

Senzory pro řízení ochranné atmosféry ve skladovacím zásobníku

Petr Bílek

Bakalářská práce
2019



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Petr Bílek**
Osobní číslo: **A15587**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Senzory pro řízení ochranné atmosféry ve skladovacím zásobníku**

Téma anglicky: **Storage Tank Protective Atmosphere Control Sensors**

Zásady pro vypracování:

1. Nastudujte problematiku měření technologických veličin souvisejících se skladovacími zásobníky v zadané firmě.
2. Seznamte se s dotčenými provozními úseky firmy, popište stávající stav.
3. Na základě stávajícího stavu navrhnete vhodná čidla a konkrétní umístění měřicích bodů.
4. Po dohodě s vedoucím práce určete vybrané parametry procesu.
5. Navrhnete vhodný způsob řízení koncentrace dusíku.
6. Podle reálné situace navrhnete vhodná zařízení potřebná k řízení celého procesu.
7. Zařízení navrhnete s ohledem možného přenosu informací k řídicímu systému.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. VÁŇA, Jaroslav. Analyzátory plynů a kapalin. 2. přeprac. a dopl. vyd. Praha: SNTL, 1984. Automatizace a regulace. ISBN 978-80-214-4010-4.
2. ČECH, Jaroslav, Jiří PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ. Strojírenská metrologie I. Vyd. 5., V Akademickém nakl. CERM vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4010-4.
3. NAVRÁTIL, Pavel. Automatizace: vybrané statě. Vyd. 1. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, 289 s. ISBN 978-80-7318-935-8.
4. KADLEC, Karel, Miloš KMÍNEK a Pavel KADLEC. Měření a řízení v potravinářských a biotechnologických výrobcích: technologie potravin. Ostrava: Key Publishing, 2015. Monografie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-232-7.
5. HRUŠKA, František. Technické prostředky automatizace IV: (snímače, převodníky, regulátory, průmyslová výpočetní technika, ovládací jednotky). Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2001. ISBN 807318026x.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lubomír Macků, Ph.D.**

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání bakalářské práce: **26. července 2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26. srpna 2019**

Ve Zlíně dne 2. srpna 2019

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D.
děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
ředitel ústavu

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis diplomanta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá měřením koncentrace plynů, využitím analyzátorů a dalších automatizačních prvků. V práci je navržen vhodný měřicí set pro plnění potravinových sil v zadané firmě. Obsahem návrhu je výběr čidel, automatizačních zařízení a určení řídicích procesů. Návrh slouží jako podklad pro realizaci řešení.

Klíčová slova:

Analyzátor plynu, automatizace, skladování potravin, řídicí systém

ABSTRACT

Bachelor thesis focused on gas concentration measurement, analyser usage and other automation elements. Bachelor is design of suitable measuring set for filling the food forces in a given company. The content of the design is the selection of sensors, equipment and control processes. Solution proposal as a basis for solution implementation.

Keywords:

Gas analyser, automation, food storages, control system

Poděkování

Děkuji Ing. Lubomír Macků, Ph.D. za rady, věcné připomínky a vstřícnost při konzultacích a vypracování bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	8
TEORETICKÁ ČÁST	9
1 MĚŘENÍ PLYNNÝCH VELIČIN.....	10
1.1 OBECNÉ VLASTNOSTI PLYNŮ	10
1.1.1 ATMOSFÉRA.....	10
1.1.2 DUSÍK.....	10
1.1.3 KYSLÍK.....	11
1.1.4 MĚŘENÍ SLOŽENÍ PLYNŮ	11
1.1.5 MĚŘENÍ PRŮTOKU PLYNŮ	12
1.2 ANALYZÁTORY	13
1.2.2 TŘÍDĚNÍ AUTOMATICKÝCH ANALYZÁTORŮ PODLE DRUHU ANALYZOVANÉ FÁZE	13
1.2.3 TŘÍDĚNÍ ANALYZÁTORŮ PODLE PRINCIPU ČINNOSTI	14
1.2.4 TŘÍDĚNÍ ANALYZÁTORŮ PODLE POUŽITÉHO ANALYTICKÉHO POSTUPU	15
1.2.5 TŘÍDĚNÍ ANALYZÁTORŮ PODLE POČTU URČOVANÝCH SLOŽEK.....	15
1.3 POROVNÁNÍ ANALÝZ PROVÁDĚNÝCH RUČNĚ A AUTOMATICKY	16
1.4 TERMÍNY A DEFINICE METROLOGIE	17
1.4.1 JAKOST, KVALITA.....	17
1.4.2 PRODUKT.....	17
1.4.3 ZPŮSOBILOST.....	17
1.4.4 CÍL JAKOSTI	17
1.4.5 ŘÍZENÍ JAKOSTI	17
2 REGULÁTORY A REGULAČNÍ OBVOD.....	18
2.1 REGULAČNÍ OBVOD.....	18
2.1.1 DISKRÉTNÍ REGULAČNÍ OBVOD	18
2.2 REGULÁTOR.....	18
2.2.1 ROZDĚLENÍ REGULÁTORŮ.....	19
2.2.2 ČÍSLICOVÝ REGULÁTOR.....	20
3 POPIS VÝROBY V ZADANÉ FIRMĚ	22
3.1 ÚSEK SKLAD SUROVIN, POTRAVINOVÁ SILA	22
3.2 HUBENÍ ŠKŮDCŮ V POTRAVINOVÝCH SILECH	23
3.2.1 PLNĚNÍ DUSÍKU V ZADANÉ <i>FIRMĚ</i>	24
3.2.2 PROBLEMATIKA SOUČASNÉHO PROCESU PLNĚNÍ VE <i>FIRMĚ</i>	25
4 MĚŘÍCÍ A REGULAČNÍ PRODUKTY, PRŮZKUM SOUČASNÉHO TRHU	27
4.1 VENTILY A PRŮTOKOMĚRY PRO REGULACI PLNĚNÍ.....	27

4.1.1	SOLENOIDOVÉ VENTILY	27
4.1.2	TLAKEM OVLÁDANÉ VENTILY	27
4.1.3	MOTORICKY OVLÁDANÉ VENTILY	27
4.1.4	PROPORCIONÁLNÍ VENTILY	28
4.2	SENZORY NA MĚŘENÍ KONCENTRACE KYSLÍKU.....	29
4.2.1	PLYNOVÝ SENZOR VÝROBCE HONEYWELL GMS-10RVS SERIES	29
4.2.2	KYSLÍKOVÝ SENZOR VÝROBCE AHLBORN, TYP FYA60002	30
4.3	REGULAČNÍ ZAŘÍZENÍ	31
4.3.1	LOGICKÝ MODUL LOGO! 8.2 OD VÝROBCE SIEMENS.....	31
4.3.2	PLC TECOMAT FOXTROT.....	32
4.3.3	ROZŠÍŘENÍ PRO PLC TECOMAT - RFOX	32
	PRAKTICKÁ ČÁST	33
	5 NÁVRH MĚŘICÍHO A REGULAČNÍHO SETU	34
5.1	VÝBĚR TYPU A UMÍSTĚNÍ ČIDEL	34
5.1.1	UMÍSTĚNÍ SNÍMAČE PRŮTOKU	35
5.1.2	UMÍSTĚNÍ SNÍMAČE VENTILU	35
5.1.3	UMÍSTĚNÍ ČIDLA KONCENTRACE PLYNU	35
5.2	REGULAČNÍ OBVODY PLNÍCÍHO PROCESU.....	35
5.2.1	REGULAČNÍ OBVOD PRŮTOKU	35
5.2.2	REGULAČNÍ ALGORITMUS PRŮTOKU	36
5.2.3	REGULAČNÍ OBVOD KONCENTRACE KYSLÍKU.....	37
5.2.4	REGULAČNÍ ALGORITMUS KONCENTRACE KYSLÍKU	38
5.3	VÝBĚR HW PRO REGULAČNÍ SET.....	38
5.3.1	VÝBĚR PRŮTOKOMĚRU A VENTILU	38
5.3.2	VÝBĚR ČIDLA KONCENTRACE KYSLÍKU	39
5.3.3	VÝBĚR ŘÍDÍCÍHO ČLENU.....	39
5.3.4	VÝBĚR ELEKTRICKÉHO ZDROJE PRO ČLENY REGULAČNÍHO SETU	39
	ZÁVĚR	40
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	41
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	43
	SEZNAM TABULEK	44
	SEZNAM PŘÍLOH	45

ÚVOD

Prvotní zadání práce pochází z potravinové firmy, která řeší problematiku procesu ošetřování potravin před škůdci. Je typické, že při kontrole tisíce pytlů mouky, nenalezneme žádné škůdce a v tisíci prvním pytli nalezneme škůdců velké množství. Firma se proto rozhodla ošetřovat potraviny preventivně. Potravinová sila plní dusíkem. Dusík při plnění postupně vytlačuje atmosférický polštář s kyslíkem a při dostatečném snížení koncentrace kyslíku, dojde k zahubení případných škůdců. Proces plnění je dnes závislý z velké míry na manuálních činnostech zaměstnanců, což vede k chybovosti a zpomalení celého procesu. Záznam procesních veličin z plnění je zaznamenáván pouze do sešitu, takže případná analýza a změna parametrů procesu je problematická.

Předmětem této práce je popis problémů procesu plnění v zadané firmě a návrh automatizačního setu, který by proces zefektivnil. Součástí takového návrhu by měl být regulační algoritmus, schopný regulovat proces a reagovat na poruchové veličiny, průzkum trhu automatizačních produktů a výběr konkrétních zařízení, kterými bude možné řešení realizovat.

Implementace takového řešení může vést k optimalizaci celého procesu ošetřování potravin před škůdci.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 MĚŘENÍ PLYNNÝCH VELIČIN

1.1 Obecné vlastnosti plynů

Vedle kapalin a pevných látek představují plyny jednu ze tří základních látkových skupenství. Plyn nalezneme všude, typickým příkladem je vzduch, který dýcháme. Vzduch je směsí více plynů, kde nejdůležitější částí je kyslík.

Plyny jsou charakterizovány vysokou vzájemnou vzdáleností částic. Částice plynů se vůči sobě pohybují, ale vzhledem ke své vzdálenosti na sebe nepůsobí žádnými silami. Kinetická energie částic je u plynů mnohem vyšší, než energie potenciální.

Plyny nemají svůj stálý tvar. Nemají svůj objem, rozprostírají se vždy v celém objemu prostoru, kde jsou umístěny. [6]

1.1.1 Atmosféra

Jedná se o směs plynů kolem nás, kterou dýcháme. Průměrné chemické složení suchého vzduchu v blízkosti povrchu zemského:

1. Dusík - 78,08%
2. Kyslík - 20,945%
3. Argon - 0,914%
4. Oxid uhličitý - 0,0383%
5. Další obsažené plyny s nižší koncentrací: neon, helium, metan, krypton, vodík, oxid dusnatý, xenon, oxid dusičitý, ozon a jod. [7]

1.1.2 Dusík

Chemická značka je *N*. Jedná se o chemický prvek bez barvy, chuti a zápachu s dvěma atomy. Volně se dusík nachází v přírodě v atmosféře. Jako vázaný se nachází ve spoustě organických sloučenin. Celkem bylo zaznamenáno 83 minerálů s obsahem dusíku. Největší obsah dusíku má minerál urea s 46,65 %.

Vybrané vlastnosti dusíku uvedeny v tabulce 1:

Protonové číslo	7
Relativní atomová hmotnost	14,00674
Zařazení	Nekovy
Teplota tání / varu	-209,86 / 195,8 °C
Hustota	0,0012506 g/cm ³
Atomový poloměr	56 pm

Tabulka 1 – Vybrané vlastnosti dusíku

[7]

1.1.3 Kyslík

Chemický prvek kyslík má chemickou značku *O*. Za normálních podmínek se jedná o bezbarvý plyn s dvěma atomy. V přírodě nalezneme kyslík v atmosféře a v řadě sloučenin. Kyslík je nejrozšířenějším prvkem na Zemi. Vybrané vlastnosti kyslíku uvedeny v tabulce 2:

Protonové číslo	8
Relativní atomová hmotnost	15,9994
Zařazení	Nekovy
Teplota tání / varu	-218,4 / - 182,962 °C
Hustota	0,001429 g/cm ³
Atomový poloměr	48 pm

Tabulka 2 – Vybrané vlastnosti kyslíku

[8]

1.1.4 Měření složení plynů

Měřením složení a vlastností plynů dostáváme informaci o obsahu látek ve směsi. To platí pro měření látek plynných, kapalných či pevných. Měřením můžeme také dostat informaci o fyzikálních parametrech látky.

Obsah libovolného vybraného plynu v daném objemu vyjadřujeme jako:

Látkovou koncentraci

$$C_i = \frac{n_i}{V} \quad (1)$$

kde

C_i je látkové koncentrace,

n_i je látkové množství látky v soustavě,

V je objem soustavy.

Hmotnostní koncentraci

$$C_i = \frac{m_i}{V} \quad (2)$$

kde

C_i je látkové koncentrace,

m_i je hmotnostní objem látky v soustavě,

V je objem soustavy.

Objemovou koncentraci

$$C_i = \frac{V_i}{V} \quad (3)$$

kde

C_i je látkové koncentrace,

V_i je objemové množství látky v soustavě,

V je objem soustavy.

[4]

1.1.5 Měření průtoku plynů

Průtok vyjadřuje množství látky, která proteče určeným průtočným průřezem za čas. Výsledek udáváme jako průtok hmotnostní Q_m nebo průtok objemový Q_V .

$$Q_m = \frac{dm}{d\tau} \quad (5)$$

$$Q_V = \frac{dV}{d\tau} \quad (6)$$

Měřidla bývají vybavena integračním zařízením a údaj je potom ukázán zjednodušeně jako proteklý objem V nebo proteklá hmotnost m . [3]

1.2 Analyzátory

Analyzátory kvalitativně či kvantitativně vyhodnocují analyzovanou látku a určují její složení. To vše na základě chemických, fyzikálně chemických či fyzikálních změn.

Mohou pracovat automaticky či poloautomaticky. Vzorkování zařízení může být kontinuální, či diskontinuální. Vzorky se odebírají ručně nebo automaticky.

Typickým příkladem analyzátorů jsou přístroje na měření absorpce záření, tepelné vodivosti nebo zařízení na měření koncentrace plynů.

Na základě typu své činnosti dělíme analyzátory na poloautomatické, nebo automatické. [1]

1.2.1.1 Automatický (samočinný) analyzátor

Celý proces analyzování, tedy od odběru vzorku až po výstupní signál, je u tohoto typu analyzátoru automatický. Tento typ zařízení pracuje zpravidla kontinuálně.

Využití automatických analyzátorů je typické pro čidla regulátorů a signalizační zařízení. [1]

1.2.1.2 Poloautomatický analyzátor

Jedná se o nižší stupeň automatického analyzátoru. Proces analyzování vyžaduje manuální zásahy. Vyžadované manuální zásahy mohou být dvou druhů, periodický přísun analyzované látky, nebo nutnost manuálního vyhodnocování vzorku.

Z důvodu manuálních zásahů není tento typ analyzátoru vhodný jako čidlo pro regulátor. [1]

1.2.1.3 Indikátor

Posledním typem analyzátorů je indikátor. Jedná se o určitý typ poloautomatického analyzátoru. Sběr vzorků je zpravidla manuální a samotné výsledky nejsou registrovány. Výstup může být ukazován na stupnici, popř. se pracuje s grafy. Indikátor není vhodný vzhledem k nutnosti manuálních aktivit jako čidlo regulátoru.

Důležitější je kvalitativní stránka rozboru než kvantitativní. Zásadní je rychlost, jednoduchost a nízké náklady. Klade se význam i na schopnost snadné manipulace a možnost přemístění. [1]

1.2.2 Třídění Automatických Analyzátorů podle druhu analyzované fáze

Základní rozdělení analyzátorů je podle skupenství analyzované látky.

1. Analyzátory tuhých látek,
2. Analyzátory kapalin,
3. Analyzátory plynů. [1]

1.2.2.1 Analyzátory plynů

Analyzátory plynů zkoumají vlastnosti plynů, koncentraci určitých plynů.

Mají za sebou nejdelší vývoj ze všech typů viz. 1.2.2 a byly první, které se uplatnily v pro-vozech. Z tohoto důvodu dnes můžeme nalézt i relativně zastaralé kusy. [1]

1.2.3 Třídění analyzátorů podle principu činnosti

Podle principu zvolené analýzy dělíme analyzátory do tří skupin.

1. Na fyzikálním principu,
2. Na chemickém principu,
3. Na fyzikálně chemickém principu,

Zvolení správného typu analyzátoru dle principu činnosti, je základem každé analytické práce. Důležitá je tato volba při vytváření automatického postupu. [1]

1.2.3.1 Analyzátory na principu fyzikálním

Tento typ analyzátorů využívá téměř všechny fyzikální veličiny, mající vztah ke koncentraci určované složky ve zkoumané směsi. Míra dané fyzikální veličiny potom značí koncentraci určované složky.

Výhodou je neměnnost chemického složení analyzované látky. Nevýhodou potom je závislost na vlivu okolního prostředí, kdy tlak, teplota nebo koncentrace doprovodných složek může ovlivnit výsledek. Další nevýhodou je nízká selektivita. [1]

1.2.3.2 Analyzátory na principu fyzikálně chemickém

Princip je založený na měření určité fyzikální veličiny při vyvolané chemické reakci. Správným výběrem reakce můžeme dosáhnout určení selektivity sledované látky. Nevýhodou je zpoždění výsledků oproti fyzikálním analyzátorům. [1]

1.2.3.3 *Analýzátory na principu chemickém*

Sledovaná látka je chemickou reakcí převedena do vhodnější pro stanovení koncentrace. Samotné vyhodnocení proběhne až po dosažení rovnovážného stavu po reakci. Na základě změn, ke kterým došlo při chemické reakci, stanovujeme koncentraci. Velikou výhodou tohoto typu analyzátoru je vysoká selektivita sledované látky. [1]

1.2.4 **Třídění analyzátorů podle použitého analytického postupu**

Další třídou dělení je dle použitého analytického postupu.

1. **Jednorázové** - postup pro určení např. koncentrace sledované látky proběhne jednou. Tato varianta je dostačující pro prostředí, kde se neočekávají změny.

2. **S periodickým opakováním analýz** - Jednorázový typ se opakuje v definovaných intervalech. Tento typ je vhodný do prostředí, kde dokážeme určit periodicitu změn prostředí a zároveň dokážeme zajistit dostatečnou vzorkovací frekvenci.

3. **Kontinuální** - Plynulý záznam výsledků, který je vhodný do měnícího prostředí. Jedná se o ideální typ pro regulátory, či signalizační soustavy. [1]

1.2.5 **Třídění analyzátorů podle počtu určovaných složek**

Další třídění analyzátorů můžeme zavést podle počtu složek, které analyzujeme.

1. Jednosložkové,

2. vícesložkové,

3. Pro úplný rozbor. [1]

1.3 Porovnání analýz prováděných ručně a automaticky

Analyzovat koncentraci plynů v soustavě můžeme provádět ručně, nebo automaticky. Charakteristické vlastnosti obou variant uvedeny v tabulce 3 dle: VÁŇA, Jaroslav. *Analyzátory plynů a kapalin*

“Porovnání analýz prováděných ručně a automaticky

Analýzy prováděné ručně	Analýzy prováděné automaticky
1. Vzorek se odebírá nepravidelně	1. Vzorek je pravidelně odebírán
2. Výsledek rozboru je znám se značným zpožděním	2. Zpoždění je minimální
3. Počet informací je nedostatečný	3. Informace jsou získávány nepřetržitě nebo v krátkých časových intervalech
4. Výsledek rozboru se musí zapisovat ručně	4. Zápis je automatický
5. Údaje jsou zatíženy subjektivními chybami	5. Údaje analyzátoru jsou objektivní
6. Rozbor je pracný a zdlouhavý	6. Analýza je rychlá a obvykle nevyžaduje přímé pracovní zásahy
7. Produktivita práce je malá	7. Produktivita práce je velká
8. Periodická kontrola nezajišťuje vysokou kvalitu výrobků	8. Automatická kontrola umožňuje dosáhnout vysoké standardní kvality výrobků při hospodárném využití surovin
9. Nelze zajistit bezporuchovost výroby a vysoký stupeň bezpečnosti práce	9. Lze zajistit dokonalou kontrolu výrobního procesu; signalizační, popř. Blokovací zařízení umožňují dosáhnout vysokého stupně bezpečnosti práce a bezporuchovosti výroby
10. Údaje nelze přímo použít pro automatické řízení výroby	10. Údaje analyzátorů lze přímo využít pro automatické řízení výroby

Tabulka 3 - Porovnání analýz prováděných ručně a automaticky

”

1.4 Termíny a definice Metrologie

1.4.1 Jakost, kvalita

“Jakost a kvalita je stupeň plnění požadavků souborem inherentních znaků. Termín jakost se může používat s přívlastky, např. špatná, dobrá nebo vynikající. Inherentní na rozdíl od přiřazený znamená existující v něčem, zejména jako trvalý znak.” Přímá citace: ČECH, Jaroslav, Jiří PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ. Strojírenská metrologie I. Vyd. 5

1.4.2 Produkt

Produkt je definován jako výsledek nějakého procesu. Druhů procesů rozlišujeme více, proto zavedeme 4 kategorie produktu:

- služby,
- software,
- hardware,
- zpracované materiály. [2]

1.4.3 Způsobilost

Jedná se o schopnost systému, procesu či organizace produkovat produkt. Produkt splňuje veškeré požadavky. [2]

1.4.4 Cíl jakosti

Jedná se o výsledek, činnosti, o které usilujeme pro dosažení jakosti. [2]

1.4.5 Řízení jakosti

Jedná se o část managementu, řízení jakosti za účelem splnění plánování a cílů jakosti. [2]

2 REGULÁTORY A REGULAČNÍ OBVOD

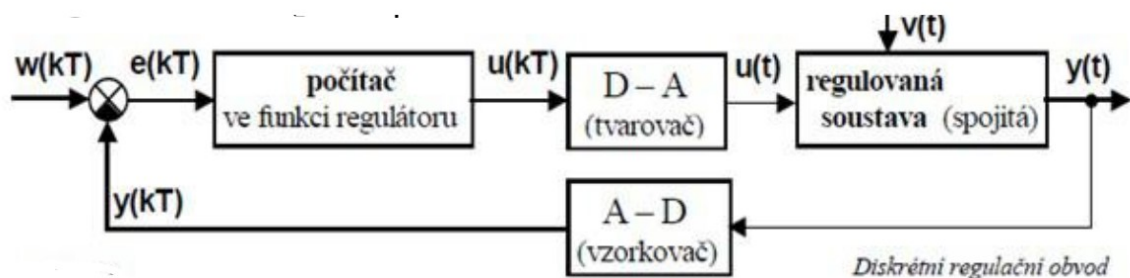
2.1 Regulační obvod

Řízení se zpětnou vazbou nazýváme regulace. Úlohou regulace je nastavení veličiny na požadovanou hodnotu. Tato hodnota je nejčastěji konstantní. Regulace probíhá v regulačním systému, který nazýváme regulační obvod. V regulačním systému můžeme nalézt dvě části, regulátor a regulovanou soustavu. [5]

2.1.1 Diskrétní regulační obvod

Jedná se o takový obvod, ve kterém alespoň jedna veličina má tvar posloupnosti diskrétních hodnot vytvářených v časově ekvidistantních okamžicích. Obvykle si můžeme představit, že diskrétní regulační obvod využívá k nastavení akční veličiny číslicový počítač.

Diskrétní regulační obvod lze znázornit schématem (Obrázek 1)

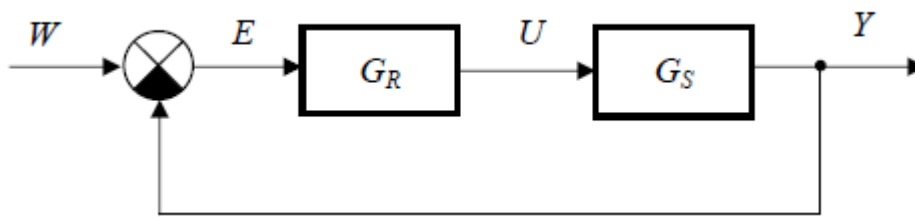


Obrázek 1 – Diskrétní regulační obvod

$y(t)$ je spojité veličina regulované soustavy, která je vzorkovačem vzorkována s periodou T . Vzorkováním je převedena na diskrétní funkci $y(kT)$. [9]

2.2 Regulátor

Regulátor je zařízení, kterým uskutečňujeme regulaci. Cílem regulátorů je řízení soustavy, kdy generujeme akční veličinu u , aby regulovaná veličina y chovala dle zadaného cíle. Účinným způsobem jak toho dosáhnout, je použití zpětné záporné vazby. Pro přenos soustavy G_s potřebujeme nalézt takový přenos regulátoru G_R , aby byla regulační odchylka e co nejmenší, ideálně nulová.



Obrázek 2 – Schéma regulátoru se zpětnou vazbou

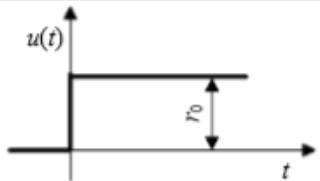
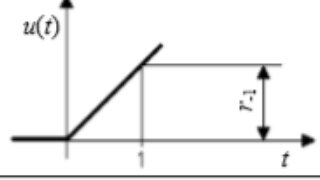

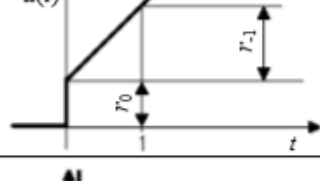
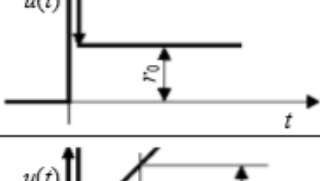
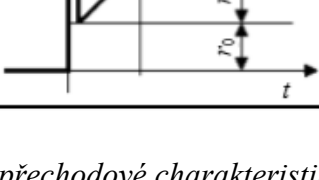
Signály a jejich obrazy a následně jejich přenosy (viz. obrázek 2) mohou být diskrétní nebo spojité v čase t . Pro diskrétní systémy platí, že jsou funkcí diskrétního času kT . k je krok a T je perioda vzorkování. [5]

2.2.1 Rozdělení regulátorů

Existuje široká řada regulátorů a regulačních principů. Členění může být podle akční veličiny, která může být spojitá, nebo diskrétní. Členit můžeme dle příkonu na přímé a nepřímé – přímé jsou bez vnější energie. (V průmyslovém využití narazíme nejčastěji na nepřímé regulátory, vyžadující vnější energii pro svou činnost.)

Další možné členění regulátorů je podle jejich struktury. Máme regulátory s pevně danou strukturou (typu PID) a regulátory s obecnou strukturou (obecný lineární regulátor).

Regulátory s pevně danou strukturou se chovají dle rovnic daného typu regulátoru. Podrobnosti v obrázku 3.

Typ	Rovnice	Přechodová charakteristika	Přenos $G_R(s)$
P	$u(t) = r_0 e(t)$		$G_R(s) = r_0$
I	$u(t) = r_{-1} \int_0^t e(\tau) d\tau$		$G_R(s) = \frac{r_{-1}}{s}$
D - člen	$u(t) = r_1 \frac{de(t)}{dt}$		$G_R(s) = r_1 s$
PI	$u(t) = r_0 e(t) + r_{-1} \int_0^t e(\tau) d\tau$		$G_R(s) = r_0 + \frac{r_{-1}}{s}$
PD	$u(t) = r_0 e(t) + r_1 \frac{de(t)}{dt}$		$G_R(s) = r_0 + r_1 s$
PID	$u(t) = r_0 e + r_{-1} \int_0^t e(\tau) d(\tau) + r_1 \frac{de(t)}{dt}$		$G_R = r_0 + \frac{r_{-1}}{s} + r_1 s$

Obrázek 3 – Rovnice a přechodové charakteristiky PID regulátoru

Struktura u obecného lineárního regulátoru je určena na základě požadavků chování uzavřeného regulačního obvodu (stabilita, realizovatelnost). Popřípadě na dalších požadavcích: omezení akční veličiny, řízení s minimální kvadratickou regulační plochou, ukončení za co nejmenší počet kroků. [5]

2.2.2 Číslicový regulátor

Spolu s rozmachem číslicové techniky se čím dál častěji setkáváme s využíváním číslicových regulátorů.

Rozlišujeme číslicové (diskrétní v úrovni i v čase) a diskrétní (spojitý v úrovni a diskrétní v čase), oba pojmy považujeme za totožné, protože kvantizační chybu můžeme považovat za zanedbatelnou.

Z teorie řízení je možné analogové regulátory aproximovat pomocí diskrétních regulátorů. Tyto regulátory popisujeme diferenčními rovnicemi a realizujeme číslicovými počítači (spojité regulátory popisujeme pomocí diferenciálních rovnic a realizujeme prvky analogové elektroniky). Takové regulátory nazýváme PSD (číslicový PID).[10]

3 POPIS VÝROBY V ZADANÉ FIRMĚ

V této kapitole popíšeme zadanou firmu a vybraný výrobní úsek, kterému se budeme věnovat v praktické části. Na úvod je třeba zmínit, že firma si nepřeje zveřejňovat podrobnosti a svůj název. Firma je tedy v celé této práci zmiňována jako “*FIRMA*”.

FIRMA byla založena na začátku 90. let, činností firmy bylo obchodování se zeleninou a ovocem. Postupem času firma rostla, rozšiřovala sortiment o rýži a luštěniny. Dalšími produkty jsou sůl, koření směsi. V rámci oboru se jedná o zajímavou technologickou referenci díky zavedené metodě ošetřování potravin před škůdci.

3.1 Úsek sklad surovin, potravinová síla

Vybraný úsek pro praktickou část práce je sklad pro dovážené suroviny. Suroviny jsou zde plněny do železných potravinových sil. Plnění zajišťuje 2-osý plnicí zařízení s dostupem na všechny zásobníky. Na obrázku č. 4 je vidět vrchní část sil a kolej pro plnicí zařízení. Ve vrchní části jsou nainstalované i rozvody dusíku. Dusík je využíván pro ošetřování surovin před škůdci. Dusík postupně při plnění vytlačuje vzduch s kyslíkem, při snížení koncentrace kyslíku v sílu, dojde k zahubení případných škůdců. K procesu plnění více v části 3.2 a jejích pod částech.

Spodní část sil je slouží k vyprazdňování surovin na dopravníkový pás, ze kterého suroviny pokračují do dalších výrobních úseků (obrázek 5). Ve spodní části nalezneme také výfuk, kudy odchází vzduch při plnění sil dusíkem.



Obrázek 4 - Pohled na silo z vrchu



Obrázek 5 - Pohled na silo ze spodu,
dopravníkový pás u výsypu sila

3.2 Hubení škůdců v potravinových silech

Pravděpodobně každá potravinová firma ve světě řeší problematiku hubení škůdců, kteří se v potravinách mohou nacházet. *FIRMA* škůdce hubí dusíkem, dusík při plnění vytlačuje kyslík a škůdci nebo jakékoliv zárodky jsou zahubeny a potraviny jsou tak chráněny a očištěny. Toto řešení je efektivní. Problémem totiž bývá, že samotní škůdci jsou velmi těžko detekovatelní a je také typické, že v tisíci pytlech mouky nenajdete ani jednoho škůdce a v tisíci prvním škůdců tisíce, proto je preventivní ošetření výhodné.

3.2.1 Plnění dusíku v zadané FIRMĚ

Dusík si firma vyrábí sama ze vzduchu generátory. Koncentrace dusíku z generátorů je 99,5% (Obrázek 6) a médium je rozváděno pod tlakem 4 - 6,5 bar rozvodnými trubkami do ostatních výrobních úseků (obrázek 7). Výstupní koncentraci dusíku pracovníci kontrolují denně.

Trubky s médiem jsou rozvedeny k vrchní části sil, kde probíhá plnění. U každého sila je nainstalovaný vývod pro dusík s rychlospojkou a ventilem. Do rychlospojky je napojena hadička vedoucí k vstupu sila. (Obrázek 8)

Ve spodní části sil nalezneme ventil, který se při plnění otevírá, aby mohl unikat přebytečný vzduch. (Obrázek 9)



Obrázek 6 - Generátor dusíku



Obrázek 7 - Trubkové rozvody dusíku



Obrázek 8 - Vrchní část sila, vývod dusíku k silu



Obrázek 9 - Spodní část sila, výfuk na přebytečný plyn ze sila

3.2.2 Problematika současného procesu plnění ve *FIRMĚ*

Plnicí proces je třeba provádět dostatečně pomalu, aby ztráty dusíku byly co nejmenší. Při zahájení plnění zaměstnanec napojí mezi ventil a hadičku (obrázek 8) průtokoměr a otočí ventilem. Průtokoměr je nainstalován pro kontrolu průtoku dusíku, který by měl být 30 l/min, plnění potom trvá přibližně 12 hodin.

Při zahájení plnění dusík prochází surovinami a atmosférický polštář je postupně tlačěn níže. Z tohoto důvodu je vhodné pomalejší plnění, nedochází k přílišnému míšení, ale vytlačování kyslíku

Ve spodní části sila se odfukuje díky přetlaku vzduch a s rostoucí mírou zaplnění přibývá na výfuku podíl dusíku. Kontrola naplnění sila dusíkem probíhá připojením analyzátoru plynů na výfuk ve spodní části. *FIRMA* používá analyzátor Drager X-am 7000, který měří koncentraci kyslíku. Jedná se o nepřímou metodu měření dusíku, měřením hodnoty zbytkové koncentrace kyslíku. Silo je považováno za naplněné, pokud se naměří menší jak 3% koncentrace kyslíku.

Problémy tohoto procesu jsou vícero charakterů.

- 1) Vysoká citlivost kuželového ventilu - nastavit správný průtok je obtížné a časově náročné.

- 2) Kapacity - práci vykonává jeden pracovník a současně je plněno více sil. Zahájení plnění v pátek a kontrola naplnění po víkendu není neobvyklou praxí. V tomto případě, při potřebném 12ti hodinovém plnění (při průtoku cca 30 l/min), je ztráta dusíku zřejmá.
- 3) Záznam procesním veličin z plnění je zapisován ručně do sešitu. Analýza plnění je problematická.

Od vedení *FIRMY* vznikl požadavek na vytvoření automatizovaného plnicího a měřicího setu, který by zmíněné problémy vyřešil. Návrh tohoto řešení je předmětem praktické části práce.

4 MĚŘÍCÍ A REGULAČNÍ PRODUKTY, PRŮZKUM SOUČASNÉHO TRHU

Předmětem této kapitoly je průzkum současného trhu s automatizačními prvky.

Potřeby automatizačního setu na členy jsou:

1. Ventil pro regulaci objemu vpouštěného dusíku do plnicího sila
2. Plynový průtokoměr jako kontrola regulačního ventilu
3. Senzor na měření koncentrace kyslíku
4. Zařízení na propojení ostatních členů a jejich regulaci

Vzhledem k přítomnosti plnicího zařízení, pohybující se ve vrchní části sil, je preferován pro ventil a průtokoměr vlastní zdroj energie a bezdrátová komunikace. Veškeré členy soustavy musí být připojitelné na zavedenou instalaci.

4.1 Ventily a průtokoměry pro regulaci plnění

Na trhu je k nalezení široká škála ventilů a průtokoměrů. Od kulových ventilů až po proporcionální ventily s integrovaným průtokoměrem a displejem. V této části se zaměříme jen na typy použitelné pro regulační set. Např. kulové ventily vynecháme.

4.1.1 Solenoidové ventily

Jedná se o elektricky aktivovaný ventil na elektromagnetickém principu. Nejběžnějším typem jsou dvupolohové ventily, a proto nemá smysl podrobněji prozkoumávat. [11]

4.1.2 Tlakem Ovládané ventily

Dvupolohové ventily, které jsou ovládány pneumatickým tlakem. Tento typ by vyžadoval zavedení dalšího zařízení, které by do ovládání tohoto ventilu přiváděl pneumatický tlak. Nevhodné, nemá smysl dále se tomuto typu více věnovat. [12]

4.1.3 Motoricky ovládané ventily

Jedná se o dvupolohové ventily, které jsou ovládané elektrickým motorem. Na trhu nalezneme ventily napájené ze sítě 230V či 24V.

Ventil 2/2 NC Série E290

Vybrané parametry produktu v tabulce 4:

	Série E290
Médium	Voda, pára
Přívodní tlak	0-6 bar
Teplotní rozsah	-10 až +90 °C
Napájecí zdroj	AC(V) 24V/230V nebo DC(V) 24V

Tabulka 4 - vybrané parametry ventilu E290

[13]

4.1.4 Proporcionální ventily

Tento typ se využívá pro pozvolnou regulaci průtoků, popřípadě pro pozvolnou regulaci tlaku v hydraulickém systému. Vyznačují se jemným a přesným spínáním. Mohou mít snímání posuvu i se snímáním střední polohy signálu pro přesné řízení. [14]

Proporcionální ventily od výrobce Hoerbiger

Výrobce Hoerbiger nabízí průtokové proporcionální ventily i se snímači posuvu šoupátka, ale produkty má jen pro kapalně médium. [14]

Proporcionální ventily od výrobce IMI Norgen

K dispozici jsou 2 modely VP50s a VP51. Parametry obou jsou stejné, s jedinou výjimkou - VP51 je programovatelný. Podrobnosti o produktech v tabulce 4:

	VP50s a VP51
Médium	Stlačený vzduch či plyn
Přívodní tlak	2-14 bar
Okolní teplota	0 až +50 °C
Průtok	Až 1400 N l/min
Elektrický vstupní signál	0 až 10V nebo 4 až 20mA
Napájecí zdroj	24 VDC

Tabulka 5 - vybrané parametry ventilů VP50s a VP51

[15]

Proporcionální ventil s integrovaným průtokoměrem od výrobce Brooks Instrument

Výrobce Brooks Instrument nabízí produkty série SLA5800, což jsou primárně průtokoměry s digitálním nebo analogovým výstupem. Tyto průtokoměry mají integrovaný proporcionální ventil.

V rámci série jsou k dispozici 3 verze, parametry v tabulce 5.

	SLA5850 / SLA5860	SLA5851 / SLA5861	SLA5853 / SLA5863
Médium	Plyn, voda	Plyn, voda	Plyn, voda
Rozsah průtoku	0,003 až 50 l/min	15 až 20 l/min	100 až 2500 l/min
Maximální tlak	103 bar	103 bar	70 bar
Přesnost průtokoměru	+0,9% při rozsahu průtoku 20 - 100%	+0,9% při rozsahu průtoku 20 - 100%	+0,9% při rozsahu průtoku 20 - 100%
Teplotní rozsah	-14 až 65°C	-14 až 65°C	-14 až 65°C

Tabulka 6 – Vybrané parametry produktů série SLA5800

[16]

4.2 Senzory na měření koncentrace kyslíku

Zařízení by mělo být schopné propojit s PLC/programovatelným automatem a přesnost měření je vyžadována v jednotkách %. Odezva měření koncentrace vyhovuje i v řádu minut. Důležitým parametrem je malá velikost zařízení, protože člen bude připojen na výfuk potravinových sil.

4.2.1 Plynový senzor výrobce Honeywell GMS-10RVS Series

Jedná se o přesný senzor koncentrace kyslíku. Funguje bez nutnosti referenčního plynu. Vyznačuje se lineárním výstupním signálem a dlouhou životností. Využívá se v letectví pro kontrolu kyslíkové hladiny na palubě.

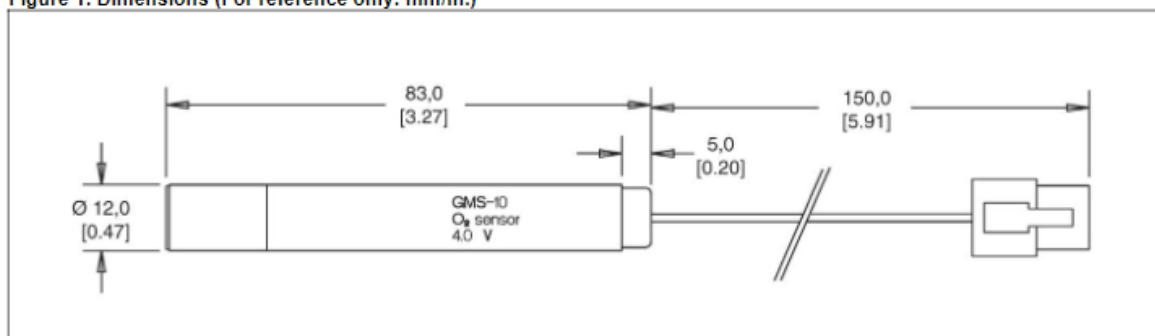
Vybrané parametry v tabulce 7:

Tlakový rozsah	2 mbar až 3 bar
Pracovní teplota	700 °C
Napájecí požadavky	4 V (1.7 A)
Rozsah rychlosti proudícího vzduchu	0 až 10 m/s

Tabulka 7 - Vybrané parametry GMS-10RVS

Rozměry dle obrázku 10:

Figure 1. Dimensions (For reference only: mm/in.)



Obrázek 10 - Rozměry zařízení GMS-10RVS Series

[17]

4.2.2 Kyslíkový senzor výrobce Ahlborn, typ FYA600O2

Snímač na elektrochemickém principu malých rozměrů, průměr 3 cm a délka 43 mm. Vyznačuje se dlouhou životností 2 roky. Délka odezvy je 40 s. Používá se v automobilovém průmyslu.

Vybrané parametry v tabulce 6:

Měřicí rozsah	1- 100 %, výstupní signál je lineární
Přesnost měření koncentrace	1 %
Teplotní rozsah	-20 až +50 °C, deklarovaná přesnost v -10 až +40 °C
Tlakový rozsah	+/- 10 % oproti atmosférickému tlaku

Tabulka 8 - Vybrané parametry FYA600O2

Oxygen Probe Type FYA600O2*Obrázek 11 - Obrázek produktu FYA600O2*

[18]

4.3 Regulační zařízení

Zařízení by mělo být schopné bezdrátově komunikovat s průtokoměrem a ventilem a být kompatibilní se všemi členy setu.

4.3.1 Logický modul LOGO! 8.2 od výrobce Siemens

Jedná se o logický řídicí modul malých rozměrů s integrovaným displejem. Výhodou zařízení je vestavěný webový server. Nevýhodou je pouze drátové propojení s akčními členy. Vybrané parametry v tabulce 9:

Napájecí napětí	24 V DC
Výstup	4x, typ tranzistor
Vstup	8x z toho 4x analogový
Typ komunikačního portu	Ethernet
Rozměr	90x71,5x60 mm
Bezdrátová komunikace	Ne

Tabulka 9 – Vybrané parametry LOGO! 8.2

[19]

4.3.2 PLC Tecomat Foxtrot

Regulační systém pro malé a střední aplikace s možností napojení členů setu na sběrnici až do vzdálenosti 1700m. zařízení obsahuje integrovaný displej. Výhodou jsou doplňující moduly řady Rfox, umožňující připojit akční členy bezdrátově. Foxtrot je moderní PLC s širokou produktovou řadou umožňující připojit konverze a další moduly. [20]

4.3.3 Rozšíření pro PLC Tecomat - Rfox

Jedná se o produktovou řadu pro PLC Foxtrot, umožňující bezdrátovou komunikaci se zapojenými akčními členy.

Rozšíření PLC Foxtrot má 2 části. Modul RF-1131 do sběrnice samotného PLC, což je anténa pro komunikaci s až 64 členy. A modul R-HM-1113M který bezdrátově přijímá a posílá informace z PLC. Tento modul je připojen přímo na akční člen, ze kterého může sbírat informace nebo člen řídit přes PLC.

R-HM-1113M

Modul připojující se k akčním členům pro bezdrátovou komunikaci s PLC.

Vybrané parametry v tabulce 10:

Napájení	+24 - 27,2 V DC
Rozměry	90x105x65 mm
Využitelné výstupy	2x Analog 0-10 V
Vstup	3x Analog, 8x binární

Tabulka 10 – vybrané parametry R-HM-1113M

RF-1131

Modul, který se zapojuje na sběrnici PLC pro bezdrátovou komunikaci s až 64 R-HM-1113M. [21][22]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 NÁVRH MĚŘÍCÍHO A REGULAČNÍHO SETU

Je zřejmé, že jakýkoliv návrh by měl vycházet ze současného stavu výrobního úseku zadané *FIRMY*. Podrobně popsáno v kapitole 3., stručně popíšeme stav i zde.

Potravinová sila jsou vertikální železné zařízení, plněné z vrchní části a vyprazdňované ze spodní části. Sila s neošetřenými potravinami jsou naplněna okolní atmosférou, složenou z cca 21% kyslíkem a 78% dusíkem. Sila se plní dusíkem, a tím se ošetřují proti škůdcům. Kyslík má vyšší hustotu než dusík a při plnění dusíkem (99,5%) je kyslík postupně vytlačován plynem s nižší hustotou. Přetlak je výfukem odváděn.

V úrovni vrchních otvorů sil jsou nainstalovány rozvody plnicího média. Ve spodní části je umístěn výsyp ze sil na dopravníkový pás a výfuk pro odvod plynů při plnění.

5.1 Výběr typu a umístění čidel

V této kapitole určíme obecně, jaká čidla budou vybrány a na jakých místech budou umístěny. Konkrétní typy budou vybrány na základě současného stavu a přesných technických parametrů v části 5.3.

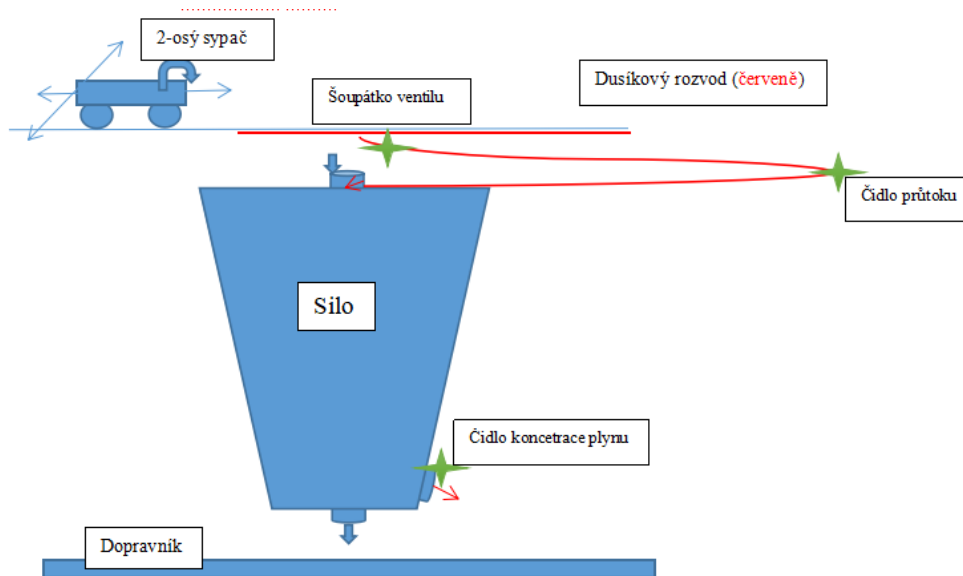
Zařízení na sběr informací na vrchní část sila budou:

- Snímač průtoku, který bude poskytovat zpětnou vazbu ventilu
- Snímač ventilu průtoku

Zařízení na sběr informací pro spodní část sil:

- Čidlo koncentrace plynů, pro informace o stavu naplnění sil dusíkem.

Popis umístění a odůvodnění v podkapitolách, schéma návrhu obrázkem 12 zde:



Obrázek 12 - Schéma umístění čidel

5.1.1 Umístění snímače průtoku

Umístění tohoto čidla bude ve vrchní části sil mezi ventilem a silem na stejné rozvodné instalaci jako ventil. Umístění čidla i samotného zařízení, je nutné zřídit tak, aby zařízení neomezovalo plnicí 2-osé zařízení.

5.1.2 Umístění snímače ventilu

Umístění tohoto čidla bude ve vrchní části sil před průtokoměrem. Umístění čidla i samotného zařízení, je nutné zřídit tak, aby zařízení neomezovalo plnicí 2-osé zařízení.

5.1.3 Umístění čidla koncentrace plynu

Umístění tohoto čidla bude ve spodní části sila na výfuku. Čidlo koncentrace plynu bude posledním členem z pohledu toku plynů.

5.2 Regulační obvody plnicího procesu

Regulační set bude mít dvě žádané konstantní veličiny. První bude ideální průtok a druhá ideální koncentrace kyslíku. Regulační obvod bude výhodnější rozdělit, protože vhodná vzorkovací perioda je u obou veličin odlišná.

5.2.1 Regulační obvod průtoku

Obvod bude regulovat průtok plnicího média. Ideální průtok bude žádaná veličina.

Parametry regulace:

Řídící veličina - *Ideální průtok*

Regulovaná veličina - *Aktuální průtok*

Regulační odchylka - *Adjustace*

Akční veličina - *Stav ventilu*

Stav ventilu

Jedná se o akční veličinu. Znázorňuje míru otevřenosti proporcionálního ventilu. Rozsah veličiny bude 0-100, kde jednotka odpovídá 1 procentuálnímu bodu rozsahu ventilu.

Při zahájení plnění v 1 kroku nechť je *stav ventilu* roven pomocné veličině *Vstupní_hodnota_pro_ventil*.

Pro prvotní testy určíme konstantu pro *Vstupní_hodnota_pro_ventil = 10*

Aktuální průtok

Regulovaná veličina soustavy, která je rovna naměřenému průtoku plnicího média. Cílem regulace je dosáhnout nulového rozdílu mezi aktuálním a ideálním průtokem.

Ideální průtok

Řídící konstantní veličina soustavy, která je rovna požadovanému průtoku plnicího média. Dle dohody s vedením *FIRMY* bude nastavena na 30 (*l/min*). Na základě analýzy dat z plnění se očekává úprava ideálního průtoku, pro zvýšení efektivity plnění. Úprava plnicího procesu je možná právě touto veličinou.

Adjustace

Regulační odchylka:

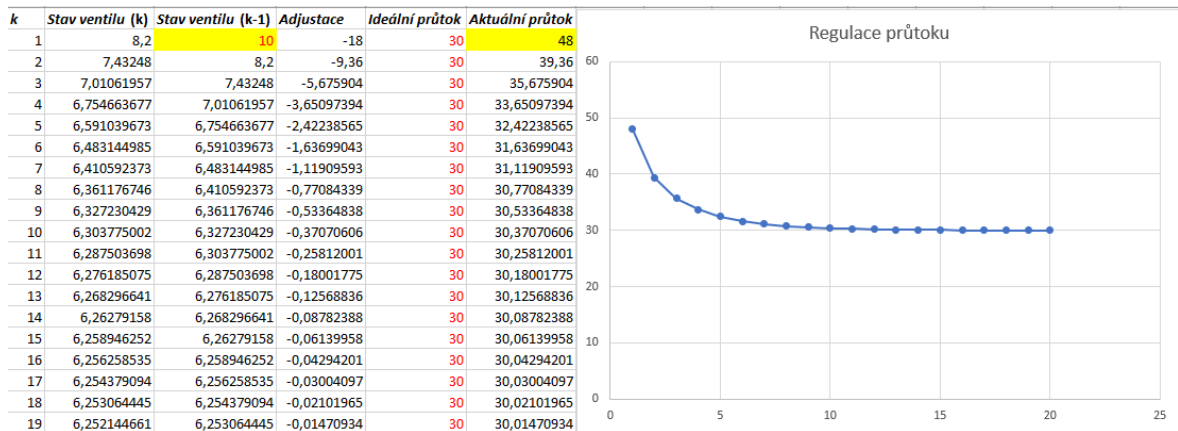
Adjustace = Ideální průtok – Aktuální průtok

5.2.2 Regulační algoritmus průtoku

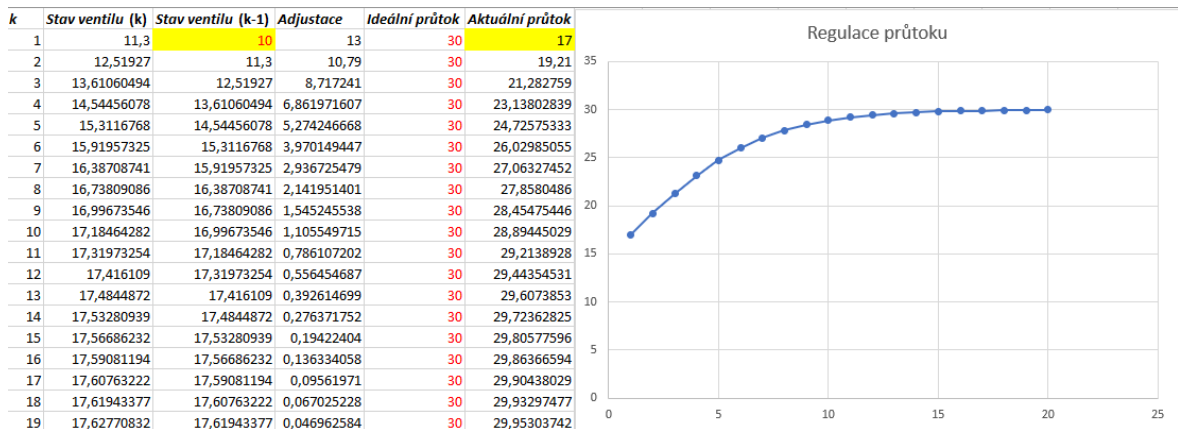
Výpočet akční veličiny v PLC bude proveden tímto vztahem, s periodou $T = 10$ s pro krok k :

$$\text{Stav ventilu}(k) = \left(\text{Stav ventilu}(k-1) + \left(\frac{\text{Stav ventilu}(k-1)}{100} \right) * \text{adjustace} \right) \quad (9)$$

Zde v obrázku 13 a 14 je vizualizace regulovaného průtoku. V 1. kroku *stav ventilu* (k-1) je roven *Vstupní_hodnota_pro_ventil* (10 l/min) a aktuální průtok je zvolen náhodně.



Obrázek 13 – charakteristika algoritmu průtoku se zápornou regulační odchylkou



Obrázek 14 – charakteristika algoritmu průtoku s kladnou regulační odchylkou

5.2.3 Regulační obvod koncentrace kyslíku

Obvod bude regulovat celé plnění, kde koncentrace kyslíku bude žádaná veličina a při jejím dosažení dojde k uzavření ventilu a ukončení plněního procesu.

Řídící veličina - *Požadovaná koncentrace*

Regulovaná veličina - *Aktuální koncentrace*

Regulační odchylka = *Požadovaná koncentrace - Aktuální koncentrace*

Akcí veličina - *Plnění ukončeno*

Požadovaná koncentrace

Řídící konstantní veličina soustavy, která je rovna požadované koncentraci kyslíku na výfuku sila. Dle dohody s vedením *FIRMY* bude nastavena na 3 (%). Úprava plnicího procesu je možná právě touto veličinou.

Aktuální koncentrace

Regulovaná veličina soustavy. Proměnná, která je rovna naměřené koncentraci kyslíku na výfuku sila.

Plnění ukončeno

Akční veličina soustavy. Proměnná, která je při nulové nebo kladné regulační odchylce E inkrementována. Při dosažení určené hodnoty bude uzavřen ventil pro plnicí médium a proces plnění bude ukončen. Počáteční hodnota je nastavena na 0.

5.2.4 Regulační algoritmus koncentrace kyslíku

Řídící princip bude relativně jednoduchý. Budou naprogramovány 2 podmínky na PLC volané s periodou $T = 600$ s kroku k (každých 10 minut):

- 1) Pokud regulační odchylka $E \geq 0$ potom $Plnění\ ukončeno = Plnění\ ukončeno + 1$.
- 2) Pokud $Plnění\ ukončeno = 4$ potom zavřít ventil ve vrchní části sila a ukončit proces plnění.

5.3 Výběr HW pro regulační set

5.3.1 Výběr průtokoměru a ventilu

Pro vrchní část sil, kde bude průtokoměr a ventil, se jeví jako nejvhodnější **proporcionální ventil s integrovaným průtokoměrem od výrobce Brooks Instrument**. Toto zařízení je malých rozměrů a lze napájet 24V DC, tedy baterií. V příloze technické parametry od výrobce.

Cena zařízení se pohybuje mezi 3.600,- až 7.200,- Kč bez DPH dle nabídky na Ebay.com. U dodavatele je zařízení uvedeno bez ceny, kontakt na dodavatele:

<https://www.oemautomatic.cz/kontakty/zakaznický-servis>

5.3.2 Výběr čidla koncentrace kyslíku

Pro spodní část sil se zdá nejvhodnější **čidlo koncentrace kyslíku od výrobce Honeywell GMS-10RVS Series**. V příloze technické parametry od výrobce.

Cena zařízení je dle dodavatele <http://www.atecom.cz/>: 7.500,- Kč bez DPH

5.3.3 Výběr řídicího členu

Nejvhodnější volbou se jeví **PLC od výrobce Tecomat, Foxtrot**. Je to jediné zařízení nalezené průzkumem trhu, schopné řídit proces bezdrátově. Součástí řešení budou i **moduly pro bezdrátovou komunikaci RF-1131 + R-HM-1113M**. Technické parametry od výrobce v příloze.

Cena setu dle dodavatele <https://www.tecomat.cz/>:

- PLC Foxtrot: 9.000 – 13.000 Kč bez DPH
- R-HM-1113M: 2.500,- Kč bez DPH
- RF-1131: 7.590,- Kč bez DPH

PLC a RF-1131 vystačí pro až 64 sil, ale R-HM-1113M je třeba koupit ke každému průtokoměru s ventilem Tzn. Investice pro řídicí člen pro druhý a další set je pouze 2.500,- Kč bez DPH.

5.3.4 Výběr elektrického zdroje pro členy regulačního setu

Nezbytnou součástí řešení bude nákup napájecích zdrojů pro proporcionální ventil s průtokoměrem a PLC včetně modulů. Všechna zařízení mohou být napájeny, dle požadavků *FIRMY*, 24 V. Napájení baterií je tedy možné.

Konkrétní požadavky zařízení jsou v přílohách - technické listy jednotlivých zařízení.

ZÁVĚR

Při návrhu v praktické části bylo nezbytné vycházet ze současného stavu výrobního úseku *FIRMY*. Požadavek na bezdrátové řešení se ukázal být výzvou. Na trhu je velké množství zařízení, ale jen velmi málo jich umožňuje bezdrátové řešení. Nalezení konkrétních zařízení, umožňující bezdrátovou komunikaci a napájení zdrojem s 24 V (baterií) je pozitivní. Ve vrchní části sil se pohybuje plnicí zařízení a zavedení kabeláže pro akční členy setu by bylo problematické.

Navržený regulační algoritmus rychle a spolehlivě snižuje regulační odchylku. Již kolem 10. kroku došlo k zarovnání regulované veličiny k řídicí veličině. Což je značné zlepšení oproti současnému stavu, kdy manuálním ovládáním ventilu zaměstnanci zdlouhavě nastavují správný průtok. Prokázalo se také, že regulační algoritmus reaguje správně na kladnou i zápornou regulační odchylku a je tak možné reagovat i na poruchovou veličinu. Poruchová veličina v praxi může vzniknout například snížením tlaku v rozvodech plnicího média, při zahájení plnění dalších sil. Vliv poruchové veličiny na průtok dnes ve *FIRMĚ* nemají dostatečně procesně vyřešen, navržený algoritmus toto vyřešil. Díky dodržení ideálního průtoku a ukončení plnění po dosažení požadované koncentrace kyslíku, by navržené řešení mělo celý proces zefektivnit.

Cena HW navrhovaného setu je kolem 30.000,- Kč, přičemž investice do zařízení pro druhý a další set přijde na zhruba 13.000,- Kč, protože PLC a rozšiřující modul je třeba jen v první investici. PLC s modulem je využitelné pro až 64 plnicích setů. Na trhu jsou k nalezení i levnější zařízení, které ale neumožňují bezdrátové řešení. Instalace kabeláže by byla pravděpodobně značně nákladná – pokud by vzhledem k přítomnosti plnicího zařízení byla instalace kabeláže vůbec možná.

Je třeba zmínit, že prvotní ambice této práce byla vyšší, výsledkem práce měla být i realizace. Z časových důvodů a rozsahu práce se od této části po dohodě s vedoucím upustilo a při tvorbě zadání se cíle revidovali na návrh řešení.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [2] VÁŇA, Jaroslav. *Analyzátory plynů a kapalin*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Praha: SNTL, 1984. Automatizace a regulace.
- [2] ČECH, Jaroslav, Jiří PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ. *Strojírenská metrologie I*. Vyd. 5., V Akademickém nakl. CERM vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4010-4.
- [3] KADLEC, Karel, Miloš KMÍNEK a Pavel KADLEC. *Měření a řízení v potravinářských a biotechnologických výrobcích: technologie potravin*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Ostrava: Key Publishing, 2015. Monografie (Key Publishing). ISBN 978-80-7418-232-7.
- [4] HRUŠKA, František, Miloš KMÍNEK a Pavel KADLEC. *Technické prostředky automatizace IV: (snímače, převodníky, regulátory, průmyslová výpočetní technika, ovládací jednotky)*. 2. přeprac. a dopl. vyd. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2001. Monografie (Key Publishing). ISBN 80-731-8026-X.
- [5] NAVRÁTIL, Pavel. *Automatizace: vybrané statě*. Vyd. 1. Ve Zlíně: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2011, 289 s. ISBN 978-80-7318-935-8
- [6] *Plyny - Fyzika* [online]. [cit. 2019-08-03]. Dostupné z: <http://www.ucitel.net/fyzika/plyny>
- [7] *Periodická tabulka: Dusík* [online]. [cit. 2019-08-03]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/7.html>
- [8] *Periodická tabulka: Kyslík* [online]. [cit. 2019-08-03]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/8.html>
- [9] *Diskrétní regulační obvody* [online]. [cit. 2019-08-04]. Dostupné z: <http://books.fs.vsb.cz/SyntezaReg/text0202.htm>
- [10] *Číslíkové regulátory* [online]. [cit. 2019-08-04]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3096332/>
- [11] *Solenoidové ventily* [online]. [cit. 2019-08-11]. Dostupné z: https://www.oemautomatic.cz/produkty/tlak-a-prutok/ventily/solenoidov%C3%A9-ventily-_486339
- [12] *Ventily tlakem ovládané* [online]. [cit. 2019-08-11]. Dostupné z: <http://www.kasen.cz/ventily/tlakem-ovladane/>
- [13] *Ventily 2/2 NC Motoricky ovládané* [online]. [cit. 2019-08-11]. Dostupné z: https://www.oemautomatic.cz/produkty/tlak-a-prutok/ventily/motoricky-ovl%C3%A1dan%C3%A9-ventily-_486341/ventily-2-2-nc-motorick%C3%BD-ovl%C3%A1dan%C3%A9-_252543
- [14] *Proporcionální ventily* [online]. [cit. 2019-08-11]. Dostupné z: <https://www.hydraulics-brno.cz/hydraulicke-komponenty/proporcionalni-ventily/>
- [15] *Proporcionální ventily* [online]. [cit. 2019-08-11]. Dostupné z: <https://www.imi-precision.com/cz/cs/list/proporcionalni-ventily>
- [16] *SLA5800* [online]. [cit. 2019-08-11]. Dostupné z: https://www.oemautomatic.cz/produkty/tlak-a-prutok/snmae-a-spnae/sn%C3%ADma%C4%8De-a-sp%C3%ADna%C4%8De-pr%C5%AFtoku-_486335/sn%C3%ADma%C4%8De-pr%C5%AFtoku---hmotnostn%C3%AD-term%C3%A1ln%C3%AD-_633945/sn%C3%ADma%C4%8De-pr%C5%AFtoku-_633160

- [17] *Gms-10-rvs* [online]. [cit. 2019-08-11]. Dostupné z: <https://www.atrolat.cz/gms-10-rvs>
- [18] *FYA600O2* [online]. [cit. 2019-08-11]. Dostupné z: https://www.ahlborn.cz//out/pictures/wysiwigpro/FYA600CO_O2.pdf
- [19] *RS* [online]. [cit. 2019-08-11]. Dostupné z: <https://cz.rs-online.com/web/p/products/1653222/>
- [20] *Tecomat* [online]. [cit. 2019-08-11]. Dostupné z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00403_01_comm_serial32_cz
- [21] *Tecomat: R-HM-1113m* [online]. [cit. 2019-08-11]. Dostupné z: <https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=foxtrot-cz-r-hm-1113m>
- [22] *Tecomat: RF 1131* [online]. [cit. 2019-08-11]. Dostupné z: <https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=foxtrot-cz-rfl131>

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Diskrétní regulační obvod	18
Obrázek 2. Schéma regulátoru se zpětnou vazbou	19
Obrázek 3. Rovnice a přechodové charakteristiky PID regulátoru	20
Obrázek 4. Pohled na sila z vrchu	23
Obrázek 5. Pohled na silo ze spodu, dopravníkový pás u výsypu sila	23
Obrázek 6. Generátor dusíku	24
Obrázek 7. Trubkové rozvody dusíku	24
Obrázek 8. Vrchní část sil, vývod dusíku k silu	25
Obrázek 9. Spodní část sila, výfuk na přebytečný plyn ze sila.....	25
Obrázek 10. Rozměry zařízení GMS-10RVS Series.....	30
Obrázek 11. Obrázek čidla FYA600O2.....	31
Obrázek 12. Schéma umístění čidel.....	35
Obrázek 13. charakteristika algoritmu průtoku se zápornou regulační odchylkou	37
Obrázek 14. charakteristika algoritmu průtoku s kladnou regulační odchylkou.....	37

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Vybrané vlastnosti dusíku.....	11
Tabulka 2. Vybrané vlastnosti kyslíku.....	11
Tabulka 3. Porovnání analýz prováděných ručně a automaticky.....	16
Tabulka 4. Vybrané parametry ventilu E290.....	28
Tabulka 5. Vybrané parametry ventilů VP50s a VP51.....	28
Tabulka 6. Vybrané parametry produktů série SLA5800.....	29
Tabulka 7. Vybrané parametry GMS-10RVS	30
Tabulka 8. Vybrané parametry FYA600O2.....	30
Tabulka 9. Vybrané parametry LOGO! 8.2.....	31
Tabulka 10. Vybrané parametry R-HM-1113M	32

SEZNAM PŘÍLOH

- PI Serie SLA8500, Datasheet výrobce
- PII Modul pro PLC Foxtrot CZ-RF1131, Datasheet výrobce
- PIII Modul pro PLC Foxtrot CZ-R-HM-1131M, Datasheet výrobce
- PIV PLC Tecomat Foxtrot, příručka

Veškeré přílohy jsou nahrány na CD, které je součástí práce. Vzhledem k rozsahu nejsou přímou součástí práce.