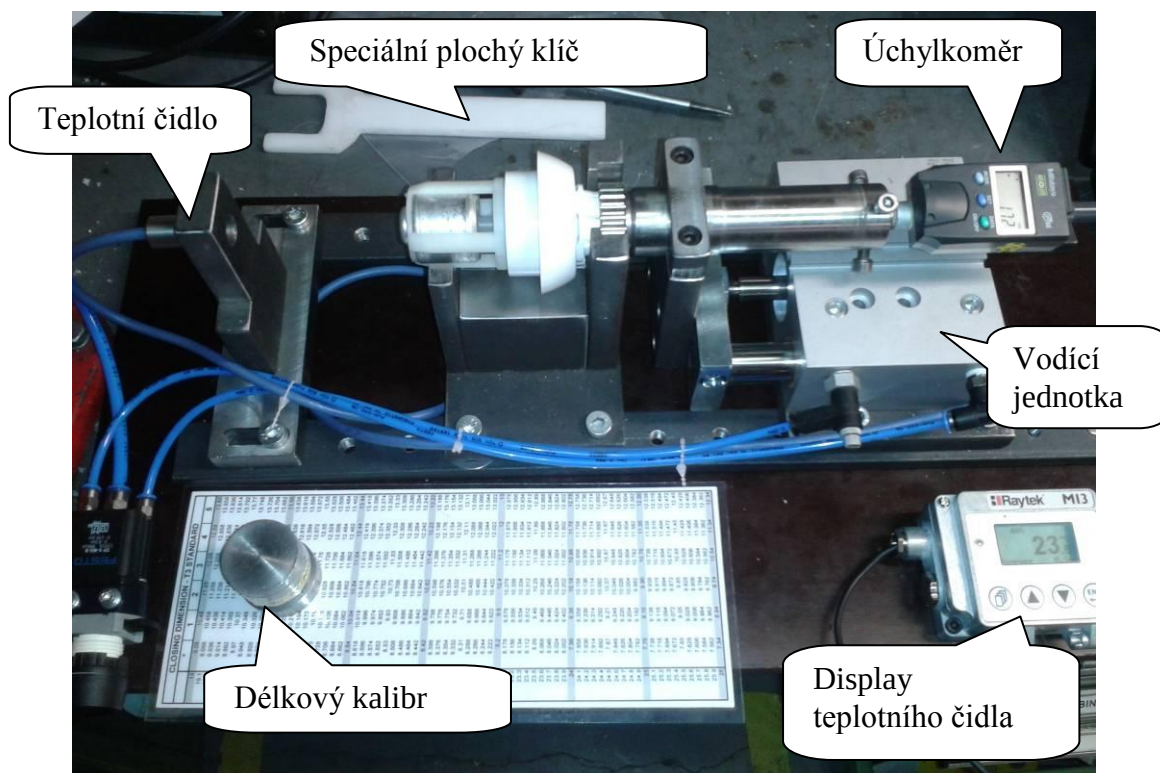
Obr. 5.1. Schéma kalibrace natáčením

5.2 Testovací zařízení

Testovací zařízení je navrženo a zkonstruováno z důvodu ověření nápadu a následně možného uplatnění v sériové výrobě. Zařízení obsahuje základní tři skupiny funkčních součástí:

- vodící jednotka s úchylkoměrem – na vodící jednotce Festo je pomocí upínky připevněn úchylkoměr, který po přijetí k hlavici změří rozměr, který je stěžejní pro správnou funkci hlavice. Rozměr je zobrazen na displeji a následně je vyhodnoceno, zda rozměr odpovídá tolerančnímu poli,
- upínací lože – funkcí této skupiny je umístění, fixace a správné natočení hlavice. Důležitým faktorem je dodržení sousosti, aby při příjezdu úchylkoměru nedošlo ke kolizi,
- teplotní čidlo – měření aktuální teploty termoelementu pomocí bezdotykového infračerveného teplotního čidla série MI3 od firmy Raytek.

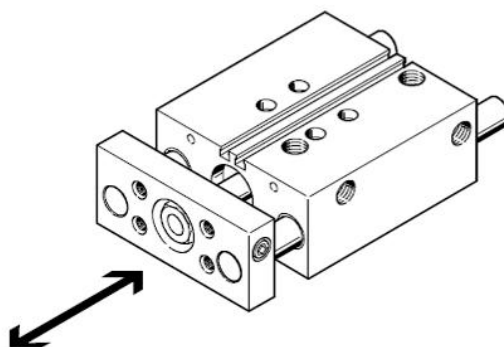
Hlavice zkompletovaná na montážní lince (bez krytky) je vložena na určenou pozici. Hlavice je tímto zajištěna proti pohybu ve všech potřebných směrech. Zapnutím spínače se přivede do vodící jednotky tlakový vzduch a tímto úchylkoměr dojde k matici termostatické hlavice. Hrot úchylkoměru se dostane až do vnitřní díry, kde je vřeteno ventilu. Na displeji úchylkoměru je zobrazena měřená hodnota „vřeteno – konec plastové dílce pod maticí“. Hodnota požadovaného rozměru při 8°C je $11,50^{+0,2}_{-0,1}$ mm, což odpovídá při teplotní roztažnosti vlnovce $8,42^{+0,2}_{-0,1}$ mm při 22°C.



Obr. 5.2. Testovací zařízení

5.2.1 Vodící jednotka s úchylkoměrem

Testovací stanice byla osazena vodící jednotkou firmy Festo modelové řady DFM. Vodící jednotka využívá pro svůj pohyb energii stlačeného vzduchu. Společnost Festo kladе veliký důraz na kvalitu výroby a díky tomu se stala jedničkou ve svém oboru. Každý pohon je podroben rozsáhlému testování sestávajícího ze zkoušek výkonu, těsnosti a odolnosti. Z těchto zkoušek vyplývají statistické výsledky potvrzující charakteristiky životnosti pro nejvyšší možnou provozní bezpečnost. Rekordních hodnot dosáhly válce, u nichž byla naměřena provozní životnost 82 000 km. [17]



Obr. 5.3. Vodící jednotka

Jednotka obsahuje píst o průměru 32mm (kluzné vedení), zdvih dosahuje 40mm, pružné dorazy na obou stranách a čidla na válci (označení jednotky DFM-32-40-P-A-GF). Výhodou této jednotky je minimální nárok na prostor, minimální doba montáže a variabilní přívod tlakového vzduchu. Jednotka je robustní konstrukce. Tělo je vyrobené z legovaného hliníku, který je povrchově eloxovaný. Posuvové desky, písty a vodící tyče ze silně legované oceli. Jednotka má vysokou bezpečnost proti potočení a je bezúdržbová. [17]

Jako měřicí a zobrazovací zařízení byl zvolen úchylkoměr značky MITUTOYO SERIES 543. [18]

Měřicí vlastnosti

Číslicový krok:	0,001mm
Rozsah měření:	12,7mm
Mezní chyba:	0,003mm
Mezní síla:	$\leq 1,5\text{N}$
Hmotnost:	160g



Obr. 5.4 Úchylkoměr Mitutoyo IP66 [18]

5.2.2 Upínací lože

Prostor pro hlavici bez krytky byl navržen podle geometrie samotné hlavice. Základním požadavkem byla fixace ve směru pístu vodící jednotky. Lože dále musí zabránit pootočení plastového kroužku, který je spojený s dílcem se závitem. Po realizaci lože je jediným stupněm volnosti pouze směr svislý pro nasunutí a vyndání hlavice.

Lože se skládá ze třech dílů a základové desky. Do první části zapadne matice. V druhém dílu je vyfrézovaná drážka, do které zapadne zobáček z plastového kroužku a bude se v ní podélně pohybovat. Třetí díl má funkci podpěry, pod košem. Všechny díly jsou slícovány a pevně sešroubovány k sobě. Celá podskupina je osazena na základovou desku a pevně s ní spojena šrouby.

Díly jsou vyrobeny z válcované oceli 11 500, které jsou obráběny konvenční způsobem a funkční části (části styku s hlavicí) jsou leštěny, aby nedošlo k poškození povrchu samotné hlavice.

5.2.3 Teplotní čidlo

Testovací stanice byla osazena teplotním čidlem firmy Raytek řady MI3. Tento kompaktní průmyslový infračervený snímač teploty je určený pro vestavbu do průmyslových zařízení. Umožňuje bezkontaktně měřit teplotu v rozsazích minus 40°C až plus 600 °C s přesností $\pm 1\%$ a s odezvou 20 až 130 ms. Vše závisí na zvolené křemíkové optice snímací hlavy, která poskytuje rozlišení 2:1 až 22:1 a umožňuje snímat kruhovou oblast o průměru 18 až 200 mm na vzdálenosti 400 mm od místa měření. [19]

Snímací hlava, na kterou dopadá infračervené záření, je napojena na měřicí a komunikační hlavu (Comm Box). Ta může být zvolena v podobě velmi odolného provedení s krytím IP65 (označená jako MI3COMM) vhodná skoro do každého běžného prostředí i těžkého průmyslu. Je totiž tvořena robustním pouzdem z nerezové oceli, které chrání jak měřicí, tak vyhodnocovací a komunikační elektronické obvody v ní obsažené. Navíc i obsahuje velmi dobře čitelný grafický podsvětlený LCD displej s ovládacími tlačítky nejen pro průběžné zobrazování aktuální teploty měřeného místa, ale i stavu snímače a aktuální okolní teploty. Zároveň lze s pomocí tlačítek provádět i základní nastavení a kalibraci snímače. [19, 20]

Průmyslový teploměr nabízí několik připojovacích elektrických výstupů, aby bylo možné snímače bez problému napojit nejen do PLC, ale i do průmyslového PC. Jedním z možných rozhraní může být sériová komunikace RS-485, přičemž navíc veškeré nastavení, kalibrace, řízení funkce či čtení dat snímače (včetně hodnot okolní i měřené teploty) se provádí čistě digitálně / softwarově prostřednictvím USB 2.0 rozhraní a přiloženého PC programu Raytek DataTemp multidrop software. [19, 20]

Obr. 5.5. Teplotní čidlo Raytek MI3¹**Měřicí vlastnosti [19]**

Teplotní rozsah měření:	Provedení LT02 a LT10: -40 až 600°C
Spektrální odezva:	Provedení LT: 8 – 14 μm
Optické rozlišení:	Provedení LTS (standardní): 2:1, 10:1, typ. 22:1 (garantováno 21:1)
Nepřesnost měření:	Analog. i digitální výstup: ±1% rozsahu nebo ±1°C
Chyba opakovatelnosti:	±0,5% rozsahu nebo ±0,5°C
Teplotní koeficient:	±0,05K / K nebo ±0,05% rozsahu
Rozlišení analog. výstupu:	0,1°C
Časová odezva:	Provedení LTS (standardní): 130 ms
Emisivita:	0,100 až 1,100
Přenos (transmise):	0,100 až 1,000

Snímací hlava [19]

Okolní provozní teplota:	-10 až 120°C (s chlazením až 200°C)
--------------------------	-------------------------------------

¹ <http://www.paragoninstrument.com/raytekautomation.htm> Získáno 11. 3. 2012

Vyhodnocovací / komunikační hlava (MI3COMM) [19]**Výstupy:**

analogové: 4 – 20 mA, 0 – 20 mA, 0 – 5 V, 0 – 10 V

termočláňkové výstupy: J, K, R, nebo S

analog. výstup okolní teploty: 0 – 5 V

spínaný kontakt: Alarm

Vstupy: nastavení emisivity, kompenzace radiace pozadí, spouštění

Komunikační rozhraní: USB 2.0, případně RS485

Zpracování signálu: hledání maxim a minim

průběžné průměrování za nastavitelnou dobu až 998 s

Napájení: 8 až 32 VDC, max. 4 W

Okolní provozní teplota: -10 až 65°C

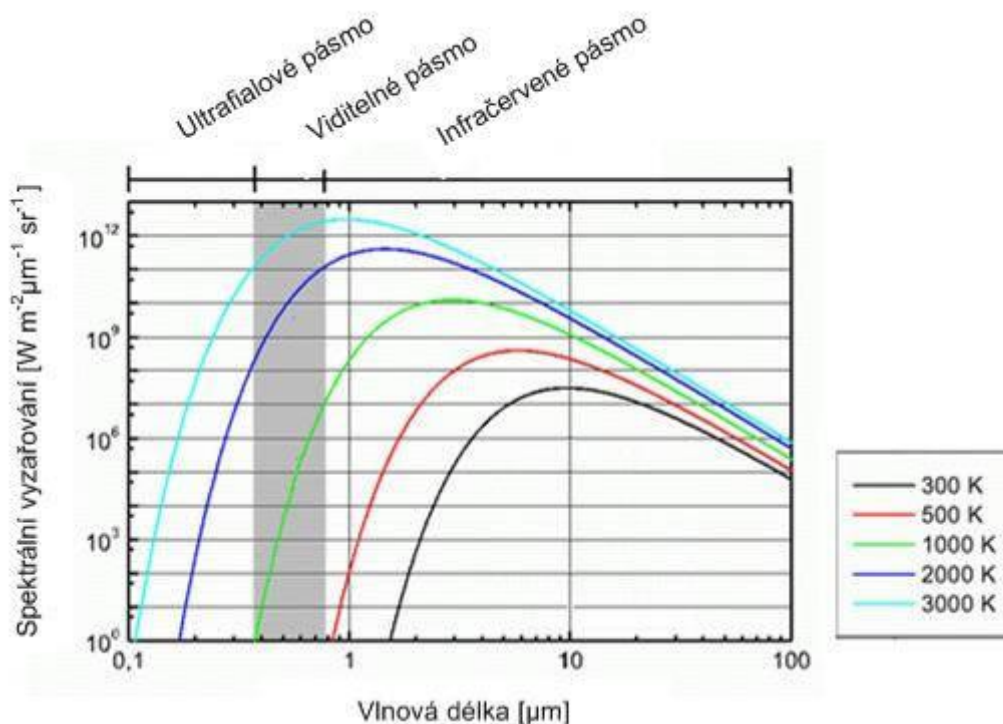
5.2.3.1 Princip bezkontaktního měření teploty

Bezkontaktní měření teploty je rychlé, přesné a relativně jednoduché, přesto je důležité znát základy fyzikálních zákonů a dodržovat správné metody. Bezkontaktní měření teploty je založeno na Planckově vyzařovacím zákoně absolutně černého tělesa. Bezdotykové měření teploty (také tzv. pyrometrie) je měření povrchové teploty těles na základě elektromagnetického záření mezi tělesem a detektorem záření. Každé těleso o teplotě vyšší než je absolutní nula ($0\text{K} = -273,15^\circ\text{C}$) toto záření emituje. To se nazývá charakteristické záření. Jeho příčinou je vnitřní mechanický pohyb molekul. Intenzita tohoto pohybu závisí na teplotě objektu. Protože pohyb molekul představuje přemísťování náboje, je vyzařováno elektromagnetické záření (fotonové částice). Tyto fotony se pohybují rychlostí světla a chovají se dle známých optických zákonů. Fotony mohou být odklány, soustředěny čočkami nebo odráženy odraznými povrchy. Spektrum tohoto vyzařování pokrývá vlnové délky od 0,7 do 1000 μm . Z tohoto důvodu toto záření nemůže být normálně viditelné pouhým okem. Tato oblast vlnových délek leží za červenou částí viditelného světla a nazývá se proto "infra"-červená (z latiny). Pro měřicí účely je využíváno elektromagnetické spektrum od 0,7 do 14 μm . [6, 13]

Množství vyzáření je závislé na teplotě, při vysokých teplotách vyzařují ještě i malé množství viditelného záření. Proto každý může vidět předměty při velmi vysokých teplotách (nad 600 °C) žhnoucí někde mezi červenou a bílou barvou. Neviditelná část spektra však obsahuje až 100 000 krát více energie. Tohoto využívá infračervená technologie. [13]

Při zvyšování teploty roste množství záření a dochází k přesunu ke stále kratším vlnovým délkám. Křivky tělesa se při různých teplotách nepřekrývají. Vyzařovaná energie v celém vlnovém rozsahu (plocha pod každou křivkou)

roste se 4. mocninou teploty. Tyto vztahy byly sestaveny roku 1879 Stefanem a Boltzmannem a ilustrují, že z vyzařovaného signálu lze určit teplotu. [13]

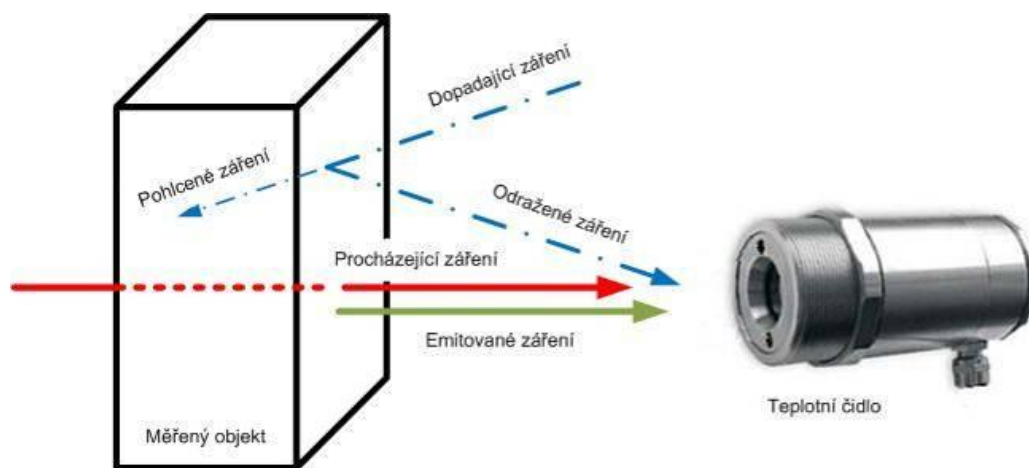


Obr. 5.6. Vyzařovací charakteristiky černého tělesa [13].

Ideální je nastavit infračervený teploměr na co nejširší možné vlnové pásmo, aby získal co nejvíce energie (odpovídající ploše pod křivkou), neboli signálu z měřeného tělesa. Nevýhodou by však bylo například vyzařování při 2 μm , kdy intenzita roste mnohem rychleji než při 10 μm , což ve výsledku způsobuje nepřesnost měření. Podle posunu maxima vyzařování ke kratším vlnovým délkám s rostoucí teplotou (Wienův zákon posunu) odpovídá rozsah vlnových délek měřicímu teplotnímu rozsahu pyrometru. Při nízkých teplotách infračervený teploměr pracující při 2 μm by přestával pracovat pod 600 °C a neviděl by téměř nic, neboť by bylo příliš málo vyzařované energie. Dalším důvodem pro výrobu přístrojů s různými vlnovými rozsahy jsou vlastnosti emisivity některých materiálů známých jako "ne-šedá tělesa" (např. sklo, kovy a plastové povlaky). Diagram zachycuje vyzařování ideálního, tzv. "černého tělesa". Mnoho těles však emituje při stejné teplotě méně energie. Vztah mezi skutečnou vyzařovanou energií a energií vyzařovanou černým tělesem stejné teploty je znám jako emisivita ε (epsilon) a může mít maximální hodnotu 1 (těleso v tom případě odpovídá ideálnímu černému tělesu) a minimální hodnotu 0. Tělesa s emisivitou menší než 1 se nazývají šedá tělesa. Tělesa, jejichž emisivita závisí rovněž na teplotě a vlnové délce se nazývají ne-šedá tělesa. [6, 13]

5.2.3.2 Vyzařování tělesa

Čidlo přijímá veškeré záření, které dopadá do prostoru čočky. Toto záření se skládá ze záření emitovaného tělesem, které je objektem zkoumání, ale i vln, které jsou od tohoto tělesa odraženy, nebo jím prochází.



Obr. 5.7. Vyzařování tělesa

Ideálně černé těleso má nulovou odrazivost ($R=0$), tudíž veškeré záření je pohlceno a emisivita se rovná jedné ($\varepsilon = 1$). Ideálně černé těleso je pouze model a emisivita veškerých materiálů se pohybuje mezi hodnotami 0 a 1.

Nekovové materiály s velkou pohlcovací schopností jako dřevo, plast, guma, organické materiály, beton, kámen záření odrážejí velmi málo, a proto je emisivita 0,8 – 0,95. Naopak kovy, leštěné povrchy a galvanické povlaky mají emisivitu kolem 0,1. Infračervené teploměry to kompenzují nabídkou proměnných hodnot nastavení faktoru emisivity. [13]

5.2.3.3 Určení emisivity

Pro stanovení emisivity měřeného objektu jsou různé metody. Nejjednodušší je vyhledat emisivitu materiálu v tabulce. Tabulky emisivity také pomáhají nalézt správné pásmo vlnových délek pro daný materiál a tím zvolit správný měřicí přístroj. Zvláště v případě kovů by se hodnoty v těchto tabulkách měly používat pouze orientačně, protože povrchové podmínky (např. povrchy leštěné, zoxidované nebo zdrsňené) mohou ovlivnit emisivitu více než materiály samy o sobě. [13]

Tab. 5.1. Orientační hodnoty emisivity materiálů [19]

Orientační hodnoty emisivity materiálů			
<i>Materiál</i>	<i>Emisivita</i>	<i>Materiál</i>	<i>Emisivita</i>
Hliník, leštěný	0,05	Chrom, leštěný	0,1
Hliník, hrubý povrch	0,07	Beton	0,54
Hliník, silně zoxidovaný	0,25	Měď, leštěná	0,01
Mosaz, matná, zašlá	0,22	Měď, komerčně vyleštěná	0,07
Mosaz, leštěná	0,03	Měď, zoxidovaná	0,65
Cihla, běžná	0,85	Měď, černě zoxidovaná	0,88
Bronz, porézni, hrubý	0,55	Sklo	0,92
Bronz, leštěný	0,1	Zlato, leštěné	0,02
Uhlík, čištěný	0,8	Lak, černý, matný	0,97
Litina, hrubý odlitek	0,81	Lak, černý, lesklý	0,87
Litina, leštěná	0,21	Lak, bílý	0,87
Železo, za tepla válcované	0,77	Papír, černý, lesklý	0,9
Železo, zoxidované	0,74	Papír, černý, matný	0,94
Železo, galvanizovaná tabule, leštěná	0,23	Ocel, silně zoxidovaná	0,88
Železo, galvanizovaná tabule, zoxidovaná	0,28	Ocel, čerstvě válcovaná	0,24
Železo, lesklé, leptané	0,16	Ocel, hrubý povrch	0,96
Železo, kované, leštěné	0,28	Ocel, zrezivělá	0,69

Přesnou hodnotu emisivity zkoumaného objektu je možné určit následujícím způsobem:

- měřené těleso zahřát na teplotu, kterou je možné určit přesným dotykovým teploměrem (termočlánkem). Změřit teplotu bezdotykovým čidlem. Poté měnit nastavení emisivity pyrometru tak dlouho, dokud se teplota neshoduje s teplotou termočlánku,
- na měřené těleso nalepit speciální plastovou samolepku se známou emisivitou (nebo těleso nastříkat černou barvou). Infračerveným teploměrem změřit teplotu samolepky s touto emisivitou. Potom změřit povrchovou teplotu měřeného objektu bez samolepky a nastavit na teploměru emisivitu tak, aby teploměr ukazoval správnou teplotu,
- vyrobit si černé těleso z materiálu, který má být měřen. Do vzorku materiálu vyvrtat otvor. Hloubka vyvrtané díry by měla být alespoň pětinásobkem jeho průměru. Průměr musí odpovídat velikosti plochy měřené tímto teploměrem. Jestliže emisivita vnitřních stěn je větší než 0,5, emisivita dutého tělesa je nyní kolem jedné a teplota měřená v otvoru je správná teplota měřeného objektu. Když nyní namíříte infračervený teploměr na povrch měřeného objektu, měňte

emisivitu přístroje, dokud zobrazovaná teplota neodpovídá hodnotě změřené předtím z černého tělesa. [13]

5.3 Určení emisivity termoelementu

Jak již bylo výše popsáno, určení správné emisivity zkoumaného tělesa je stěžejní věc následného měření a testování.

Pro testování byl zakoupen speciální černý matný sprej se známou emisivitou $\varepsilon=0,96$. Termoelement byl postupně nastříkán třemi slabými vrstvami, dle návodu výrobce. Naměřená teplota byla využita ke korekci emisivity v nastavení pyrometru při měření nenastříkaného povrchu. Emisivita slitiny hliníku testovaného termoelementu odpovídá $\varepsilon=0,18$. Tento parametr byl zkontrolován dotykovým teploměrem, který udával minimální odchylku od hodnoty teplotního čidla.

Teplota u dotykového teploměru byla o cca $0,2^{\circ}\text{C}$ nižší, pravděpodobně z důvodu vodivosti stonku teploměru. Přiložený hrot teploměru v místě přiložení na termoelement odváděl z povrchu teplo. V bodě dotyku tedy vznikla chladnější ploška a naměřená hodnota proto byla nižší.

5.4 Charakteristiky termoelementu a celé hlavice

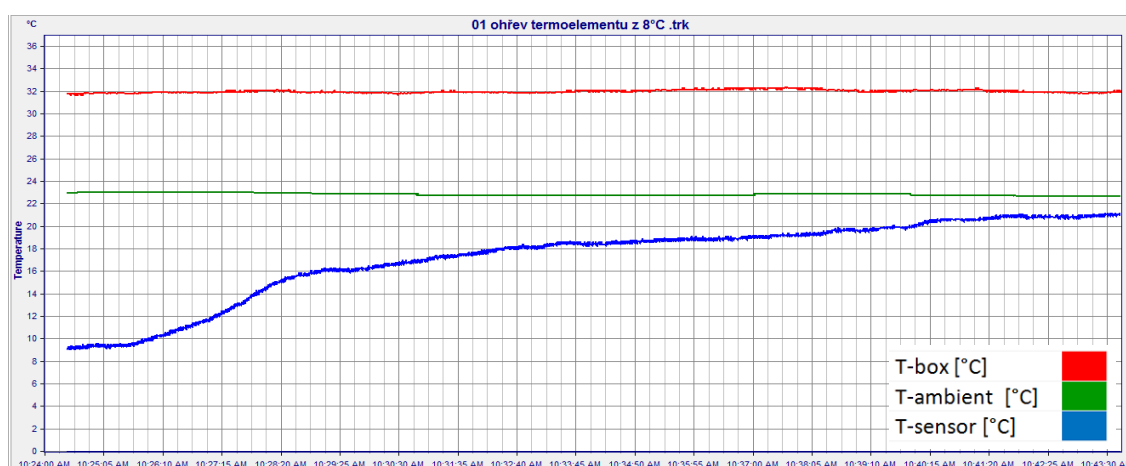
Aby bylo možné určit, zda navrhovaná metoda kalibrace vyhovuje požadavkům přesnosti, je důležité určit, jak se komponenty chovají při změnách teploty.

Teplotní roztažnost termoelementu je základním subjektem termostatické hlavice. Tato roztažnost vlnovce je převedena přes montážní podskupinu feder na zavírací rozměr, který je důležitý pro funkci ventilu.

5.4.1 Charakteristika termoelementu

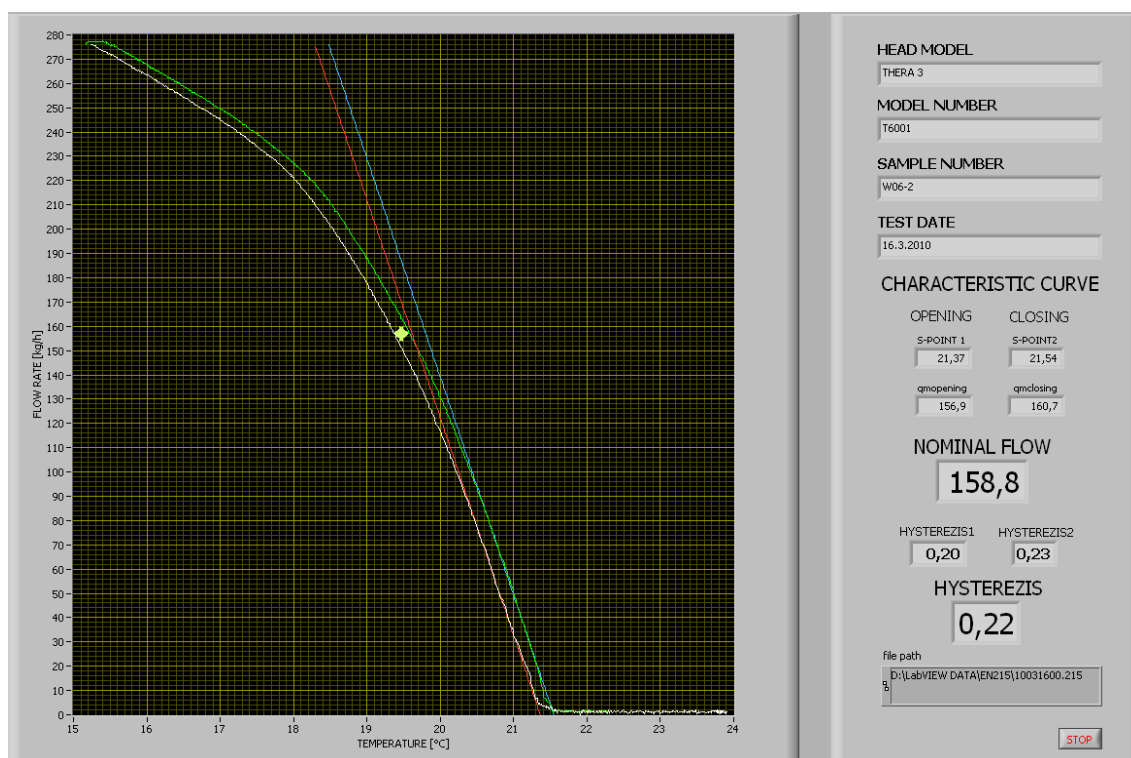
Montované termoelementy do hlavic Thera3 jsou nakupovány od společnosti Egelhof, která se zabývá výrobou součástí pro regulační techniku. Termoelementy jsou plněny voskem, což zajišťuje vysokou trvanlivost, lineární charakteristiku, nízkou hysterezi a extrémní rozsah kalibrace.

Byla sestavena závislostní charakteristika teploty termoelementu na čase při prudké změně teplot (z $8,0^{\circ}\text{C}$ na $22,5^{\circ}\text{C}$). Termoelement má časový skluz (teplotní setrvačnost), než začne reagovat. Poté závislostní křivka prudce roste a následná naprostá vyrovnávací fáze je docela dlouhá. K naprostému vyrovnání teplot termoelementu s jeho okolím dojde za 25 minut.



Obr. 5.8. Charakteristika termoelementu

Pokud bychom srovnali křivky závislosti „poloha na výstupu - teplota vosku“ při expanzi a smršťování, zjistili bychom, že jsou navzájem posunuté, odborně se jev označuje jako hystereze. Příčinou je tepelná „setrvačnost“ zahřátého vosku.



Obr. 5.9. Hysterezní křivka

Nejvyšší hystereze 0,22°C nastává při průtoku ventilem 158,5 kg·h⁻¹. Tato hodnota je dosti vysoká, ale do dalšího zkoumání nevnaší vyšší chybu, než při stávající kalibraci. Tato hodnota se nemění, je to pouze vlastnost, na kterou se musí pamatovat, při stanovování tolerancí strojních zařízení a přípravků.

5.4.2 Charakteristika hlavice

Vlastnost termoelementu úzce souvisí s celou hlavicí. Aby hlavice byla správně kalibrována, je třeba nastavit hodnotu podle následující tabulky.

Tab. 5.2. Uzavírací rozměr

UZAVÍRACÍ ROZMĚR - T3 STANDARD						
Natočení Teplota	*	1	2	3	4	5
20	8,86	10,26	11,06	11,86	12,66	13,66
20,1	8,838	10,238	11,038	11,838	12,638	13,638
20,2	8,816	10,216	11,016	11,816	12,616	13,616
20,3	8,794	10,194	10,994	11,794	12,594	13,594
20,4	8,772	10,172	10,972	11,772	12,572	13,572
20,5	8,75	10,15	10,95	11,75	12,55	13,55
20,6	8,728	10,128	10,928	11,728	12,528	13,528
20,7	8,706	10,106	10,906	11,706	12,506	13,506
20,8	8,684	10,084	10,884	11,684	12,484	13,484
20,9	8,662	10,062	10,862	11,662	12,462	13,462
21	8,64	10,04	10,84	11,64	12,44	13,44
21,1	8,618	10,018	10,818	11,618	12,418	13,418
21,2	8,596	9,996	10,796	11,596	12,396	13,396
21,3	8,574	9,974	10,774	11,574	12,374	13,374
21,4	8,552	9,952	10,752	11,552	12,352	13,352
21,5	8,53	9,93	10,73	11,53	12,33	13,33
21,6	8,508	9,908	10,708	11,508	12,308	13,308
21,7	8,486	9,886	10,686	11,486	12,286	13,286
21,8	8,464	9,864	10,664	11,464	12,264	13,264
21,9	8,442	9,842	10,642	11,442	12,242	13,242
22	8,42	9,82	10,62	11,42	12,22	13,22
22,1	8,398	9,798	10,598	11,398	12,198	13,198
22,2	8,376	9,776	10,576	11,376	12,176	13,176
22,3	8,354	9,754	10,554	11,354	12,154	13,154
22,4	8,332	9,732	10,532	11,332	12,132	13,132
22,5	8,31	9,71	10,51	11,31	12,11	13,11
22,6	8,288	9,688	10,488	11,288	12,088	13,088
22,7	8,266	9,666	10,466	11,266	12,066	13,066
22,8	8,244	9,644	10,444	11,244	12,044	13,044
22,9	8,222	9,622	10,422	11,222	12,022	13,022
23	8,2	9,6	10,4	11,2	12	13
23,1	8,178	9,578	10,378	11,178	11,978	12,978
23,2	8,156	9,556	10,356	11,156	11,956	12,956
23,3	8,134	9,534	10,334	11,134	11,934	12,934
23,4	8,112	9,512	10,312	11,112	11,912	12,912
23,5	8,09	9,49	10,29	11,09	11,89	12,89
23,6	8,068	9,468	10,268	11,068	11,868	12,868
23,7	8,046	9,446	10,246	11,046	11,846	12,846
23,8	8,024	9,424	10,224	11,024	11,824	12,824
23,9	8,002	9,402	10,202	11,002	11,802	12,802
24	7,98	9,38	10,18	10,98	11,78	12,78

Tyto hodnoty jsou určeny podle následujícího vzorce a výchozí hodnotou je 11,5mm při 8°C.

$$CD_{neu} = CD_{alt} + \frac{\Delta\alpha}{360} \cdot P - (T_{Calt} - T_{Cneu}) \cdot C \quad (5.1)$$

Kde:	CDneu	uzavírací rozměr nový	[mm]
	CDalt	uzavírací rozměr stávající	[mm]
	$\Delta\alpha$	rozdíl uhlu mezi kalibrační pozicí starou a novou	[°]
	P	stoupání závitu	[mm]
	Tcalt	kalibrační teplota stará	[°C]
	Tcneu	kalibrační teplota nova	[°C]
	C	teplotní roztažnost čidla	[mm/K]

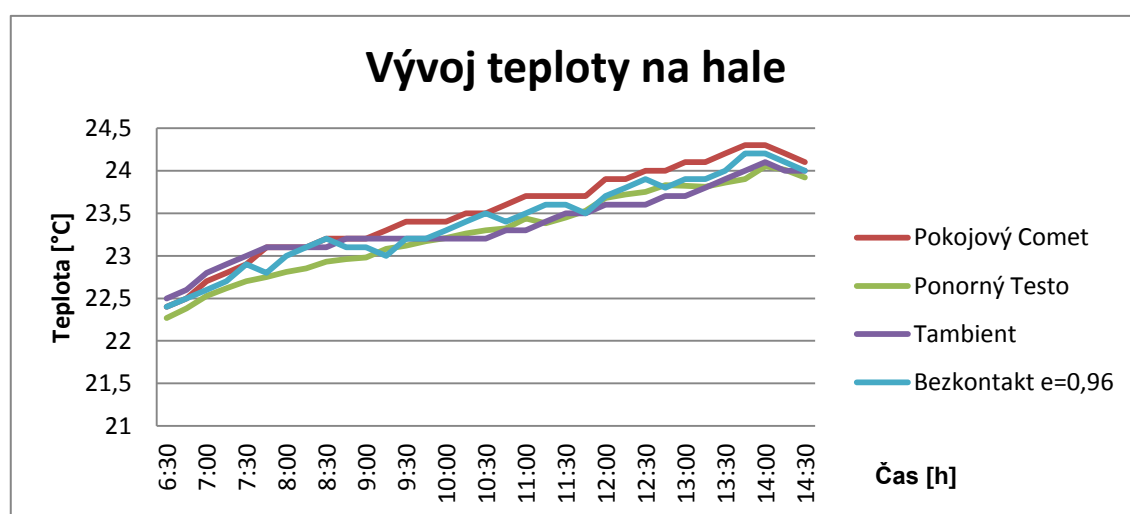
5.5 Teplotní situace na hale

Aby bylo možné určit teplotní křivky na hale v průběhu dne, byla tato teplota monitorována na místě možného pozdějšího uplatnění po celou dobu směny. Toto měření by bylo vhodné několikrát opakovat při různých změnách počasí, či povětrnostních podmínkách. Toto měření více méně kontroluje účinnost centrální klimatizace a její výkyvy během dne.

Teplota byla měřena třemi na sobě nezávislými teploměry a bezkontaktním čidlem:

- pokojový teploměr COMET C3120,
- ponorný teploměr TESTO 735,
- t-ambient pomocí Raytek MI3,
- bezkontaktní měření na povrchu s $\varepsilon=0,96$ pomocí Raytek MI3.

Teploměry COMET C3120 a TESTO 735 mají platnou kalibrační známku ČMI.



Obr. 5.10. Vývoj teploty na hale

Z grafu je patrné, že výkyvy teplot v prostoru haly jsou během dne minimální a pozvolné. Rozmezí naměřených teplot pomocí různých teploměrů je $0,3^{\circ}\text{C}$, což je pro další experimenty vyhovující.

Tímto testem byla ověřena i správnost měření bezkontaktního čidla Raytek MI3. Teplota byla měřena na povrchu s ověřenou emisivitou $\varepsilon=0,96$. Teplota u tohoto teploměru kolísá z důvodu citlivosti na aktuální teplotě povrchu tělesa a tudíž i proudění vzduchu. Rovněž byla nastavena hodnota průměrování na 0,5s, což na takto dlouhý test je nízká hodnota.

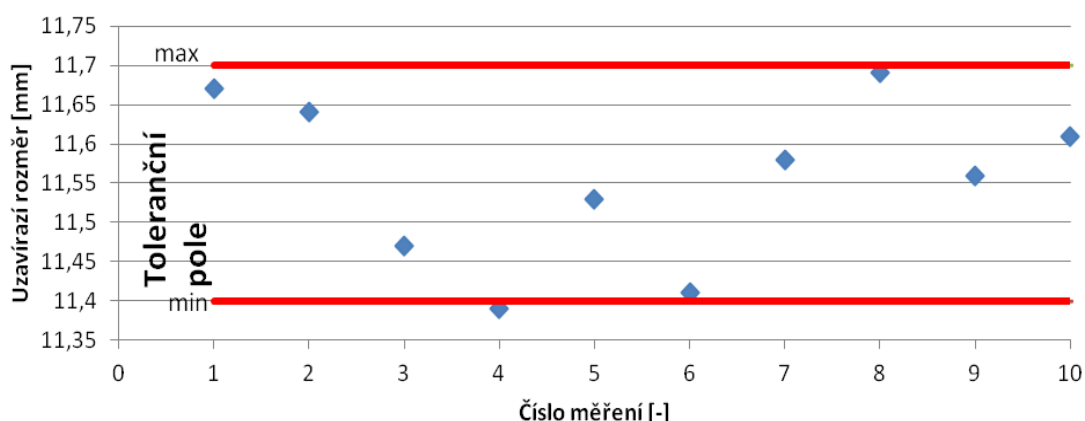
5.6 Ruční kalibrace a ověření ve vodní lázni

Toto testování má simulovat běžný provoz kalibrace za proměnných teplot. Termostatické hlavice byly vzaty z různých prostor s rozdílnými teplotami. Hlavice byly postupně vloženy do testovacího zařízení SMART kalibrace. Byla změřena aktuální teplota termoelementu a podle teploty nastavena hodnota uzavíracího rozměru na pozici 3 (viz tabulka 5.2). Pootočení koše bylo provedeno plochým speciálním klíčem z ertacetalu, aby termoelement nebyl tepelně ovlivněn. Takto postupně bylo ručně kalibrováno 10 hlavice.

Kontrolní operace byla provedena na vodním testu. Hlavice byly přetočeny na *, z důvodu nedostatečného rozsahu. Hlavice byly vloženy do vodní lázně o teplotě 8°C ke stabilizaci. Po stabilizování byl změřen uzavírací rozměr a porovnán s tolerančním polem.

Tab. 5.3. Výsledky ruční kalibrace

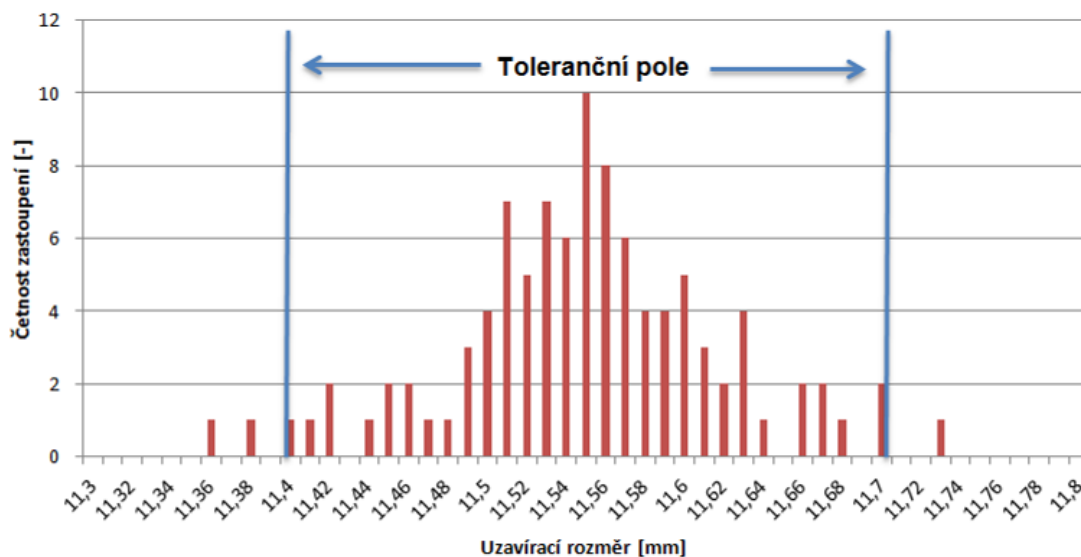
Číslo hlavice	Teplota elementu	Nastavená hodnota na 3	Naměřená hodnota na*	Tolerance ($11,5^{+0,2}_{-0,1}$)
1	18°C	12,3mm	11,67mm	✓
2	$18,4^{\circ}\text{C}$	12,21mm	11,64mm	✓
3	$24,8^{\circ}\text{C}$	10,8mm	11,48mm	✓
4	$25,1^{\circ}\text{C}$	10,74mm	11,39mm	✗
5	$22,2^{\circ}\text{C}$	11,38mm	11,53mm	✓
6	$22,1^{\circ}\text{C}$	11,4mm	11,41mm	✓
7	$20,8^{\circ}\text{C}$	11,68mm	11,58mm	✓
8	$20,6^{\circ}\text{C}$	11,73mm	11,69mm	✓
9	19°C	12,08mm	11,56mm	✓
10	$19,2^{\circ}\text{C}$	12,04mm	11,61mm	✓



Obr. 5.11. Ruční kalibrace

Kalibrace touto metodou je možná, ale ruční přetáčení z 3 na * je prvek, který vnáší do celého postupu nemalou chybu. Vzorky, které byly kalibrovány na testovacím zařízení v rozdílně teplých prostorách, si nesou spojitost s výsledkem. Hlavice vzaty z chladnějšího prostředí, než je běžná teplota na hale, mají uzavírací rozměr v horní polovině tolerančního pole. Zatímco hlavice o vyšší teplotě, které se v prostorách haly mírně ochlazují, jsou ve spodní části tolerančního pole.

Testování touto formou je nutné zopakovat na velké skupině, aby výsledky byly prokazatelné. Proto bylo testováno dalších 100 hlavice a výsledek je následovný.



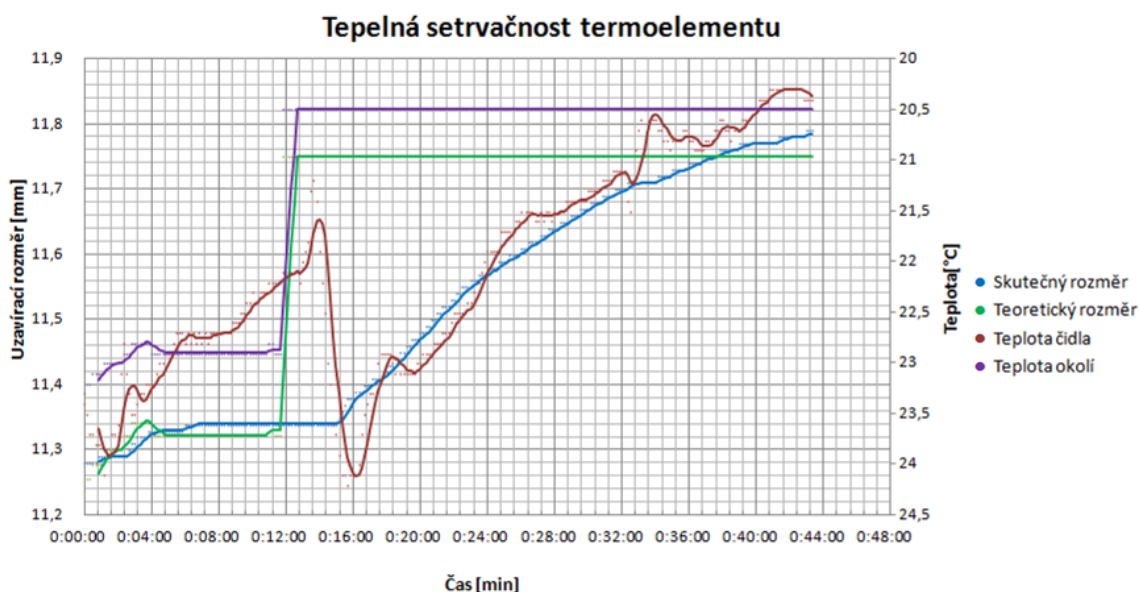
Obr. 5.12. Četnost ruční kalibrace

Test chí-kvadrát na vzorku sta kusů prokázal významný vztah s Gaussovým rozdělením, což je ideální. Nevýhodou je, že se zde vyskytují 3% vzorků mimo toleranci. Chyba je stále přikládána k lidskému faktoru a náhodnému sloučení jednotlivých nepřesností (kalibrační natočení, přetočení na *, nepřesnost měření bezkontaktního teploměru, hystereze, nepřesná teplota vodní lázně, nízká tuhost hlavice aj.).

5.7 Určení limitní změny teploty a doba ustálení

Určení limitní změny teploty ve velmi krátkém časovém úseku vychází z tolerančního pole uzavíracího rozměru. Jelikož ochlazovací křivka termoelementu má téměř lineární charakter, jeden stupeň celsia je roven změně 0,22mm uzavíracího rozměru. Tudíž tolerance $^{+0,2}_{-0,1}$ mm odpovídá tolerančnímu poli o šíři 1,36°C. Výkyvy teplot v tomto rozmezí mohou probíhat, aniž by byla ohrožena přesnost kalibrovaných hlavíc. Při skokové změně teplot o více než 0,68°C (polovina tolerančního pole) je nutné čekat na částečné vyrovnání teploty termoelementu s okolní teplotou.

Doba ustálení a s ní spojená tepelná setrvačnost je závislá na rozdílu počáteční a koncové teploty. Velká změna teplot vyvolá i delší vyrovnávací čas termoelementu.



Obr. 5.13. Vyrovnávací doba při skokové změně

Testována hlavice v relativně ustáleném stavu při 23,0°C byla skokově přesunuta do klimatizované komory o teplotě 20,5°C. Náhlá změna teploty o 2,5°C způsobila, odlišnost teploty povrchu a skutečné teploty uvnitř termoelementu. Tento skok rázově vyvolá vychýlení a srovnání zpět do tolerančního pole nastane po patnácti minutách. Během této doby musí být zastavena kalibrace na lince, aby nedošlo k výrobě neshodných kusů.

Podobným způsobem je nutné určit limitní změny teplot při odlišných situacích, které vyvolají nekorektní chování při kalibraci. Tyto závislosti je zapotřebí zahrnout do programového vybavení kalibrační linky, aby automaticky byla zastavena výroba, při vzniku těchto podmínek.

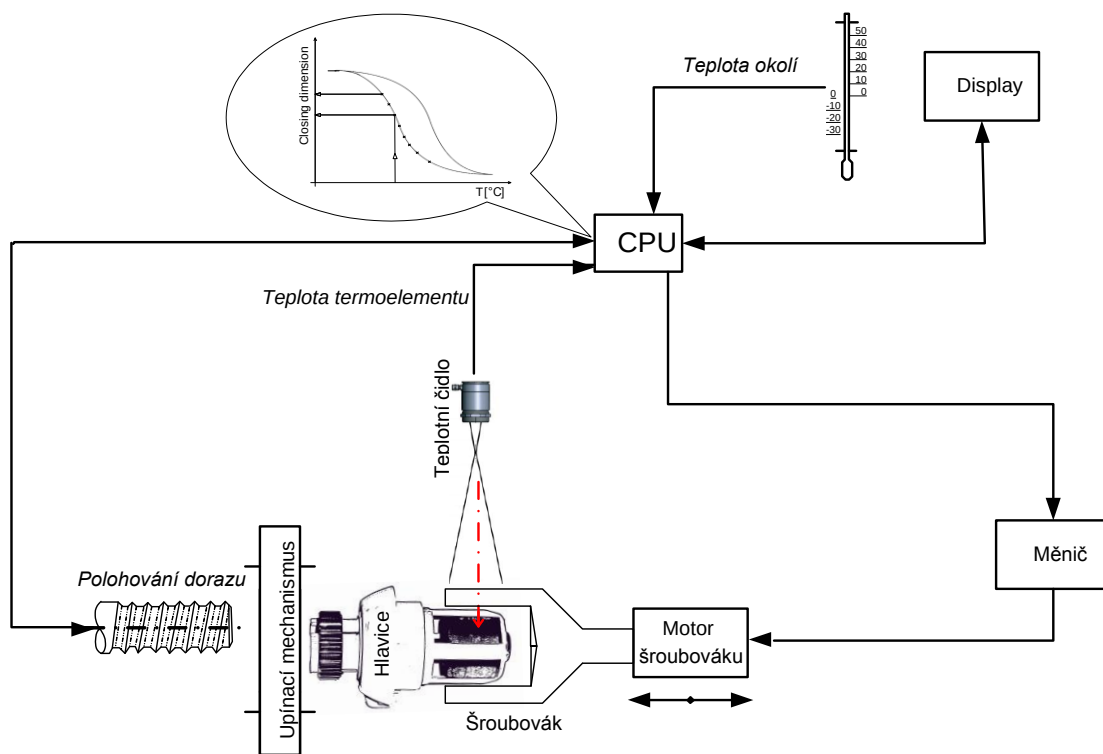
Teplota čidla byla značně proměnlivá, zejména při přesunu do klimatizované komory a při počátcích chladnutí termoelementu. Rychlé ochlazení hliníkového povrchu vyvolá rychlý nárůst křivky, ale v čase proběhne značný propad díky odběru tepla chladným voskem uvnitř termoelementu.

5.8 Návrh stroje do sériové výroby

Stroj je důležité navrhnout tak, aby bylo použito z velké části stávajících bezporuchových komponent z důvodu nižších investic.

Zařízení z kalibrační linky operace 5 je možné využít a pozměnit jeho koncepci. Natáčecí zařízení nyní nasune horní zápustku na zkompleťovanou hlavici bez krytky. Ze spodu najede kontrolní doraz, který při požadovaném rozměru natočení pošle signál řídicímu zařízení a natáčení se vypne. Kontrolní doraz je nastaven na fixní hodnotu, a tudíž je nutné, aby hlavice byly stabilizované.

Nová stanice využije starých komponent, pouze fixní doraz bude změněn na pohyblivý. Další změny nastanou v řídicí jednotce, která bude získávat informace o stávající teplotě na hale a změřené teplotě termoelementu na předchozí stanici. Z těchto informací podle závislostní křivky určí požadovaný rozměr „vřeteno – konec plastového dílce pod maticí“ a nastaví pohyblivý doraz na tuto hodnotu.



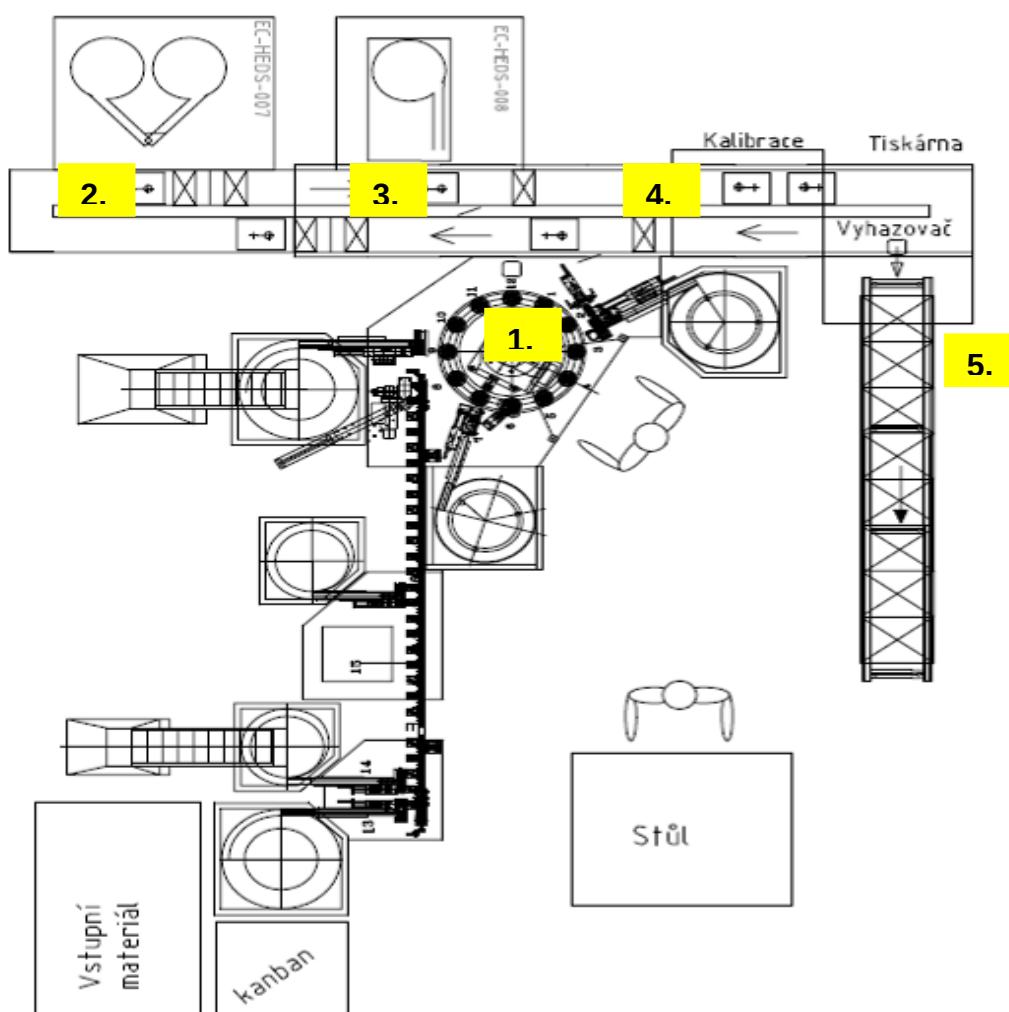
Obr. 5.14. Schéma stroje do výrobní linky

6 SLOUČENÍ LINEK

Návrhy rozmístění pracoviště vychází ze stávajícího konceptu. Snahou je uspořít místo, omezit transport a seskupit linku do ucelené skupiny.

6.1 Návrh 1

Montážní linka je ponechána na stávající pozici. Vyhazovací zařízení (1) z montážní linky nyní kompletní hlavice nevyndává do plastových přepravek, ale umísťuje je přímo do vozíků. Tyto vozíky a celá dráha je využita z kalibrační linky u klimatizované komory. Další dvě stanice vkládání zářezek (2) a narážení víčka (3) jsou pouze přemístěny. Dále následuje ve směru toku materiálu kalibrační stanice (4). Stanoviště tiskárny s narážením plastové krytky je také pouze přemístěno. Manipulační zařízení, které bylo umístěno v klimatizované komoře pro vkládání a vyndávání do plat je využito pro vyndávání kompletních hlavice z vozíků přepravek. Přepravky jsou na válečkovém dopravníku, který zároveň slouží jako odkladné místo před balením a expedicí.



Obr. 6.1. Schéma linky prvního návrhu.

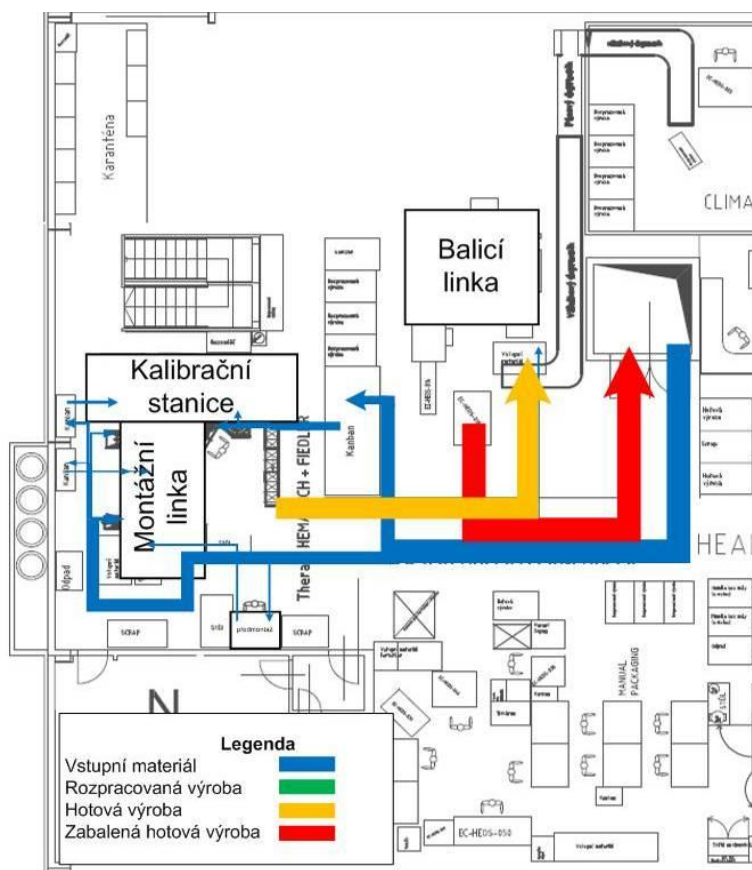
6.1.1 Sankeyův diagram prvního návrhu

Jelikož změna kalibrace neovlivnila takt výrobní linky, zůstává množství jednotlivých toků nezměněn oproti původnímu stavu.

Tab. 6.1. Šachovnicová tabulka navrhovaných řešení

Odebírá \ Odesílá	Sklad	Kanbanové regály	Předmontáž	Montážní linka + kalibrace	Balička	Celkem
Sklad		88200		37800	12600	138600
Kanbanové regály			12600	75600		88200
Předmontáž				12600		12600
Montážní linka + kalibrace					220500	220500
Balička	138600					138600
Celkem	138600	88200	12600	126000	233100	598500

Vzhledem ke spojení montážní linky s kalibrací, došlo ke zrušení transportu rozpracované výroby, což je dobré. I přes snahu optimalizace se jednotlivé toky kříží a po případném zavedení nové výroby na nynější nevyužité místo po kalibrační lince se toky pravděpodobně budou křížit ještě více. Tento návrh je z tohoto pohledu ne zcela ideální, ale realizace je méně nákladná, protože nebylo nutné stěhovat montážní linku a zavádět k ní nové rozvody.

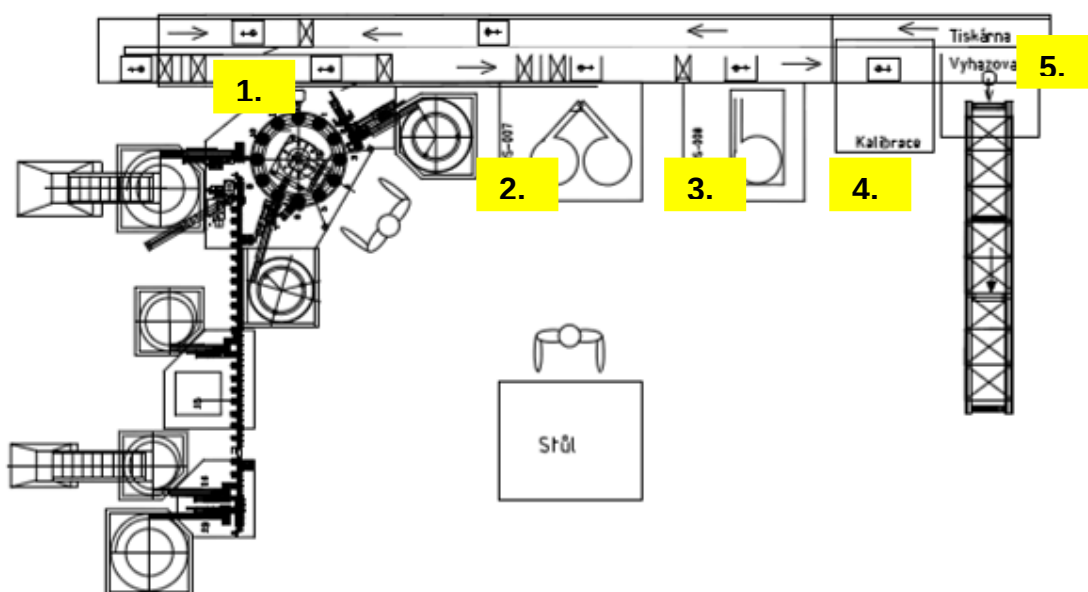


Obr. 6.2. Sankeyův diagram prvního návrhu.

6.2 Návrh 2

Montážní linka je kompletně přesunuta na místo, kde stála klimatizovaná komora. Vyhazovací zařízení (1) z montážní linky nyní umísťuje kompletní hlavice přímo do vozíků. Tyto vozíky a celá dráha je využita z kalibrační linky. Další dvě stanice vkládání zarážek (2) a narážení víčka (3) jsou pouze přemístěny. Dále následuje ve směru toku materiálu kalibrační stanice (4). Stanice tiskárny s narážením plastové krytky je také pouze přemístěno. Manipulační zařízení, které bylo umístěno v klimatizované komoře pro vkládání a vyndávání do plat je využito pro vyndávání kompletních hlavíc z vozíků do bedýnek (5). Bedýnky jsou na válečkovém dopravníku, který zároveň slouží jako odkladné místo před přesunem k baličce, balením a expedicí.

Směr pohybu vozíků u kalibrační větve je v tomto případě opačný z důvodu potřeby většího prostoru, například při doplňování komponent.

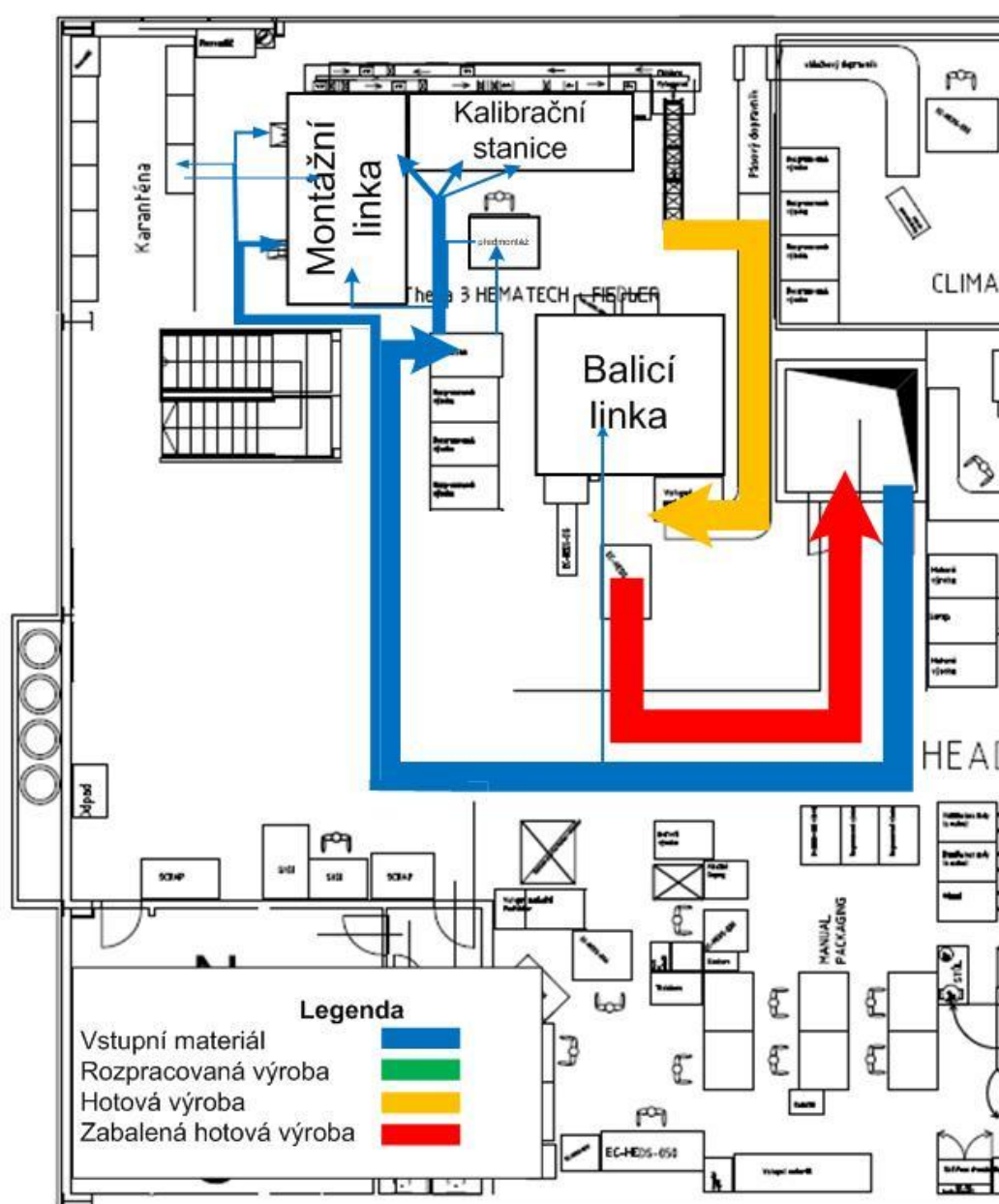


Obr. 6.3. Schéma linky druhého návrhu.

6.2.1 Sankeyův diagram druhého návrhu

Jelikož změna kalibrace neovlivnila takt výrobní linky, zůstává množství jednotlivých toků nezměněn oproti původnímu stavu. Šachovnicová tabulka k Sankeyově diagramu je stejná jako u prvního návrhu.

Jelikož došlo k přestěhování celé montážní linky na místo původní klimatizační komory, došlo k narovnání toku a eliminaci křížení drah. Díky sloučení montážní linky s kalibrační stanicí došlo ke zrušení transportu rozpracované výroby, což je velmi prospěšné. Z pohledu manipulace je tento návrh prospěšný. Nevýhodou jistě bude omezení výroby při stěhování montážní linky, cena na vybudování nových rozvodů a na stěhování jako takové.



Obr. 6.4. Sankeyův diagram druhého návrhu

6.3 Ekonomické zhodnocení

6.3.1 Nutné náklady stávajícího řešení

Jak již bylo popsáno v předcházejících kapitolách, nynější kalibrační linka je značně zastaralá a v roce 2013 je plánovaná generální oprava. Díky opotřebenosti jednotlivých funkčních komponent je nutné vytvořit záložní zařízení, aby případná porucha neodstavila výrobu na delší dobu. Rizikové komponenty a zařízení byly stanoveny pomocí analytické metody FMEA. Cílem této metody je identifikovat místa možného vzniku vad ve výrobě, odhaluje rizika již v rané fázi plánování, což ve výsledku uspoří čas a investice do vývoje produktu a celého procesu. Díky této metodě je také důkladně zdokumentován výrobní postup daného výrobku a určeny slabiny.

Tab. 6.2. Ekonomické zhodnocení aktuálního stavu

	Stávající řešení
Roční provoz	
Náklady na pracovníka	367 000,-
Náklady na prostor na hale	75 000,-
Energie	138 000,-
Průměrné roční náklady na běžné opravy	30 000,-
	610 000,-

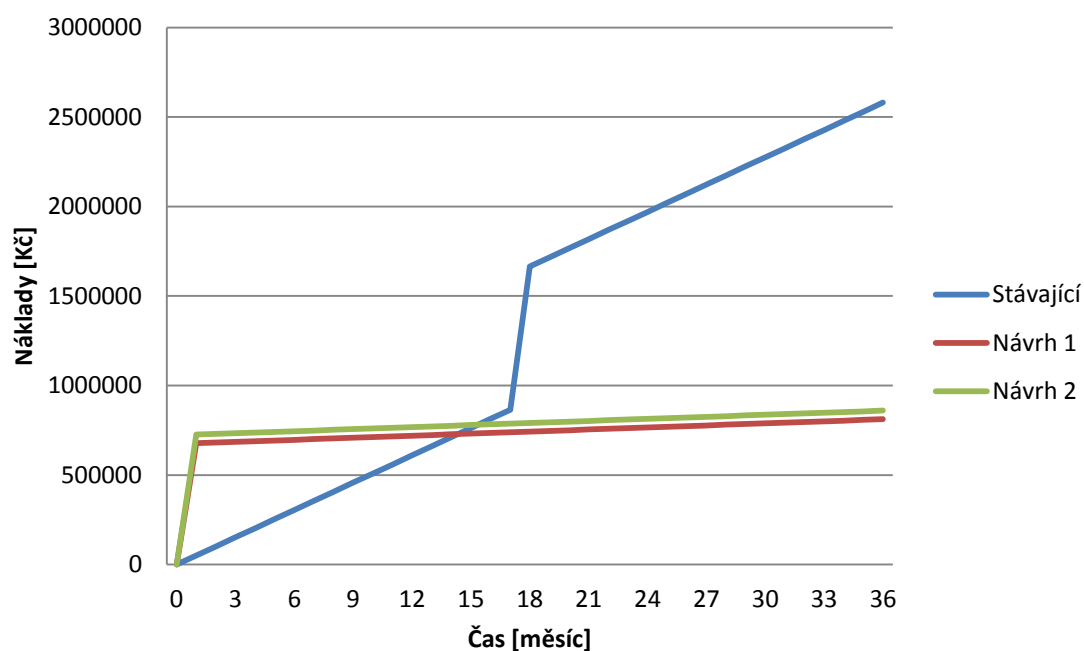
6.3.2 Inovované řešení

Navrhované inovační řešení je koncipováno s počátečními požadavky na spolehlivost, návratnost a investice. Vyčíslení jednotlivých položek je z části závislé na nasmlouvání podmínek s dodavateli, které se odvíjí od dodacích lhůt a kvality použitých komponentů.

Tab. 6.3. Ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení

	Návrh 1	Návrh 2
Nutné investice - mechanická část		
Rám a krytování	35 000,-	35 000,-
Vodící dráha	88 000,-	102 000,-
Paletové vozíky (revize)	40 000,-	40 000,-
Barvící zařízení	42 000,-	42 000,-
Přípravky a držáky	29 000,-	29 000,-
	234 000,-	248 000,-

Elektro část (materiál a díly)		
Bezkontaktní teplotní čidla	85 000,-	85 000,-
Rozvodová skříň	65 000,-	65 000,-
Řídící jednotka	50 000,-	50 000,-
Elektroinstalační materiál	12 000,-	12 000,-
	212 000,-	212 000,-
Ostatní		
Konstrukce (mechanická část)	44 000,-	48 000,-
Elektro (projekt, revize)	16 000,-	16 000,-
Software	40 000,-	40 000,-
Montáž – mechanická	32 000,-	32 000,-
Náklady na přesun linky	5 000,-	35 000,-
Montáž - elektrická	15 000,-	15 000,-
Instalace a oživení	28 000,-	28 000,-
Průvodní technická dokumentace	12 000,-	12 000,-
Analýza bezpečnosti	5 000,-	5 000,-
Doprava (osobní, nákladní)	3 000,-	3 000,-
Kalibrace měřicích zařízení	20 000,-	20 000,-
Záruka (servis 24 měsíců)	8 000,-	8 000,-
	228 000,-	262 000,-
Celkem náklady investice	674 000,-	722 000,-
Roční provoz		
Průměrné roční náklady na opravy	10 000,-	10 000,-
Náklady na pracovníka	0,-	0,-
Náklady výrobní plochy	3 000,-	3 000,-
Provozní náplně	5 000,-	5 000,-
Energie	28 000,-	28 000,-
	46 000,-	46 000,-

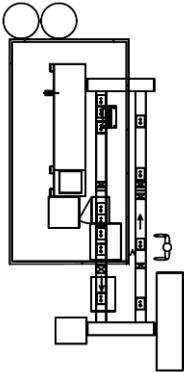
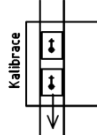
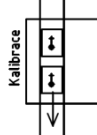


Obr. 6.5. Návratnost investice.

V grafu jsou započítány veškeré potřebné investice na provoz kalibrační linky. U navrhovaných variant je zřejmá značná investice v počátku, ale další náklady na provoz jsou řádově nižší. Návratnost investice je 16 – 17 měsíců, což splňuje podmínku optimalizace. Velký zlom u stávajícího stavu v osmnáctém měsíci je díky plánované generální opravě na první kvartál roku 2014, které je předběžně kalkulována na 750tisíc korun. Z dlouhodobého pohledu jsou navrhované varianty ekonomicky výrazně výhodnější, především díky nižším provozním nákladům.

7 SROVNÁNÍ VARIANT

Tab. 7.1. Srovnání jednotlivých variant

	Stávající řešení	Návrh 1	Návrh 2
Dispozice na hale	 cca 50m ²	 cca 2m ²	 cca 2m ²
Počet operátorů obsluhy	1 operátor	0 operátorů	0 operátorů
Energetická náročnost soustavy	15 kW	3 kW	3 kW
Čas kalibrace	2hodiny ustálení v klima komoře + 9s natačení	9s natačení	9s natačení
Spolehlivost kalibrace	99,9 %	V testování, prozatím 97%	V testování, prozatím 97%
Variabilita systému	Téměř nemožný přesun	Jednoduchý přesun	Jednoduchý přesun
Transport materiálu	Komplikovaný	Středně komplikovaný	Snadný
Výrobní takt	9s	9s	9s

7.1 Zhodnocení návrhů

Bodovací stupnice pro zkoumaný případ je následující

Splnění požadovaného kritéria na 100% - 5 bodů,
 90% - 4 body,
 80% - 3 body,
 70% - 2 body,
 50% - 1 bod,
 nesplnění - 0 bodů.

Tab. 7.2. Vícekriteriální rozhodování – bodovací metoda

	Návratnost investice	Zachování provozu při přestavbě	Produkce shodných kusů	Množství produkce	Provozní náklady	Transport a manipulace	Poruchovost	Náročnost obsluhy	Body	Pořadí
První varianta	5	3	0	5	5	2	5	4	3,49	2.
Druhá varianta	5	2	0	5	5	5	5	5	3,54	1.
Váhy	0,16	0,12	0,22	0,08	0,08	0,04	0,25	0,05		

Bodovací metoda prokázala výhodnost druhé varianty, především díky snadnějšímu transportu při navážení materiálu a snadnější obsluze. První ani druhá navrhovaná metoda nesplnila podmínku produkce shodných kusů podle standartu firmy 5PPM. Tato podmínka je velmi důležitá a nebyla prozatím splněna díky lidskému faktoru při přetáčení. V sériové výrobě bude natáčení probíhat strojně s řádově vyšší citlivostí. Prozatímní předpoklady a výpočty nenaznačují, že by tato směrnice neměla být splněna.

Navrhované varianty vychází ze základního principu změny kalibrování. Obě navrhované dispozice jsou velmi podobné a odlišností je především umístění na hale a z toho vycházející uspořádání. Výhodou u první navrhované varianty je kratší doba přestavby, menší omezení výroby při přestavbě a s tím i spojené nižší náklady. Nevýhodou zůstává křížení materiálových toků a zneprůstřednění volných prostor po zrušené klimatizované komory. Druhá varianta má uspořádaný materiálový tok, ovšem náklady a čas na celou přestavbu budou vyšší.

8 MOŽNOSTI NA OBDOBNÝCH LINKÁCH

Termostatické hlavice typu Thera4 a Thera2 jsou principiálně velmi podobné blíže zkoumanému a popisovanému typu Thera3. Odlišnosti jsou především, že zde chybí natáčecí koš a kalibrace je prováděna přesným odfrézováním vnitřní části takzvaného federu.

8.1 Základní princip



Obr. 8.1 Schéma kalibrace frézováním

Myšlenka je obdobná jakou u typu Thera3 s tím rozdílem, že dané hlavice nebudou natáčeny, ale frézovány. Hlavice budou téměř zcela zkompleťovány (i s naražením krytky hlavice). Krytka zde musí být osazena před frézováním z důvodu spojení jednotlivých komponent.

Jediným a zároveň největším problémem při realizaci SMART kalibrace i pro tuto typovou řadu hlavice je téměř celistvá krytka hlavice. Nastává zde problematické snímání bezkontaktním teplotním čidlem, které musí být velmi přesně orientované na malé otvory nebo musí být změněn postup montáže.

Tab. 8.1. Základní produktové portfolio

Thera2	Thera4 -2080	Thera4 design
Obtížné snímání z boku mezi drážkami	Snadné snímání z čela, poté nasazení víčka	Snadné snímání z čela, poté nasazení chromového - víčka
		

Realizace u linky Thera4 je docela jednoduchá, jen by musel být změněn sled prováděných operací. S touto změnou by musela proběhnout i změna přípravků ve strojích a programové nastavení.

Realizace u linky Thera2 je mnohem komplikovanější, ne však nemožná. Bylo by zde zapotřebí infračerveného čidla s optickými parametry 22:1 s čočkou s krátkým ohniskem (Close focus lens) se sbíhavými paprsky. Nutnost velmi přesného nastavení je zde samozřejmostí. Čidlo by bylo navíc pravděpodobně nutné duplikovat a měření provádět z více stran, aby výsledky byly korektní.

8.2 Návrh stroje

Montáž těchto hlavice probíhá na ručních strojích s částečnou strojní podporou. Linka obsahuje 5 stanovišť s 5 operátory a je zde dodržován „One piece flow“ systém. Po kompletaci, jsou hlavice přemístěny do klimatizované komory, kde jsou stabilizovány. Po stabilizaci je další operátor postupně vkládá do speciální frézky a tímto je kalibruje na přesný rozměr.

Navrhovaný stroj by měl obdobné parametry jako stávající frézovací zařízení v klimatizované komoře. Byl by zařazen na poslední stanoviště montáže. Do stávající frézky by byly zakomponovány teplotní čidla. Došlo by ke změně pevného dorazu na pohyblivý a s tím i spojené programové vybavení. Prakticky by bylo šlo o rozšíření a modernizaci stávajícího strojního vybavení.



Obr. 8.2. Ilustrativní foto speciální frézky

8.3 Srovnání

Tab. 8.2. Srovnání variant

	Stávající řešení	Návrh nového řešení
Dispozice na hale nutné ke kalibraci	80m ²	2m ²
Počet operátorů kalibrace	1	1
Energetická náročnost	20kW	3kW
Potřebná investice	0,-	250 000,-
Spolehlivost	99,9%	V testování, prozatím neznámá
Variabilita systému	Téměř nemožný přesun	Snadný přesun

V tabulce je uveden krátký sumář základních parametrů stávající linky a návrhu změny. Spolehlivost je prozatím neznámá, proběhlo prozatím jen pár zkušebních testování, které proběhly velmi dobře. Problémy, které se prozatím vyskytly, byly snadno vyřešeny a očekávaná spolehlivost kalibrace je přinejmenším totožná jako u Thera3, ale spíše vyšší, protože zde nedochází k narážení krytky, které vnáší do celého systému nepřesnosti. Zde by nedocházelo po kalibraci už k žádné montážní operaci nebo pouze u Thera4 k jemnému nasazení víčka.

8.4 Návratnost vložené investice

Tab. 8.3. Ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení

	Stávající řešení	Navrhované řešení
Nutné investice		
Strojní zařízení	0,-	650 000,-
Přípravky a uvedení do provozu	0,-	80 000,-
	0,-	730 000,-
Roční provoz		
Náklady na pracovníka	367 000,-	367 000,-
Náklady výrobní plochy	120 000,-	5 000,-
Energie	184 000,-	27 000,-
Průměrné roční náklady na běžné opravy	30 000,-	5 000,-
	701 000,-	404 000,-

Návratnost u této linky je poněkud delší díky nutnosti koupě celé stanice na kalibrování. Stávající frézku není možné z rozměrových a dispozičních vlastností upravit. I přesto návratnost je dva roky a šest měsíců, což je pro větší investice ve firmě akceptovatelné.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo zmapovat současný stav montážní linky na výrobu termostatických hlavice ve firmě Honeywell s.r.o. a navrhnout optimalizační řešení.

V úvodní části byla popsána historie firmy a současný stav. V teoretické části byly uvedeny způsoby regulace vytápění budov, funkce termostatické hlavice a její využití. Při mapování stávající linky byl chronologicky popsán postup montáže komponentů a jejich funkce.

Návrhová řešení pro optimalizaci vychází z námětu změny způsobu kalibrace. Stávající stav ustalování teplot hlavice v klimatizovaných komorách byl nahrazen SMART kalibrací. Tato nově zkoumaná kalibrace probíhá za běžných teplot přímo na hale a je závislá na aktuální povrchové teplotě termoelementu. Z důvodu ověření teoretických předpokladů byla postavena testovací stanice, na které probíhalo testování.

Základní testování potvrdilo správnost předpokladů možnosti kalibrace na hale přímo v montážní lince pouze s omezením provozu při skokové změně teploty. Vzniklé problémy s emisivitou povrchu, přesností natáčení, kalibrací teplotního čidla byly operativně vyřešeny a nic nenasvědčuje tomu, že by tato metoda neměla být provozuschopná.

V následující kapitole bylo navrženo začlenění do montážní linky a dispoziční umístění. První navrhovaná varianta vychází ze stávající montážní linky, ke které jsou přidány stanice při kalibrování a samotná SMART kalibrace. Druhá varianta využívá prostor vzniklý po klimatizované komoře, která již není zapotřebí a montážní linka je přesunuta do těchto prostor. Bodovací metoda určila výhodnost druhé varianty, i přes mírně vyšší zřizovací náklady, především díky snadnějšímu materiálovému toku.

V předposlední části diplomové práci je uvedeno shrnutí a ekonomické zhodnocení. Návratnost vložené investice je stanovena na šestnáct měsíců, což je pro vedení firmy akceptovatelné.

V závěrečné části je ve zkratce uvedena možnost implementace této technologie na obdobných linkách. Jsou zde popsány odlišnosti od blíže zkoumané výroby a především možné ekonomické přínosy pro firmu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HLAVENKA, Bohumil. *Manipulace s materiálem*. 4.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. 164 s. ISBN 978-80-214-3607-7.
- [2] HLAVENKA, Bohumil. *Projektování výrobních systémů*. 3.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 197 s. ISBN 80-214-2871-6.
- [3] VALTER, Jaroslav. *Regulaci v praxi aneb jak to dělám já*. 1.vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2010. 169 s. ISBN 9788073002565.
- [4] CIKHART, Jiří. *Měření a regulace ve vytápění*. 2.vyd. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1984. 485 s. L12-B3-III-31/22738.
- [5] BAŠTA, Jiří. *Hydraulika a řízení otopných soustav*. 1.vyd. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2003. 251 s. ISBN 80-01-02808-9.
- [6] LYSENKO, Vladimír. *Detektory pro bezdotykové měření teplot*. 1.vyd. Praha: BEN – technická literatura, 2005. 153 s. ISBN 80-7300-180-2.
- [7] ZELENKA, Antonín. *Projektování výrobních procesů a systémů*. 1.vyd. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2007. 136 s. ISBN 978-80-01-03912-0.
- [8] HONEYWELL, spol. s r.o. - Brno o.z. *O nás* [online]. 2010 [cit. 2011-12-17]. Dostupné z: <http://www.honeywell.com/sites/cz/O-nas.htm>.
- [9] MATZ, Václav. TOPINFO S.R.O. *Měření a regulace: Využití termostatických ventilů a termostatických hlavic pro regulaci vytápění* [online]. 2009 [cit. 2011-12-22]. Dostupné z: <http://vytapieni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/5917-vyuziti-termostatickych-ventilu-a-termostatickych-hlavic-pro-regulaci-vytapieni>.
- [10] MATZ, Václav. TOPINFO S.R.O. *Ekvitermní regulace – princip a využití v systémech regulace vytápění* [online]. 2010 [cit. 2011-12-17]. Dostupné z: <http://vytapieni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermni-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapieni>.
- [11] VALENTA, Vladimír. TOPINFO S.R.O. *Měření a regulace: Co má vědět uživatel o termostatických radiátorových ventilech?* [online]. 2006 [cit. 2012-1-24]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3527-co-ma-vedet-uzivatel-o-termostatickych-radiatorovych-ventilech>.
- [12] ETATHERM S.R.O. *Obecně o regulaci vytápění* [online]. 2006 [cit. 2012-1-24]. Dostupné z: <http://www.etatherm.cz/cesky/obecne.htm>.

- [13] GRUNER, Klaus-Dieter. RAYTEK CORPORATION. *Principles of Non-Contact Temperature Measurement* [online]. 2003 [cit. 2012-2-17]. Dostupné z: http://support.fluke.com/raytek-sales/Download/Asset/IR_THEORY_55514_ENG_REVB_LR.PDFF.
- [14] HONEYWELL INTERNATIONAL INC. *Our History* [online]. 2012 [cit. 2012-2-17]. Dostupné z: <http://honeywell.com/About/Pages/our-history.aspx>.
- [15] PLAŠIL, Jan. SIEMENS S.R.O. *Regulace vytápění* [online]. 2009 [cit. 2012-1-26]. Dostupné z: <http://www.pruvodcestavbou.cz/regulace-vytapeni/regulace-vytapeni.pdf>.
- [16] MATZ, Václav. TOPINFO S.R.O. *Měření a regulace: Programovatelné termostatické hlavice* [online]. 2009 [cit. 2012-2-18]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6000-programovatelne-termostaticke-hlavice>.
- [17] FESTO, s.r.o. *Vodicí jednotky DFM/DFM-B* [online]. 2007 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: http://xdki.festo.com/xdki/data/doc_CS/PDF/CZ/DFM_CZ.PDF.
- [18] MITUTOYO. *KATALOG MĚŘICÍCH PŘÍSTROJŮ 2011 / 2012* [online]. 2011 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: http://www.merici-pristroje.cz/fileadmin/user_upload/DOWNLOAD/katalog_MITUTOYO_CZ-16001.pdf.
- [19] RAYTEK CORPORATION. *MI3 - Miniature Infrared Sensor: Operating Instructions*. 2011, 145 s.
- [20] Honeywell, spol. s r.o. - Brno o.z. Podnikové materiály.

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1.1.	Divize společnosti	10
Obr. 2.1.	Ekvitermní křivky	12
Obr. 3.1.	Části termostatické hlavice	15
Obr. 3.2.	Kuželka a tělo ventilu	16
Obr. 3.3.	Hlavice s teplotní stupnicí	16
Obr. 3.4.	Zarážky	17
Obr. 4.1.	Sankeyův diagram – stávající stav	19
Obr. 4.2.	Feder	20
Obr. 4.3.	Montážní linka	20
Obr. 4.4.	Vložení matice	21
Obr. 4.5.	Vložení plastové podskupiny	21
Obr. 4.6.	Zajištění pojistným kroužkem	21
Obr. 4.7.	Umístění podskupiny	21
Obr. 4.8.	Nasazení termoelementu	22
Obr. 4.9.	Vložení do zápusky	22
Obr. 4.10.	Nasazení koše	22
Obr. 4.11.	Umístění do přepravek	22
Obr. 4.12.	Vložení do dopravníku	23
Obr. 4.13.	Vložení zárážek	23
Obr. 4.14.	Naražení víčka	23
Obr. 4.15.	Klimatizovaná komora	24
Obr. 4.16.	Natočení	24
Obr. 4.17.	Fixace	24
Obr. 4.18.	Balicí linka	26
Obr. 5.1.	Schéma kalibrace natáčením	27
Obr. 5.2.	Testovací zařízení	28
Obr. 5.3.	Vodící jednotka	29
Obr. 5.4.	Úchylkoměr Mitutoyo IP66	29
Obr. 5.5.	Teplotní čidlo Raytek MI3	31
Obr. 5.6.	Vyzařovací charakteristiky černého tělesa	33
Obr. 5.7.	Vyzařování tělesa	34
Obr. 5.8.	Charakteristika termoelementu	37
Obr. 5.9.	Hysterezní křivka	37
Obr. 5.10.	Vývoj teploty na hale	39
Obr. 5.11.	Ruční kalibrace	41
Obr. 5.12.	Četnost ruční kalibrace	41
Obr. 5.13.	Vyrovnávací doba při skokové změně	42
Obr. 5.14.	Schéma stroje do výrobní linky	43
Obr. 6.1.	Schéma linky prvního návrhu	44
Obr. 6.2.	Sankeyův diagram prvního návrhu	45
Obr. 6.3.	Schéma linky druhého návrhu	46
Obr. 6.4.	Sankeyův diagram druhého návrhu	47
Obr. 6.5.	Návratnost investice	50
Obr. 8.1.	Schéma kalibrace frézováním	53
Obr. 8.2.	Ilustrativní foto speciální frézky	54

Tab. 4.1. Šachovnicová tabulka v kilogramech za rok	18
Tab. 4.2. Bodovací metoda důležitosti kritérií	26
Tab. 5.1. Orientační hodnoty emisivity materiálů	35
Tab. 5.2. Uzavírací rozměr	38
Tab. 5.3. Výsledky ruční kalibrace	40
Tab. 6.1. Šachovnicová tabulka navrhovaných řešení	45
Tab. 6.2. Ekonomické zhodnocení aktuálního stavu	48
Tab. 6.3. Ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení	48
Tab. 7.1. Srovnání jednotlivých variant	51
Tab. 7.2. Vícekriteriální rozhodování – bodovací metoda	52
Tab. 8.1. Základní produktové portfolio	53
Tab. 8.2. Srovnání variant	55
Tab. 8.3. Ekonomické zhodnocení navrhovaného řešení	55

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
C	[mm/K]	teplotní roztažnost čidla
CDneu	[mm]	uzavírací rozměr nový
CDalt	[mm]	uzavírací rozměr stávající
P	[mm]	stoupání závitu
Tcalt	[°C]	kalibrační teplota stará
Tcneu	[°C]	kalibrační teplota nova
$\Delta\alpha$	[°]	rozdíl uhlu mezi kalibrační pozicí starou a novou