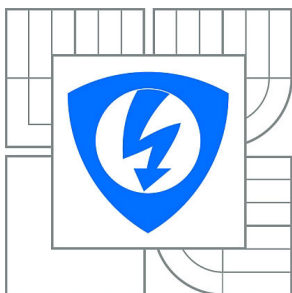


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

# SOFTWARE PRO ŘÍZENÍ FILTRAČNÍHO ZAŘÍZENÍ INTEQ II

CONTROL SOFTWARE FOR FILTRATION DEVICE INTEQ II

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

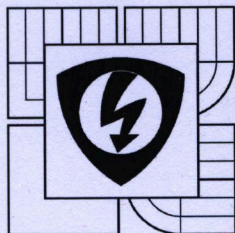
Ing. ONDŘEJ GRODIG

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. TOMÁŠ MACHO, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Automatizační a měřicí technika**

**Student:** Ing. Ondřej Grolig

**Ročník:** 3

**ID:** 85705

**Akademický rok:** 2013/14

**NÁZEV TÉMATU:**

## Software pro řízení filtračního zařízení Inteq II

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Seznamte se s experimentálním filtračním zařízením Inteq II, řídicím systémem ADiS a vývojovým softwarem DetStudio.
2. Seznamte se s problematikou řízení technologie katalytického snižování oxidů dusíku na katalytických filtračních rukávcích.
3. Navrhněte řídicí software pro řízení filtračního zařízení Inteq II dle technologického zadání. Uvažujte i budoucí rozšíření pro komunikaci se systémem SCADA.
4. Řídicí software implementujte do řídicího systému ADiS a odlaďte jej.
5. Ověřte funkčnost řídicího software na zařízení Inteq II a vyhodnoťte dosažené výsledky.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] VEJVODA, J., P. MACHAČ a P. BURYAN. Vysoká škola Chemicko-technologická, Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany prostředí. Technologie ochrany ovzduší a čištění odpadních plynů.  
[2] HANÁK, L. ZNEŠKODŇOVÁNÍ SPALIN ZNEČIŠTĚNÝCH NOX. Brno, 2009. diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Radek Dvořák, Ph.D.

**Termín zadání:** 10.2.2014

**Termín odevzdání:** 26.5.2014

**Vedoucí práce:** Ing. Tomáš Macho, Ph.D.

**Konzultanti bakalářské práce:**

**doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.**

*předseda oborové rady*



### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000.Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Cílem předkládané bakalářské práce je vytvořit, implementovat a odladit uživatelskou aplikaci pro řídicí systém experimentálního zařízení INTEQ II. Zařízení INTEQ II je určeno pro provádění laboratorních a poloprovozních zkoušek katalytických filtračních materiálů.

Vzhledem k interdisciplinárnímu charakteru zadání práce se v úvodních kapitolách autor zabývá popisem oživovaného experimentálního zařízení a popisuje principy snižování koncentrací oxidů dusíku ( $\text{NO}_x$ ). Následně je čtenáři popsán použitý řídicí systém a algoritmy, které posloužily jako zadání pro tvorbu uživatelské aplikace.

V praktické části (kap. 6) autor prochází a komentuje vytvořený zdrojový kód uživatelské aplikace, která byla odladěna v laboratořích ústavu procesního inženýrství fakulty strojního inženýrství na VUT v Brně.

V závěrečné kapitole (kap. 7) se autor prezentuje výsledky své činnosti a zabývá se omezeními a změnami provedenými oproti původnímu zadání.

## **Abstrakt**

Aim of presented bachelor thesis, it was a preparation, implementation and debugging of user application designed for control system of experimental unit INTEQ II. Experimental unit INTEQ II is a technology serving for carrying out laboratory and semi-operational scale testing of catalytic filtration materials.

Regarding the interdisciplinary character of thesis, the author threads technological description of experimental unit INTEQ II and also explains the principles of nitrogen oxides ( $\text{NO}_x$ ) reduction. Consequently he describes chosen control system and algorithms which served as a specification for user application.

In the practical part of thesis, he passes through the source code of the user application and reveals the way he programmed and debugged tasks defined in algorithms. The user application has been implemented, debugged and tested in laboratories of institute of process and environmental engineering at faculty of mechanical engineering at Brno, University of technology.

In the chapters on the end the thesis, author presents the results of his effort and comments the changes in the user application that had been done due to restriction of technology itself.

## **Klíčová slova**

ADiS

DetStudio

Emise

Filtrační zařízení

INTEQ II

NO<sub>x</sub>

Selektivní katalytická filtrace

## **Key words**

ADiS

DetStudio

Emissions

Filtration device

INTEQ II

NO<sub>x</sub>

Selective catalytic filtration

GROLIG, O. *Software pro řízení filtračního zařízení Inteq II*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 59 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Macho, Ph.D..

### **Prohlášení o původnosti**

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Software pro řízení filtračního zařízení INTEQ II jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně, dne 24. 5. 2014

.....  
Ing. Ondřej GROLIG

# Obsah

1 ÚVOD.....	6
2 EXPERIMENTÁLNÍ ZAŘÍZENÍ INTEQ.....	8
2.1 Popis zařízení INTEQ II.....	9
2.1.1 Specifikace výstroje jednotky.....	12
3 SNIŽOVÁNÍ KONCENTRACE POLUTANTŮ V PROUDU SPALIN.....	15
3.1 Snižování koncentrace TZL.....	15
3.2 Snižování koncentrace NOx.....	16
3.3 Alternativní možnosti čištění spalin.....	16
3.3.1 Snižování obsahu kyselých složek spalin.....	16
3.3.2 Snižování koncentrace dioxinů a furanů.....	17
4 ŘÍDÍCÍ SYSTÉM.....	18
4.1 Centrální procesorová jednotka AD-CPU167.....	18
4.2 Modul konfigurovatelných analogových vstupů AD-AI8.....	19
4.3 Modul proudových analogových výstupů AD-AO8I.....	20
4.4 Modul rychlých číslicových vstupů AD-FDI8.....	20
4.5 Modul číslicových výstupů AD-PDO8.....	20
4.6 Modul s komunikačním rozhraním Ethernet AD-ETH100.....	20
4.7 Zapojení vstupů a výstupů ŘS.....	21
5 SLOVNÍ POPIS ALGORITMŮ.....	22
5.1 Hlavní regulační vazby.....	22
5.1.1 Regule R1 – regule průtoku spalin filtrem.....	22
5.1.2 Regule R2 – regule teploty před ventilátory V01 a V02.....	23
5.2 Provozní režimy.....	23
5.2.1 Technologie vypnuta.....	23
5.2.2 Nájezd technologie.....	23
5.2.3 Chod technologie.....	24
5.2.4 Odstavování technologie.....	26
5.2.5 Nouzový režim technologie.....	26
5.2.6 Popis bezpečnostních algoritmů.....	27
6 NÁVRH ŘÍDÍCÍHO SOFTWARE (UŽIVATELSKÉ APLIKACE).....	28
6.1 Procesy.....	28
6.1.1 Proces „Hlavni_proces“.....	28
6.1.2 Proces „ProcIDLE“.....	30
6.2 Podprogramy.....	30
6.2.1 Podprogram „Alarmy“.....	30
6.2.2 Podprogram „AnVstup“.....	31
6.2.3 Podprogram „AnVystup“.....	31
6.2.4 Podprogram „DigVstup“.....	32
6.2.5 Podprogram „DigVystup“.....	32
6.2.6 Podprogram „Chod“.....	32
6.2.7 Podprogram „Nájezd“.....	33
6.2.8 Podprogram „Nouz_rezim“.....	37
6.2.9 Podprogram „Odstaveni“.....	38

6.2.10 Podprogram „R1“ .....	41
6.2.11 Podprogram „R2“ .....	42
6.2.12 Podprogram „Regenerace“ .....	42
6.2.13 Podprogram „Rezim“ .....	43
6.2.14 Podprogram „Signal_Alarm“ .....	44
6.2.15 Podprogram „Vypnuto“ .....	44
6.3 Funkční bloky.....	45
6.3.1 Funkční blok „fb_AI_check“ .....	45
6.3.2 Funkční blok „fb_Aut_M_Chc“ .....	46
6.3.3 Funkční blok „fb_noErr_Chc“ .....	47
6.3.4 Funkční blok „fb_Solenoid“ .....	47
6.3.5 Funkční blok „fb_Ventil2“ .....	49
7 LADĚNÍ TECHNOLOGIE.....	51
8 ZÁVĚR.....	55
9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ LITERATURY .....	57

# 1 ÚVOD

Dnešní doba nabízí obyvatelům členských zemí Evropské unie (EU) komfortní bydlení, nepřeborné množství elektrických spotřebičů, dopravní prostředky poháněné moderními spalovacími motory a mnoho dalších věcí, bez kterých bychom si náš každodenní život dovedli již jen těžko představit.

Společným rysem moderních technologií je jejich významná energetická závislost. Aniž si to uvědomujeme, tak většina ze spotřebované energie pochází z především neobnovitelných zdrojů energie, kde uhlí zaujímá dominantní podíl. V posledních letech lze sledovat snahy EU o zvyšování kvality životního prostředí v členských zemích. S těmito snahami souvisí zvýšený tlak na snižování emisních limitů. Jednotlivé členské země EU se individuálně zavázaly ke snižování emisí svých zdrojů znečištění.

Možnosti jak omezit množství emitovaných polutantů jsou v zásadě dvě. První cestou je změna vstupních surovin, které polutanty vnášejí do procesu výroby energie. U spalovacích zařízení lze tento trend sledovat zejména v současné době, kdy se velká část provozovatelů malých uhelných výtopen orientuje na spalování zemního plynu či biomasy namísto uhlí. Druhý způsob jak snížit množství emitovaných škodlivin, je investice do zařízení, které vypouštěné škodliviny odlučuje nebo rozkládá na látky nepoškozující životní prostředí.

Výrobci i provozovatelé spalovacích zařízení proto hledají technicko i ekonomicky přijatelná řešení omezení emisí dodávaných technologií tak, aby dostali stále přísnějším emisním limitům. Zařízení INTEQ II vyvinuté na strojní fakultě VUT v Brně, je koncipováno tak, aby umožnilo zájemcům z oblasti průmyslu vyzkoušet si v laboratorním či poloprovozním měřítku použití nejnovějších katalytických filtračních materiálů.

Tímto typem filtračního materiálu lze v závislosti na typu použitého paliva efektivně snižovat koncentrace - oxidu siřičitého ( $\text{SO}_2$ ), oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ), tuhé znečišťující látky (TZL) a při filtraci spalin pocházejících ze spalování hořícího paliva bohatého na chlor i zvláště nebezpečných dioxinů a furanů (PCDD/PCDF).

Z globálního pohledu se jeví prostředky vynakládané na snižování emisí stacionárních i mobilních zdrojů jako účinné a stav ovzduší v ČR se neustále zlepšuje. Toto tvrzení dokládá i závěr aktuální zprávy o životním prostředí České republiky, která konstatuje: „Celkové agregované emise skleníkových plynů v ČR klesají, v roce 2011 dosáhly nejnižší úrovně od roku 1990. Dlouhodobě klesají emise znečišťujících látek do ovzduší.“ [1]

V oblasti emisí skleníkových plynů ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ) je situace odlišná. „Emise skleníkových plynů z výroby elektřiny a tepla neklesají a udržují se na úrovni let 1990 a 2000. Emisní náročnost ČR je o více než 70 % vyšší než v EU27.“ [1]. Tato situace je zaviněna zejména nadprodukcí elektrické energie s následným prodejem přebytečné energie do zahraničí. V roce 2012 ČR vyvezla do zahraničí 13,2 % z celkového množství vyrobené elektrické energie. Polutanty emitované do ovzduší při výrobě exportované energie zejména v uhelných elektrárnách ale bohužel zůstávají na území ČR.



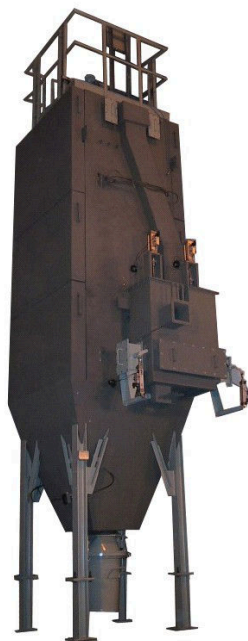
Potenciál k nasazení zařízení INTEQ II pro zavádění moderních katalytických materiálů, tak nadále zůstává vysoký.

## 2 EXPERIMENTÁLNÍ ZAŘÍZENÍ INTEQ

Technologické zařízení pojmenované INTEQ II je mobilní experimentální jednotkou určenou k provádění zkoušek katalytických filtračních materiálů. Zařízení bylo navrženo a zkonstruováno na ústavu procesního a ekologického inženýrství na fakultě strojního inženýrství, Vysokého učení technického v Brně.

Jak je z názvu patrné, jednotka INTEQ II je nástupcem jednotky INTEQ I, ze které vychází zejména po stránce provozních poznatků získaných při nasazení jednotky v reálném spalovenském provozu.

Jednotka INTEQ I byla vyprojektována s cílem testovat účinnost filtračních rukávců REMEDIA<sup>®</sup> dodávaných americkou společností GORE. Hlavní předností jednotky INTEQ I byl revoluční přístup spočívající v integraci několika jednotkových operací (odprášení, odstranění kyselých složek, rozklad NO<sub>x</sub>, rozklad dioxinů a furanů) do jednoho technologického zařízení. Konstrukčně byl INTEQ I přizpůsoben k testování za provozu ve spalovnách komunálních a nebezpečných odpadů. Návrhový průtok spalin 1 000 m<sup>3</sup>/h, byl čištěn na 15-ti látkových filtračních rukávcích s katalytickou vrstvou z materiálu REMEDIA<sup>®</sup> s celkovou filtrační plochou 17,9 m<sup>2</sup> při filtrační teplotě až 250°C.



Obr. 1: Filtrační zařízení INTEQ I [2]

Při provádění funkčních testů zaměřených na snižování obsahu NO<sub>x</sub> ve spalovně SAKO Brno, a.s. byla však technologie silně poničena velmi agresivními spalinami. Funkční technologické části jednotky, které byly v přímém styku se spalinami byly silně zkorodovány. Po této nehodě nebyla schopna dalšího provozu a proto bylo rozhodnuto o její likvidaci a návrhu nové jednotky INTEQ II.

## 2.1 Popis zařízení INTEQ II

Koncepce zařízení, které mělo nahradit poničenou jednotku INTEQ I, si kladla za cíl poučit se z chyb předchozí generace zařízení, zvýšit možnosti využití nové jednotky a její mobilitu. Požadavku na zvýšení mobility a variability jednotky bylo vyhověno za cenu vzdálení se provozním parametrům jednotek nasazovaných pro běžné průmyslové aplikace.

Při návrhu jednotky byl kladen důraz na následující požadavky:

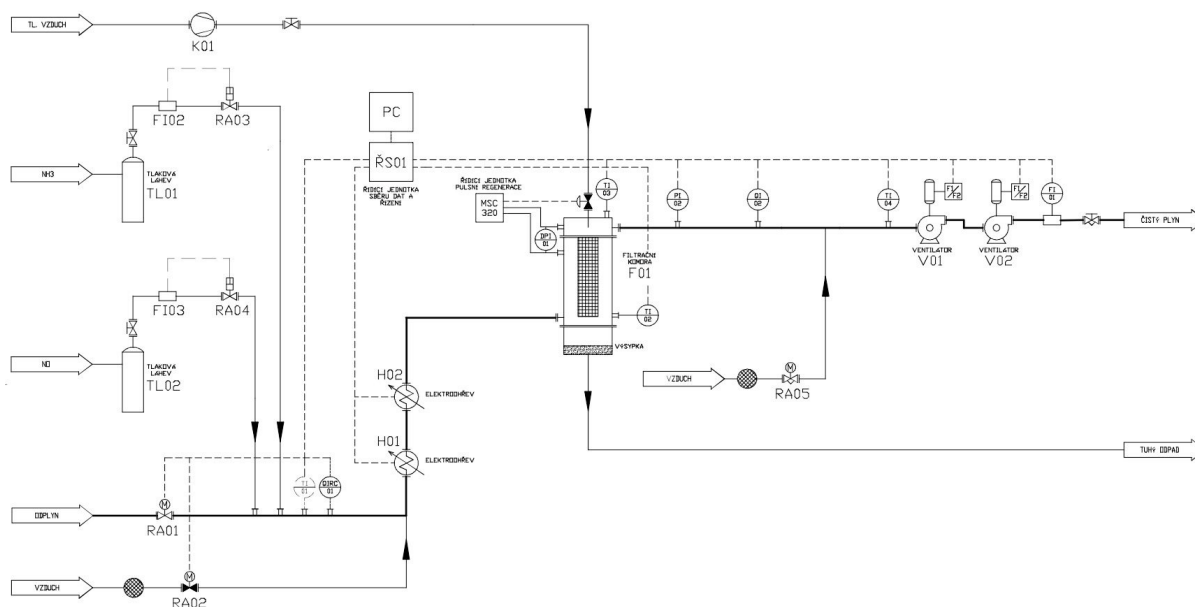
- **Kompaktnost jednotky.** Nová jednotka je vestavěna v ocelovém rámu o kompaktních rozměrech. Rám umožňuje snadnou manipulaci a transport jednotky.
- **Možnost testování látkových a nově i keramických filtračních materiálů.** Koncepce jednotky disponuje systémem společného potrubního vedení a MaR armatur pro dvě různé filtrační komory. Jedna z komor je navržena pro testování textilních filtračních materiálů, druhá pro testování keramických filtračních materiálů.
- **Provozní teplota vyšší než 220°C.** Z důvodu možnosti testovat keramické filtrační materiály a výhodnosti použití těchto materiálů i při teplotách přesahujících 300°C [3].
- **Funkční části zařízení vyrobeny z odolných materiálů.** Opatření, které má zamezit zničení jednotky stejně, jako tomu bylo u jednotky INTEQ I. Vlivem častých odstávek jednotky dochází u funkčních částí technologie, které jsou ve styku se spalinami ke kondenzaci par a vzniku silně korozivních kyselin a jejich solí.
- **Dávkovací zařízení pro injektáž amoniaku ve zvoleném molárním poměru – prevence před tvorbou NH<sub>3</sub> skluzu a tím pádem nebezpečných sloučenin.** S ohledem na požadavku probíhajících výzkumných činností se vyskytla potřeba autonomního dávkování reagentů. U jednotky INTEQ I bylo možno řídit dávkované množství reagentů pouze manuálně.

Dle uvedených požadavků bylo navrženo zařízení INTEQ II vyobrazené na Obr. 2



Obr. 2: Filtrační jednotka INTEQ II

Pro lepší orientaci v technologii na obr. 3 znázorněno technologické schéma jednotky, ze kterého je patrné řazení jednotlivých částí strojního vybavení, spojovacího potrubí a stejně také umístění prvků měření a regulace.



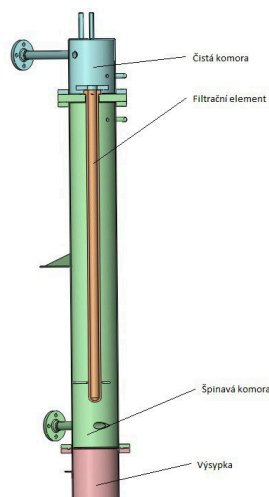
Obr. 3: Technologické schéma jednotky INTEQ II

Hlavním proudem v technologii je procesní proud SPALINY – ČISTÝ PLYN. Teplota spalin je na vstupu do technologie měřena odporovým termočlánkem TI01. V případě nízké teploty znečištěných spalin, je možné teplotu spalin zvýšit pomocí elektroohřevu H01 a H02. Před elektroohřevy spalin je umístěn přívod polutantů ( $\text{NO}_x$ ) a redukčního činidla ( $\text{NH}_3$ ). Spaliny temperované topným systémem na teplotu vhodnou pro filtraci a redukci škodlivých látek vstupují ho filtru F01. Na trase za injektáží polutantů a redukčního činidla se injektované látky promísí se spalinami a dochází zde již k částečné redukci škodlivých látek. Mechanismus redukce škodlivých látek je popsán v kap. 3.

Filtr F01 je hlavní technologickou součástí celé experimentální jednotky. Jako filtr F01 je možno použít jednu ze dvou filtračních komor – jednu určenou pro testování textilních filtračních materiálů a druhou, určenou pro provádění experimentů na keramických filtračních materiálech. Filtrační komora pro textilní filtrační element je primárně navržena pro použití filtračního rukávce o průměru 152 mm a délce 1000 mm. Filtrační komora pro keramický filtrační rukávec je navržena pro keramický filtrační element Cerafil Topkat od výrobce Clear Edge. Vhodný rozměr keramického elementu je průměru 58 mm a délka 1450 mm. V každé z komor lze testovat i ploché vzorky filtračního materiálu, které je možné napnout na trubkovnici (přepážka oddělující špinavou a čistou stranu filtrační komory) a uchytit mezi příruby jednotlivých částí filtrační komory.

Po vstupu znečištěného plynu do filtru vstoupí spaliny do „špinavé“ části filtrační komory, průchodem filtračním materiálem se spaliny zbaví velké části znečišťujících látek a „čistou“ částí filtrační komory spaliny filtr F01 opouští. Znečišťující látky, resp. látky, které jsou odloučeny z proudu spalin a eventuálně dále zreagují na povrchu filtračního materiálu zůstanou částečně zachyceny na jeho povrchu a částečně vlivem gravitace spadnou do zásobníku výsypky filtru.

Vrstva materiálu, který ulpívá na povrchu filtračního materiálu postupně s časem roste. S rostoucí vrstvou zachyceného materiálu (filtračního koláče) na povrchu filtračního materiálu roste i tlaková ztráta filtračního elementu. Vysoká tlaková ztráta ve filtru se projevuje zvýšenými energetickými nároky na dopravu filtrovaného média. V praxi to znamená, že se vzrůstem tlakové ztráty, klesá průtok spalin technologií. Pro kompenzaci poklesu průtoku spalin je nezbytné zvýšit výkon ventilátorů a což má za následek vzrůst příkonu dopravních ventilátorů V01 a V02, které zabezpečují dopravu zvoleného množství plynu zkušebním zařízením.



Obr. 4: Řez filtrační komorou [2]

Pro zamezení tvorby silných nánosů odloučených látek na povrchu filtračního elementu, je filtr vybaven systémem „regenerace“ filtračního materiálu. Systém „regenerace“ pracuje na principu zpětného profuku filtračního materiálu čistým tlakovým vzduchem. Dodávku tlakového vzduchu do systému zabezpečuje kompresor K01, který saje vzduch z okolní atmosféry, stlačuje jej na parametry vhodné pro zpětný profuk filtračního elementu. Četnost a délka pulzů jednotlivých profuků je řízena regenerační automatikou MSC 320.1, která spouští regenerační profuk v časových intervalech nebo dle tlakové ztráty na filtračním elementu. Informaci o velikosti tlakové ztráty na filtračním elementu zprostředkovává regenerační automatice diferenční tlakové čidlo DPI01.

Vyčištěný plyn je z filtru odtahován ventilátory V01 a V02. Maximální teplota vyčištěného plynu přijatelná pro dopravování těmito ventilátory je 180°C [4]. Teplota filtrace se pohybuje nad 200°C, resp. pro filtrační materiál Remedia je maximální provozní teplota 260°C, pro keramické elementy až 450°C. Z důvodu takto vysokých provozních teplot filtrace je vyčištěný plyn před vstupem do ventilátorů doředován vzduchem z okolní atmosféry, tak aby nedošlo k poškození transportních ventilátorů vlivem vysoké teploty spalin. Množství přísávaného vzduchu je řízeno regulační armaturou RA05.

### 2.1.1 Specifikace výstroje jednotky

Experimentální jednotka INTEQ II je osazena následující výstrojí:

- **Transportní ventilátory V01 a V02.** Soustava transportních ventilátorů je tvořena dvěma identickými seriově řazenými středotlakými ventilátory HRD 1 TFU-105/0,55 od fy. Energoekonom s.r.o. Pracovní bod obou ventilátorů je 0,52 m<sup>3</sup>/s při tlakové ztrátě 4,9 kPa. Příkon každého z ventilátorů je 0,55 kW. Otáčky jednotlivých ventilátorů jsou řízeny frekvenčními měniči. Maximální pracovní teplota ventilátorů je 180 °C [4].

- **Jednoúčelová jednotka spínání solenoidových ventilů filtru MCS 320.1 (časový spínač).** Jednotka původně zajišťovala regeneraci filtračních elementů zařízení INTEQ I. Po rozhodnutí o jeho vyřazení z činnosti byla jednotka demontována a použita v nově budované jednotce INTEQ II. Výrobce jednotky je firma Microcomp s.r.o. Milevsko.

Jednotka časového spínání solenoidových ventilů je umístěna v kovové skřínce. V dané konfiguraci je jednotka dodávána se snímačem tlakové ztráty (DPI 01), který zobrazuje aktuální tlakovou ztrátu filtru na displayi. Dále jednotka disponuje vestavěnými solenoidovými ventily. Jednotka MCS 320.1 zajišťuje spuštění regenerace filtru při:

- uplynutí definovaného časového intervalu
- dosažení předdefinované tlakové ztráty filtrační komory (musí být připojena k diferenčnímu tlakoměru)
- přijetí inicializačního signálu ke spuštění cyklu regenerace z nadřazeného řídicího systému



*Obr. 5: Jednoúčelová jednotka MCS 320.1*

- **Řídicí systém experimentální jednotky.** Zařízení INTEQ je vybaveno řídicím systémem ADiS od českého výrobce, firmy AMiT. Podrobně se autor věnuje popisu Řídicího systému v kapitole 4.

- **Použité armatury:**

Armatury **RA01** a **RA02** jsou identické uzavírací ventily ARI-STEVI vybavené elektropohonem s třibodovým řízením s bezpečnostní funkcí. Doba přeběhu armatury RA01 je 22,5 sekundy, resp. 25,5 sekundy u armatury RA02.

Armatury **RA03** a **RA04** jsou solenoidové ventily zajišťující dávkování redukčního čidla. Dávkované množství redukčního činidla, resp. polutantu lze uživatelsky nastavovat formou dávkovacích intervalů.

Armatura **RA05** je regulační ventil ARI-STEVI 405 od výrobce ARI-ARMATUREN

vybavený elektropohonem s tříbodovým řízením. Doba přeběhu armatury je 56 sekund.

- **Průtokoměry**

- **FI01** – měření průtoku ochlazených spalin za ventilátory je realizováno hmotnostním průtokoměrem Rosemount 3051SMW. Ve výstupní části spalinovodu je instalována clona. Diferenční tlakoměr, který je součástí průtokoměru vyhodnocuje na základě rozdílu statického a dynamického tlaku ve spalinovodu průtok spalin potrubím. Informace o aktuální hodnotě měřeného průtoku je přádávána řídicímu systému po proudové smyčce 4 až 20 mA.

- **FI02 a FI03** jsou inteligentní hmotnostní průtokoměry od výrobce Brooks, typ 5860S. Průtokoměry jsou vybaveny funkcí PID regulátoru a umožňují regulovat průtok reakčního čidla, resp. polutantů na požadovanou hodnotu. Průtokoměry nebyly v době ladění technologie k dispozici.

- **Tlakoměry**

- **DPI01** – diferenční tlakoměr typ DMP 343 od výrobce BD sensors. Tlakoměr je určen pro měření velmi malých tlaků.

- **Měření teploty**

Ve všech případech je měření teploty realizováno odporovými termočládky Pt100. U termočládků TI 01 až TI04 (měřící rozsah -60 až 600°C) je použito externích převodníků s rozsahem 0 ... 500°C. Vlivem toho termočládky neměří příliš přesně v oblasti pokojových teplot. Odchyłka při teplotě 22 °C se pohybuje okolo 40°C. V oblasti teplot 200 až 300 °C však teploměry ukazují platné hodnoty.

- **Topná tělesa**

- **H01 a H02** – pro přítop spalin na teplotu filtrace je použito dvou kusů topných těles ohebných za studena – typ RCF 1100 R, výrobce Acim-Jouanin. Topná tělesa jsou těsně navinuta na přívodní potrubí spalin do technologie a pečlivě zaizolována. V zapnutém stavu pak předávají vyprodukované teplo spalinám přes stěnu přívodního potrubí. Tím je zamezeno jakémukoliv zanášení topných těles a tím i jejich přehřívání.

- **Analyzátoary spalin**

Vzhledem k pořizování ceně analyzátoary spalin nejsou tyto analyzátoary standardně namontovány na rámu jednotky INTEQ II. Ústav procesního a ekologického inženýrství však disponuje analyzátoary Easyline EL3000, výrobce ABB a Infralyt 50, výrobce SAXON Junkalor. Analyzátoary lze pro účely provádění experimentálních měření vypůjčit a zapojit na odběrová místa a na vstupy řídicího systému jednotky.

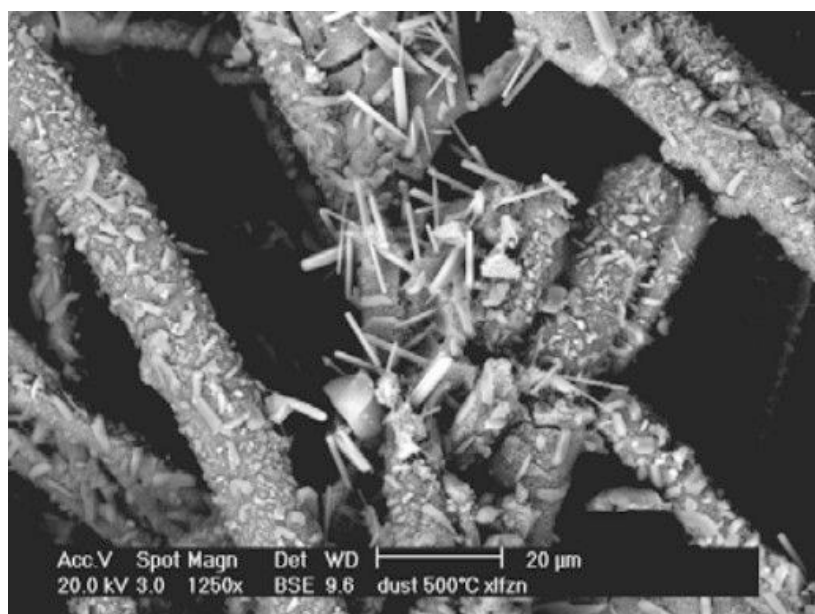


### 3 SNIŽOVÁNÍ KONCENTRACE POLUTANTŮ V PROUDU SPALIN

Jak bylo zmíněno v kapitole 2, cílem konstruktérů bylo vytvořit zařízení, které by v sobě integrovalo více jednotkových operací, tzn. zařízení bude představovat řešení „několik v jednom“. Ve výsledku se podařilo dosáhnout integrace následujících operací:

1. Snižování koncentrace tuhých znečišťujících látek (TZL)
2. Snižování koncentrace NO<sub>x</sub>
3. Snižování koncentrace kyselých složek spalin (HF, HCl, SO<sub>x</sub>)
4. Snižování koncentrace dioxinů a furanů

#### 3.1 Snižování koncentrace TZL



Obr. 6: Struktura keramického elementu Cerafil TopKat[3]

Snižování koncentrace tuhých znečišťujících látek rozptýlených ve spalinách je v zařízení INTEQ II realizováno průchodem spalin skrz porézní přepážku - zde buďto keramický filtrační element nebo tkaninový rukávec. Porézní přepážka propouští plynné spaliny a tuhou fázi zachytává, neboť otvory v přepážce jsou menší než velikost zachycených částic tuhé fáze. Na povrchu přepážky vzniká filtrační koláč, který je odstraňován zpětným profukem filtračního elementu. Hybnou silou filtrace je rozdíl tlaků před („špinavá“ strana filtrační komory) a za přepážkou („čistá“ strana filtrační komory).

## 3.2 Snižování koncentrace NO<sub>x</sub>

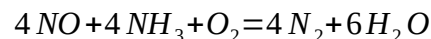
S ohledem na pracovní parametry spalin (teplota a tlak) je jediným ekonomicky přijatelným řešením snižování obsahu oxidů dusíku procesem tzv. selektivní katalytické redukce (z anglického názvu „selective catalytic reduction“ pochází i používané označení SCR).

Proces SCR je proces přeměny (rozkladu) oxidů dusíků na molekulární dvouatomový dusík a vodu, resp. vodní páry - vzhledem k provozním hodnotám teploty a tlaku v experimentální jednotce. Rozklad oxidů dusíku za teplot okolo 200 až 300°C je možný za přítomnosti redukčního činidla a katalyzátoru obsaženého ve struktuře filtračního materiálu.

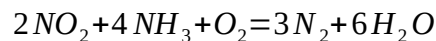
Nejčastěji užívaným druhem katalyzátoru jsou oxidy vzácných kovů – TiO<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, WO<sub>3</sub> nebo MoO<sub>3</sub>. Katalyzátor je použit z důvodu snížení pásma reakčních teplot rozkladu NO<sub>x</sub>. Pro úspěšné rozložení No<sub>x</sub> je nezbytné použít redukční čidlo. Jako redukční činidlo SCR se užívá amoniaku (NH<sub>3</sub>) nebo močoviny (CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>).

U jednotky INTEQ I se jako redukčního činidla využívalo vodného roztoku močoviny. Za provozu se však projevovaly problémy s rozprašování močoviny do objemu spalin, proto byl v případě jednotky INTEQ II zvolen systém dávkování plynného amoniaku do proudu spalin.

Ve skupině oxidů dusíku jsou v největší míře zastoupeny oxid dusný (NO), oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>). Rozklad NO a NO<sub>2</sub> působením amoniaku popisují rce. 1 a rce. 2.



*rce. 1: Rozklad oxidu dusnatého*



*rce. 2: Rozklad oxidu dusičitého*

Dle těchto rovnic dochází k redukcí obsahu NO<sub>x</sub> ve spalinách při průchodu zařízením INTEQ II až o 90 %. Obecně lze konstatovat, že účinnost redukce NO<sub>x</sub> vzrůstá s rostoucí teplotou.

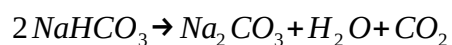
## 3.3 Alternativní možnosti čištění spalin

### 3.3.1 Snižování obsahu kyselých složek spalin

Možnosti snižování obsahu škodlivin lze experimentální jednotku v budoucnu snadno rozšířit o snižování obsahu kyselých složek ve spalinách. Stávající zařízení je možné doplnit systémem dávkování mletého sorbentu – hydrogenuhličitanu sodného (NaHCO<sub>3</sub>).

Tento sorbent je velmi vhodný pro aplikaci v teplotním okně od 160 do 300°C. Po injektáži tohoto sorbent do proudu spalin o vyhovující teplotě dochází k okamžitému

tepelnému rozkladu (aktivaci sorbentu) hydrogenuhličitanu sodného na uhličitan sodný ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), vodní páry ( $\text{H}_2\text{O}$ ) a oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), dle rce. 3.



*rce. 3: Tepelný rozklad  
hydrogenuhličitanu sodného*

Při aktivaci sorbentu dojde k prudkému vypaření vody vázané v částicích sorbentu, to má za následek vznik pórů a tím i zvýšení reakčního povrchu sorbentu na který se vážou kyselé složky, tj. HF, HCl a oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ).

Zreagovaný sorbent s navázanými kyselými složkami spalin je následně zachycen na filtračním elementu, oklepán a výsypkou odveden z technologie.

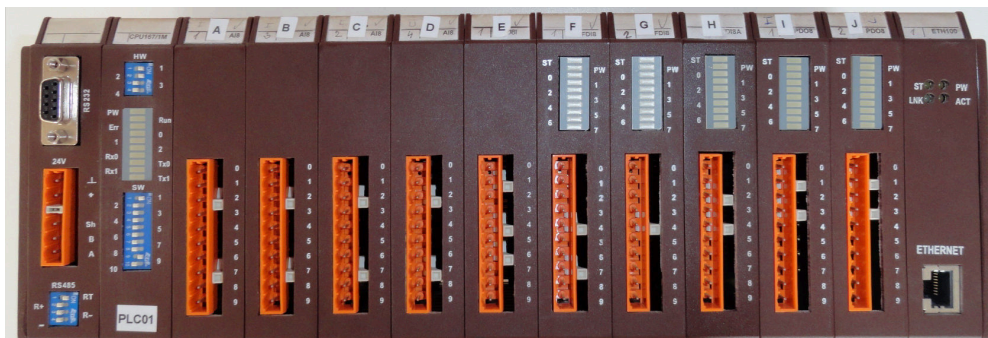
### **3.3.2 Snižování koncentrace dioxinů a furanů**

Zejména ve spalovenských provozech, které spalují palivo s obsahem chloru a fluoru je možno uplatnit i možnost katalytického rozkladu polychlorovaných dibenzo-p-dioxinů (PCDD) a polychlorovaných dibenzofuranů (PCDF) na  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  a kyselou složku HCl, resp. HF. Kyselé složky jsou následně odstraněny metodou suché sorpce pomocí hydrogenuhličitanu sodného.

Vzhledem k složitosti a nákladnosti měření obsahu dioxinů ve spalinách není s tímto typem redukce polutantů u jednotky INTEQ II uvažováno.

## 4 ŘÍDÍCÍ SYSTÉM

Zařízení INTEQ II je již vybaveno řídicím systémem ADiS od českého výrobce, firmy AMiT. S ohledem na možné budoucí úpravy a rozšiřování experimentálního zařízení byl zvolen modulární řídicí systém. U modulárních řídicích systémů má uživatel možnost sestavit si řídicí systém dle vlastních potřeb z řady různých modulů. Jednotlivé moduly se připojují z boku k centrální procesorové jednotce. V případě systému ADiS lze použít až 16 modulů a připojit tak až např. 256 signálů.



Obr. 7: Modulární ŘS ADiS použitý pro zařízení INTEQ II

Použitý modulární řídicí systém zařízení INTEQ II je sestaven z následujících modulů:

- centrální procesorová jednotka AD-CPU167
- 4 modulů konfigurovatelných analogových vstupů AD-AI8 (moduly A až D)
- 1 modulu proudových analogových výstupů AD-AO8I (modul E)
- 3 moduly rychlých číslicových vstupů AD-FDI8 (moduly F až H)
- 2 moduly číslicových výstupů AD-PDO8 (moduly I a J)
- 1 modulem s komunikačním rozhraním Ethernet AD-ETH100 (zařazen za modulem J)

### 4.1 Centrální procesorová jednotka AD-CPU167

Jádrem řídicího systému ADiS je centrální procesorová jednotka AD-CPU167 jejíž výpočetní výkon zajišťuje 16-ti bitový procesor SAB C167. Jednotka disponuje 1 MB zálohované uživatelské paměti RAM a 512 kB vnitřní paměti Flash.

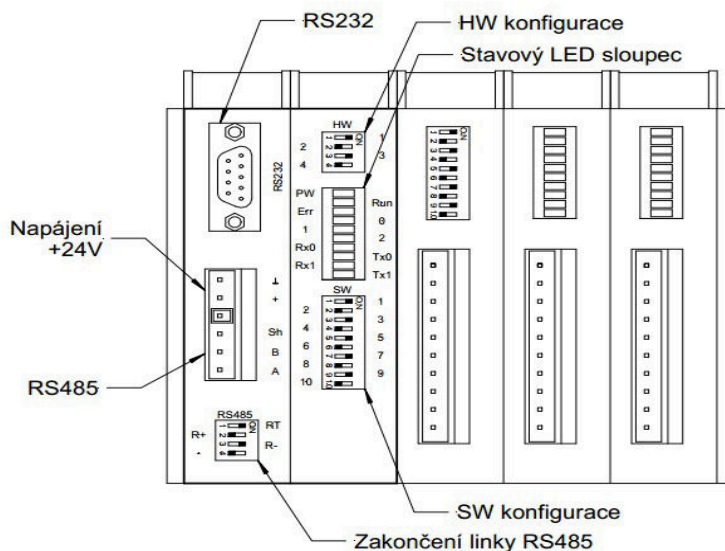
Pro komunikaci s okolím je jednotka osazena přepínači pro nastavení hardwarové a softwarové komunikace. Komunikovat s okolními zařízeními lze přes komunikačním rozhraní RS232 a RS485. Obě tato rozhraní jsou umístěna na čelním panelu jednotky (viz obr. 8)

Konektivita jednotky :

- lze připojit až 16 vstupně-výstupních modulů  
osmibitové moduly – až 128 digitálních vstupně-výstupních zařízení

šestnáctibitové moduly – až 256 digitálních vstupně-výstupních zařízení

- lze připojit expanzní vstupně-výstupní moduly firmy AMiT a komunikovat s dalšími stanicemi firmy AmiT po sběrnici komunikačním protokolem ModBus, ARION nebo CANOpen
- komunikace po sériové lince RS485. V rámci jedné sítě lze propojit až 32 stanic.
- lze použít komunikační modul sítě Ethernet. Počet komunikujících stanic omezen velikostí sítě, resp. volnými IP adresami dané sítě.



Obr. 8: Umístění konektorů a konfiguračních prvků CPU [5]

## 4.2 Modul konfigurovatelných analogových vstupů AD-AI8

Modul konfigurovatelných analogových vstupů je vybaven osmi vstupy, každý se samostatně konfigurovatelným přepínačem. Přepínač umožňuje uživateli zvolit vstupní rozsah, kterým lze zvolit jeden z následujících tří vstupních rozsahů:

- 0 ... 5 V, stejnosměrně
- 0 ... 10 V, stejnosměrně
- 0 ... 20 mA, stejnosměrně

Vstupní rozsah je nezbytné nastavit ručně na mechanickém přepínači umístěném na desce modulu.

Napětí resp. proud na vstupních pinech modulu je vzorkováno s periodou 20 ms. Převod na digitální hodnotu měřené proměnné zajišťuje 10-ti bitový převodník, kterým je modul vybaven.

Modul konfigurovatelných analogových vstupů se umísťuje na 1. až 10. místo za

centrální procesorovou jednotku AD-CPU167. [6]

### **4.3 Modul proudových analogových výstupů AD-AO8I**

Modul proudových analogových výstupů je vybaven osmi galvanicky neoddělenými výstupy se společnou analogovou zemí. Jednotlivé analogové výstupy jsou napájeny z vnitřního zdroje řídicího systému (0 ..20 mA při 10V stejnosměrně).

Výstupní signál je modulován na jednotlivých výstupech pulsně-šířkovou modulací s opakovacím kmitočtem 2,5 kHz.

Modul proudových analogových výstupů se umísťuje na 1. a 2. místo za procesorovou jednotku AD-CPU167. Předcházet mu může libovolná kombinace modulů AD-AI5, AD-AI8, AD-NI8, AD-FAI8 a rovněž jeden modul AD-AO8U.[7]

### **4.4 Modul rychlých číslicových vstupů AD-FDI8**

Modul rychlých číslicových vstupů je vybaven osmi galvanicky oddělenými rychlými vstupy. Na vstupní svorky je možno přivádět napětí 5 až 24 V. Vstupy jsou konfigurovatelné vždy po čtveřicích (skupina po čtyřech vstupech). Maximální vstupní frekvence snímaného signálu je 400 kHz. Od změny signálu na vstupu rychlého číslicového vstupu je možné vyvolat přerušení procesů.

Modul rychlých číslicových vstupů se umísťuje na 1. a 2 místo za procesorovou jednotku AD-CPU167. Při použití modulů AD-AI5, AD-AI8 nebo AD-NI5 se zařazuje hned za tyto moduly. [8]

### **4.5 Modul číslicových výstupů AD-PDO8**

Modul číslicových výstupů je vybaven osmi galvanicky oddělenými výstupy 24 V stejnosměrně se spínaným proudem 500 mA. Jednotlivé výstupy modulu jsou vybaveny ochranou proti zkratu, tepelnou ochranou a ochranou proti přepětí při spínání indukivní zátěže (relé).

Na umístění modulu číslicových výstupů nejsou kladeny zvláštní požadavky.[9]

### **4.6 Modul s komunikačním rozhraním Ethernet AD-ETH100**

Modul s komunikačním rozhraním Ethernet pracující rychlostí 10 / 100 Mbps je vybaven konektorem RJ45 dle standardu IEEE802.3. Modul je napájen z vnitřního zdroje řídicího systému.

Modul slouží pro komunikaci řídicího systému s okolními zařízení. Při programování uživatelské aplikace je konektor využíván pro komunikaci s PC na kterém je nainstalováno parametrizační a návrhové prostředí Detstudio. Následně bude tento modul sloužit pro

komunikaci s PC na kterém poběží SCADA systém.

Na umístění modulu s komunikačním rozhraním Ethernet nejsou kladeny zvláštní požadavky.[10]

## **4.7 Zapojení vstupů a výstupů ŘS**

Existující dokumentace k části elektro a MaR zařízení INTEQ II předepisuje zapojení vstupně výstupních senzorů a zařízení:

- konfigurace analogových vstupních veličin je uvedena v Tab. 1, v příloze č. 1.
- konfigurace analogových výstupních veličin je uvedena v Tab. 2, v příloze č.1.
- konfigurace zapojení digitálních vstupů je uvedena v Tab. 3, v příloze č.1.
- konfigurace zapojení digitálních výstupů je uvedena v Tab. 4, v příloze č.1.

## 5 SLOVNÍ POPIS ALGORITMŮ

Technologické zařízení INTEQ II bude pracovat v následujících provozních režimech:

- 1 Technologie vypnuta
- 2 Nájezd technologie
- 3 Chod technologie
  - 1 Chod technologie na konstantní filtrační rychlost
  - 2 Chod na konstantní teplotu spalin před filtrem
  - 3 Regenerace filtru
  - 4 Dávkování amoniaku
  - 5 Dávkování oxidu dusného
  - 6 Temperace spalin
- 4 Odstavování technologie
- 5 Nouzový režim

Chování technologie v jednotlivých provozních režimech je podrobně popsáno dále.

### 5.1 Hlavní regulační vazby

V technologickém schématu (Obr. 3) jsou vyznačeny 2 hlavní regulační vazby:

- Regulace R1 – regulace průtoku spalin filtrem
- Regulace R2 – regulace teploty před ventilátory V01 a V02

#### 5.1.1 Regulace R1 – regulace průtoku spalin filtrem

Úkolem regulace R1 je udržet konstantní průtok spalin filtračním zařízením a s maximální rychlostí změnit průtok spalin zařízením při změně žádané hodnoty s ohledem na požadavek zkoušek. Měření vstupní (regulované) veličiny je realizováno průtokoměrem FI01 (clonové měření, tlaková diference), umístění viz. Obr. 3.

Průtok spalin je měřen v ochlazeném stavu - přísávání okolního vzduchu. Celkový průtok spalin je proto nutné vypočítat z tepelné bilance. Vstupními parametry pro tepelnou bilanci jsou parametry:

- Průtok spalin (FI01)
- Tepelná kapacita spalin (z vizualizace)
- Teplota okolního vzduchu (TI05)
- Žádané množství průtoku spalin filtrem

Regulační zásah regulace R1 je realizován zvyšováním nebo snižováním otáček ventilátorů V01 a V02, které zajišťují transport vzdušiny technologií.

Poruchovými veličinami regulace R1 jsou:



- množství přísávaného chladicího vzduchu,
- teplota vstupujících spalin,
- regenerace filtru,
- stav topných těles elektropříhřevu vstupující vzdušiny

Možným problémem regulace R1 je potřeba je dvou akčních zásahů.

### **5.1.2 Regulace R2 – regulace teploty před ventilátory V01 a V02**

Regulace R2 představuje teplotní ochranu ventilátorů. Úkolem této regulační smyčky je udržet teplotu vzdušiny před ventilátory V01 a V02 pod maximální dovolenou mezí danou konstrukčním řešením použitých ventilátorů. Měření vstupní veličiny je realizováno teploměrem TI04 – teplota již ochlazené vzdušiny

Vstupními veličinami regulace R2 jsou parametry:

- Teplota spalin před vstupem do ventilátorů (TI04, teplota již ochlazené vzdušiny)
- Teplota spalin měřená v technologii před chlazením (TI01, TI02, TI03)
- Žádaná hodnota teploty TI04

Regulační zásah regulace R2 je míra otevření přísávacího ventilu RA05. Ventil RA05 je vybaven analogovým vstupem - hodnota žádaného otevření i analogovým výstupem hodnota skutečného otevření.

Poruchovými veličinami regulace R1 jsou:

- vstupní teplota spalin,
- průtok spalin,
- stav topných těles elektropříhřevu vstupující vzdušiny

Možným problémem regulace R2 bude nízká rychlost armatury RA05.

## **5.2 Provozní režimy**

### **5.2.1 Technologie vypnuta**

V režimu „Vypnuto“ budou všechny akční členy technologie uvedeny do klidového stavu. Technologie bude připravena pro přechod do režimu „Nájezd“.

### **5.2.2 Nájezd technologie**

Jednotlivé kroky nájezdu jsou vizualizovány, prodlevy se odpočítávají ve vizualizaci. Spouštění technologie může být z tlačítka na vizualizaci nebo tlačítka na rozvaděči.

Jednotlivé kroky procedury nájezdu technologie:

0. Test splnění podmínek umožnění nájezdu. Splnění jednotlivých podmínek je vizualizováno.

- a) Všechny akční členy jsou v automatu.
  - b) Žádný pohon není v poruše (pozn.: pokud není kompresor připojen, pak je nutné potvrzení, že není připojen, pokud není kompresor připraven, podmínka není splněna).
  - c) Všechny čidla pracují (nejsou v alarmu).
  - d) Technologie je v režimu „vypnuto“.
1. Uvolnit regulaci RA05.
  2. Vypnout temperaci (vypnout vytápění spalin a blokovat jejich zapnutí).
  3. Vypnout dávkování NH<sub>3</sub> a NO (tj. uzavřít ventily RA03 a RA04 a blokovat jejich otevření)
  4. Uzavřít vstupní armatury, tzn. uzavřít RA02 a RA01.  
Dále pokračovat jen, pokud jsou armatury uzavřeny.
  5. Spustit ventilátor V02 na min. otáčky.
  6. Prodleva 5 s\*
  7. Pokud je kompresor K01 připojen, pak spustit kompresor K01, jinak pokračovat dalším bodem.
  8. Otevřít armaturu RA02 (dále lze pokračovat až po otevření armatury, pokud armatura nedosáhne koncové polohy otevřeno do času  $T = 20$  s, pak alarm „armatura RA02 nedosáhla koncové polohy otevřeno“).
  9. Otevřít armaturu RA01 (dále lze pokračovat až po otevření armatury, pokud armatura nedosáhne koncové polohy otevřeno do času  $T = 20$  s, pak alarm „armatura RA01 nedosáhla koncové polohy otevřeno“).
  10. Prodleva 6 s
  11. Uzavřít armaturu RA02 (dále lze pokračovat až po uzavření armatury, pokud armatura nedosáhne koncové polohy zavřeno do  $T = 20$  s, pak alarm „armatura RA02 nedosáhla koncové polohy zavřeno“).
  12. Uvolnit regulaci V01, V02.
  13. Uvolnit blokaci RA03 a RA04.
  14. Uvolnit blokaci temperace spalin.
  15. Přepnout technologii do režimu „Chod technologie“

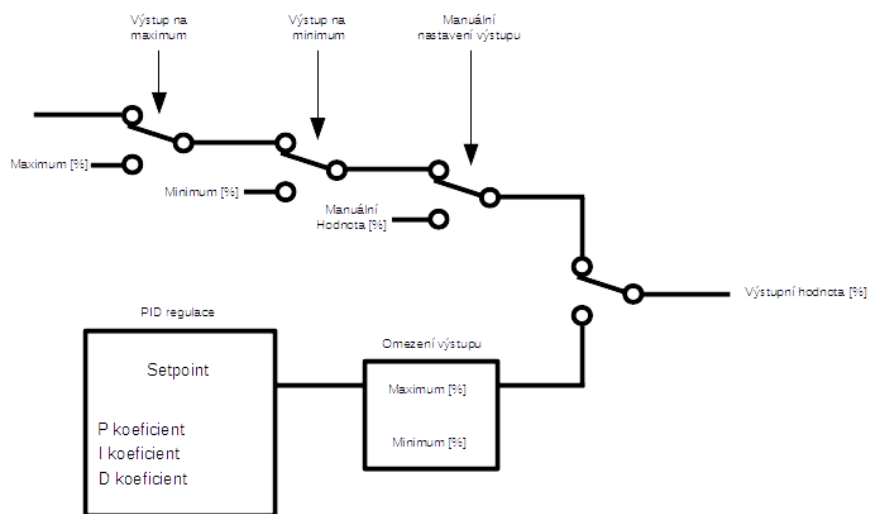
### 5.2.3 Chod technologie

Pro pohony vybavené frekvenčním měničem bude možné za chodu technologie nastavit automatický/manuální režim. V manuálním režimu bude možné motor vypnout, spustit a nastavit jeho otáčky. V automatickém režimu bude spouštění a regulaci otáček řídit ŘS.

Regulátor bude možné nastavit v rozsahu dle Obr. 9.

---

\* podtržené hodnoty proměnných nebudou předefinovány v ŘS; budou se načítat z vizualizace



Obr. 9: Režimy regulátoru

## Řízení ventilů

Ventily RA01 a RA02 jsou uzavírací ventily ovládané pomocí signálu otevřej/zavírej. Do ŘS jsou instalovány signály o krajních polohách každého z ventilů. Strojní čas přestavení ventilu bude možné nastavit ve vizualizaci. Pro ovládání ventilu bude použit funkční blok pro ovládání ventilu. Funkční blok odhaduje úroveň otevření. Odhadnutá úroveň otevření bude zobrazována ve vizualizaci stejně jako stavy ventilu (otevřít/zavřít, otevřeno/zavřeno).

Bude-li současně signalizován stav daného ventilu otevřeno a zavřeno, pak oznam alarm „nepravděpodobný stav koncových spínačů ventilu RAXX“

V manuálním režimu budou ve vizualizaci dvě tlačítka „otvírej“ (set-on-press) a „zavírej“ (set-on-press) pro uzavírání a otevírání ventilů a tlačítka „otevři“ (flip-flop) a „uzavři“ (flip-flop) pro otevření a uzavření armatury. Příkazy „otevři“ a „uzavři“ se ruší při aktivaci „zavírej“ nebo „otvírej“.

Pro řízení ventilů RA03 a RA04 bude možné ve vizualizaci nastavit dvě prodlevy - „čas otevření“ a „čas uzavření“. Dále budou ve vizualizaci dvě tlačítka „otevři“ (set-on-press) a „cykluj“ (flip-flop). Pokud se stiskne tlačítko „otevři“, pak se otevře ventil po dobu „čas otevření“. Při aktivaci „cykluj“ se bude ventil otvírat a zavírat podle časů „čas otevření“ a „čas uzavření“.

Pro ventil RA05 bude v manuálním režimu možné ve vizualizaci nastavit procento otevření ventilu. V automatickém režimu bude poloha ventilu RA05 regulována podle teploty TI04 (viz regulační vazba R2).

## Řízení regenerace filtru

Ve vizualizaci bude možné spustit regeneraci tlačítkem „start regenerace filtru“. Při aktivaci tlačítka se na příslušný binární výstup zapíše log. 1 po dobu 3 s. Tlačítko nebude aktivní, pokud je regenerace v chodu a 30 s po ukončení regenerace.

Pokud bude tlaková ztráta filtru větší než 4000 Pa po dobu 5 s, pak spustí regeneraci (vždy výstupem na 3 s, blokáce 30 s po ukončení).

Pokud je regenerace v poruše, pak alarm „porucha regenerace“.

## Temperace spalin

Výkon temperace spalin je dostupný ve třech výkonových hladinách:

0. vypnuto,
1. zapnuto 1,1kW,
2. zapnuto 2,2kW

### 5.2.4 Odstavování technologie

0. Technologie se nachází v režimu „chod“ nebo „nájezd“.
1. Uzavřít armaturu RA01.
2. Otevřít armaturu RA02.
3. Uzavřít armaturu RA03. a RA04, blokuj jejich otevření
4. Pokud není regulace RA05 aktivní, nutno upozornit, že je regulace RA05 neaktivní.
5. Vypnout temperaci spalin.
6. Vypnout kompresor K01.
7. Zapnout ventilátor V01 na 50 %.
8. Zapnout ventilátor V02 na 50 %.
9. Test podmínky: Pokud bude  $TI02 < 100^{\circ}C$  a poloha RA05  $< 20\%$  po dobu 5 min, pak:
10. Vypnout ventilátory V01 a V02.
11. Vypnout automatickou regeneraci filtru.
12. Otevřít armaturu RA05 na 50% a vypnout její regulaci.
13. Přepnout technologii do režimu „Technologie vypnuta“.

### 5.2.5 Nouzový režim technologie

0. Uzavřít RA01.
1. Otevřít RA02.
2. Vypnout a blokovat temperaci
3. Vypnout a blokovat RA03 a RA04
4. Nastav ventilátor V01 a V02 na XX %

## 5.2.6 Popis bezpečnostních algoritmů

Pro všechny analogové senzory bude možné nastavit hodnoty alarmu LL, L, H, HH a prodlevy pro jednotlivé alarmy v řádu vteřin. Následující provozní stavy budou mít za následek přechod do nouzového režimu, resp. odstavení technologie. Dále jsou uvedeny podmínky pro návrat z nouzového režimu do režimu chodu technologie.

### **TI01 – teplota spalin na vstupu do technologie**

Pokud je HH, pak přejdi do „nouzového režimu“.

Pokud je HH potvrzeno a  $TI01 < HH - 100^{\circ}\text{C}$  po dobu 60 s, pak ukonči „nouzový režim“.

### **TI02 – teplota spalin na vstupu do filtru**

Pokud je HH, pak přejdi do „nouzový režim“.

Pokud je HH potvrzeno a  $TI02 < HH - 100^{\circ}\text{C}$  po dobu 60 s, pak ukonči „nouzový režim“.

### **TI03 – teplota spalin na výstupu z filtru**

Pokud je HH, pak přejdi do „nouzového režimu“.

Pokud je HH potvrzeno a  $TI03 < HH - 100^{\circ}\text{C}$  po dobu 60s, pak ukonči „nouzový režim“.

### **TI04 – teplota před ventilátory**

Pokud je HH, pak přejdi do „nouzového režimu“.

Otevři ventil RA05 na 100%,

Pokud je HH potvrzeno a  $TI04 < HH - 100^{\circ}\text{C}$  po dobu 60s, pak ukonči „nouzový režim“.

Uvolni regulaci RA05.

### **DPI01 – tlaková ztráta filtru**

Pokud je  $DPI > 5 \text{ kPa}$ , přejdi do „nouzového režimu“.

Pokud HH, pak odstav technologii.

## 6 NÁVRH ŘÍDÍCIHO SOFTWARE (UŽIVATELSKÉ APLIKACE)

S ohledem na použitý ŘS (popis viz. Kap. 4) od českého výrobce, firmy AMiT, bylo nutné vytvářet uživatelskou aplikaci pro řídicí systém v návrhovém prostředí DetStudio. Výhodou tohoto návrhového prostředí oproti obdobným návrhovým prostředí výrobců některých jiných ŘS, je dostupnost jak návrhového prostředí, tak i školicích kurzů pro práci v tomto prostředí zdarma.

Uživatelská aplikace vytvořená v prostředí DetStudio sestává z procesů, podprogramů a funkčních bloků naprogramovaných výhradně v jazyce strukturovaného textu (ST). Výhodou jazyka ST je jeho přehlednost a snadná úprava a tvorba funkčních bloků. Obsah a popis funkce jednotlivých procesů, podprogramů a funkčních bloků je podrobně rozebrán v podkapitolách 6.1 až 6.3.

### 6.1 Procesy

Uživatelská aplikace pro řízení technologie sestává ze dvou procesů:

- Hlavni\_proces
- ProcIDLE

Každý z procesů běží nezávisle na dalších procesech v odlišných periodách.

#### 6.1.1 Proces „Hlavni\_proces“

Hlavním procesem je proces s názvem „Hlavni\_proc“. Tento proces volá jednotlivé podprogramy uživatelské aplikace.

Proces „Hlavni\_proc“ typu Normal\_0 a je vykonáván s periodou 1000 ms.

Pro informaci o délce trvání jednoho cyklu vykonávání procesu je zdrojový kód procesu doplněn o „stopky“, které měří čas od začátku, do konce procesu. Vykonání hlavního procesu trvá řídicímu systému dle zvoleného režimu technologie 30 až 90 ms.

Na začátku procesu je umístěn funkční blok indikující počátek měřeného úseku vykonávání programu.

```
StopWatch 0, 0x0001, None
```

Volání podprogramu „AnVstup“ - načtení analogových vstupů ŘS.

```
Call AnVstup
```

Volání podprogramu „DigVstup“ - načtení digitálních vstupů ŘS.

```
Call DigVstup
```

Volání podprogramu „Rezim“ - jedná se o odprogram, který přepíná dle aktuálního stavu technologie režimy jejího chodu.

```
Call Rezim
```

Dle zadání uvedeného v kapitole 5 se může technologie nacházet v pěti různých režimech. Technologie se nikdy nemůže nacházet ve dvou a více režimech zároveň, proto byl pro volbu a přepínání použit příkaz Switch, který pracuje s proměnnou stav\_tech v níž je uloženo číslo aktuálního režimu technologie.

```
Switch stav_tech
```

Prvním stavem technologie, který může být volán je stav vypnuto – volá se podprogram „vypnuto“. V tomto stavu jsou všechny akční členy v bezpečné poloze a technologie je nečinná.

```
Case 1 //vypnuto
  Call vypnuto
EndCase
```

Stavem s číslem 2 je stav nájezdu technologie z režimu vypnuto. V tomto režimu je tedy opakovaně volán podprogram obsahující nájezdové sekvence. Společně s podprogramem nájezdu je volán i podprogram kontroly alarmů. Podprogram alarmů obsahuje instrukce pro kontrolu dosažení alarmových stavů měřených analogových veličin.

```
Case 2 //chod
  Call Najezd
  Call Alarmy
EndCase
```

Po úspěšném dokončení sekvencí nájezdu technologie se technologie přepíná do režimu chod – režim s číslem 3. V režimu chod jsou v chodu podprogram chod, který zajišťuje ovládání jednotlivých zařízení technologie (zejména armatur). Dále je aktivní i sledování, zda-li některá z měřených analogových veličin není v alarmovém stavu. Stejně tak jsou v chodu i dvě regulační smyčky – smyčka regulace průtoku spalin ventilátorem a bezpečnostní regulační smyčka zabezpečující nepřekročení maximální teploty spalin před transportními ventilátory.

```
case 3 //chod
  Call chod
  Call Alarmy
  Call Regenerace
  Call R1
  Call R2
EndCase
```

Je-li podprogramem „Rezim“ zaznamenána žádost o odstavení technologie, začne se vykonávat krok č. 4 – odstavení technologie. Po zavolání podprogramu odstavení je technologie odstavována dle předdefinovaných sekvencí.

```
case 4 //odstavení
  Call odstavení
EndCase
```

Je-li podprogramem „Rezim“ vyhodnocen jeden z kritických stavů, je volán krok č. 5 a následně i podprogram odstavení, který zajistí přechod technologie do nouzového režimu a

následně technologii po jejím vychlazení přepne do stavu vypnuto.

```
case 5 //nouzový režim
    Call nouz_rezim
EndCase
```

```
EndSwitch
```

Volání podprogramu „AnVystup“ - zápis na analogové výstupy ŘS.

```
Call AnVystup
```

Volání podprogramu „DigVystup“ - zápis na digitální výstupy ŘS.

```
Call DigVystup
```

```
EndIf
```

Odečtení celkového času trvání vykonávání uživatelské aplikace a její zápis do proměnné StW\_main. Odtud je v režimu ladění snadné dobu trvání vykonávání uživatelské aplikace snadno vyčíst.

```
StopWatch 0, 0x0006, StW_Main
```

## 6.1.2 Proces „ProcIDLE

Druhý z dvou vytvořených procesů má prioritu „IDLE“, tzn. Proces se vykonává v mezičase prováděných výpočtů. Proces ProcIDLE obsahuje pouze jediný příkaz – volání modulu LcW3Idle.

```
LcW3Idle NONE
```

Tento modul slouží pro připojení grafického terminálu parametrizovaného v editoru obrazovek. Modul zajišťuje přenos dat mezi softwarovou částí řídicího systému a softwarovou částí pro monitor vytvořenou v DetStudiu.

Parametrizace terminálu ŘS nebyla v práci řešena z důvodu nefunkčnosti komunikace ŘS – terminál.

## 6.2 Podprogramy

### 6.2.1 Podprogram „Alarmy“

Podprogram „Alarmy“ zajišťuje kontrolu zda-li žádná z měřených analogových vstupních veličin není mimo bezpečný rozsah definovaný maticí limitních hodnot. Matice limitních hodnot má rozměr 4 x 1 (řádky x sloupce) význam hodnot uložených v matici alarmových hodnot je následující:

Prvek matice	Popis prvku
[0,0]	Hodnota alarmu velmi nízké hodnoty analog. veličiny tzv. „alarm Low Low (LL)“
[1,0]	Hodnota alarmu nízké hodnoty analog. veličiny tzv. „alarm Low (L)“



[2,0]	Hodnota alarmu vysoké hodnoty analog. veličiny tzv. „alarm High (H)“
[3,0]	Hodnota alarmu velmi vysoké hodnoty analog. veličiny tzv. „alarm High High (HH)“

Podprogram, resp. v něm použitý funkční blok, dále vyhodnocuje, zda-li je měřená hodnota analogového mimo povolený rozsah po dobu definovanou v matici časových zpoždění. Tímto je vyloučen vliv šumu na alarmové hodnoty. Matice časových zpoždění má stejně jako matice limitních hodnot jednotlivých alarmů velikost 4 x 1.

Na následujícím řádku uveďme volání funkčního bloku fb\_AI\_check pro kontrolu alarmových stavů u teploty měřené teplotním čidlem TI01:

```
fb_AI_check AI_TI01, @rst_alarms, AI_TI01_Al, AI_TI01_LV, AI_TI01_DL
```

Analogicky je provedena v podprogramu „Alarms“ i kontrola ostatních analogových vstupů.

Uživatelsky definovaný funkční blok fb\_AI\_check je blíže popsán v kap. 6.3.1.

## 6.2.2 Podprogram „AnVstup“

Podprogram „AnVstup“ zajišťuje načítání všech analogových hodnot z modulů analogových vstupů. Při jednom zavolání podprogramu jsou postupně načteny všechny aktuální hodnoty analogových vstupů. Načtení z analogového vstupu 0.1 je provedeno následovně:

```
AnIn #0.1, AI_TI02, 20.000, 4.000, 20.000, 0.000, 500.000
```

Tímto příkazem načítá ŘS hodnotu (aktuální hodnotu proudu) z analogového vstupu 0.1, horní hranice měřeného signálu je 20 mA, pro měření je použita proudová smyčka s rozsahem 4 až 20 mA, který odpovídá rozsahu fyzikálních jednotek 0 až 500 °C.

Analogicky jsou načteny všechny zbývající vstupy modulů analogových vstupů A až D.

## 6.2.3 Podprogram „AnVýstup“

Podprogram „AnVýstup“ zajišťuje zápis všech výstupních analogových hodnot na výstupy modulu analogových výstupů (modul E). Při jednom zavolání podprogramu jsou postupně zapsány na výstupy modulu aktuální hodnoty analogových výstupů. Zápis na analogový výstup 4.2 je proveden následovně:

```
AnOut #4.2, AO_V01_out, 20.000, 4.000, 20.000, 0.000, 100.000
```

Tímto příkazem zapisuje ŘS hodnotu (aktuální hodnotu proudu) na analogový výstup 4.2, horní hranice zapisovaného signálu je 20 mA, pro zápis je použita proudová smyčka s rozsahem 4 až 20 mA, který odpovídá rozsahu fyzikálních jednotek 0 až 100 % požadavku na výkon ventilátoru.

Analogicky jsou zapsány i zbývající analogové hodnoty na výstupy modulu E.

## 6.2.4 Podprogram „DigVstup“

Podprogram „DigVstup“ zajišťuje načítání všech digitálních hodnot (stavů jednotlivých vstupů) z modulů digitálních vstupů. Při jednom zavolání podprogramu jsou postupně načteny všechny stavy digitálních vstupů. Načtení digitálních vstupů modulu F je provedeno následovně:

```
DigIn #5, DI_01, 0x0000
```

Tímto příkazem načítá ŘS osmici stavů digitálních vstupů ŘS (kanál 5). Načtená osmice stavů digitálních vstupů je uložena v binární podobě do proměnné typu integer DI\_01 (16ti bitová proměnná). Hexadecimální kód na konci příkazu říká, že žádný z vstupů nemá být řídicím systémem negován. Analogicky jsou načteny všechny zbývající vstupy modulů G a H.

## 6.2.5 Podprogram „DigVystup“

Podprogram „DigVystup“ zajišťuje zápis všech digitálních hodnot (stavů jednotlivých binárních proměnných) na výstupy modulů digitálních výstupů. Při jednom zavolání podprogramu jsou postupně zapsány všechny stavy digitálních výstupů. Zápis na digitální vstupy modulu I je proveden následovně:

```
DigOut DO_01, #8, 0x0000
```

Tímto příkazem zapisuje ŘS osmici stavů uloženou v proměnné DO\_01 na kanál č. 8 (modul I). Hexadecimální kód na konci příkazu říká, že žádný z výstupů nemá být řídicím systémem před zápisem negován.

## 6.2.6 Podprogram „Chod“

Jak již bylo okrajově zmíněno v kap. 6.1.1 úlohou podprogram „Chod“ je zajistit, správnou funkci technologie po nájedzu. Mimo regulace, která je v hlavním procesu volána současně s procesem Chod, je primární funkcí tohoto podprogramu ovládání armatur RA01, RA02, RA 03 a RA04. Dále režim chod kontroluje, zda-li se nevyskytl alarmový stav.

Pro ovládání armatur RA01 a RA02 je použit uživatelsky definovaný funkční blok fb\_Ventil2 (podrobnější popis viz. kap. 6.3.5).

```
fb_Ventil2 T_ovrrn_RA01, @BL_RA01, @ST_RA01_Z, @ST_RA01_O, @DO_RA01_O,  
@DO_RA01_Z, Pos_RA01_Akt, @DI_RA_01_O, @DI_RA_01_Z, @ST_RA01_AL,  
@SOP_RA01_O, @SOP_RA01_Z
```

Stejným blokem (s jinými vstupními parametry) je ovládána i armatura RA02.

Pro ovládání elektromagnetických ventilů (solenoidových ventilů) je použit uživatelsky definovaný funkční blok fb\_Solenoid (podrobnější popis viz. kap.6.3.4).

```
fb_Solenoid @BL_RA03, NH3NOx.0, NH3NOx.1, NH3NOx.3, TNH3ON, TNH3OFF,  
@DO_NH3_strt
```

Obdobně je ovládán i ventil RA04.

## 6.2.7 Podprogram „Nájezd“

Podprogram „nájezd“ je vzhledem ke své sekvenční povaze členěn podobně jako hlavní proces na jednotlivé kroky. Jednotlivých kroků je celkem 16 a jsou vykonávány postupně v pořadí definovaném v zadání kap. 5.2.2. Číslo aktuálně prováděného kroku je uchováváno v proměnné „Krok\_najezdu“.

V úvodu podprogramu je zavolán podprogram kontrolující, zda-li není nezbytné akusticky a vizuálně oznámit operátorovi technologie alarmovou událost (podrobnější popis viz. kap. 6.2.14).

```
Call Signal_Alarm
```

Následuje pak vykonávání jednotlivých kroků nájezdové sekvence. Nultým krokem nájezdové sekvence je provedení kontroly splnění podmínek dle zadání (kap. 5.2.2). Jedná o kontrolu nastavení jednotlivých ovladačů akčních prvků umístěných na těle rozvaděče technologie do automatického režimu a kontrolu, zda-li se žádný z připojených strojů nenachází v poruše.

```
Switch Krok_najezdu
```

```
Case 0
  Let @DO_TECH_chd = bool (0)//Rozsvit kontrolku chod na rozvaděči
  fb_Aut_M_Chc @DI_RA_01_At, @DI_RA_02_At, @DI_RA_05_At, @DI_V_Aut,
@MAN_OFF //Kontrola, zda-li jsou jednotlivé členy v automatu
  fb_noErr_Chc @DI_V_Ready, @DI_K01_rdy, @ST_K01_KV, @DI_K01_conn,
@ST_No_Err //Konktrola, zdda-li žádný z pohonl není v poruše
  Let Krok_najezdu = IF (@MAN_OFF AND @ST_No_Err, 1, 0)//Kontrola splnění
podmínek
EndCase //0
```

Jsou-li podmínky nultého kroku splněny, je v následujícím kroku aktivován automatický režim regulátoru regulační klapky chladícího vzduchu RA05 a technologie po ověření přepnutí regulátoru do automatického režimu přechází ke kroku č. 2.

```
Case 1
  Let RA05_PID_mod.0 = bool (0)//Uvolni regulaci ventilu RA05
  Let RA05_PID_mod.1 = bool (0)
  Let Krok_najezdu = IF (!RA05_PID_mod.0 AND !RA05_PID_mod.1, 2,
1)//Kontrola splnění kroku č.1
EndCase //1
```

V kroku č. 2 jsou vypnuta obě topná tělesa temperace spalin a režim nájezd přechází k dalšímu kroku.

```
Case 2
  Let @DO_H01_strt= bool (0)// Vypni temperaci spalin - topné těleso č.1
  Let @DO_H02_strt= bool (0)// Vypni temperaci spalin - topné těleso č.2
  Let Krok_najezdu = IF (!@DO_H01_strt AND !@DO_H02_strt, 3, 2)//Kontrola
splnění kroku č.2
EndCase
```

V kroku č. 3 jsou zavřeny oba elektromagnetické ventily dávkování redukčního činidla i polutantu.

```

Case 3
  Let @DO_NOx_strt = bool (0)//Uzavři ventil RA03 (resetuj napětí na
solenoidovém ventilu)
  Let @DO_NH3_strt = bool (0)//Uzavři ventil RA04 (resetuj napětí na
solenoidovém ventilu)
  Let Krok_najejzdu = IF (!@DO_NOx_strt AND !@DO_NH3_strt, 4, 3)//Kontrola
splnění kroku č.3
EndCase //3

```

V kroku č. 4 je odblokována a uzavřena armatura vstupních spalín do technologie. Stejně tak je odblokována a uzavřena armatura pročišřovacího vzduchu RA02. Jakmile ŘS zaregistruje informaci o dojezdu armatury RA01 i armatury RA02 na koncový snímač „zavřeno“, podprogram zablokuje obě tyto armatury a přechází k dalšímu kroku.

```

Case 4
  Let @BL_RA01 = bool (0)//Odblokuj armaturu RA01
  Let @ST_RA01_O = bool (0)//Uzavři armaturu RA01
  Let @ST_RA01_Z = bool (1)
fb_Ventil2 T_ovrrn_RA01, @BL_RA01, @ST_RA01_Z, @ST_RA01_O, @DO_RA01_O,
@DO_RA01_Z, Pos_RA01_Akt, @DI_RA_01_O, @DI_RA_01_Z, @ST_RA01_AL,
@SOP_RA01_O, @SOP_RA01_Z

  Let @BL_RA02 = bool (0)//Odblokuj armaturu RA02
  Let @ST_RA02_O = bool (0)//Uzavři armaturu RA02
  Let @ST_RA02_Z = bool (1)
fb_Ventil2 T_ovrrn_RA02, @BL_RA02, @ST_RA02_Z, @ST_RA02_O, @DO_RA02_O,
@DO_RA02_Z, Pos_RA02_Akt, @DI_RA_02_O, @DI_RA_02_Z, @ST_RA02_AL,
@SOP_RA02_O, @SOP_RA02_Z

  Let @BL_RA01 = IF (@DI_RA_01_Z, bool (1), bool (0))//Blokace armatury RA01
po jejím uzavřeni
  Let @BL_RA02 = IF (@DI_RA_02_Z, bool (1), bool (0))//Blokace armatury RA02
po jejím uzavřeni
  Let Krok_najejzdu = IF (@DI_RA_01_Z AND @DI_RA_02_Z, 5, 4)//Kontrola
splnění kroku č.4
EndCase //4

```

V kroku č. 5 jsou nastaveny otáčky obou ventilátorů V01 i V02 na minimum a oba ventilátory jsou spuštěny. Jakmile ŘS zaregistruje informaci o tom, že se oba ventilátory otáčí, pak přechází k dalšímu kroku.

```

Case 5
  Let AO_V01_out = 0 //Nastav minimální otáčky ventilátoru V01
  Let @DO_V01_strt = bool (1) //Spust ventilátor V01
  Let AO_V02_out = 0 //Nastav minimální otáčky ventilátoru V02
  Let @DO_V02_strt = bool (1) //Spust ventilátor V02
  Let Krok_najejzdu = IF ((AI_V01_ot>0) AND (AI_V02_ot>0), 6, 5)
EndCase

```

Krok č. 6 slouží pouze k realizaci prodlevy o délce definované uživatelem ve vizualizaci.

```

Case 6
Let @st_stp6_tmp = bool (1)
TimerOn @ST_stp6_tmp, T_Stp6_del, @ST_stp6_tm2, time//Prodleva X sekund
IF @ST_stp6_tm2//Reset pomocné proměnné

```

```

    Let @ST_stp6_tmp = bool (0)
    Let krok_najejzdu = 7
EndIf
EndCase //6

```

Je-li připojen kompresor k technologii, pak jej ŘS spustí v opačném případě pokračuje podprogram dalším krokem.

```

Case 7
If @DI_K01_conn// Je-li kompresor připojen
    Let @DO_K01_strt = bool (1)// pak jej spust
    Let Krok_najejzdu = IF (@DO_K01_strt, 8, 7)//zkontroluj splnění kroku
č.7
Else //jinak pokračuj dalším krokem
    Let Krok_najejzdu = 8
EndIf
EndCase

```

V kroku č. 8 otevírá řídicí systém armaturu RA02 a tím eliminuje tepelný šok, který by vyvolalo vpuštění pouze horkých spalin do vychlazené technologie. Proudí-li chladný vzduch z okolí do technologie a ventil RA02 dojel na koncový snímač „otevřeno“, přejdi ke kroku č. 9.

```

Case 8
    Let @BL_RA02 = bool (0)//Odblokuj armaturu RA02
    Let @ST_RA02_O = bool (1)//Otevři armaturu RA02
    Let @ST_RA02_Z = bool (0)
    fb_Ventil2 T_ovrrn_RA02, @BL_RA02, @ST_RA02_Z, @ST_RA02_O, @DO_RA02_O,
@DO_RA02_Z, Pos_RA02_Akt, @DI_RA_02_O, @DI_RA_02_Z, @ST_RA02_AL,
@SOP_RA02_O, @SOP_RA02_Z
    TimerOn @ST_RA02_O, T_Stp8_del, @ST_stp8_tmp, time//Odpočítej prodlevu X
sekund
    Let @AL_stp8_naj = IF (@ST_stp8_tmp AND !@DO_RA02_O, bool (1), bool
(0))//Zkontroluj, zda-li ventil dojel na koncový snímač otavřeno až vypřší
prodleva X sekund
    Let Krok_najejzdu = IF (@DI_RA_02_O, 9, 8)//Dojel-li ventil do polohy
otevřeno pokračuj dalším krokem podprogramu nájezd
EndCase //8

```

V kroku č. 9 otevírá řídicí systém armaturu RA01 a tím postupně zvyšuje teplotu, proudícího média (směs chladícího okolního vzduchu a horkých spalin). Dojel-li ventil RA01 na koncový snímač „otevřeno“, přejdi ke kroku č. 10.

```

Case 9
    Let @BL_RA01 = bool (0)//Odblokuj armaturu RA01
    Let @ST_RA01_O = bool (1)//Požadavek na otevři armaturu RA01
    Let @ST_RA01_Z = bool (0)//Požadavek na neuzavírání armatury RA01
    fb_Ventil2 T_ovrrn_RA01, @BL_RA01, @ST_RA01_Z, @ST_RA01_O, @DO_RA01_O,
@DO_RA01_Z, Pos_RA01_Akt, @DI_RA_01_O, @DI_RA_01_Z, @ST_RA01_AL,
@SOP_RA01_O, @SOP_RA01_Z
    Let @ST_stp9_tmp = if (@ST_RA01_O and !@DI_RA_01_O, bool (1), bool (0))
    TimerOn @ST_stp9_tmp, T_Stp9_del, @AL_stp9_naj, time
    Let Krok_najejzdu = IF (@DI_RA_01_O, 10, 9)//Dojel-li ventil do polohy
otevřeno pokračuj dalším krokem podprogramu nájezd
EndCase //9

```

Krok č. 10 slouží stejně jako krok č. 6 k realizaci prodlevy o délce definované uživatelem ve vizualizaci.

```
Case 10
Let @ST_stp10_tm = bool (1)
TimerOn @ST_stp10_tm, T_Stp10_del, @ST_stp10_t2, time//Prodleva X sekund
IF @ST_stp10_t2//Reset pomocné proměnné
    Let @ST_stp10_tm = bool (0)
    Let krok_najejzdu = 11
EndIf
EndCase //10
```

Po uplynutí prodlevy definované v kroku č. 10 začíná systém snižovat množství přísávaného chladicího vzduchu – uzavírá armaturu RA02. Jakmile dorazí armatura RA02 do polohy „zavřeno“, přechází ŘS k následujícímu kroku.

```
Case 11
Let @ST_RA02_O = bool (0)//Uzavři armaturu RA02
Let @ST_RA02_Z = bool (1)
fb_Ventil2 T_ovrrn_RA02, @BL_RA02, @ST_RA02_Z, @ST_RA02_O, @DO_RA02_O,
@DO_RA02_Z, Pos_RA02_Akt, @DI_RA_02_O, @DI_RA_02_Z, @ST_RA02_AL,
@SOP_RA02_O, @SOP_RA02_Z
Let @ST_stp11_tm = if (@ST_RA02_Z and !@DI_RA_02_Z, bool (1), bool (0))
TimerOn @ST_stp11_tm, T_Stp11_del, @AL_stp11_na, time
Let Krok_najejzdu = IF (@DI_RA_02_Z, 12, 11)//Dojel-li ventil do polohy
otevřeno pokračuj dalším krokem podprogramu nájezd
EndCase //11
```

V kroku č. 12 proudí technologií již pouze horké spaliny a je proto nyní již možno uvolnit blokaci regulátoru výkonů ventilátorů V01 a V02.

```
Case 12
Let @BL_V01_reg = bool (0)// Uvolni regulaci V01
Let @BL_V02_reg = bool (0)// Uvolni regulaci V02
Let Krok_najejzdu = IF (!@BL_V01_reg AND !@BL_V02_reg, 13, 12)//Kontrola
splnění kroku č.12
EndCase //12
```

V následujícím kroku je uvolněno ovládání armatur RA03 a RA04.

```
Case 13
Let @BL_RA03 = bool (0)//Uvolni blokaci RA03 = aktivuj ventil
Let @BL_RA04 = bool (0)//Uvolni blokaci RA04 = aktivuj ventil
Let Krok_najejzdu = IF (!@BL_RA03 AND !@BL_RA04, 14, 13)//Kontrola splnění
kroku č.13
EndCase
```

V následujícím kroku je uvolněna blokaci spuštění topných elementů H01 a H02 pro teplotu spalin.

```
Case 14
Let @BL_H01 = bool (0)//Uvolni blokaci H01
Let @BL_H02 = bool (0)//Uvolni blokaci H02
Let Krok_najejzdu = IF (!@BL_H01 AND !@BL_H02, 15, 14) //Kontrola
splnění kroku č.13
Endcase //14
```

Po splnění všech předchozích kroků, se technologie přepíná z režimu nájezd do režimu chod.

```
Case 15
  Let stav_tech = 3 //Aktivuj režim chod
  Let @DO_TECH_chd = bool (1)//Rozsviť kontrolku chod na rozvaděči
EndCase //15
EndSwitch
```

## 6.2.8 Podprogram „Nouz\_rezim“

Podprogram „Nouz\_rezim“ slouží k rychlému vychlazení a odstavení, resp. vypnutí technologie v případě havarijního stavu technologie. Podmínky pro přechod do nouzového režimu vyhodnocuje průběžně podprogram „Rezim“ v souladu se zadáním v kap. 5.2.5.

Dostane-li se technologie do nouzového režimu, je nezbytné okamžitě uzavřít přívod horkých a znečištěných spalin.

```
Let @DO_RA01_Z = bool(1) //uzavři RA01
Let @DO_RA01_O = bool(0) //neotvírej RA01
```

Současně s uzavíráním ventilu RA01 je nezbytné zajistit přísun studeného chladícího vzduchu, proto se současně s uzavíráním armatury RA01 otevírá i armatura RA02.

```
Let @DO_RA02_Z = bool(0) //neuzavírej RA02
Let @DO_RA02_O = bool(1) //otevři RA02
```

Dále je nezbytné rovněž zabránit dalšímu přehřívání chladícího vzduchu. ŘS proto vypíná i temperaci spalin.

```
Let @DO_H01_strt = bool(0) //vypni temperaci spalin1
Let @DO_H02_strt = bool(0) //vypni temperaci spalin2
```

Aby bylo chlazení technologie co nejefektivnější, spouští ŘS ventilátor V01 na přednastavenou hodnotu výkonu.

```
Let V01_PID_mode.1 = bool (1)//Nastav manuální mód regulátoru Ventilátoru V01
Let V01_PID_mode.0 = bool (0)//Deaktivuj neutrální mód
Let AO_V01_out = V0X_ot_nouz //Nastav otáčky regulátoru na 80% pro rychlé
vyvětrání
Let @DO_V01_strt = bool (1) //Spust ventilátor V01
```

A na stejný výkon nastavuje také ventilátor V02.

```
Let V02_PID_mode.1 = bool (1)//Nastav neutrální mód regulátoru Ventilátoru V02
Let V02_PID_mode.0 = bool (0)//Deaktivuj neutrální mod
Let AO_V02_out = V0X_ot_nouz //Nastav otáčky regulátoru na 50%
Let @DO_V02_strt = bool (1) //Spust ventilátor V02
```

Je-li před ventilátory V01 a V02 naměřena příliš vysoká teplota vzdušiny, ŘS otevře naplno ještě přísávací regulační klapku chladícího vzduchu.

```
Let @OTE_RA05 = If (AI_TI04_A1.3, bool (1), bool (0)) //pokud je teplota
před ventilátory vysoká otevři přísávání - ochrana ventilátorů.
If @OTE_RA05
```

```

Let RA05_PID_mod.1 = bool (1)
Let AO_RA05_out = 100
EndIf

```

Nouzový režim se deaktivuje a technologie přechází do stavu vypnuto, je-li teplota ve filtru nižší než 100 °C a přísávací klapka chladícího vzduchu je téměř uzavřena (otevřena na méně než 20 %) po přednastavenou dobu.

```

Let @ST_stp8_t_o = IF ((AI_TI02 < 100) AND (AI_RA05_in < 20), bool (1),
bool (0)) //Kontrola, zdali je TI < 100 a RA05 < 20 %
TimerOn @ST_stp8_t_o, T_Stp8_del0, @ST_stp8_to2, time //Timer pro odpočet
časové prodlevy, kdy je splněna výše uvedená podmínka
Let stav_tech = IF (@ST_stp8_to2, 1, stav_tech) //Kontrola možnosti ukončit
nouzový režim

```

## 6.2.9 Podprogram „Odstavení“

Podprogram „Odstavení“ zajišťuje bezpečný přechod technologie z režimu „Chod“ do režimu „Vypnuto“. Z důvodu rozsahu a požadavku na sekvenční chod je podprogram „Odstavení“ rozčleněn do kroků, které řídicí systém vykonává opět postupně.

```
Switch Krok_odstav
```

Podobně jako v nouzovém režimu, je i v režimu odstavení technologie nezbytné, aby byl nejdříve uzavřen přívod horkých spalin do technologie. Proto se nejdříve ze všeho uzavírá armatura na procesním proudu spalin.

```

case 0
Let @ST_RA01_O = bool (0) //Uzavři armaturu RA01
Let @ST_RA01_Z = bool (1)
fb_Ventil2 T_ovrrn_RA01, @BL_RA01, @ST_RA01_Z, @ST_RA01_O,
@DO_RA01_O, @DO_RA01_Z, Pos_RA01_Akt, @DI_RA_01_O, @DI_RA_01_Z,
@ST_RA01_AL, @SOP_RA01_O, @SOP_RA01_Z //Vykonání funkčního bloku, který
uzavře armaturu RA01
Let Krok_odstav = IF (@DI_RA_01_Z , 1, 0) //Kontrola provedení
kroku č.0
endcase

```

Jakmile je uzavřen přívod horkých spalin do technologie systém otevírá armaturu RA02. Je tím zajištěno přísávání chladícího vzduchu do technologie.

```

case 1
Let @ST_RA02_O = bool (1) //Otevři armaturu RA02
Let @ST_RA02_Z = bool (0)
fb_Ventil2 T_ovrrn_RA02, @BL_RA02, @ST_RA02_Z, @ST_RA02_O,
@DO_RA02_O, @DO_RA02_Z, Pos_RA02_Akt, @DI_RA_02_O, @DI_RA_02_Z,
@ST_RA02_AL, @SOP_RA02_O, @SOP_RA02_Z //Vykonání funkčního bloku, který
otevře armaturu RA02
Let Krok_odstav = IF (@DI_RA_02_O , 2, 1) //Kontrola provedení
kroku č.1
endcase

```

Řídicí systém následně uzavírá přívod redukčního činidla spolu s přívodem polutantů. Jakmile je odpojen od napětí každý z ventilů RA03 a RA04, blokuje ŘS jejich otevření.



```

case 2
  Let @DO_NH3_strt = bool (0) //Uzavři ventil RA03
  Let @DO_NOx_strt = bool (0) //Uzavři ventil RA04
  Let @BL_RA03 = bool (1) //Blokuj armaturu RA03
  Let @BL_RA04 = bool (1) //Blokuj armaturu RA04
  Let Krok_odstav = IF (!@DO_NH3_strt AND @BL_RA03 AND !
@DO_NOx_strt AND @BL_RA04, 3, 2) //Kontrola splnění kroku č.2
endcase

```

Krok číslo tři testuje, zda-li se regulátor, kterým je ovládána regulační armatura RA05, nenachází v manuálním nebo neutrálním režimu. Ovládání této armatury v automatickém režimu je nezbytné pro zajištění teploty spalin pod maximální pracovní teplotou ventilátorů V01 a V02.

```

case 3
  Let @AL_stp3_ods = IF(RA05_PID_mod.0 OR RA05_PID_mod.1, bool
(1), bool (0)) //Proměnná @AL_stp3_ods upozorňuje na zablokovanou regulaci
RA05
  Let Krok_odstav = IF (!@AL_stp3_ods, 4, 3) //Kontrola splnění
kroku č.3
endcase

```

Aby mělo chlazení technologie smysl, je nutné odstavit oba ohřevy spalin. Toto řeší následující krok.

```

case 4
  Let @DO_H01_strt= bool (0) // Vypni temperaci spalin - těleso
č.1
  Let @DO_H02_strt= bool (0) // Vypni temperaci spalin - těleso
č.2
  Let Krok_odstav = IF (!@DO_H01_strt AND !@DO_H02_strt, 5, 4)
//Kontrola splnění kroku č.4
endcase

```

Vzhledem k tomu, že technologií již neproudí horké (a zaprášené) spaliny, je možné odstavit i kompresor stlačeného vzduchu K01, který dodává médium pro regeneraci filtru.

```

case 5
  Let @DO_K01_strt = bool (0) // Vypni kompresor
  Let Krok_odstav = IF (!@DO_K01_strt, 6, 5) //Kontrola splnění
kroku č.5
endcase

```

K rychlému a správnému vychlazení technologie je použito sací síly dopravních ventilátorů V01 a V02. Oba tyto ventilátory jsou v kroku č. 7 a 8 odblokovány, nastaveny do manuálního režimu a jejich výkon je nastaven na 50 %.

```

case 6
  Let V01_PID_mode.1 = bool (1) //Nastav manuální mód regulátoru
Ventilátoru V01
  Let V01_PID_mode.0 = bool (0) //Deaktivuj neutrální mod
  Let AO_V01_out = 50 //Nastav otáčky regulátoru na 50%
  Let @DO_V01_strt = bool (1) //Spust ventilátor V01
  Let Krok_odstav = IF (((@DI_V01_run) and (AI_V01_ot > 45)), 7,
6) //Kontrola splnění kroku č.6

```

```

endcase

case 7
  Let V02_PID_mode.1 = bool (1) //Nastav neutrální mód regulátoru
Ventilátoru V02
  Let V02_PID_mode.0 = bool (0) //Deaktivuj neutrální mód
  Let AO_V02_out = 50 //Nastav otáčky regulátoru na 50%
  Let @DO_V02_strt = bool (1) //Spust ventilátor V02
  Let Krok_odstav = IF ((@DI_V02_run) and (AI_V02_ot > 45), 8,
7)//Kontrola splnění kroku č.7
endcase

```

Poklesne-li teplota ve filtru (TI02) a je-li regulační klapka otevřena na méně než 20 %, jinými slovy, nepřisává-li již velké množství chladícího vzduchu, pak odpočítej bezpečnostní prodlevu a přejdi k dalšímu kroku.

```

case 8
  Let @ST_stp8_t_o = IF ((AI_TI02 < 100) AND (AI_RA05_in < 20),
bool (1), bool (0)) //Kontrola, zdali je TI < 100 a RA05 < 20 %
  TimerOn @ST_stp8_t_o, T_Stp8_del0, @ST_stp8_to2, time //Timer
pro odpočet časové prodlevy, kdy je splněna výše uvedená podmínka
  Let Krok_odstav = IF (@ST_stp8_to2, 9, 8) //Kontrola splnění
kroku č.8
endcase

case 9
  Let @DO_V01_strt = bool (0) //Vypni ventilátor V01
  Let @DO_V02_strt = bool (0) //Vypni ventilátor V02
  Let Krok_odstav = IF (!@DO_V01_strt AND !@DO_V01_strt , 10, 9)
//Kontrola splnění kroku č.9
endcase

```

Před vypnutím technologie ŘS odstaví systém regenerace filtru.

```

case 10
  Let @DO_MSC_strt = bool (0)//Vypni automatickou regeneraci
filtru
  Let Krok_odstav = IF (!@DO_MSC_strt, 11, 10)//Kontrola splnění
kroku č.10
endcase

```

Dále ŘS uvede regulační armaturu RA05 do středové polohy. Toto opatření urychluje dosažení požadovaných poloh při nájedzu technologie.

```

case 11
  Let PID_RA05_Mod.1 = bool (1) //Nastav manuální režim
regulátoru RA05
  Let AO_RA05_out = 50 //Nastav RA05 na 50%
  Let Krok_odstav = IF (AI_RA05_in > 38, 12, 11) //Kontrola
splnění kroku č.11
endcase

```

Posledním úkonem vykonávaným v sekvenci nájedz je přepnutí technologie z režimu „Odstavení“ do režimu „Vypnuto“.

```

case 12

```

```

Let stav_tech = 1 //Technologie vypnuta
endcase
EndSwitch

```

## 6.2.10 Podprogram „R1“

Podprogram „R1“ v sobě zahrnuje je klíčovou část uživatelské aplikace – přepočít skutečného průtoku měřeného průtokoměrem FI01 na podmínky průtoku spalin filtrem F01. Pro přepočít hmotnostního průtoku spalin filtrem bylo využito tepelné bilance proudů dle rce. 4.

$$Q_{(spaliny - ochlazené)} = Q_{(spaliny - horké)} + Q_{(vzduch)}$$

*rce. 4: Tepelná bilance proudů*

ze znalosti fyziky lze rce. 4 rozvinout do tvaru:

$$m_{(spaliny - ochlazené)} \cdot cP_{(spaliny - ochlazené)} \cdot T_{(spaliny - ochlazené)} = m_{(spaliny - horké)} \cdot cP_{(spaliny - horké)} \cdot T_{(spaliny - horké)} + m_{(vzduch)} \cdot cP_{(vzduch)} \cdot T_{(vzduch)}$$

Pro další úpravu rovnice zavedeme následující dva předpoklady. Měrná tepelnou kapacitu spalin považujeme nezávislou na teplotě a vzhledem k obsahu vzduchu v ochlazených spalinách i za konstantní (pro náš případ uvažujeme že měrná tepelná konstanta spalin je 1039 KJ/kgK).

Po úpravách pak dostaneme rovnici rce. 5.

$$m_{(spaliny - horké)} = \frac{m_{(spaliny - ochlazené)} \cdot cP_{(spaliny)} \cdot T_{(spaliny - ochlazené)} - cP_{(vzduch)} \cdot T_{(vzduch)}}{cP_{(spaliny)} \cdot T_{(spaliny - horké)} - cP_{(vzduch)} \cdot T_{(vzduch)}}$$

*rce. 5: Rovnice pro výpočet hmotnostního toku horkých spalin filtrem*

Následující příkaz provádí přepočít průtoku filtrem dle rovnice rce. 5.

```

Let FI_Filtrem = AI_FI01 * ((cp_Spaliny * (AI_TI04 + 273,15)) -
(cp_vzduch * AI_TI05)) / ((cp_Spaliny * (AI_TI03 + 273,15)) -
(cp_vzduch * (AI_TI05 + 273,15))) // přepočít na průtok spalin filtrem

```

Příkaz PID realizuje řízení průtoku spalin filtrem dle přepočtené hodnoty průtoku.

```

PID FI01_SP, FI_Filtrem, AO_V01_out, V01_PID_mode, V01_PID_para

```

Vzhledem k sériovému řazení ventilátorů V01 a V02, bylo rozhodnuto o řízení výkonu ventilátoru V02 provázaně s ventilátorem V01. Důvodem přítomnosti ventilátoru V02 v technologii je výpočtová chyba při návrhu technologie. Po sestavení a zprovoznění technologie INTEQ II bylo zjištěno, že samostatně navržený ventilátor V01 není schopen překonat tlakovou ztrátu filtračního elementu ve filtrační komoře. Proto byl ventilátoru V01 doplněn sériově řazeným ventilátorem V02. Toto řazení ventilátorů nezvyšuje hmotnostní průtok spalin dopravovaný přes technologii, zvyšuje však tlakový spád, který soustrojí dopravních ventilátorů vyvine. Žádost výkonu ventilátoru z PID regulátoru je tedy kaskádována i na vstup frekvenčního měniče ovládajícího ventilátor V02.

```

Let AO_V02_out = AO_V01_out

```

## 6.2.11 Podprogram „R2“

Podprogram R2 slouží k regulaci míry otevření přisávací klapky „RA05“ tak, aby nebylo na vstupu do ventilátorů dosaženo teploty vyšší než je maximální přípustná pracovní teplota ventilátorů. Regulace na danou teplotu je realizována regulační smyčkou:

```
PID TI_04_setP, AI_TI04, AO_RA05_out, RA05_PID_mod, RA05_PID_par
```

## 6.2.12 Podprogram „Regenerace“

Podprogram „regenerace“ zajišťuje regeneraci (zpětný profuk) filtračního elementu. Je-li tento podprogram zavolán, jsou v deseti sekundových intervalech spouštěny regenerační procesy (profuky) v délce 3 sekundy.

Je-li zaznamenán povel z tlačítka rozvaděče ke spuštění regenerace, pak dojde ke startu regenerace a současně s tím k nastavení blokace startu regenerace na dobu deseti sekund.

```
TimerOff @DI_MSC_Run, 10000, @blok_regen, time
```

Vyhodnotí-li ŘS, že aktuální tlaková ztráta filtračního elementu je vyšší než přednastavení maximum pro zahájení regenerace, pak je bit do něhož se ukládá stav „vysoká tlaková ztráta nastaven do log1).

```
Let @tlak_ztrata = IF (AI_PI02 > DP_Filtr_max, bool (1), bool (0))
```

Nastane-li stav vysoká tlaková ztráta nebo je-li regenerace aktivována z vizualizace a současně s tím neviduje systém blokaci startu regenerace, pak ŘS nastaví příkaz ke spuštění regenerace na log1.

```
Let @spust_regen = if(((@STT_Reg_Run or @tlak_ztrata) and !@blok_regen), bool (1), bool(0))
```

Jakmile je ŘS zaregistrován povel ke spuštění regenerace, pak je aktivován digitální výstup, který dává signál jednocelové jednotce MSC320.1 k zahájení regenerace a následně je počítán čas běhu. Jakmile se časovač dopočítá 3 sekund, pak přepne digitální výstup aktivace regenerace do log0.

```
TimerOff @spust_regen, 3000, @DO_MSC_strt, time
```

Na konci podprogramu jsou bity aktivaci regenerace z vizualizace i ke spuštění regenerace resetovány.

```
Let @STT_Reg_Run = bool (0)
```

```
Let @spust_regen = bool (0)
```

Posledním příkazem, který se v podprogramu regenerace vykonává, je kontrola, zda-li jednocelová jednotka MSC nehlásí stav „chyba regenerace. Pokud je tento stav zaznamenán, pak předej tuto informaci do ŘS (tj. setuj bit @AL\_MSC\_Err).

```
Let @AL_MSC_Err = If (@DI_MSC_Err, bool(1), bool (0))
```

### 6.2.13 Podprogram „Režim“

Podprogram „Režim“ je koncipován jako proces, který rozhoduje o aktuálně běžícím režimu technologie. Číslo aktuálně zvoleného režimu je uloženo v proměnné stav\_tech, podle jejíž hodnoty se v procesu Hlavni\_proc volají odpovídající podprogramy.

```
//nájezd
```

Vyhodnotí-li ŘS žádost na nájezd technologie z vizualizace, nastaví stav technologie na hodnotu 2 (nájezd) a vynuluje krok nájezdu.

```
if @ST_RS_chod //z vizualizace
  Let stav_tech = 2
  Let krok_najezdu = 0
EndIf
```

Vyhodnotí-li ŘS žádost na nájezd technologie z předního panelu rozvaděče, nastaví stav technologie na hodnotu 2 (nájezd) a vynuluje krok nájezdu. Stav č. 3 (chod) je automaticky nastaven v posledním kroku podprogramu „Najezd“ (viz. kap. 6.2.7)

```
if @DI_RS_chod //z rozvaděče
  Let stav_tech = 2
  Let krok_najezdu = 0
EndIf
```

Vyhodnotí-li ŘS žádost na odstavení technologie z vizualizace, nastaví stav technologie na hodnotu 4 (odstavení) a vynuluje krok odstavení.

```
//odstavení
If @ST_RS_stop //z vizualizace
  Let stav_tech = 4
  Let krok_odstav = 0
EndIf
```

Vyhodnotí-li ŘS žádost na odstavení technologie z předního panelu rozvaděče, nastaví stav technologie na hodnotu 4 (odstavení) a vynuluje krok odstavení.

```
if @DI_RS_stop // z rozvaděce
Else
  Let stav_tech = 4
  Let krok_odstav = 0
EndIf
```

Stav č. 0 (technologie vypnuta) je automaticky nastaven v posledním kroku podprogramu „Odstavení“ (viz. kap. 6.2.9).

Splnění následujících podmínek - současné překročení hodnoty HH – bit č. 3 v log 1 - a její neodkvitování – bit č. 7 v log 0 - má za následek přechod technologie do nouzového režimu, vychlazení technologie a její následné vypnutí.

```
//nouzový režim
  Let stav_tech = if (AI_TI01_A1.3 AND !AI_TI01_A1.7, 5, stav_tech)
//nouzový režim od teploty TI01
  Let stav_tech = if (AI_TI02_A1.3 AND !AI_TI02_A1.7, 5, stav_tech)
```

```
//nouzový režim od teploty TI02
  Let stav_tech = if (AI_TI03_Al.3 AND !AI_TI03_Al.7, 5, stav_tech)
//nouzový režim od teploty TI03
  Let stav_tech = if (AI_TI04_Al.3 AND !AI_TI04_Al.7, 5, stav_tech)
//nouzový režim od teploty TI04
  Let stav_tech = if (AI_PI02_Al.3 AND !AI_PI02_Al.7, 5, stav_tech)
//nouzový režim od tlakové difference filtru
```

## 6.2.14 Podprogram „Signal\_Alarm“

Podprogram „Signal\_Alarm“ obstarává pouze aktivaci světelné akustické signalizace alarmu v případě splnění následujících podmínek. Jedná se opět o překročený hodnoty HH u vybraných veličin a současně neodkvitování tohoto poruchového stavu.

```
Let @DO_TECH_err = IF(@DI_MSC_Err, Bool (1), Bool (0)) // je-li regenerace v
poruše, dej světelný a zvukový alarm
Let @DO_TECH_err = IF(AI_TI01_Al.3 AND !AI_TI01_Al.7, Bool (1), Bool (0)) //
Let @DO_TECH_err = IF(AI_TI02_Al.3 AND !AI_TI02_Al.7, Bool (1), Bool (0)) //
Let @DO_TECH_err = IF(AI_TI03_Al.3 AND !AI_TI03_Al.7, Bool (1), Bool (0)) //
Let @DO_TECH_err = IF(AI_TI04_Al.3 AND !AI_TI04_Al.7, Bool (1), Bool (0)) //
Let @DO_TECH_err = IF(AI_PI01_Al.3 AND !AI_PI01_Al.7, Bool (1), Bool (0)) //
Let @DO_TECH_err = IF(AI_PI02_Al.3 AND !AI_PI02_Al.7, Bool (1), Bool (0)) //
```

## 6.2.15 Podprogram „Vypnuto“

Podprogram „Vypnuto“ zajišťuje přechod technologie do takového stavu, ve kterém se nebude pohybovat žádné z připojených zařízení – všechna zařízení připojená na digitální výstupy technologie jsou přepnuta do deaktivovaného stavu.

Armatura RA02 otevřena a oba ovládací signály jsou v tomto stavu deaktivovány.

```
Let @DO_RA02_Z = bool (0) //otevři armaturu RA02
Let @DO_RA02_O = If (!@DI_RA_02_O, bool (1), bool (0))
```

Armatura RA01 otevřena a oba ovládací signály jsou v tomto stavu deaktivovány.

```
Let @DO_RA01_Z = If (!@DI_RA_01_Z, bool (1), bool (0)) //uzavři armaturu
RA01
Let @DO_RA01_O = bool (0)
```

Je deaktivován i chod regenerace filtračního elementu.

```
Let @DO_MSC_strt = bool (0) // deaktivuj chod regenerace
```

Postupně jsou deaktivovány výstupy inicializující chod jednotlivých zařízení.

```
Let @DO_TECH_err = bool (0) // zhasni kontrolku chyby technologie
Let @DO_TECH_chd = bool (0) // zhasni kontrolku chodu technologie
Let @DO_V01_strt = bool (0) // vypni chod ventilátoru V01
Let @DO_V02_strt = bool (0) // vypni chod ventilátoru V02
```

```
Let @DO_K01_strt = bool (0) // vypni kompresor K01
```

```
Let @DO_H01_strt = bool (0) //vypni topná tělesa
Let @DO_H02_strt = bool (0)
```

```
Let @DO_rez1 = bool (0) // vypni i rezervní výstupy
```

```
Let @DO_rez2 = bool (0)
```

## 6.3 Funkční bloky

Funkční bloky svým použitím a částečně i syntaxí připomínají funkce v běžných programovacích jazycích (např. v jazyce C). Smyslem používání funkčních bloků při tvorbě uživatelské aplikace je:

- zpřehlednění zdrojového kódu uživatelské aplikace,
- možnost opakovaně použít funkční blok s odlišnými vstupně/výstupními proměnnými,
- zmenšení velikosti uživatelské aplikace.

V následujících podkapitolách jsou okomentovány všechny uživatelsky definované funkční bloky použité pro řízení technologie dle zadání v kapitole 5.

### 6.3.1 Funkční blok „fb\_AI\_check“

Funkční blok „fb\_AI\_check“ je určen ke kontrole alarmových stavů – tzn. vyšetřuje, zda-li je měřená hodnota v intervalu L (alarm Low) až H (alarm High). Je-li měřená veličina mimo tento alarm je dálejištěováno, zda-li není dosaženo i nebezpečných hodnot dané veličiny (alarmy LL a HH). Je-li zaznamenán některý z alarmových stavů, je tento stav zaznamenán nastavením odpovídajícího bitu proměnné alarmového stavu (datový typ integer).

Význam jednotlivých bitů alarmového stavu byl zvolen následovně:

- bit č. 0 – alarm LL,
- bit č. 1 – alarm L,
- bit č. 2 – alarm H,
- bit č. 3 – alarm HH,
- bit č. 4 – kvitace alarmu LL,
- bit č. 5 – kvitace alarmu L,
- bit č. 6 – kvitace alarmu H,
- bit č. 7 – kvitace alarmu HH.

Vstupně/výstupní parametry funkčního bloku „fb\_TI\_emerg“ jsou:

Input_val	Vstupní proměnná	Vstupní hodnota měřené veličiny
@reset	Vstupní proměnná	Vynulování alarmů
Alarms	Výstupní proměnná	Proměnná alarmového stavu
Lim_Values	Vstupní proměnná	Limitní hodnoty

Lim\_Val\_Del      Vstupní proměnná      Zpoždění Limitních hodnot než přijde k nahlášení alarmu

Prvním krokem vykonávání funkčního bloku je reset alarmových stavů dané proměnné alarmového stavu, pokud je zaznamenán signál reset – reset všech alarmů z vizualizace.

```
// reset alarmů
Let Alarms.0 = If (@reset, bool (0), Alarms.0) //alarm hodnoty LL
let Alarms.1 = If (@reset, bool (0), Alarms.1) //alarm hodnoty L
let Alarms.2 = If (@reset, bool (0), Alarms.2) //alarm hodnoty H
let Alarms.3 = If (@reset, bool (0), Alarms.3) //alarm hodnoty HH
```

Porovnání aktuálně měřené hodnoty s hodnotou alarmu LL.

```
Let TMP.0 = if ((Input_val<=Lim_Values[0,0]), bool(1), bool(0))// kontrola,
zda-li měřená hodnota není nebo rovna menší než hodnota LL
```

Je-li zaznamenána hodnota nižší než hodnota alarmu LL, pak čítač začne odpočítávat prodlevu přednastavenou v poli zpoždění limitních hodnot. Pokud alarm trvá i poté, je zapsán do proměnné alarmových stavů zapsán bit příslušného alarmu.

```
TimerOn TMP.0, Lim_Val_Del[0,0], Alarms.0, time
```

Porovnání aktuálně měřené hodnoty s hodnotou alarmu L. Následuje stejně jako u alarmu LL odpočet přednastavené prodlevy.

```
Let TMP.1 = if ((Input_val<=Lim_Values[1,0]), bool(1), bool(0))// kontrola,
zda-li měřená hodnota není nebo rovna menší než hodnota LL
TimerOn TMP.1, Lim_Val_Del[1,0], Alarms.1, time
```

Porovnání aktuálně měřené hodnoty s hodnotou alarmu H. Následuje stejně jako u alarmu LL odpočet přednastavené prodlevy.

```
Let TMP.2 = if ((Input_val>=Lim_Values[2,0]), bool(1), bool(0))// kontrola,
zda-li měřená hodnota není nebo rovna menší než hodnota LL
TimerOn TMP.2, Lim_Val_Del[2,0], Alarms.2, time
```

Porovnání aktuálně měřené hodnoty s hodnotou alarmu HH. Následuje stejně jako u alarmu LL odpočet přednastavené prodlevy.

```
Let TMP.3 = if ((Input_val>=Lim_Values[3,0]), bool(1), bool(0))// kontrola,
zda-li měřená hodnota není nebo rovna menší než hodnota LL
TimerOn TMP.3, Lim_Val_Del[3,0], Alarms.3, time
```

### 6.3.2 Funkční blok „fb\_Aut\_M\_Chc“

Funkční blok „fb\_Aut\_M\_Chc“ je jednoduchý funkční blok, jehož úkolem ze provést test, zda-li jsou všechny nezbytné akční členy přepnuty v automatickém režimu. Je-li tomu tak, pak se na do výstupního bitu nastaví log 1.

Vstupně/výstupní parametry funkčního bloku „fb\_Aut\_M\_Chc“ jsou:



1. @RA01\_aut\_R    Vstupní proměnná    RA01 v automatickém režimu
2. @RA02\_aut\_R    Vstupní proměnná    RA02 v automatickém režimu
3. @RA05\_Aut\_R    Vstupní proměnná    RA05 v automatickém režimu
4. @V0X\_aut\_R    Vstupní proměnná    Ventilátory v automatickém režimu
5. @ACT\_aut\_OK    Výstupní proměnná    Všechny akční členy jsou v automatickém režimu

Funkční blok vyhodnocuje pouze logický součin vstupních proměnných, jehož výsledek předává na svůj výstup.

```
Let @ACT_aut_OK = IF (@RA01_aut_R and @RA02_aut_R and @RA05_Aut_R and
@V0X_aut_R, bool (1), bool (0))
```

### 6.3.3 Funkční blok „fb\_noErr\_Chc“

Funkční blok „fb\_noErr\_Chc“ je funkční blok, který je spolu s funkčním blokem „fb\_Aut\_M\_Chc“ použit v nultém kroku podprogramu „nájezd“. Tento funkční blok sloučí k testování úvodní podmínky připravenosti a připojenosti jednotlivých komponent technologie, resp. jejich pohonů.

Vstupně/výstupní parametry bloku:

- |               |                  |                                 |
|---------------|------------------|---------------------------------|
| @ST_V0X_ready | Vstupní proměnná | Ventilátory připraveny          |
| @ST_K01_ready | Vstupní proměnná | Kompresor K01 připraven         |
| @DConn_K01_Kv | Vstupní proměnná | Kompresor K01 odpojen - kvitace |
| @Conn_K01     | Vstupní proměnná | Kompresor K01 připojen          |
| @No_Err       | Vstupní proměnná | Žádný pohon v poruše            |

Dle zadání musí být ventilátory ve stavu připraveno a kompresor připojen (podmínka A) připojen nebo kvitováno, že není připojen (podmínka B). Nastane-li jeden z těchto stavů, je na výstup bloku následně přenesena log 1.

```
//Není-li žádný pohon v poruše a kompresor je připojen a není v poruše, pak
nastav @A na log1
Let @A = IF (@ST_V0X_ready AND @Conn_K01 AND @ST_K01_ready, bool (1),
bool(0))
//Není-li žádný pohon v poruše a kompresor není připojen a je odkvitováno
jeho připojení, pak nastav @B na log1
Let @B = IF (@ST_V0X_ready AND !@Conn_K01 AND @DConn_K01_Kv, bool (1),
bool(0))
//Je-li splněna podmínka @A nebo @B, pak umožni kontrolu další podmínky
Let @No_Err = IF(@A OR @B, bool(1) , bool (0))
```

### 6.3.4 Funkční blok „fb\_Solenoid“

Funkční blok „fb\_Solenoid“ je funkční blok vytvořený pro ovládání solenoidových

ventilů RA03 a RA04 (ventily dávkování redukčního činidla a polutantů).

Vstupně/výstupní parametry bloku:

@Blokace	Vstupní proměnná	Uzavři a Blokace chod armatury
@Otevri	Vstupní proměnná	Otevři armaturu
@InOtevirej	Vstupní proměnná	Otevři ventil - Set on press
@Cykluj	Vstupní proměnná	Aktivuj režim cyklování
T_OTE	Vstupní proměnná	Čas otevření armatury při Flip-Flop
T_ZAV	Vstupní proměnná	Čas zavření armatury při Flip-Flop
@Out_OTE	Výstupní proměnná	Příkaz otevři armaturu

V úvodu funkčního bloku se provádí test na blokaci armatury. Je-li tento stav detekován, pak deaktivuj napětí na cívce solenoidového ventilu.

```
If @Blokace //Proved test blokace-chodu
    //Je-li zjištěna blokace chodu, pak
    Let @Out_OTE = bool (0) //deaktivuj výstupní signál otevírej
```

**Else**

V opačném případě zjišťuj, je-li zadán požadavek na režim cykluj. Je-li žádán režim cykluj, pak cyklus dle přednastavených intervalů. K otevírání a zavírání solenoidových ventilů je použit modul pulzně-šířkové modulace PWM.

```
If @Cykluj
    Let perioda = T_OTE + T_ZAV
    Let Pom_cas_O = T_OTE * 100 / perioda
    PWM 0x0009, Pom_cas_O, perioda, 0.000, perioda, @Out_OTE
    Let @Out_OTE = If (@InOtevirej, bool (1), @Out_OTE)
```

Je-li zachycen požadavek na otevření solenoidového ventilu Set-on-press, pak otevři solenoidový ventil na požadovanou dobu (doba stisku tlačítka otevírej ve vizualizaci) a to bez ohledu na požadavek režimu „cykluj“. Pokud je nastaven režim cykluj a současně s tím je vyslán požadavek na Set-on-press otevři, tak je ventil otevřen na dobu danou požadavkem set-on-pres a po jeho uvolnění ŘS pokračuje v režimu cykluj.

```
Else
    Let @Out_OTE = If (@InOtevirej, bool (1), bool (0)) //
SET_ON_PRESS ventilu
EndIf
```

**EndIf**

### 6.3.5 Funkční blok „fb\_Ventil2“

Funkční blok „fb\_Ventil2“ je uživatelský blok vytvořený k ovládní uzavíracího ventilu RA01 a RA02.

Vstupně/výstupní parametry bloku jsou:

Cas_prebehu	Vstupní proměnná	Čas přeběhu armatury
@Blokace	Vstupní proměnná	Blokace chodu armatury
@Zavri	Vstupní proměnná	Zavři armaturu na (0 %)
@Otevri	Vstupní proměnná	Otevři armaturu na (100 %)
@Otevirej	Výstupní proměnná	Výstupní bit otevírej
@Zavirej	Výstupní proměnná	Výstupní bit zavírej
Akt_pozice	Výstupní proměnná	Aktuální pozice armatury
@Konc_OTE	Vstupní proměnná	Signál koncového snímače Otevřeno
@Konc_ZAV	Vstupní proměnná	Signál koncového snímače Zavřeno
@Alr_konc	Výstupní proměnná	Alarm koncových spínačů - nepravděpodobný stav
@InOtevirej	Vstupní proměnná	Otevři ventil - Set on press
@InZavirej	Vstupní proměnná	Zavři ventil - Set on press

V úvodu bloku zkontroluj, zda-li není požadavek na blokaci chodu armatury.

**If** @Blokace

Je-li zjištěn požadavek na blokaci chodu armatury, pak resetuj povel „zavírej“ i „otevírej“. Tím je zajištěno, že nedojde k pohybu armatury ani jedním směrem.

```
Let @Otevirej = bool (0)
Let @Zavirej = bool (0)
```

Pokud není detekován požadavek na blokaci armatury, pak pokračuj ve vyšetřování jaký stav armatury je požadován.

**Else**

Detekce žádosti otevírej/zavírej režimu Set-on-press.

```
Let Tmp.1 = If (@InZavirej or @InOtevirej, bool (1), bool(0)) //
pomocná proměnná, detekce žádost SOP
```

Je-li detekce žádosti otevírej/zavírej režimu Set-on-press úspěšná, ŘS pak dále vyhodnocuje, zda-li je vyslán požadavek na chod Otevírej či Zavírej.

```
If Tmp.1 //pokud je příkaz SetOnPress otvírej nebo zavírej
Let Tmp.2 = bool (0)
```

Dle detekované žádosti zavírej/otevírej nastaví ŘS jeden z výstupů ŘS se signály do log 1 a druhý do log 0 a vice versa.

```

If @InZavirej //pokud je příkaz SetOnPress zavírej
    Let @Otevirej = bool (0) //neotevírej
    Let @Zavirej = bool (1) //zavírej
EndIf
If @InOtevirej//je příkaz SetOnPress otvírej
    Let @Otevirej = bool (1) //otevírej
    Let @Zavirej = bool (0) //nezavírej
EndIf

```

V opačném případě pak deaktivuj oba výstupy.

```

Else //není příkaz SOP (ani otvírej ani zavírej)
    Let @Otevirej = bool(0) //nuluj otvírej
    Let @Zavirej = bool(0) //nuluj zavírej
Let Tmp.2 = If(@zavri OR @otevri, bool (1), Tmp.2)

```

Následně probíhá detekce požadavků na úplné otevření resp. Zavření armatury. Pro řízení chodu armatury je použit předdefinovaný funkční blok „valve“, kterému je dle druhu žádosti podsouvána rozdílná hodnota žádosti otevření.

```

If Tmp.2
    If @zavri //je požadavek na úplné zavření
        Let zadost = 0 //nastav žádost otevření na uzavřeno
    EndIf
    If @otevri //je požadavek na úplné otevření
        Let zadost = 100
    EndIf
    Valve zadost, Cas_prebehu, Akt_pozice, @Zavirej, @Otevirej
EndIf
EndIf
EndIf

```

Dorazí-li armatura na jeden z koncových snímačů, ŘS deaktivuje oba výstupy ovládající danou armaturu. Tím za bráněno přetěžování pohonu armatury ve stavu zavírání již uzavřené armatury resp. Otvírání již otevřené armatury.

```

If @Konc_OTE
    Let @otevirej = false
    Let @otevri = bool (0)
    Let Tmp.2 = bool (0)
EndIf
If @Konc_ZAV
    Let @zavirej = false
    Let @zavri = bool (0)
    Let Tmp.2 = bool (0)
EndIf

```

Na konci funkčního bloku, se vyhodnocuje, zda-li nenastal nepravděpodobný stav koncových snímačů, což by zapříčinila pozitivní informace z obou koncových snímačů dané armatury ve stejný okamžik.

```

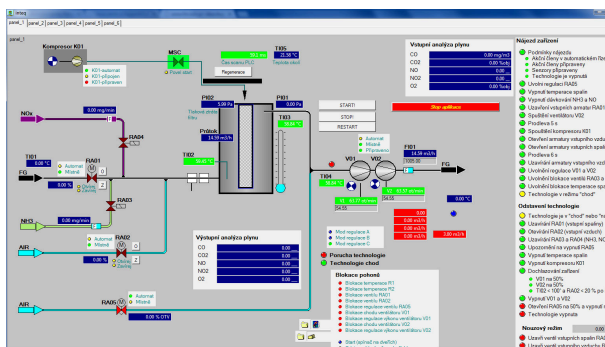
Let @Alr_konc = If(@Konc_OTE AND @Konc_ZAV, bool (1), bool (0))

```

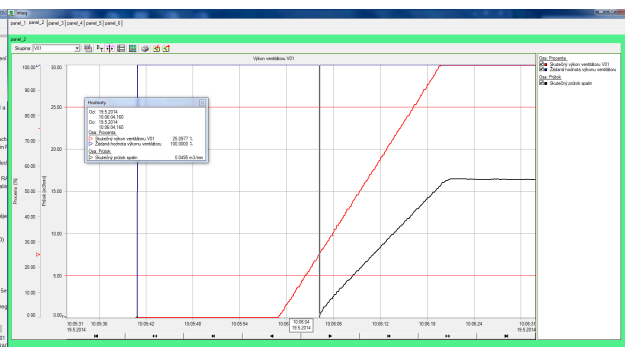
## 7 LADĚNÍ TECHNOLOGIE

V průběhu letního semestru vznikala pomalu první verze uživatelské aplikace určená pro odladění a otestování na skutečné jednotce. Práce na vývoji uživatelské aplikace pro řídicí systém byly zpočátku velmi zdlouhavé. Příčinou pomalého postupu prací byly dva faktory. Prvním, byla počáteční neznalost vývojového prostředí DetStudio společně s definicemi a funkcemi jednotlivých funkčních bloků používaných firmou AMiT. Druhým faktorem znesnadňujícím vývoj aplikace byl fakt, že ve vývojovém prostředí DetStudio není možné spustit režim ladění bez připojeného řídicího systému. K překonání neznalosti vývojového prostředí a tvorby uživatelské aplikace autorovi velmi napomohly školení výrobce řídicího systému, kterých se autor zúčastnil na počátku měsíce března. Překonat nemožnost ladění uživatelské aplikace bez připojeného řídicího systému se ukázalo, jako poměrně závažný problém. Počátkem měsíce května se autorovi podařilo dohodnout se zástupci ústavu procesního inženýrství na VUT Brno. Řídicí systém byl z experimentální jednotky následně demontován a zapůjčen pro účely ladění. Počátkem května byla připravena verze uživatelské aplikace určená k ladění.

Vlastní ladění uživatelské aplikace pak probíhalo ve dnech od 13. 5. 2014 do 19. 5. 2014. Ladění byl přítomen autor práce společně s odborným konzultantem Ing. Chlápkem, který souběžně s laděním uživatelské aplikace prováděl změny v zapojení jednotlivých zařízení S ohledem na to, že jednotka INTEQ II je zařízení experimentální, jeho vývoj si řídí sama škola a zejména jednotka není ještě kompletně hotova po stránce strojní ani elektro, byly tyto zásahy nezbytné. I přes všechny tyto komplikace se však podařilo experimentální jednotku dostat do stavu vhodného pro „studené“ testování a ladění technologie. Ing. Chlápek měl na starosti i přípravu vizualizace vytvořené v programu ControlWeb. Ladění vizualizace probíhalo současně s laděním uživatelské aplikace. Ukázka vizualizačního prostředí je na obr. 10 a 11.



Obr. 10: Vizualizace jednotky INTEQ II



Obr. 11: Vizualizace - příklad odezvy výkonu ventilátoru na jednotkový skok

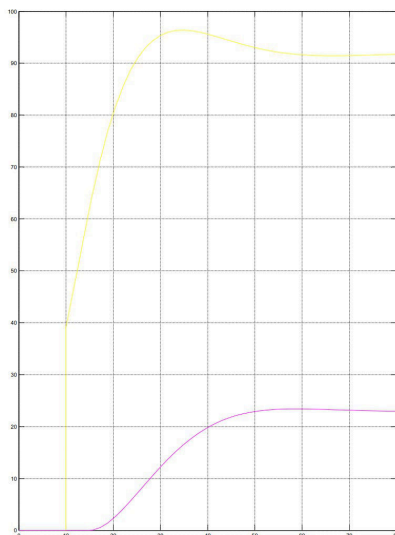
Vizualizace hraje významnou roli v procesu řízení celé technologie. Poskytuje operátorovi technologie přehlednou formou informace o aktuálním stavu technologie a provozních parametrech technologie. Další vlastností vizualizace je funkce uložení a

předávání hodnot proměnných, které nejsou „napevno“ zadefinovány v řídicím systému. Příkladem takovýchto proměnných jsou matice obsahující hodnoty alarmů, prodlev jednotlivých alarmů, matice parametrů použitých regulátorů, atd.

Z již zmíněného důvodu neúplnosti technologie po stránce strojní, probíhalo odladování technologie ve studeném stavu, tzn. nebyl možný nájezd technologie na provozní teploty. Tím pádem bylo nutné zadávat do systému hodnoty vzdálené od pracovních podmínek při provozu na teplotách. I přesto se však krok po kroku, podařilo úplně odladit sekvence „Nájezd“, „Odstavení“, „Nouzový režim“ a režim technologie „Vypnuto“. Režim „Chod“ technologie, který obsahuje i dvě regulační vazby se podařilo po stránce funkčnosti odladit také.

Autor se při odladování regulace soustředil především na regulační smyčku R1 – regulace na průtok plynu filtrační komorou.

Vzhledem k charakteru vyšetřované soustavy - soustava prvního řádu - je pro regulaci soustavy dostačující regulátor PI. Pro vyšetření vyšetření hodnot konstant P a I byl použit program Matlab Simulink.



*Obr. 12: Přechodová charakteristika ventilátorů (odezva na jednotkový skok na vstupu - fialově)*

Přechodová charakteristika transportních ventilátorů na jednotkový skok – skoková změna žádosti na výkon ventilátoru z 0 % na 100 % je znázorněna na obrázku 12. Motory transportních ventilátorů jsou řízeny frekvenčními měniči, které při žádosti na start ventilátoru generují jistou prodlevu o neznámé délce. Nelze proto považovat celý počáteční úsek, ve kterém je odezva systému nulová, za transportní zpoždění.

Pokud danou soustavu namodelujeme v programu Matlab Simulink a použijeme vestavěnou funkci Autotune. Dostaneme hodnoty konstant:

$$P=1,7 \quad \text{a} \quad I=0,2$$

Autor měl snahu ověřit vypočtené hodnoty numerickým výpočtem. Z důvodu nemožnosti

uvést soustavu na hranici stability pouze zvyšováním samostatné P složky, nelze použít metodu Ziegler-Nichols. Vzhledem k nekmitavému průběhu přechodové charakteristiky soustavy by mělo být možné vypočítat koeficienty PI regulátoru metodou seřízení regulátoru dle přechodové charakteristiky. Uvažujeme s počáteční prodlevou cca 10 sekund, která se při regulačním ději nebude projevovat. Je to důsledek zpoždění startu ventilátorů vlivem frekvenčních měničů. Z průběhu přechodové charakteristiky na obr. 12 lze odečíst následující hodnoty:

Doba průtahu:  $T_u = 8 \text{ s}$

Doba náběhu:  $T_n = 32 \text{ s}$

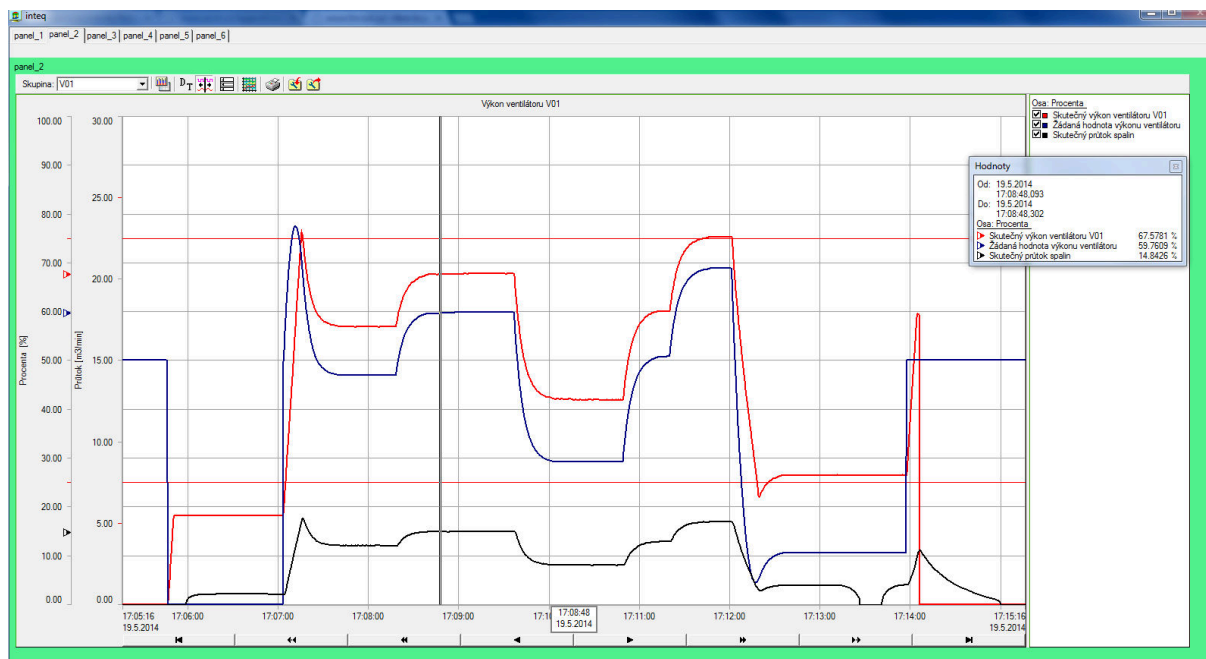
konstanta soustavy:  $k = 20$

Dle empirických vztahů pro výpočet konstant regulátoru PI:

$$P = \frac{0,9 \cdot 1}{k} \cdot \frac{T_n}{T_u} = \frac{0,9 \cdot 1}{20} \cdot \frac{32}{8} = 0,18 \quad \text{a} \quad I = 3,5 \cdot T_u = 3,5 \cdot 8 = 28$$

Vypočtené hodnoty se navzájem velmi liší, proto zvolil autor experimentální přístup nastavování konstant regulátoru. Jako výchozí stav, byly použity hodnoty, vyplynuly z vyšetřování soustavy programem Matlab Simulink.

Soustava se při regulaci s takovýmto nastavení regulátoru jevila jako soustava na mezi stability - kmitající s netlumenými kmity o konstantní amplitudě okolo žádané hodnoty. K utlumení kmitů bylo nezbytné snížit hodnotu konstanty P. Iteračním postupem, kdy byla vždy ponížena hodnota regulační konstanty P a následně sledována odezva na změnu žádané hodnoty průtoku spalin, byla nalezena hodnota regulační konstanty 0,17. Vzhledem k nastavení pásma necitlivosti regulátoru na 0,1 m<sup>3</sup>/min se ukázala regulační konstanta I jako vhodná a proto byla ponechána.



Obr. 13: Průběh chodu technologie, postupně režimy "Nájezd", "Chod" a "Odstavení" technologie

Průběh regulace je znázorněn na obr. 13.

Z obrázku je patrný průběh naprogramovaných režimů uživatelské aplikace. V čase přibližně 17:05:45 přišel systému povel Start technologie. Řídicím systémem byl zavolán podprogram Nájezd technologie, jehož kroky se postupně vykonávaly až do času cca 17:07:05.

V tento okamžik přechází technologie do režimu autonomního chodu a ustavuje automaticky hodnotu průtoku filtračním zařízením na 15 m<sup>3</sup>/min. Po inicializaci regulátoru trvá jistou chvíli než se regulátor „naučí“ (naintegruje dostatek hodnot Integrovaní složky regulátoru). Při následujících přechodových stavech reguluje poměrně rychle bez překmitu. Mírný překmit se objevuje pouze u přechodů z pásma maximálních hodnot průtoku na minimální a naopak. Vzhledem nepříliš častému výskytu takto extrémních změn požadovaného výkonu v režimu chodu technologie není takový překmit na obtíž. Konstanta proporcionálního členu nebyla dále snižována za účelem omezení překmitu, neboť by to znamenalo prodloužení doby regulačního děje. V režimu chodu bylo dále provedeno pět změn požadavku průtoku spalin v časech cca 17:08:20, 17:09:40, 17:10:50, 17:11:20 a 17:12:00. Při posledním požadavku byl nastaven požadavek na téměř minimální výkon ventilátoru (4 m<sup>3</sup>/min).

V čase cca 17:12:30 byl technologii dán povel k odstavení. Následně dochází k uzavírání armatury RA01 (proud spalin), následuje krátká prodleva s nulovým průtokem spalin (uzavřena armatura RA01 i RA02) a následně je otevřena armatura RA02 (chladicí vzduch), čímž se začne technologie dochlazovat. Jakmile je teplota v reaktoru nižší než 100°C a klapka RA05 je otevřena ne méně než 20 %, pak se technologie vypíná. Ze záznamu průběhu průtoku je patrné že k odstavení technologie došlo záhy po otevření armatury RA02, neboť ladění probíhalo za studena a technologie tedy byla vychlazena po celou dobu.

Z důvodu testování technologie za studena nebylo možné odladit regulační smyčku R2, protože chladicí vzduch měl stejnou teplotu jako byla teplota vzdušiny dopravované ventilátory. Postup nastavení konstant by však byl analogický jako v případě regulační smyčky R1.



## 8 ZÁVĚR

Zhodnotíme-li předkládanou práci z pohledu jejího zadání (viz. str. 2), je možno prohlásit, že všech pět bodů zadání bylo splněno.

Autor práce v minulosti dokončil vysokoškolské studium na ústavu procesního a ekologického inženýrství fakulty strojního inženýrství na VUT v Brně, tedy tam, kde vzniká v rámci výzkumného záměru i experimentální jednotka INTEQ II. Autor tedy již při zadávání zadání této práce disponoval znalostmi základních principů snižování oxidů dusíku pomocí selektivní katalytické redukce. Seznámení se s vlastní experimentální jednotkou INTEQ II pak bylo relativně rychlé. Problematickou se však ukázala, již při seznamování se s technologií, nekompletnost strojní a elektro části zařízení. Výzkumní pracovníci, kteří se na stavbě experimentální jednotky podíleli, již opustili výzkumnou činnost na VUT a odešli za prací do průmyslu. Bylo tedy komplikované domluvit a zajistit, aby byla jednotka schopna provozu alespoň v omezeném režimu (studený stav) v době plánovaného ladění technologie.

V době seznamování se s experimentálním zařízením se práce autor práce také intenzivně věnoval přípravě zdrojového kódu vlastní uživatelské aplikace. Tvorba aplikace byla zpočátku zdlouhavá. Bylo to dáno zejména tápání v nastavení vývojového prostředí DetStudio a rovněž i v hardwarové konfiguraci modulárního řídicího systému ADiS. Významný posun v chápání fungování celého ekosystému produktů firmy AMiT autorovi přineslo dvoudenní školení firmy AMiT zaměřené na parametrizaci uživatelských aplikací a práci ve vývojovém prostředí DetStudio. Autor práce se tohoto školení zúčastnil ve dnech 6. a 7. 3. 2014.

Souběžně s teoretickou přípravou programování uživatelské aplikace pro řídicí systém sestavil autor práce pod vedením odborného konzultanta popis sekvencí a algoritmů fungování experimentální jednotky. Jakmile byly z velké části dokončeny algoritmy pro řízení experimentální jednotky. Připravoval autor práce betaverzi uživatelské aplikace v jazyce ladder, avšak z důvodu problematické parametrizace předdefinovaných funkčních bloků se po konzultaci s odborným konzultantem rozhodl celou uživatelskou aplikaci přepracovat v jazyce strukturovaného textu (ST), tak, jak je finální verze aplikace přiložena na CD v příloze č. 2. V druhé polovině měsíce dubna byla uživatelská aplikace v takové podobě, že bylo možné vygenerovat mapovací a parametrický soubor, které jsou nezbytné pro „spárování“ komunikace mezi řídicím systémem a vizualizací (SCADA) rozpracovanou Ing. Chlápkem. Vizualizace v době odevzdání není dokončena, byly však zprovozněny alespoň funkce nezbytné pro ladění technologie za studena.

Jak bylo řečeno v kapitole 7, ladění technologie probíhalo od 13. do 19. 5. 2014 v laboratořích VUT Brno na Palackém vrchu. Během prvních dvou dnů ladění bylo nezbytné 1 x i demontovat řídicí systém z rozvaděče a navštívit podporu společnosti AMiT, neboť z důvodu chybně nastavené priority jednoho z procesů se opakovaně nedařilo po nahrání uživatelské aplikace do ŘS s ŘS navázat komunikaci. Jakmile byla tato chyba odstraněna, pokračovalo ladění uživatelské aplikace pozvolným tempem neboť v několika případech bylo

nezbytné měnit zapojení některých komponent systému v rozvaděči technologie. Ladění uživatelské aplikace bylo dokončeno 19.5.2014, kdy byl odměřen i režim autonomního chodu technologie znázorněný na obr. 13.

Bylo tedy naplněno všech pět bodů zadání bakalářské. Do budoucna bude nezbytné zejména ze strany školy doplnit zařízení o komponenty, které nebyly v době ladění k dispozici, dokončit vizualizaci chodu řídicího systému (SCADA) a následně provést funkční zkoušku chodu zařízení na provozních teplotách s připojenými analyzátory a tlakovými láhvemi reakčního činidla a polutantu.

## 9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ LITERATURY

- [1] Zpráva o životním prostředí České republiky z roku 2012
- [2] F. Jedlička, Snižování množství znečišťujících látek v plynech pomocí katalytického zneškodňování, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 33 s.
- [3] Gary Elliott, New and improved filters for combined pollutant removal, Clear Edge Group, Cerafil Division, The Stable, Rock Farm, Seckington, Tamworth, B79 0LA, UK
- [4] Katalog vysokotlaké ventilátory HRD, Energoekonom, s.r.o., 56 stran, dostupný online na:  
[http://www.energoekonom.cz/doc/01\\_ventilatory/Katalog\\_HRD\\_CZ\\_EN\\_2008.pdf](http://www.energoekonom.cz/doc/01_ventilatory/Katalog_HRD_CZ_EN_2008.pdf)
- [5] Dokumentace firmy AMiT k centrální procesorové jednotce AD-CPU167, dostupné online na: [http://amit.cz/docs/cz/adis/ad-cpu167\\_d\\_cz\\_101.pdf](http://amit.cz/docs/cz/adis/ad-cpu167_d_cz_101.pdf)
- [6] Dokumentace firmy AMiT k modulu konfigurovatelných analogových vstupů AD-AI8, dostupné online na: [http://amit.cz/docs/cz/adis/ad-ai8\\_d\\_cz\\_101.pdf](http://amit.cz/docs/cz/adis/ad-ai8_d_cz_101.pdf)
- [7] Dokumentace firmy AMiT k modulu proudových analogových výstupů AD-AO8I, dostupné online na: [http://amit.cz/docs/cz/adis/ad-ao8i\\_d\\_cz\\_101.pdf](http://amit.cz/docs/cz/adis/ad-ao8i_d_cz_101.pdf)
- [8] Dokumentace firmy AMiT k modulu proudových analogových výstupů AD-AO8I, dostupné online na: [http://amit.cz/docs/cz/adis/ad-fdi8\\_d\\_cz\\_100.pdf](http://amit.cz/docs/cz/adis/ad-fdi8_d_cz_100.pdf)
- [9] Dokumentace firmy AMiT k modulu číslicových výstupů AD-PDO8, dostupné online na: [http://amit.cz/docs/cz/adis/ad-pdo8\\_d\\_cz\\_101.pdf](http://amit.cz/docs/cz/adis/ad-pdo8_d_cz_101.pdf)
- [10] Dokumentace firmy AMiT k modulu komunikačním rozhraním Ethernet AD-ETH100, dostupné online na: [http://amit.cz/docs/cz/adis/ad-eth100\\_d\\_cz\\_100.pdf](http://amit.cz/docs/cz/adis/ad-eth100_d_cz_100.pdf)
- [11] BALÁTĚ, Jaroslav. Automatické řízení. 2., přeprac. vyd. Praha: BEN, 2004, 663 s. ISBN 80-730-0148-9

## **Příloha č. 1 – Zapojení V/V zařízení do PLC**

Číslo Vstupu	Označení proměnné	Popis veličiny
<b>Modul A</b>		
0	AI_TI01	Teplota spalin na vstupu do technologie
1	AI_TI02	Teplota spalin na vstupu do filtru
2	AI_TI03	Teplota spalin na výstupu z filtru
3	AI_TI04	Teplota spalin před ventilátory
4	AI_TI05	Teplota okolí
5	AI_PI01	Tlak před ventilátorem V01
6	AI_PI02	Tlaková diference filtru
7	AI_FI01	Průtok spalin technologií
<b>Modul B</b>		
0	AI_RA05_in	Skutečná pozice klapky RA05
1	AI_rez1	Rezervní vstup - neobsazen
2	AI_FI03	Průtok NH <sub>3</sub>
3	AI_rez2	Rezervní vstup - neobsazen
4	AI_FI02	Průtok NO <sub>x</sub>
5	AI_V01_ot	Otáčky ventilátoru V01
6	AI_V02_ot	Otáčky ventilátoru V02
7	AI_rez3	Rezervní vstup - neobsazen
<b>Modul C</b>		
0	AI_Q01_CO	Vstupní koncentrace CO (mg/m <sup>3</sup> )
1	AI_Q01_CO2	Vstupní koncentrace CO <sub>2</sub> (obj. %)
2	AI_Q01_O2	Vstupní koncentrace O <sub>2</sub> (obj. %)
3	AI_Q01_NO	Vstupní koncentrace NO (obj. %)
4	AI_Q01_NO2	Vstupní koncentrace NO <sub>2</sub> (obj. %)
5	AI_Q02_NO	Výstupní koncentrace NO (obj. %)
6	AI_Q02_CO	Výstupní koncentrace CO (obj. %)
7	AI_Q02_O2	Výstupní koncentrace O <sub>2</sub> (obj. %)
<b>Modul D</b>		
0	AI_Q02_CO2	Výstupní koncentrace CO <sub>2</sub>
1	AI_Q02_rez2	Výstupní koncentrace CO - rezerva
2	AI_RA05_out	Pozice klapky RA05 – žádná z regulátoru
3	AI_rez4	Rezervní analogový vstup - neobsazen
4	AI_rez5	Rezervní analogový vstup - neobsazen
5	AI_rez6	Rezervní analogový vstup - neobsazen
6	AI_rez7	Rezervní analogový vstup - neobsazen

7	AI_rez8	Rezervní analogový vstup - neobsazen
---	---------	--------------------------------------

*Tab. 1: Analogové vstupní veličiny*

Číslo Vstupu	Označení proměnné	Popis veličiny
<b>Modul E</b>		
0	AO_RA01_out	Žádaný průtok NOx
1	AO_RA02_out	Požadavek na míru otevření ventilu RA02
2	AO_RA05_out	Žádost na otevření přísávací klapky vzduchu RA05
3	AO_V01_out	Požadavek na výkon ventilátoru V01
4	AO_V02_out	Požadavek na výkon ventilátoru V02
5	AO_rez1	Rezervní analogový výstup - neobsazen
6	AO_rez2	Rezervní analogový výstup - neobsazen
7	AO_rez3	Rezervní analogový výstup - neobsazen

*Tab. 2: Analogové výstupní veličiny*

Číslo Vstupu	Označení proměnné	Popis veličiny
<b>Modul F</b>		
0	DI_RA05_At	Mód řízení klapky RA05 – automatická regulace
1	DI_RA05_O	Koncový snímač polohy klapky RA05 - otevřeno
2	DI_RA05_Z	Koncový snímač polohy klapky RA05 - zavřeno
3	DI_RA01_At	Mód řízení klapky RA01 – automatická regulace
4	DI_RA01_O	Koncový snímač polohy klapky RA01 - otevřeno
5	DI_RA01_Z	Koncový snímač polohy klapky RA01 - zavřeno
6	DI_RA02_At	Mód řízení klapky RA02 – automatická regulace
7	DI_RA02_O	Koncový snímač polohy klapky RA02 - otevřeno
<b>Modul G</b>		
0	DI_RA02_Z	Koncový snímač polohy klapky RA02 - zavřeno
1	DI_MSC_Err	Porucha řídicí jednotky regenerace filtru
2	DI_MSC_Run	Řídicí jednotka - chod
3	DI_V_Ready	Ventilátory ve stavu „připraven“
4	DI_V_Aut	Mód řízení ventilátorů – automatická regulace
5	DI_V01_run	Ventilátor V01 - chod
6	DI_V02_run	Ventilátor V02 - chod
7	DI_K01_conn	Kompresor K01 - připojen
<b>Modul H</b>		
0	DI_K01_rdy	Kompresor K01 - připraven
1	DI_K01_Aut	Mód řízení kompresoru K01 – automatická regulace
2	DI_Mod_A	Přepínač na dveřích rozvaděče MOD A
3	DI_Mod_C	Přepínač na dveřích rozvaděče MOD C
4	DI_RS_chod	Povolení chodu ŘS
5	DI_RS_stop	ŘS – odstavení technologie
6	DI_TI04_alr	Vysoká teplota před ventilátory
7	DI_rez1	Rezervní digitální vstup - neobsazen

Tab. 3: Digitální vstupní veličiny

<b>Číslo Vstupu</b>	<b>Označení proměnné</b>	<b>Popis veličiny</b>
<b>Modul I</b>		
0	DO_RA01_O	Povel „otevírej“ klapku RA01
1	DO_RA01_Z	Povel „zavírej“ klapku RA01
2	DO_RA02_O	Povel „otevírej“ klapku RA02
3	DO_RA02_Z	Povel „zavírej“ klapku RA02
4	DO_MSC_strt	Povel „start“ regenerace filtru
5	DO_TECH_err	Signalizace poruchy technologie
6	DO_TECH_chd	Signalizace chodu technologie
7	DO_V01_strt	Povel „start“ chodu ventilátoru V01
<b>Modul J</b>		
0	DO_V02_strt	Povel „start“ chodu ventilátoru V02
1	DO_K01_strt	Povel „start“ chodu kompresoru K01
2	DO_H01_strt	Povel „start“ chodu topného tělesa č. 1
3	DO_H02_strt	Povel „start“ chodu topného tělesa č. 2
4	DO_NOx_strt	Aktivace ventilu NOx
5	DO_NH3_strt	Aktivace ventilu NH3
6	DO_rez1	Rezervní digitální vstup - neobsazen
7	DO_rez2	Rezervní digitální vstup - neobsazen

*Tab. 4: Digitální výstupní veličiny*



**Příloha č. 2 – CD s kompletní verzí bakalářské práce vč.  
zdrojových souborů s uživatelskou aplikací**