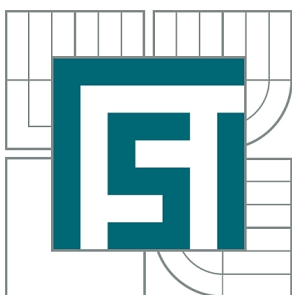




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

## MODERNIZACE ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ

MODERNIZATION OF EXPERIMENTAL EQUIPMENTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MICHAL KINTR

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DANIEL ZUTH, Ph.D.

BRNO 2011



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Michal Kintr

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

obor: **Aplikovaná informatika a řízení (3902T001)**

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

### **Modernizace zkušebního zařízení**

v anglickém jazyce:

### **Modernization of experimental equipments**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat modernizací zkušebního zařízení pro testování účinnosti krbů na tuhá paliva. Jedna se o certifikované pracoviště Strojírenského zkušebního ústavu a jako takové musí splňovat nároky na přesnost měření, spolehlivost a dodatečné zpracování naměřených dat. Sběr dat a případné zásahy do soustavy bude zajišťovat PLC. Dále je nutno realizovat vizualizaci měřených veličin a zajistit tisk výsledného protokolu. Práce bude zpracována ve spolupráci s firmou SZÚ, s.p.

Cíle diplomové práce:

- Zpracovat problematiku programovatelných automatů
- Zpracovat požadavky pro modernizaci zkušebny
- Dle požadavků vybrat vhodný programovatelný automat
- Vybrat vhodné prvky pro realizaci
- Navržené prvky otestovat
- Navrhnout SW pro řídicí jednotku
- Navrhnout SW pro vizualizaci snímaných dat
- Ve spolupráci s firmou SZÚ výsledný systém otestovat

Seznam odborné literatury:

- LACKO, B.-HOLÝ, M.: Integrovaná nevýrobní automatizace. Studijní opora VUT Brno 2004
- CHUDÝ, V., PALENČÁR, R., KUREKOVÁ, E., HALAJ, M.: Meranie technických veličín. Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 1999.
- časopisy Automa, Automatizace
- firemní literatura

Vedoucí diplomové práce: Ing. Daniel Zuth, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne

L.S.

---

Ing. Jan Roupec, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **LICENČNÍ SMLOUVA**

(na místo tohoto listu vložte vyplněný a podepsaný list formuláře licenčního ujednání)



## **ABSTRAKT**

Cílem této diplomové práce je návrh a realizace modernizace zkušebního pracoviště pro firmu Strojírenský zkušební ústav, s.p.. Jedná se o pracoviště pro zkoušky krbů a kamen na tuhá paliva určených k vytápění. Toto pracoviště je certifikováno, a proto musí splňovat nároky na přesnost měření, spolehlivost a dodatečné zpracování naměřených dat. Modernizace má spočívat v automatizaci celého průběhu zkoušky a následném vyhodnocení naměřených dat, až po tisk výsledného protokolu, který je záznamem o proběhlém měření.

## **ABSTRACT**

The goal of this diploma thesis is the proposal and realization of modernizing experimental equipments for company named Strojírenský zkušební ústav, s.p. The company equipments deals with testing of fireplaces and stoves for solid fuels for heating. This company equipments is certified and therefore it has to realize demands for accurate measurement, reliability and subsequent manipulation of measured data. The modernizing is embodied in automation of the whole process of testing, measured data, evaluation and print of final report which is the measurement record.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Modernizace, automatizace, vizualizace, PLC, Control Web, zkouška

## **KEYWORDS**

Modernization, automation, visualization, PLC, Control Web, test





## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval za čas, vedení, věcné připomínky a pomoc při práci na této diplomové práci svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Danielu Zuthovi, Ph.D., dále také patří poděkování zaměstnancům firmy SZÚ, s.p. za ochotu a pomoc.

Bc. Michal Kintr



**Obsah:**

	<b>Zadání závěrečné práce.....</b>	<b>3</b>
	<b>Licenční smlouva.....</b>	<b>5</b>
	<b>Abstrakt.....</b>	<b>7</b>
	<b>Poděkování.....</b>	<b>9</b>
<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>Technické měření.....</b>	<b>15</b>
2.1	Měření a metrologie .....	15
2.1.1	Metody a postupy měření.....	17
2.1.2	Vyhodnocení měření.....	17
2.2	Měřicí přístroje.....	17
2.3	Automatizace měření, HMI a SCADA.....	18
2.4	Měření teploty.....	19
2.5	Měření tlaku.....	21
2.6	Měření průtoku.....	22
2.7	Měření hmotnosti.....	22
<b>3</b>	<b>Zkušební metody.....</b>	<b>23</b>
3.1	Zkušební metody.....	23
<b>4</b>	<b>Programovatelný automat.....</b>	<b>27</b>
4.1	Charakteristické vlastnosti PLC.....	27
4.2	Dělení programovatelných automatů.....	27
4.3	Provozní režim programovatelného automatu a chod programu.....	29
4.4	Programovací jazyky PLC dle normy IEC 61131-3.....	30
<b>5</b>	<b>Původní stav zkušebního pracoviště.....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Navrhovaná možná řešení pro modernizaci.....</b>	<b>37</b>
6.1	Základní struktura modernizovaného pracoviště.....	37
6.2	Řízení – PLC.....	38
6.3	Uživatelská aplikace.....	39
<b>7</b>	<b>Realizovaná modernizace.....</b>	<b>41</b>
7.1	Programovatelný automat ILC 150 ETH.....	41
7.1.1	Modul analogových vstupů: IB IL AI 8/SF-PAC.....	42
7.1.2	Modul analogových výstupů: IB IL AO 2/SF-PAC.....	43
7.1.3	Modul pro připojení odporových senzorů teploty: IB IL TEMP 4/8 RDT-PAC.....	44
7.1.4	Modul pro připojení termočlánků: IB IL TEMP 2 UTH-PAC.....	45
7.1.5	Modul pro komunikaci po RS232: IB IL RS232-PRO-PAC.....	46
7.1.6	Funkce programovatelného automatu.....	47
7.2	Uživatelská aplikace a Control Web.....	49
7.2.1	Start.....	49
7.2.2	Měření.....	50
7.2.3	Graf.....	52
7.2.4	Data.....	52
7.2.5	Protokol.....	53
7.3	Komunikace.....	54
<b>8</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>55</b>
	<b>Seznam použité literatury.....</b>	<b>57</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>59</b>



# 1 ÚVOD

Zadáním této práce je zpracovat problematiku programovatelných automatů a požadavky pro modernizaci zkušebního pracoviště. Znalosti shromážděné v rámci těchto dvou zkoumání vyhodnotit a na základě výsledků vybrat a navrhnout vhodné technologie pro modernizaci. Tyto technologie nejprve otestovat a ověřit si jejich vhodnost pro dané řešení a následně celou modernizaci realizovat. Modernizované pracoviště poté otestovat ve spolupráci s firmou Strojírenský zkušební ústav, s.p..

Jedná se o zkušební pracoviště pro zkoušky krbů a kamen na tuhá paliva určených k vytápění. Toto pracoviště se skládá z více přístrojů, které jsou nutné pro provádění zkoušek na tomto druhu zařízení. Každé ze zařízení je v původním stavu pracoviště ovládáno vlastním počítačem. Některé zařízení nemají ani digitální výstup a nezbývá jiná možnost, než naměřené hodnoty ručně zaznamenávat na papír. Z toho plyne neucelenost a nepřehlednost celého pracoviště. Také vysoká náročnost na pozornost obsluhujícího pracovníka, který musí v jednu chvíli pozorně sledovat více zařízení na více místech a navíc provádět manuální záznam některých měřených veličin. Cílem této diplomové práce je pracoviště ucelit, snížit možnost a pravděpodobnost výskytu chyby. Tohoto cíle by mělo být dosaženo automatizací procesu zkoušky a jednotnou vizualizací všech měřených veličin na jednom zařízení.

Modernizace znamená vylepšení, obnovení nebo také přizpůsobení novým trendům a požadavkům v dané oblasti. Cílem a důvodem modernizace je snaha o učinění dané modernizované věci použitelné a konkurenceschopné v dalším časovém období. Asi jen velmi obtížně mohou být testovány nejmodernější výrobky a technologie na zařízení, jehož „datum narození“ je z konce minulého století. U takového zařízení se naskytá otázka, jestli jsou jím vyhodnocené výsledky objektivní a umožňují objektivní srovnání s výsledky získanými na nejmodernějších zařízeních. A jestliže se jedná o certifikované pracoviště nejen pro Českou Republiku, ale i pro další země Evropské unie, tak požadavky na jeho vybavení musí být ty nejvyšší a použité technologie ty nejlepší dostupné. Proto by pracoviště modernizované v rámci této diplomové práce mělo být zcela automatizováno a bez nároku na nepřetržitou obsluhu člověkem. Zároveň však musí být umožněno kdykoliv během prováděné zkoušky případné obsluze do průběhu zkoušky zasáhnout, tuto zkoušku přerušit či dokonce zcela zastavit. Samozřejmostí je možnost sledovat aktuální měřené hodnoty, průběžné výsledky a celková vizualizace na PC. Pro spolehlivé řízení a bezproblémový dlouhodobý provoz je jako řídicí mechanismus zvolen programovatelný automat. Jedná se v současné době o nejvíce používaný řídicí člen v automatizaci ať už průmyslové nebo neprůmyslové. Uživatelské prostředí bude instalováno na běžném stolním počítači a pro jeho tvorbu bude využit univerzální vizualizační software. Takto modernizované pracoviště by mělo splňovat ty nejpřísnější kritéria pro současné technologie a nároky kladené na zkušební laboratoře.



## 2 TECHNICKÉ MĚŘENÍ

Měření jako způsob zjištění velikosti, množství dané veličiny je dnes již zcela automatickou věcí, bez které si těžko dovedeme představit běžný život a mnohdy si ani neuvědomujeme, že měření zrovna provádíme. Například když většina z nás ráno vstává a jedny z prvních kroků vedou k teploměru umístěnému za okny našich bytů a domů. Měření jako takové lze sledovat již od nejstarší historie lidstva a spolu s vývojem civilizace se vyvíjí i metody a způsob měření. Zároveň i s postupem času docházelo ke sjednocování měrových soustav z původních regionálních řešení až po dnešní mezinárodní konvence.

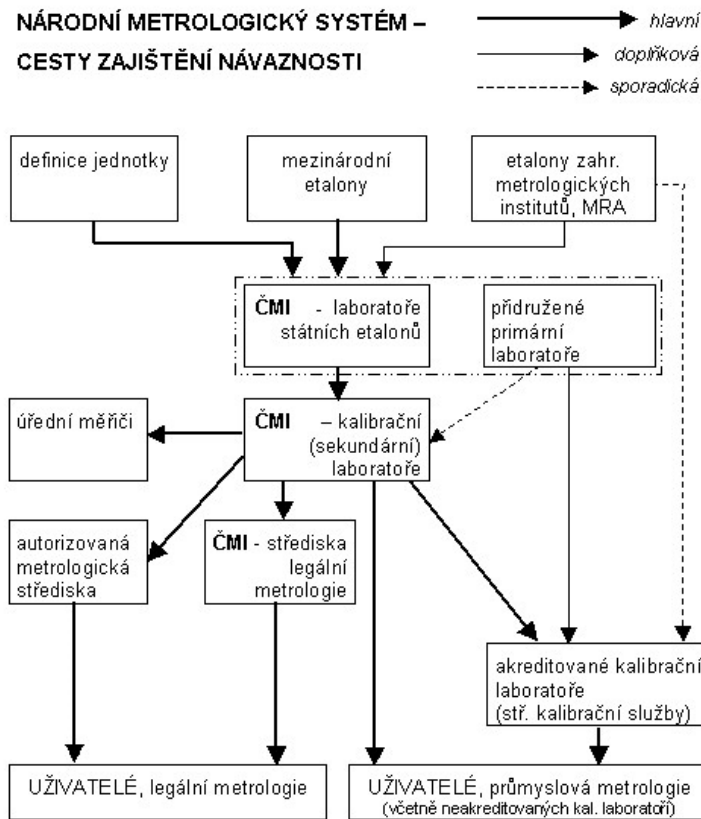
### 2.1 Měření a metrologie

Za měření se může považovat soubor činností, experimentálních operací na jejichž základě lze stanovit hodnotu měřené veličiny. Měření je součástí metrologie. Metrologie je nauka o mírách, nebo také věda zabývající se měřením. Metrologii lze rozdělit na několik základních oblastí zkoumání:

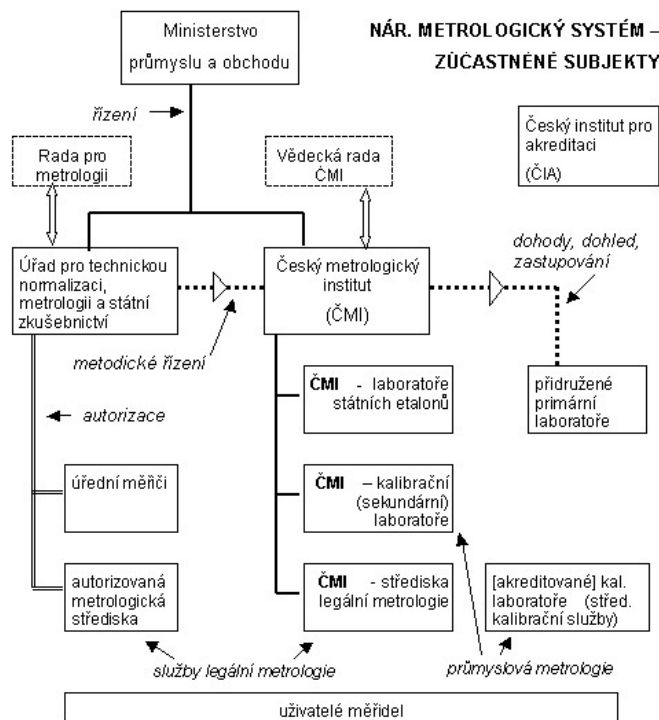
- Veličiny a jejich jednotky – etalony
- Metody měření
- Prostředky měření provozního charakteru (měřidla)
- Vlastnosti a schopnosti osob – pozorovatelů
- Péče o fyzikální konstanty a vlastnosti látek a materiálů

Metrologie je řízena a ovládána celosvětově, kontinentálně (např. : evropsky) i národně jednotlivými organizacemi a jejich společným cílem je jednotnost měření, péče o jednotlivé jednotky a jejich etalony a správnost měřidel používaných v praxi. Těchto organizací ať už mezinárodních nebo těch národních je celá řada a dnes již existuje velmi propracovaný systém vzájemné návaznosti organizací na sebe. Za zmínku stojí Metrická konvence, která byla založena 20. května 1875 v Paříži. Ta je považována za milník v historii metrologie a je od ní vedena takzvaná novodobá historie metrologie. Organizace je dále členěna na jednotlivé součásti. Česká Republika je také součástí a to od svého vzniku roku 1993. Jako další lze zmínit EUROMET, který vznikl jako organizace EU v roce 1987. Nebo EUROLAB jež je Evropská organizace pro zkušební laboratoře a mnoho dalších organizací.

V České Republice funguje Národní metrologický systém, který je tvořen soustavou právních a technických předpisů, které vymezují jednotlivé pravomoce a postavení orgánů státní správy ČR a dalších subjektů. Obecně lze říci, že je snaha sjednotit národní systém se systémy států Evropské unie. Schéma národního metrologického systému je znázorněno na obrázku (Obr. 2 ) a schéma návaznosti národních etalonů a měřidel na obrázku (Obr. 1 ) . Etalon je ztělesněná míra, určená k definování a uchování dané jednotky a jejímu přenosu na měřidla s nižší přesností měření. Informace této kapitoly převzaty ze zdroje [1].



Obr. 1 Ná vaznost etalonů a měřidel v ČR [2]



Obr. 2 Národní metrologický systém [2]



### 2.1.1 Metody a postupy měření

Metodu měření lze definovat jako posloupnost více činností bezprostředně na sebe navazujících, které jsou při měření používány. Postup měření je soubor činností, které jsou při měření používány v závislosti na použité metodě měření.

Každá veličina je určena svou základní definicí. Jestliže se jedná o metodu měření, která vychází z této definice a „zhmotňuje“ základní definici dané veličiny, potom se tato metoda označuje jako definiční (absolutní) metoda. O každé jiné metodě hovoříme jako o odvozené (relativní) metodě. To proto, že je odvozena na jiných základech než základní definice dané veličiny. Toto dělení je dělení dle způsobu určení měřené veličiny.

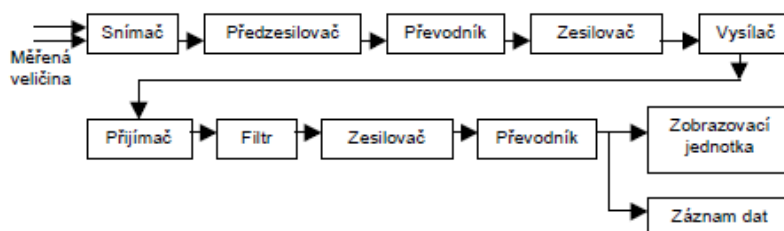
Další možné dělení je podle způsobu získání měřené hodnoty na přímé (porovnávací, vyrovnávací, nahrazovací, přemísťovací) a nepřímé. Nebo podle způsobu snímání měřené hodnoty na dotykové a bezdotykové. Toto je jen krátký výčet těch nejznámějších dělení. Existuje ještě mnoho dalších kritérií pro jejich dělení. Jejich úplný výčet lze najít v odborné literatuře zabývající se metrologií.

### 2.1.2 Vyhodnocení měření

O žádném měření nelze nikdy prohlásit, že je absolutně přesné. Získaný výsledek se vždy méně či více přibližuje skutečné hodnotě a jeho přesnost, respektive nepřesnost vždy závisí na přesnosti použité metody měření a přesnosti použitých přístrojů k měření. Dále se do výsledku měření promítnou i další negativní vnější vlivy, které jsou individuální pro každé dané měření. Například se jedná o klimatické podmínky během měření nebo „šikovnost“ obsluhy, která provádí měření. Dále chyby v použité metodě, chyby vyhodnocení a další. Takže zde jsou chyby, které je potřeba analyzovat a vyhodnotit. Vyjma těchto chyb se dle moderních národních a mezinárodních předpisů v dnešní době nově určuje ještě nejistota měření. Nejistota měření charakterizuje rozsah hodnot, které je možno racionálně přiřadit k měřené veličině. Zdrojem nejistoty měření může být například nevhodný výběr vzorku měření, nevhodný postup při měření, zaokrouhlování výsledků měření nebo nevhodný výběr přístroje pro měření.

## 2.2 Měřicí přístroje

Měřicí přístroj je zařízení určené k měření dané veličiny, nebo-li k zjišťování hodnot dané veličiny. V běžné praxi se většinou nejedná pouze o jeden samostatný prvek, ale soustavu několika prvků, které dohromady tvoří jeden měřicí přístroj.



Obr. 3 Schéma možného uspořádání měřicího přístroje [1]

Měřicí přístroje lze opět dělit na základě nejrůznějších parametrů a vlastností do nepřehledného množství kategorií. Mezi nejznámější dělení patří dělení na základě principu měření na: elektrické, mechanické, pneumatické, optické. Nebo dělení na základě použité metody měření na: výchylkové, kompenzační, součtové – integrační. Měřicí přístroje jsou dále charakterizovány jejich vlastnostmi. Vlastnostmi statickými a dynamickými.

Statickými vlastnostmi rozumíme hlavně statickou charakteristiku, která vyjadřuje závislost mezi vstupní a výstupní veličinou za ustáleného stavu. Jako další statické vlastnosti jsou přesnost, citlivost, životnost a spolehlivost.

Dynamické vlastnosti přístroje se naopak od statických určují v přechodovém stavu. To je stav, kdy se měřená veličina (respektive vstupní signál nesoucí informaci o veličině do přístroje) neustále s časem mění. Grafickým zobrazením těchto rovnic jsou dynamické charakteristiky:

- přechodová charakteristika
- impulsní charakteristika
- lineární charakteristika
- frekvenční charakteristika

Kromě statických a dynamických vlastností máme ještě informační vlastnosti, které nám dávají informaci například o tom, kolik informací nám měřící přístroj dá a jakou rychlostí jsou data přenášena. A na závěr jsou ještě informace doplňující, jako je například cena přístroje, energetické požadavky a materiálové nároky. Informace této kapitoly převzaty ze zdroje [1].

### 2.3 Automatizace měření, HMI a SCADA

Automatizaci měření se rozumí stav, kdy měření probíhá zcela bez zásahu lidského faktoru a nezávisle na něm. Cílem automatizace měření je úspora drahé lidské práce a také eliminace negativních vlivů, kterými člověk na měření může působit. Dále pak jednoznačně zrychlení a zjednodušení měření použitím výpočetní techniky a možnost provádění opakovaně zcela totožných měření co se do způsobu měření týče. Zkratka HMI pochází z anglického slovního spojení „Human Machine Interface“. Český ekvivalent je rozhraní člověk – stroj. Do skupiny HMI patří převážně operátorské panely. Zkratka SCADA vznikla opět z anglického slovního spojení a představuje rozhraní mezi člověkem, obsluhou a samotnou technologií.

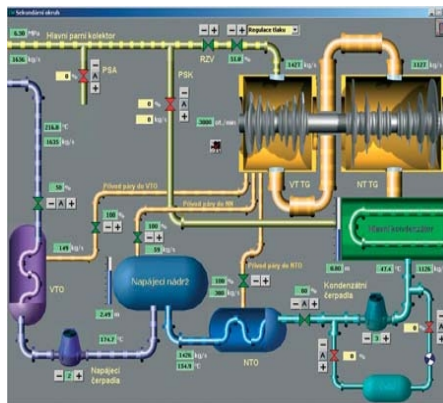
Z důvodů důvěryhodnosti výsledků automatizovaného měření a možnosti hromadné výroby prvků pro automatizované měření, muselo dojít k ustanovení jednotných signálů pro přenos informace o měřené veličině a její velikosti, jedná se o zavedení takzvaného unifikovaného signálu. Tento signál je buď elektrický jako proud nejčastěji v rozsahu 4 – 20 mA, nebo napětí v rozsahu 1 – 10 V. Nebo pneumatický signál, kde tlak plynu je v rozsahu 20 – 100 kPa. Jelikož výpočetní technika nedokáže pracovat s analogovým signálem, je nutností použít zařízení, které tento unifikovaný signál převede z analogové podoby do digitální nebo-li diskrétní. Toto zařízení se jmenuje A/D převodník. Dnes je celá řada druhů tohoto zařízení a jeho konkrétní výběr závisí na konkrétním případě použití. Některé zařízení jsou již dokonce tímto A/D převodníkem přímo vybaveny z výroby.

Pro automatizaci měření je dále potřeba programové vybavení, které řídí, vizualizuje a i dovoluje zasáhnout do celého měření. Může se jednat buď o programy, které jsou firemní, vyrobené na zakázku pro daný problém. Nebo se jedná o programy, které jsou za tímto účelem zhotovené univerzálně a jen jejich pouhou úpravou, stavebnicovým poskládáním z předem nachystaných modulů získáme program pro naše konkrétní použití. Tyto programy obvykle slouží pouze jako vizualizační nástroj, který dává uživateli informace o měření, probíhajícím procesu a dovoluje uživateli pomocí akčních prvků ovlivňovat průběh procesu. Tyto programy fungují na počítači nebo operátorských panelech. Samotné řízení a regulace však většinou z důvodu spolehlivosti probíhá na zařízeních jako je PLC (programovatelný automat) nebo průmyslový počítač. Software pro automatizaci je nejčastěji dělen na:

- Vizualizační
- Měřící
- Řídící

Vizualizační programy slouží pouze k vizualizaci procesu, technologie. Řízení, výpočty nebo regulaci již neobstarávají a tato činnost je přenechána programovatelným automatům, mikrokontrolérům nebo průmyslovým počítačům. To znamená, že vizualizace je pouze doplňková a samotná technologie na ní není nijak závislá. V případě vypnutí nebo selhání vizualizace vše pokračuje bezpečně dál. Měřící programy jsou velice účelové a specifické.

Většinou jsou zaměřené pouze na jedno konkrétní použití. Slouží pouze k naměření dat a k jejich zpracování. Příkladem měřícího programu je Dewesoft firmy Dewetron nebo DIAdem firmy National Instruments. Řídící programy provádí vlastní výpočty a regulaci. Řídící program musí být sám o sobě spolehlivý a také musí být spuštěn na spolehlivém zařízení, protože při vypnutí nebo selhání tohoto programu přestává být proces, technologie řízena a regulována. Příklad univerzálních programů jak pro vizualizaci, tak i pro řízení je Control Web firmy Moravské přístroje a. s. nebo LabView firmy National Instruments.



Obr. 4 Ukázka Control Web [10]



Obr. 5 Ukázka LabView [11]

## 2.4 Měření teploty

Teplota je jednou z nejčastěji a nejběžněji měřených veličin i v běžném životě. Je definována jako míra kinetické energie pohybujících se částic látky. Stav kdy v látce neexistuje žádný pohyb jejích částic je nazván stavem absolutní nuly. Pro jednotnou reprezentaci výsledků všech měření teploty byla ustanovena termodynamická teplotní stupnice. Základní jednotkou termodynamické teploty  $T$  je kelvin (1K). Kromě termodynamické teploty vyjádřené pomocí kelvinů se často používá ještě Celsiova teplota, která je vyjádřena ve stupních Celsiových. Pro převod mezi termodynamickou teplotou  $T$  a Celsiovou teplotou  $t$  platí, že  $1\text{K} = 1^\circ\text{C}$  a  $T[\text{K}] = t[^\circ\text{C}] + 273,15[\text{K}]$ .

Přístroj pomocí kterého lze měřit teplotu se nazývá teploměr. Teploměry dnes existují v mnoha variantách, tak aby vyhovovaly danému použití ať už konstrukčně nebo i principem, na základě kterého teplotu měří. Dělení lze provést například na základě těchto parametrů:

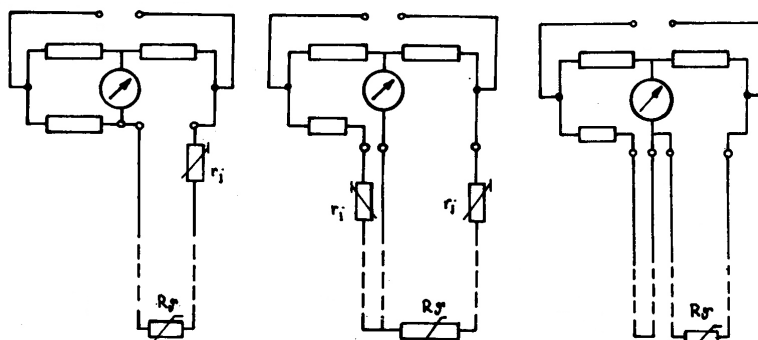
- Na základě rozsahu měřených teplot.
- Na základě styku s měřenou hmotou na dotykové a bezdotykové.
- Na základě principu měření na dilatační, elektrické, optické, speciální.
- Na základě látky použité pro měření na kapalinové, plynové, kovové a polovodičové.

Nejnámější a velmi rozšířené jsou teploměry dilatační, které pracují na principu roztažnosti

dané látky v závislosti na měnící se teplotě. Podle druhu použité teploměrné látky můžeme dilatační teploměry dále dělit na kapalinové, kovové nebo plynové. Do této skupiny teploměrů patří asi každému známý skleněný teploměr rtuťový.

Pro automatizaci je nejzajímavější skupina teploměrů elektrických právě díky elektrickému výstupu. Tyto teploměry využívají přesné definice teplotní závislosti dané elektrické veličiny na teplotě. Dvě nejzákladnější skupiny elektrických teploměrů jsou teploměry odporové a termočlánky. Obecně lze říci, že oba typy teploměrů se vyrábějí v různých konstrukčních provedeních dle potřeb a náročnosti konkrétního použití.

Odporové teploměry využívají princip závislosti odporu materiálu na jeho teplotě. Buď s rostoucí teplotou odpor roste, pak hovoříme o kladném teplotním součiniteli elektrického odporu pro daný materiál. Nebo s rostoucí teplotou odpor klesá a takový materiál má záporný teplotní součinitel elektrického odporu. Odporové teploměry jsou kovové, polovodičové, polykrystalické a monokrystalické. Za světový průmyslový standard mezi odporovými teploměry lze považovat platinový odporový drát Pt 100. Pt 100 má při 0°C odpor 100 Ohmů. V případě senzoru Pt 100 se jedná o závislost, kdy s rostoucí teplotou roste i odpor a na základě velikosti odporu je určena teplota. Tyto teploměry se vyznačují dobrou citlivostí a přesností (jsou dokonce používány jako etalony), lineární závislostí teploty na odporu a naopak špatnou dynamikou. Existují v provedení se zapojením pomocí dvou, tří a čtyř vodičů nebo do můstku. Základní je dvouvodičové zapojení u kterého ale pozorujeme velký vliv odporu přívodných vodičů. To způsobuje nepřesnost měření. Proto nejčastějším a nejběžnějším způsobem je zapojení pomocí tří vodičů, které negativní vliv odporu přívodných vodičů kompenzuje. Dokonalé kompenzace je dosaženo zapojením pomocí čtyř vodičů. Kompenzaci vedení lze také provést použitím speciálního kompenzačního vedení nebo některé převodníky určené pro odporové snímače umožňují kompenzaci softwarově.

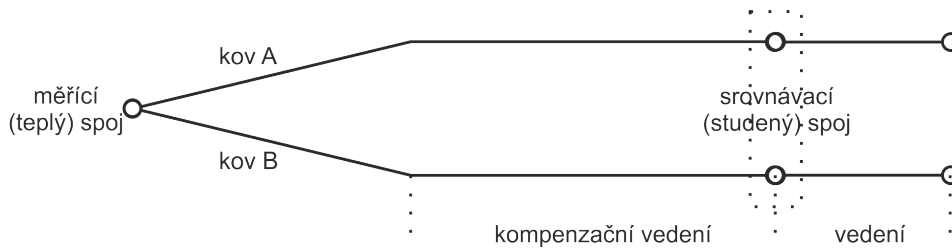


Obr. 6 Zapojení odporového teploměru pomocí 2, 3 a 4 vodičů (z levé strany) [1]

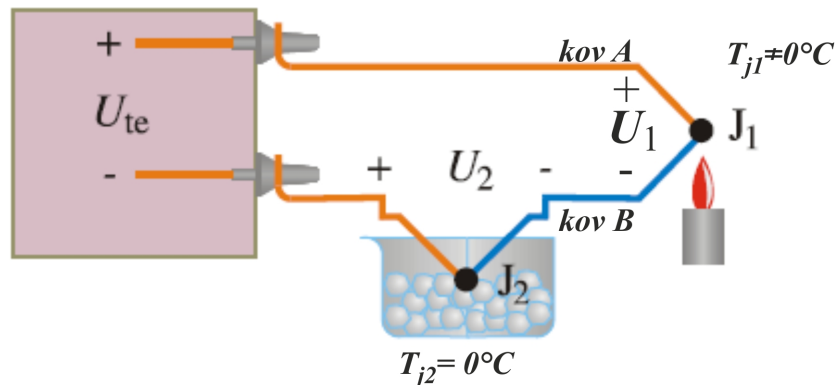
Termočlánek nebo-li termoelektrický teploměr využívá principu vzniku termoelektrického napětí (Peltier-Seebeckův jev) vlivem vodivého spojení dvou drátů z různých kovových materiálů do uzavřeného vodivého obvodu. V obvodu vzniká termoelektrické napětí a prochází jím termoelektrický proud právě tehdy, když teplota jednoho spoje bude odlišná od teploty druhého spoje. Velikost vzniklého termoelektrického napětí je závislá na velikosti rozdílu teplot obou spojů. Čím větší je jejich rozdíl, tím větší je i napětí. Lze tedy říct, že termočlánek neměří teplotu, ale rozdíl teplot a ten převádí na elektrické napětí. Spoj umístěný v oblasti měřené látky se nazývá teplý spoj a druhý spoj, který je srovnávací, je nazýván studený a měl by mít konstantní teplotu. Tento teploměr tedy v praxi představuje generátor napětí, jehož velikost závisí na teplotě. Velikost generovaného napětí je však v řádech mV. Termočlánky vynikají velkým rozsahem měřených teplot, spolehlivostí, dynamikou a také miniaturními rozměry. Dle použitých materiálů se rozlišují různé termočlánky pro různé teplotní rozsahy. Například:

- T: měď (Cu) + konstantan (Cu + Ni) = -200°C až 350°C
- J: železo (Fe) + konstantan (Cu + Ni) = -200°C až 700°C
- K: niklchrom (Ni + Cr) + niklhliník (Ni + Al) = -200°C až 1200°C

- E: niklchróm (Ni + Cr) + konstantan (Cu + Ni) =  $-100^{\circ}\text{C}$  až  $900^{\circ}\text{C}$



Obr. 7 Schéma termočládku

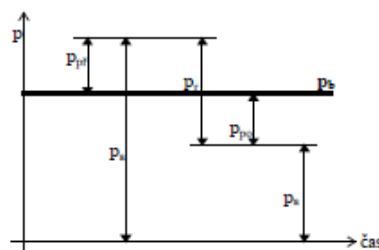


Obr. 8 Termočlánek

Speciální typ teploměru a z technického hlediska velmi zajímavý je termovize. Jedná se o čidla teplotního obrazu. Využívá toho, že objekty vyzařují infračervené záření. Objekt je sledován kamerou se speciálním detektorem infračerveného záření. Obraz je pak převeden do termogramu, kde jednotlivé barevné odstíny znázorňují danou teplotu. Tato metoda měření teploty je využívána v mnoha oblastech. Například ve stavebnictví pro zjišťování tepelných ztrát budov. Policie využívá tuto technologii při pátrání po pohřešovaných osobách. Informace této kapitoly převzaty ze zdroje [1].

## 2.5 Měření tlaku

Základní jednotkou tlaku  $p$  je Pascal (1Pa), což je síla 1N, která působí na plochu  $1\text{m}^2$ . V praxi se obvykle vyskytují spíše násobky základní jednotky a to kPa a MPa. Obvykle se uvádí tlak absolutní, což je tlak vztahovaný k absolutní tlakové nule, nebo tlak relativní, který uvádí míru přetlaku nebo podtlaku vzhledem k barometrickému tlaku.



Obr. 9 Rozdělení tlaku [1]

Přístroje pro měření tlaku se nazývají tlakoměry. Vzhledem k velkému rozsahu měřených tlaků neexistuje přístroj, který by měřil v celém možném rozsahu. Proto dělíme přístroje dle použití pro konkrétní rozsah na:

- manometry – pro měření přetlaků
- barometry – pro měření barometrického tlaku
- vakuometry – pro měření podtlaků

Další možné dělení je dle principu funkčnosti na pístové, kapalinové, deformační a elektrické. Z pohledu automatizace jsou opět nejzajímavější tlakoměry elektrické. Elektrické tlakoměry jsou zároveň i nejspolehlivější a slouží k měření extrémních hodnot tlaku. Tyto přístroje jsou založeny na změně elektrického odporu (pro měření přetlaku) nebo ionizaci (pro měření vakua). Informace této kapitoly převzaty ze zdroje [1].

## 2.6 Měření průtoku

Objemový průtok nebo také objemový tok, je objem kapaliny, která proteče jedním místem (například celým průřezem v daném místě trubky, který je vždy kolmý ke směru toku) za jednotku času. Základní měrnou jednotkou je metr krychlový za sekundu ( $\text{m}^3/\text{s}$ ). Kromě objemového průtoku může být i hmotnostní průtok. Ten udává hmotnost kapaliny, která proteče jedním místem za jednotku času.

Přístroj pro měření průtoku se nazývá průtokoměr. Měření průtoku je nejvíce uplatňováno v průmyslu ať už pro sledování a vyhodnocování toku tekutin, plynů, nebo také pro určení správného a přesného dávkování. S měřením průtoku se ale také může setkat v medicíně, kde je potřeba sledovat například průtok krve v lidském těle.

I v případě průtokoměrů existuje mnoho principů měření a vlastností přístrojů, na jejichž základě lze průtokoměry dělit. Například průtokoměry objemové (krychloměry, pístové, ...), hmotnostní (Coriolisův, teplotní, ...), průřezová měřidla (clona, dýza, rychlostní sonda, Pitotova trubice, ...), další principy (indukční, ultrazvukový, ...) a speciální (fluidikový, ...). Jedná se pouze o jedno z mnoha možných dělení. Informace této kapitoly převzaty ze zdroje [1].

## 2.7 Měření hmotnosti

Hmotnost značíme  $m$ , což je z anglické slova mass. Základní jednotkou hmotnosti je kilogram se značkou  $\text{kg}$ . K měření hmotnosti je využíván gravitační zákon. Čím větší je hmotnost tělesa, tím větší gravitační silou je přitahováno k Zemi. Toto měření se nazývá vážení.

K měření hmotnosti se využívá váhy. Váhy jsou jedním z nejstarších přístrojů a pracují na různých fyzikálních principech. Jedním z možných dělení je na pákové váhy, váhy využívající deformace pružného tělesa a váhy elektronické.

Základním typem pákových vah jsou váhy rovnoramenné. Jedná se o jeden z nejstarších typů vah. Tyto váhy pracují na principu „spravedlnosti“. Obvykle je na koncích ramen zavěšena miska. Na jednu misku je položeno vážené těleso a na druhou misku jsou pokládány závaží o přesně daných hodnotách hmotnosti, ve chvíli kdy je dosaženo přesné rovnováhy mezi miskami, tak se sečtou hmotnosti závaží a výsledek je hledaná hmotnost váženého tělesa. Tento způsob vážení by fungoval i mimo planetu Zemi, což se třeba nedá říct o vahách, které využívají deformace pružného tělesa. Jako pružné těleso je nejčastěji použita pružina. Asi nejnámějnější příkladem tohoto typu vah je mincíp. A dnes asi nejhojněji používané váhy elektronické nebo také tenzometrické jsou založeny také na deformaci způsobené hmotností váženého tělesa. Základem však už není pružina a mechanické odečítání ze stupnice, ale piezoelektrický jev. Piezoelektrický jev je schopnost krystalu generovat elektrické napětí na základě jeho deformace. Jedná se o váhy s velkým měřicí rozsahem od gramů až po tuny s velkou přesností. Jsou využívány od průmyslu, přes lékařství až po domácnosti. Informace této kapitoly převzaty ze zdroje [1].

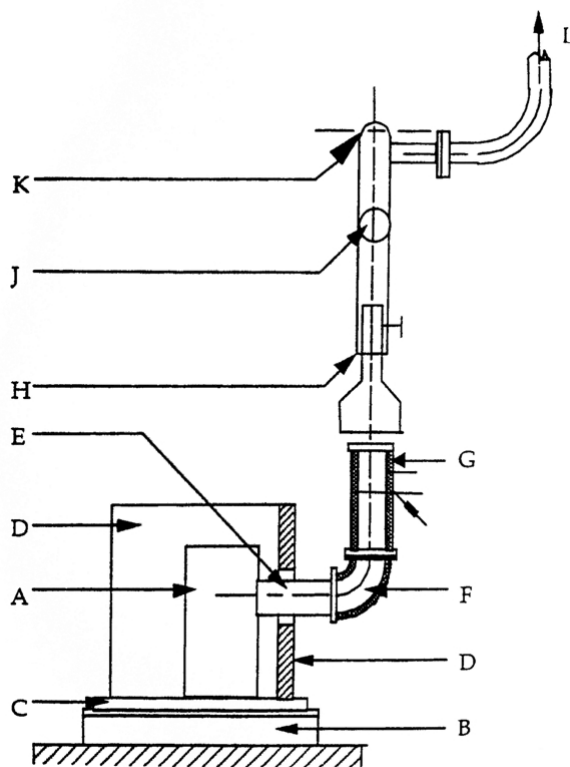
### 3 ZKUŠEBNÍ METODY

Zkušební metody spotřebičů na pevná paliva určených k vytápění jsou popsány v jedné z částí dokumentu Vestavné spotřebiče k vytápění a krbové vložky na pevná paliva – Požadavky a zkušební metody. Jedná se o českou verzi technické normy stejnojmenné evropské normy. Tato norma stanovuje požadavky pro projektování, výrobu, konstrukci, bezpečnost, provozní vlastnosti (účinnost a emise), návody, značení a právě i související zkušební metody pro zkoušení vestavných spotřebičů určených k vytápění a krbových vložek na tuhá paliva.

#### 3.1 Zkušební metody

V této části normy jsou přesně nadefinované podmínky pro provádění zkoušek. Norma pamatuje nejen na zkoušku samotnou, ale je zde přesně nadefinované i prostředí ve kterém zkouška probíhá. Po celou dobu zkoušky musí být na přesně určeném místě vzhledem k poloze testovaného spotřebiče hlídána teplota prostředí v místnosti, kde zkouška probíhá. V tom samém místě je hlídána rychlost proudění vzduchu, která nesmí překročit povolenou hranici a zkušební sestava nesmí být vystavena jinému zdroji tepelného sálání (například sluneční záření nebo ventilátor horkovzdušného vytápění).

Zkušební sestavou (typické uspořádání zkušební sestavy je na Obr. 10 ) se rozumí zkoušený spotřebič, který je nainstalovaný v souladu s návodem pro montáž od výrobce včetně všech doplňků, tak aby byly splněny všechny bezpečnostní zásady používání stanovené výrobcem. Spotřebič je nainstalován do zkušební koutu. Celá sestava je pak umístěna na váhu, aby bylo možné určit přesnou spotřebu paliva. Spotřebič je opatřen měřícím úsekem spalin. Ten musí být opatřen přístroji pro zjištění teploty spalin, složení spalin a provozního tahu (měření statického tlaku v daném místě). Spaliny musí být odváděny z horní části měřícího úseku spalin a musí být použit nástroj pro nastavení a udržování konstantního tahu v měřícím úseku spalin, který je požadován pro daný zkušební postup.



Obr. 10 Typické uspořádání zkušební sestavy

Popis jednotlivých částí typického uspořádání zkušební sestavy:

A	Zkoušený spotřebič
B	Váha s plošinou
C	Podlaha zkušební koutu
D	Stěna zkušební koutu
E	Kouřovod
F	Mezikus
G	Měřicí úsek spalin
H	Nastavitelná část kouřovodu
J	Regulační klapka
K	Ventilátor
L	Vyústění do ovzduší

V případě spotřebiče s ohřívačem vody musí být zkušební zařízení připojeno k vodnímu okruhu. Musí být zaručen konstantní průtok vody po celou dobu zkoušky v daném tolerančním pásmu. Smyčka musí být udělána tak, aby byla možnost regulovat výslednou teplotu výstupní vody ze zkušebního zařízení. Celý systém musí být vybaven přístroji pro zjišťování průtoku vody (pro kontrolu dodržení tolerančního pásma průtoku) a pro měření teploty vstupní a výstupní vody.

Všechny použité měřicí přístroje musí být vybírány tak, aby splňovaly pro každý měřený parametr požadavky na přesnost měření dle zkušební normy a aby maximální a minimální hodnota měřené veličiny byla z měřicího rozsahu daného měřicího přístroje.

Normou jsou dány rozdílné měřicí postupy pro ověření různých funkčních parametrů nebo bezpečnosti provozu. Zkušební postupy pro:

- Ztráty citelným teplem spalin
- Tepelný tok na straně vody
- Ztráty mechanickým nedopalem
- Zkouška provozních vlastností při jmenovitém tepelném výkonu
- Zkouška při minimálním příkonu, sníženém příkonu a zkouška znovuoobnovení spalovacího procesu
- Zkoušky bezpečného provozu

Obecně u všech zkoušek proces probíhá ve dvou krocích. Prvním krokem je Uvádění do provozu a doba před zkoušením. Během této doby se zpravidla musí provést následující kroky. Nastavit a zajistit určený konstantní tah v měřicím úseku spalin. Provede se počáteční odečet hmotnosti na váze s plošinou. Dle podkladů od výrobce je vložena minimální dávka hmotnosti zkušební paliva, tak aby bylo možné zapálení. Ve chvíli, kdy je palivo rozhořelé, je vložena základní dávka paliva pro dobu před zkoušením (ta je vypočtena na základě parametrů zkušebního zařízení a zkušební paliva dle definičního vzorce) a opět je zaznamenána hmotnost zkušební sestavy a hmotnost paliva dodaného. Nyní se v případě použití vodního okruhu nastaví požadovaný průtok a zreguluje teplota výstupní vody. Doba před zkoušením končí ve chvíli, kdy odečtem na váze je zjištěna základní hmotnost vrstvy paliva ve zkušebním zařízení.

Druhým krokem je Doba zkoušení. Provede se odpopelnění jestliže to zkušební spotřebič vyžaduje a zaznamená se opět hmotnost zkušební sestavy. Do spotřebiče je pak vložena hmotnost dávky zkušební paliva (ta je vypočtena na základě parametrů zkušebního zařízení a zkušební paliva). A nyní se zaznamenávají naměřené hodnoty všech kontrolovaných veličin. Průběh a délka zkoušky se již liší v závislosti na daném druhu zkoušky a typu spotřebiče. Délka zkoušky může být od desítek minut až po několik hodin. Provádí se více period měření, to znamená po vyhoření hmotnosti dávky zkušební paliva končí perioda, je vložena nová dávka zkušební paliva, začíná další perioda a zkouška pokračuje dál. Zpravidla to bývají minimálně dvě periody, aby byly jednou naměřené hodnoty ještě jednou potvrzeny.



Posledním a tedy teoreticky třetím krokem je vyhodnocení a zaznamenání výsledků zkoušky a vyvození závěrů ze zjištěných dat. Záznamem o proběhlé zkoušce je výsledný protokol. V tomto kroku jsou opět v závislosti na druhu zkoušky a zařízení vyhodnocovány odlišné parametry a v závislosti na druhu zařízení jsou i pro různá zařízení přijatelné různé výsledky. Výsledky, které jsou pro jedno zařízení zcela nepřijatelné, jsou u jiného typu zařízení třeba ještě přijatelné.



## 4 PROGRAMOVATELNÝ AUTOMAT

PLC jako zkratka anglického spojení Programmable Logic Controller, občas PAC jako Programmable Automation Controller nebo česky programovatelný automat. Je to hojně využívaný řídicí prvek v automatizaci. Programovatelný automat proto, že závislost mezi vstupy a výstupy není pevně dána, ale závisí na daném programu, který je napsán přesně na míru konkrétní aplikaci. Díky této vlastnosti, že stejný hardware může vykonávat neomezené množství různých aplikací, je dosaženo základního předpokladu pro masivní rozšíření a přijatelnou cenu zařízení. První zmínky o programovatelném automatu se objevují již v období kolem roku 1970. Příčinou vzniku a vývoje programovatelného automatu je poptávka po kompaktnější variantě klasického stolního počítače, která by zároveň byla i více vhodná pro hromadné a průmyslové použití. To znamená počítače, který by odolával teplotním výkyvům, vlhkosti, prašnosti nebo vibracím. Obměnou jednotlivých komponentů se takových vlastností dá dosáhnout i u klasického stolního počítače, ale jeho cena roste do takové výše, že se stává pro hromadné použití neúnosná. Mezi největší světové výrobce a vývojáře programovatelných automatů patří firmy Siemens, Mitsubishi, Rockwell Automation, Schneider Electric, Phoenix-Contact. Mezi české výrobce programovatelných automatů patří firmy TECO Kolín, ZAT Příbram nebo Micropel.

Mylnou představou mnoha lidí je, že programovatelný automat je pouze pro průmyslové použití. Ve skutečnosti se s programovatelným automatem setkává každý denně ať už v zaměstnání nebo domácnosti. V jisté obměně se programovatelný automat nachází i v těch nejzákladnějších domácích spotřebičích, jako je pračka, myčka nebo mikrovlnná trouba. Dále jsou programovatelné automaty zařazeny na pozici řízení domů a to od jednotlivých dílčích funkcí (řízení klimatizace, topení, zabezpečení, ..) až po kompletní řízení celého inteligentního domu, objektu či komplexu několika budov. A samozřejmě další oblastí použití programovatelných automatů je již zmiňovaný průmysl, kde jedno takovéto zařízení může 100% nahradit práci mnoha pracovníků a tím snížit náklady na provoz a výrobu. Použitím programovatelného automatu se také dosáhne vysoké spolehlivosti řízení a schopnosti nepřetržitého fungování bez nutnosti přítomnosti lidského faktoru.

### 4.1 Charakteristické vlastnosti PLC

Programovatelný automat není ve své podstatě nic jiného než mikropočítač, který je uzpůsoben pro automatické řízení dané aplikace. Jeho jádrem je procesor, který vykonává základní logické a aritmetické operace. Chod programovatelného automatu je řízen firmwarem, což je takový vnitřní operační systém daný výrobcem. Samotná funkce programovatelného automatu je řízena uživatelským programem, který si každý naprogramuje v daném obslužném softwaru od výrobce automatu. V něm jsou většinou již předdefinované základní bloky kódu s nejčastěji používanými operacemi a programování je tak velice jednoduché a rychlé. Program se píše ve speciálním jazyce určeném pro programovatelné automaty, který je dán normou IEC 61131. Každý výrobce zcela nedodrží pravidla dané touto normou, ale jazyk si přizpůsobí pro potřeby svého produktu a hardwaru daného automatu. V závislosti na daném modelu automatu lze dosáhnout velké univerzálnosti a rozšiřitelnosti zařízení pomocí jednotlivých rozšiřujících modulů. Programovatelný automat sám sebe nepřetržitě kontroluje a v případě, že aktuální stav vyhodnotí jako chybový okamžitě reaguje. Díky tomu je dosaženo velké spolehlivosti a zabráněno havarijním stavům. Zřízení pracuje v reálném čase a program zpracovává cyklicky. Programovatelný automat a jeho periférie jsou přizpůsobeny tak, aby bylo možné přímé připojení na další zařízení.

### 4.2 Dělení programovatelných automatů

Dělení je možné provést na základě libovolného parametru programovatelných automatů. Základní a nejčastěji používané dělení je však na základě konstrukce na:

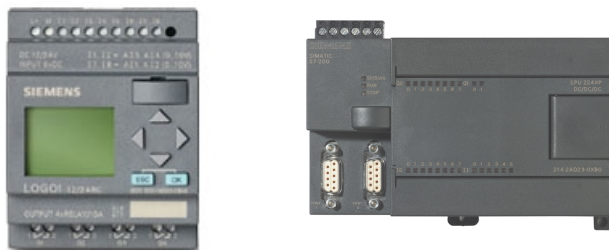
- Velmi malé
- Malé
- Středně velké

- Velké.

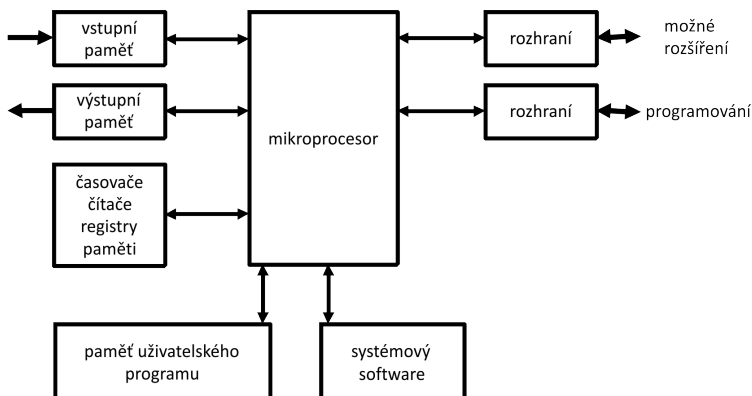
Nebo flexibility dalšího možného rozšíření počtu vstupů a výstupů programovatelného automatu na:

- Kompaktní (Sem patří dle konstrukce velmi malé a malé programovatelné automaty)
- Modulární (Sem patří dle konstrukce středně velké a velké programovatelné automaty).

Kompaktní programovatelný automat má předem jasně danou konfiguraci a jeho další možné rozšíření je omezené a často nevýhodné. Jedná se o malé zařízení, které má vše integrované v jednom bloku. Tedy centrální procesorová jednotka (často označované zkratkou CPU) a digitální vstupy a výstupy (často označované DI – vstupy a DQ nebo DO – výstupy). Občas obsahuje analogové vstupy a výstupy (AI a AQ/AO), malý displej pro zobrazení základních informací, ovládací prvky a zdroj. Nebo se dá doplnit o externí zobrazovací panel. To už však záleží na konkrétním modelu a výrobci. Tyto automaty se hodí pouze na malé úlohy, kde je jejich nasazení velice jednoduché a rychlé. Programování se dá často provést přímo pomocí integrovaných ovládacích prvků, když jsou integrované. Což je ale často nekomfortní a nepřehledné. Nebo pomocí výrobcem dodaného programu na počítači, kde se často dá programovat i graficky pomocí funkčních bloků. Automat se k počítači připojuje pomocí USB rozhraní, RS 232 rozhraní nebo ethernetu. Oproti modulárním programovatelným automatům jsou ty kompaktní více mechanicky odolné a mají lepší poměr ceny za jeden vstup. Cena těchto kompaktních zařízení se pohybuje přibližně již od 3 000 Kč až po 30 000 Kč a odvíjí se od dané konfigurace.



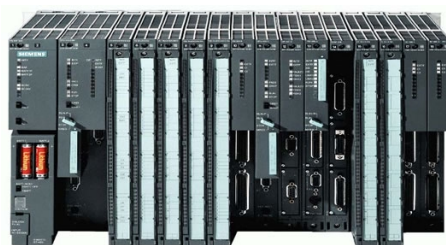
Obr. 11 Příklad kompaktních PLC Siemens [9]



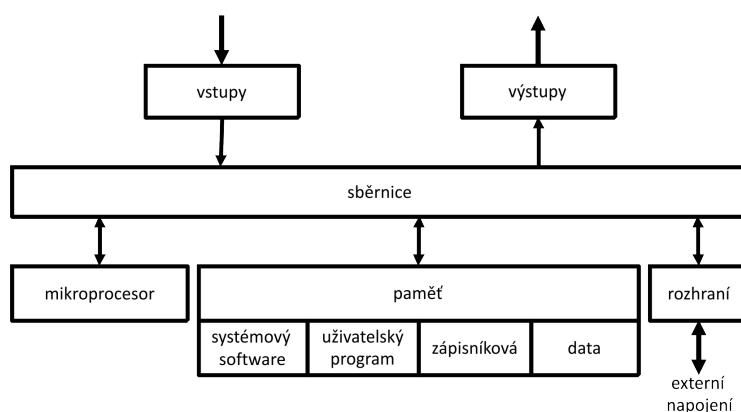
Obr. 12 Struktura kompaktního PLC

Modulární programovatelné automaty jsou takové, kde se automat jako celek skládá z jednotlivých modulů a lze jej poskládat dle individuálních požadavků dané aplikace. Takový automat se skládá z modulu s centrální procesorovou jednotkou, modulu se zdrojem, modulů se vstupy a výstupy (analogové proudové nebo napěťové, digitální), modulů komunikačních (pro různé sběrnice, ethernet, wifi, GSM a další) a řady dalších speciálních modulů pro připojení specifických periférií jako mohou být senzory teploty, vizualizační panely a podobně. Vizualizační panely, pomocí kterých lze zobrazovat informace nebo programovatelný automat ovládat a zasahovat do jeho uživatelsky definovaného programu mohou být černobílé nebo barevné, textové nebo grafické, bezdotykový nebo dotykové. Záleží pouze na konkrétním výrobci a modelu. To se dá říci i o celé konfiguraci modulárního automatu, že záleží pouze na konkrétním výrobci programovatelného automatu co vše dodává k danému typu. O každém modulárním PLC lze říci, že je jedinečným

originálem. Teoreticky je konfigurace „neomezená“. Ale v případě velkého systému se ukázalo být vhodnější rozdělit celek na více částí. Použít decentralizované řízení, kde jsou samostatně řízeny menší celky jednotlivými automaty a ty pak vzájemně propojit pomocí sběrnice nebo je řídit dalším menším automatem, než stavět jeden centrální programovatelný automat s několika tisíci vstupy, výstupy.



Obr. 13 Příklad modulárního PLC Siemens [9]



Obr. 14 Struktura modulárního PLC

### 4.3 Provozní režim programovatelného automatu a chod programu

Programovatelné automaty mají dva hlavní režimy svého chodu. Je to režim „RUN“, kdy automat normálně zpracovává uživatelsky definovaný program. Druhým režimem je „STOP“, kdy program automatem zpracováván není. Tento režim se automaticky spustí ve chvíli výskytu chyby, nebo manuálně povelom od uživatele nebo uživatelského programu. Po spuštění tohoto režimu se výstupy automatu buď vynulují, nebo nastaví na v uživatelském programu definované hodnoty pro tento režim. Během tohoto režimu však zůstávají zachovány hodnoty všech časovačů a čítačů, než byl stav „STOP“ aktivován. Vedle těchto režimů, máme ještě režimy vedlejší jako je „START“, „NULOVÁNÍ“ a „KOPÍROVÁNÍ“.

Program pro programovatelný automat je posloupnost jednotlivých instrukcí, příkazů po sobě následujících. Tento program může být spuštěn několika způsoby:

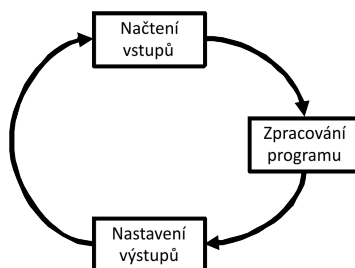
- Cyklicky spouštěný program
- Časově spouštěný program
- Událostně (alarmově) spouštěný program.

Cyklicky spouštěný program je takový, který je spouštěn pravidelně periodicky neustále dokola (znázorněno na Obr. 15 ). Nejprve dojde k načtení hodnot ze všech vstupů, poté následuje zpracování programu a po zpracování programu následuje nastavení hodnot výstupů. Během načítání hodnot vstupů a zpracování programu jsou hodnoty výstupů konstantní. Celý blok těchto činností je zpravidla považován za jeden cyklus.

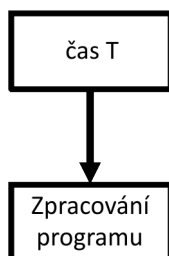
Časově spouštěný program (znázorněno na Obr. 16 ) je spouštěn periodicky v přesně definovaný časový okamžik. Často se mluví o vzorkovací periodě. Časově spouštěný program nachází

své uplatnění například u regulace.

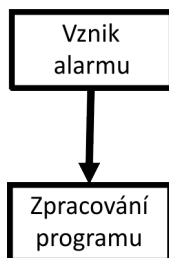
Událostně spouštěný program (znázorněno na Obr. 17) nebo často taky nazýváno alarmově spouštěný program je takový, který je spuštěn na základě vzniku dané události, výskytu alarmu. Obvykle spojeno přímo s daným vstupem PLC a v případě změny na tomto vstupu je inicializován program. Takto spouštěný program je určen převážně k rychlým reakcím PLC na aktuální stav řízeného systému (například kolizní stav).



Obr. 15 Cyklicky spouštěný program



Obr. 16 Časově spouštěný program ( $T$  = časový interval spouštění)



Obr. 17 Událostně (alarmově) spouštěný program

Jednotlivé způsoby spouštění programu mají svoji prioritní hierarchii. Největší prioritu spouštění má alarmově spouštěný program, ten je spuštěn vždy a přerušuje chod cyklicky i časově spouštěného programu. Druhý v pomyslném žebříčku priorit je časově spouštěný program, ten přerušuje cyklicky spouštěný program. Cyklicky spouštěný program je na posledním nejnižším místě. Program který je přerušen však zapomenut není. Po vykonání programu, kterým byl přerušen, pokračuje plynule od místa přerušení dál. Ne vždy u každého PLC jsou podporovány všechny tyto způsoby spouštění programu. Záleží pouze na daném modelu a výrobci.

#### 4.4 Programovací jazyky PLC dle normy IEC 61131-3

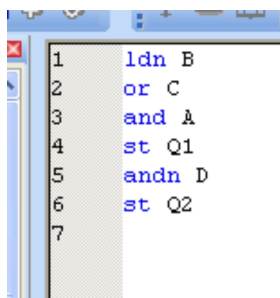
Ve snaze sjednotit a zpřehlednit trh s PLC od různých výrobců byla ustanovena mezinárodní norma IEC 61131, která byla zařazena jak do norem Evropské unie (EN IEC 61131), tak i do českých norem (ČSN EN 61131). Norma je dělena do více částí a právě 3. část s příznačným názvem Programovací jazyky se zabývá jazykem pro psaní programu pro PLC. Většina světových výrobců a vývojářů PLC se touto normou dnes již řídí a jedná se jen o malé a drobné rozdíly mezi jazyky jednotlivých výrobců. Norma do programování PLC vnáší podobné zvyklosti, jaké byly před vznikem normy obvyklé pouze u programovacích jazyků jako je C nebo C++ pro počítačový software. Jedná se například o povinnou deklaraci proměnných na začátku kódu v jednom místě, jasně definované požadavky na deklaraci funkce, funkčního bloku. Tyto všechny kroky vedou k učinění kódu univerzálním s možností jeho přenositelnosti z jednoho PLC na druhé bez ohledu na model

a výrobce.

Normou IEC 61131-3 jsou jazyky rozděleny do dvou skupin na textové a grafické s celkem 5-ti popsánymi různými druhy jazyků.

- Textové:
  - IL – instruction list (jazyk instrukcí)
  - ST – structured text (strukturovaný text)
  - SFC – sequentiaul function chart (textová podoba funkčních grafů)
- Grafické:
  - LD – ladder diagram (kontaktní schéma)
  - FBD – function block diagram (schéma funkčních bloků)
  - SFC – sequentiaul function chart (grafická podoba funkčních grafů)

IL z anglického instruction list, česky jazyk instrukcí je nejzákladnější jazyk. Jazyk na úrovni assembleru se kterým má mnoho společného. Jedná se o seznam jednotlivých instrukcí. Výhodou je jeho univerzálnost a možnost naprogramovat prakticky „cokoliv“. Nevýhodou, obtížnost na pochopení a u větších úloh velké množství instrukcí i pro základní strojové úkony.



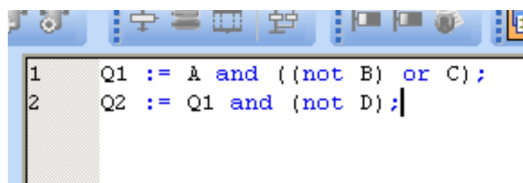
```

1 ldn B
2 or C
3 and A
4 st Q1
5 andn D
6 st Q2
7

```

Obr. 18 Ukázka kódu v jazyce IL

ST z anglického structured text, česky strukturovaný text se řadí mezi vyšší programovací jazyky a vychází z jazyků Pascal a C. To znamená, že programátorovi dává obdobné nástroje jako v uvedených jazycích. Například možnost větvení podmínkou (IF ... THEN ... ELSE) nebo tvorbu cyklů pomocí klíčových slov FOR, WHILE nebo REPEAT. Výhodou jazyka ST je úsporný a jednoduchý zápis třeba oproti jazyku IL. Pro člověka se znalostí programování například v jazyce C je i snadno zvládnutelný.



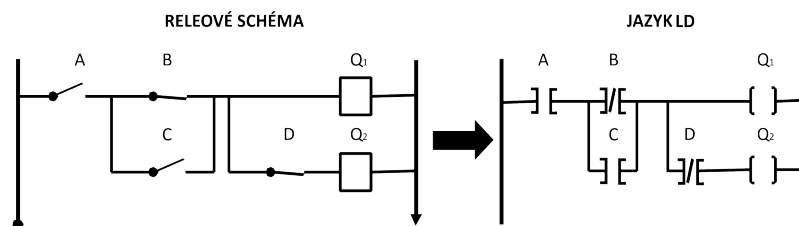
```

1 Q1 := A and ((not B) or C);
2 Q2 := Q1 and (not D);

```

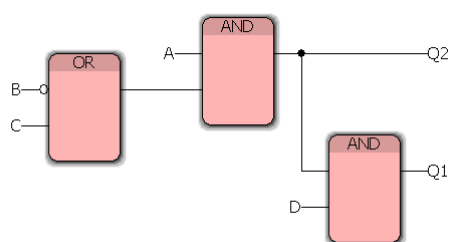
Obr. 19 Ukázka kódu v jazyce ST

LD z anglického ladder diagram, česky kontaktní schéma je grafický programovací jazyk, který kód programu reprezentuje jako releový obvod. Jeho velkou výhodou je snadná pochopitelnost pro osoby se znalostí elektřiny, bez znalosti jakéhokoliv programování právě díky reprezentaci přes releový obvod. Velkou nevýhodou je naopak velmi těžká použitelnost na rozsáhlejší a složitější úlohy.



Obr. 20 Ukázka kódu v jazyce LD

FBD z anglického function block diagram, česky schéma funkčních bloků je grafický programovací jazyk, kde kód je tvořen propojováním a skládáním jednotlivých funkčních bloků. Program se skládá jako stavebnice. Výhodou tohoto jazyka je opět jeho názornost, lehká pochopitelnost a u snadných úloh velmi rychlá konstrukce programu. Nevýhodou je jako u jazyka LD obtížná aplikovatelnost pro sestavování programu u složitějších úloh.



Obr. 21 Ukázka kódu v jazyce FBD

Ukázky kódu na Obr. 18 , Obr. 19 , Obr. 20 a Obr. 21 jsou zápisem totožného programu a lze z nich usoudit náročnost a rychlost sestavování kódu v jednotlivých jazycích. Například zápis v jazyce ST je jednoznačně rychlejší než v jazyce LD nebo FBD.

SFC z anglického sequential function chart, česky funkční graf by se dal přirovnat k orientovanému grafu, kde uzly obsahují určitou část kódu programu a jednotlivé orientované hrany mezi jednotlivými uzly vždy obsahují logickou podmínku, jejíž splnění je nutné pro pokračování programu přes danou hranu. Program vždy pokračuje po té hraně, jejíž podmínka je nejdříve splněna. Nevýhodou tohoto jazyka je nutnost správného pochopení logiky a způsobu programování v jazyce SFC.

Základním stavebním prvkem každého jazyka je programová jednotka POU(program organization unit). Každá POU musí obsahovat tři základní části: hlavičku, deklaraci proměnných a samotný kód programu. V části deklarace proměnných musí být nadefinovány všechny použité proměnné v dané POU. Musí být uveden datový typ a jestli se jedná o proměnnou vstupní, výstupní, vstupně-výstupní nebo lokální. V poslední části je pak uveden samotný programový kód, který je napsán jedním z programovacích jazyků definovaných normou(IL, ST, LD, FBD). SFC není určeno přímo pro základní programování, ale je určeno pro definování vazeb uvnitř programu PLC. Jednotlivé POU mohou být i v rámci jednoho projektu psány různými jazyky a přesto budou kompatibilní. Norma rozlišuje tři základní typy POU(seřazeno dle hierarchie důležitosti od nejvyšší po nejvyšší):

- Function (funkce)
- Function block (funkční blok)
- Program (program).

Program je hlavní jednotkou a obsahuje hlavní program. Proměnné programu mohou být navázány na fyzické adresy jednotlivých vstupních a výstupních portů v rámci PLC. Program může obsahovat funkční bloky a funkce. Funkční blok může obsahovat jiné funkční bloky a funkce. Funkce je nejzákladnější stavební „kámen“, který může obsahovat pouze jiné funkce. Základní rozdíl mezi funkčním blokem a funkcí je ten, že funkce nemá svou paměť, kdežto funkční blok ano.

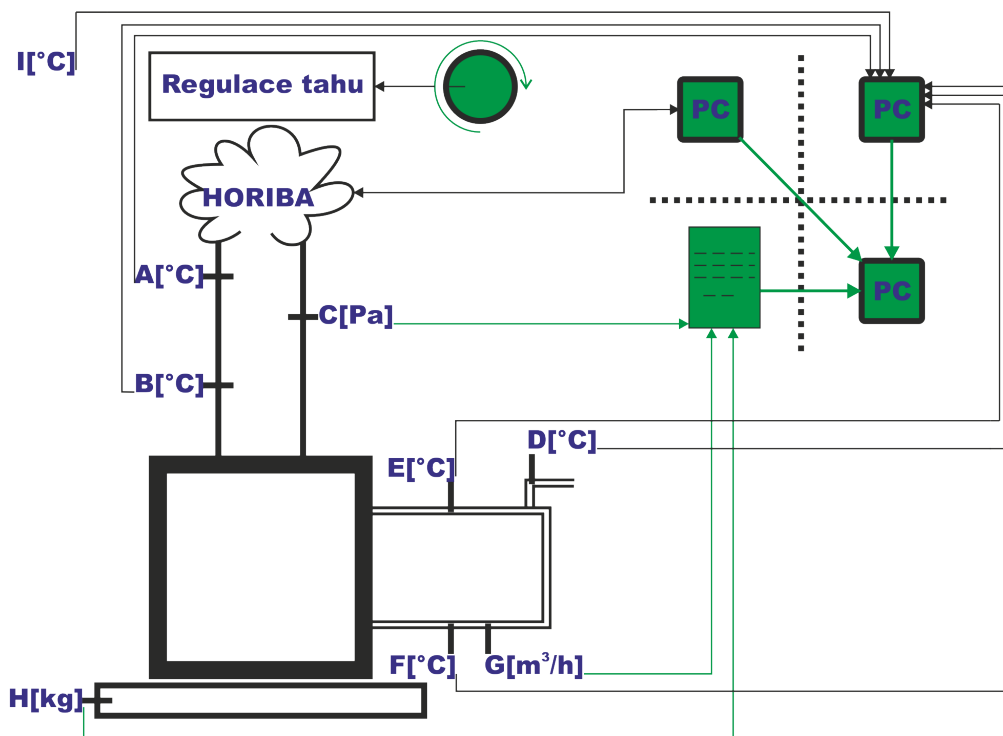


Je ovšem zakázané pro všechny POU rekurzivní volání sama sebe a to ať už přímé, nebo i nepřímé přes jiné funkční bloky nebo funkce. Fakta v kapitole 4 převzata ze zdroje [12].



## 5 PŮVODNÍ STAV ZKUŠEBNÍHO PRACOVISTĚ

Na názorném schématu (Obr. 22 ) lze vidět strukturu uspořádání zkušebního pracoviště v době před modernizací.



Obr. 22 Schéma zkušebního pracoviště tak jak fungovalo před modernizací (Zelenou barvou jsou znázorněny činnosti, které vyžadují lidskou práci. Černá barva znázorňuje činnosti automatizované.)

Ze schématu lze vyčíst, že pracoviště není ucelené, ale spíše rozděleno na několik částí a obsluha musí pracovat na několika místech současně. Zařízení na rozbor spalin Horiba (na schématu Obr. 22 ), má vlastní obslužný počítač s nainstalovaným softwarem EDA2000 pro obsluhu zařízení. Na začátku zkoušky je nutné počítač spustit, spustit software a zahájit monitorování spalin. Po celou dobu zkoušky lze u tohoto počítače pozorovat aktuální hodnoty jednotlivých prvků obsažených ve spalinách, ale nějaký dlouhodobější trend nebo záznam v grafu od začátku zkoušky již není. Po skončení zkoušky je nutno na tomto počítači software zastavit, zaznamenané hodnoty z průběhu zkoušky exportovat do zvoleného souboru a pomocí přenosného úložného média přenést na jiný počítač, kde pomocí tabulkového programu (například MS Excel) je možné data dále zpracovat a vyhodnocovat.

Další počítač byl určen pro sledování a zaznamenávání hodnot z jednotlivých senzorů na měření teploty na určených místech zkušební sestavy (veličiny A, B, D, E, F a I na schématu Obr. 22 ). Opět je nutné na začátku zkoušky počítač zapnout, spustit obslužný software a zahájit záznam hodnot. Během zkoušky lze vidět na počítači zaznamenávané hodnoty v textovém souboru řazené do tabulky. Po ukončení zkoušky je nutno opět soubor uložit a pomocí přenosného úložného média přenést na jiný počítač, kde pomocí tabulkového programu (například MS Excel) je možné s daty dále pracovat a vyhodnocovat.

Další parametry jako je tah, průtok a hmotnost (veličiny C, G a H na schématu Obr. 22 ) jsou zaznamenávány ručně na papír. To vyžaduje značnou pozornost zkoušejícího pracovníka, aby hodnoty zaznamenával v daných časových intervalech a zároveň na hodnotu tahu reagoval, protože během zkoušky musí být hodnota tahu konstantní (povoleny jsou menší výchyly v daném

tolerančním pásmu). Regulace tahu se provádí ručně pomocí potenciometru, kterým lze nastavit výkon ventilátoru („regulace tahu“ na schématu Obr. 22 ). Tyto zaznamenané hodnoty ručně na papír se musí po zkoušce přepsat na počítači do tabulky a poté je možno data dále upravovat a vyhodnocovat. V této části průběhu zkoušky je vysoká pravděpodobnost možnosti výskytu chyby překlepnutím či přehlédnutím při přepisování hodnot z papíru do počítače. Takto nashromážděná data z průběhu zkoušky se pak na počítači musí sloučit do jednoho tabulkového souboru a pomocí definovaných vztahů jsou vypočteny z těchto dat jednotlivé parametry, ukazatele. Z pořízených výsledků se poté musí sestavit výsledný protokol, který slouží jako záznam o proběhlé zkoušce.

Zkouška pomocí těchto zařízení a postupů je náročná na čas obsluhujícího pracovníka. V případě obsluhy pouze jedním pracovníkem, je zde velké riziko neuhlídání jednotlivých úkonů a tím i zmaření celé zkoušky a nutnosti zkoušku opakovat. V neposlední řadě jsou i časově náročné úkony spojené s přenosem dat z jednotlivých stanic po skončení samotné zkoušky, s digitalizací dat ručně zaznamenávaných a s následným celkovým zpracováním naměřených dat, které je spojené s vkládáním, kopírováním a upravováním jednotlivých tabulek s daty. O pracovišti které pracuje výše popsaným způsobem se v žádném případě nemůže hovořit jako o moderním nebo automatizovaném. Přitom by se to od takového pracoviště očekávalo a zdálo by se to být samozřejmostí, když hovoříme o certifikovaném pracovišti Strojírenského zkušebního ústavu, s.p.. Naopak o něm lze říci, že je morálně zastaralé, současné době nevyhovující a vyžadující obnovení i modernizaci.

## 6 NAVRHOVANÁ MOŽNÁ ŘEŠENÍ PRO MODERNIZACI

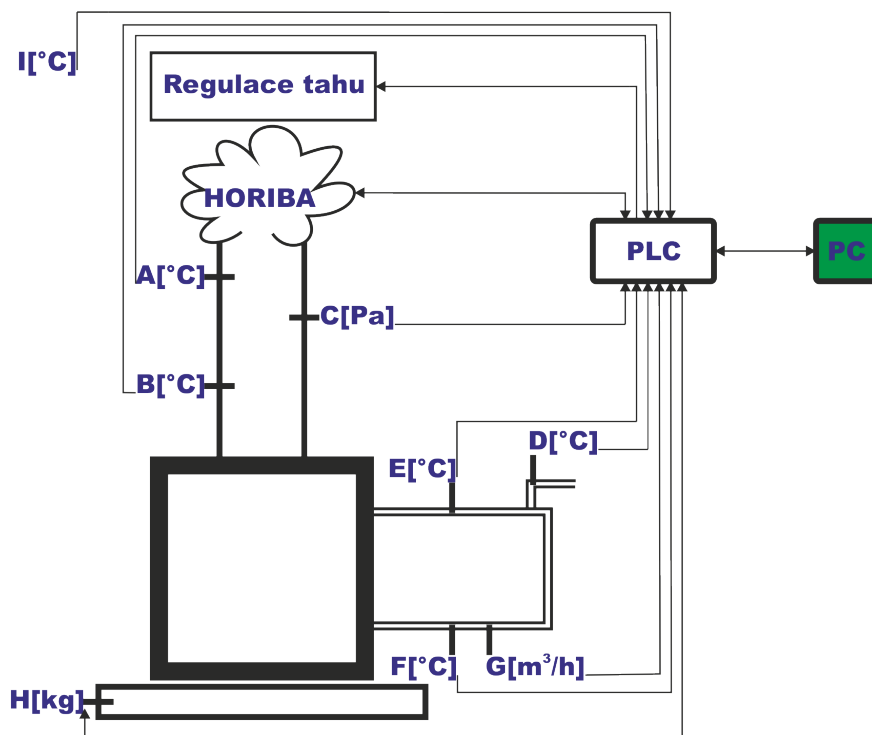
Než lze navrhnout možné varianty pro modernizaci pracoviště, je nutné jasně nadefinovat požadavky a parametry nového modernizovaného zkušebního pracoviště. Na jedné straně jsou jasně dané parametry, které vyplývají z přesně definovaných principů a způsobů prováděných zkoušek. Na druhé straně je zde požadavek od zadavatele o zapracování do nového modernizovaného pracoviště současných zařízení, která byla pořizována v nedávné době. Tyto zařízení jsou naprosto dostačující po technické stránce a jejich pořizovací hodnoty byly v řádů statisíců, a proto není možný nákup nových zařízení pro tyto činnosti a nová zařízení by ani neměla žádný nový přínos. Jedná se o zařízení na rozbor spalín značky Horiba a o váhový terminál značky Mettler Toledo s vážící plošinou. Dalšími požadavky jsou automatizace procesu zkoušky z čehož by plynulo snížení nároku na obsluhu zkušebního pracoviště a i automatizace následného vyhodnocení naměřených údajů. Tím by došlo k velkému snížení nároků na čas strávený zkušebním pracovníkem jednou zkouškou a k urychlení získání výsledků zkoušky. Urychlit samotný průběh zkoušky nelze, jeho délka je přesně stanovena normou. Příprava zkoušky a následné zpracování a vyhodnocení zkrátit lze a je to tedy jedním z úkolů a cílů pro modernizované pracoviště.

### 6.1 Základní struktura modernizovaného pracoviště

Jestliže má být modernizované pracoviště automatizované a schopné samostatné činnosti, musí mít řídicí člen - „mozek“ systému. Vzhledem k charakteru řízené úlohy a některým specifickým zadáním (komunikace s již stávajícími zařízeními) musí jít o univerzální zařízení, které bude umožňovat velkou volnost ve specifikaci a úpravách konkrétního provedení. Současně můžeme vyloučit nějaké individuální firemní řešení, které bude zcela originální na zakázku udělané „od A až po Z“ z finančních důvodů. Jako takový řídicí člen lze označit programovatelný automat. Jedná se o spolehlivé zařízení, které splňuje i ty nejnáročnější kritéria pro použití například v jaderných elektrárnách, a proto bude jistě i dostačující pro použití v laboratořích SZÚ, s.p.. A právě programovatelný automat je přesně tím univerzálním zařízením, které lze přizpůsobit pro daný problém a nebude se přitom jednat o řešení se závratnou cenou. Proto jako řídicí člen je zvolen programovatelný automat.

Uživatel musí mít k dispozici uživatelské prostředí pro obsluhu pracoviště. Pro svou jednoduchost komunikace mezi PC a PLC se přímo nabízí možnost toho, že toto uživatelské prostředí bude instalováno na stolním počítači a prostřednictvím klávesnice a myši bude uživatel s tímto zařízením komunikovat. Zde jsou dvě možnosti stavby uživatelského prostředí. Jednou je program, který by byl zcela naprogramován od začátku a „na míru“ pro daný problém pomocí programovacího jazyka jako je C++ nebo C#. Tato varianta by byla velice časově a technologicky náročná a z toho plyne i cenově náročná a lze ji tedy označit jako nevhodnou pro daný problém. Proto je vhodnější pro daný problém využít univerzální programový nástroj, který je určen přímo pro vývoj a provozování řídicích aplikací v oblasti průmyslové i neprůmyslové automatizace. Velkou výhodou těchto programů je jejich jednoduchost a rychlost tvorby dané konkrétní aplikace. Většinou jsou v nich již předchystané obvykle používané přístroje (různé metry, vypínače, prepínače a podobné nástroje), které již jen jako stavebníci skládáme na aktivní plochu, vzájemně propojujeme, nastavujeme pravidla a podmínky pro chod aplikace. Vzniká tak velice rychle a efektivně uživatelsky velice příjemná a názorná aplikace, pomocí které lze vizualizovat daný proces a zároveň jej i ovládat. Proto uživatelská aplikace s vizualizací procesu a řízením pro modernizovanou zkušební laboratoř SZÚ, s.p. bude tvořena právě takovým univerzálním nástrojem.

Navrhovanou strukturu modernizovaného pracoviště lze vidět na Obr. 23. Řízení obstarává programovatelný automat v potřebné konfiguraci. Na ten jsou připojeny veškeré periferie jako senzory teplot, zařízení na rozbor spalín, terminál váhy, průtokoměr, tlakoměr. A programovatelný automat je připojen na stolní počítač na kterém funguje uživatelská aplikace s vizualizací a ovládáním procesu.



Obr. 23 Navrhovaná struktura automatizovaného modernizovaného pracoviště

## 6.2 Řízení – PLC

Pro správnou volbu programovatelného automatu se musí nejprve přesně nadefinovat co vše by zařízení mělo obsahovat a umět. Z principu a definice zkoušky a z Obr. 22 lze stanovit základní a minimální konfiguraci pro programovatelný automat. Vhodnější je potom zvolit takový, aby zařízení šlo ještě dále alespoň v minimální míře rozšiřovat a byla možná další modernizace v budoucnosti, což je také jeden z požadavků zadavatele. Minimální požadavky na konfiguraci lze vidět sumarizované v následující tabulce:

6x	teploměry	vstup
1x	rozběr spalin Horiba	vstup/výstup
1x	váhový terminál Mettler Toledo	vstup/výstup
1x	tlakoměr	vstup
1x	průtokoměr	vstup
1x	regulace tahu	výstup

V případě teploměrů bylo zadavatelem specifikováno, že ve čtyřech případech jde o odporové snímače teploty Pt100 (veličiny D, E, F a I na schématu Obr. 23) a ve dvou případech se jedná o termočlánky Ni-Cr (veličiny A a B na schématu Obr. 23). Jedná se o dva senzory, které měří teplotu spalin v úseku odvodu spalin ze zařízení. Zadavatel zde potřebuje teploměry s větším teplotním rozsahem, který mu teploměry Pt100 použité v ostatních případech aplikace neposkytují. V případě teploměrů Pt100 bude využito připojení pomocí tří vodičů. To z toho důvodu, že vybraný dodavatel programovatelného automatu jako standard vyrábí modul pro připojení pomocí tří vodičů (Umožňuje i připojení pomocí dvou vodičů, ale to je nepřesné.). Modul pro připojení pomocí čtyř vodičů je vyráběn také, ale jeho cena je v poměru s jeho přínosem pro danou aplikaci příliš vysoká a jeho dostupnost je špatná. Proto si zadavatel vybral modul pro zapojení pomocí tří vodičů. To znamená, že bude nutné použít dva různé moduly pro připojení těchto snímačů k programovatelnému automatu. Jeden druh pro Pt100 a druhý pro Ni-Cr. V případě zařízení na rozběr spalin značky Horiba je nutno použít modul pro komunikaci přes rozhraní RS232. Ten stejný modul

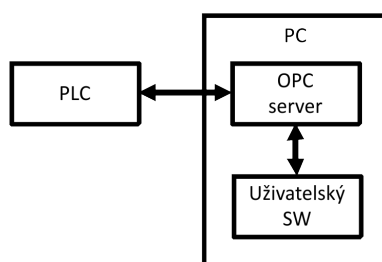
je nutné použít i v případě váhové terminálu značky Mettler Toledo. V případě tlakoměru a průtokoměru budou po konzultaci se zadavatelem použity snímače s proudovým výstupním signálem v rozsahu 4 až 10mA. Ty budou připojeny na speciální moduly programovatelného automatu, které jsou schopny v daném rozsahu veličinu měřit v dostatečně vysokém rozlišení, aby byla zachována požadovaná přesnost měření. Pro regulaci tahu bude potřeba jeden analogový výstup (napět'ový), kterým bude možné plynulé řízení výkonu ventilátoru, tím bude následně ovlivněn výsledný tah.

Po zvážení této minimální konfigurace a s ohledem na následující budoucí možné rozšíření bylo zadavateli navrženo, že jako řídicí člen může být použit programovatelný automat firmy Siemens model Simatic S7-200 nebo od firmy Phoenix-Contact model ILC 150 ETH. Jedná se o programovatelné automaty nižší třídy, již s možností modulárního rozšíření. V obou případech jsou podporovány a k dispozici požadované moduly pro rozšíření základní procesorové jednotky, která v obou případech v základu obsahuje omezené množství výstupů a vstupů. Zadavatelem byl jako řídicí člen vybrán programovatelný automat firmy Phoenix-Contact model ILC 150 ETH.

### 6.3 Uživatelská aplikace

V případě univerzálních programových systémů pro vývoj aplikací pro automatizaci byly navrženy zadavateli dva systémy. Systém Control Web od firmy Moravské přístroje a.s. a LabView od firmy National Instruments. S ohledem na dřívější pozitivní zkušenosti se systémem Control Web a bohatými referencemi, kdy systém Control Web je úspěšně nasazen i v zařízení jako je jaderná elektrárna Dukovany v České Republice, byl zadavateli doporučen systém Control Web. Ten byl také zadavatelem vybrán jako vhodný nástroj pro tvorbu aplikace.

Schéma navrhované komunikace mezi řídicím PLC a uživatelskou aplikací je na Obr. 24 . Programovatelný automat si obousměrně vyměňuje data s OPC serverem. Ten funguje na stolním počítači, na kterém je i uživatelská aplikace. Ta si obousměrně vyměňuje data v rámci jednoho stolního počítače s OPC serverem. Jedná se o velmi jednoduché a spolehlivé řešení, kdy PLC a uživatelská aplikace jsou na sobě zcela nezávislé a fyzicky mezi nimi neexistuje spojení.



Obr. 24 Schéma komunikace

OPC je označení otevřeného standardu pro přenos dat v automatizaci, průmyslové komunikaci. Tento standard byl vyvinut ve spolupráci největších světových výrobců automatizační techniky a společnosti Microsoft. Vzniká jako prostředek, který bude univerzálním zprostředkovatelem komunikace mezi všemi druhy automatizačního hardwaru a počítači, respektive softwarovým vybavením instalovaným na těchto počítačích. Cílem je tedy to, aby nebyla závislost mezi softwarem a hardwarem, byl odstraněn problém s kompatibilitou ovladačů a sdílení jednoho hardwaru více programy. Standard OPC je založen na produktech firmy Microsoft OLE, COM a DCOM. Architektura OPC je založena na komunikačním schéma klient – server. Komunikace probíhá v reálném čase a může být připojeno jak více klientů k jednomu serveru, tak i více serverů k jednomu klientu. OPC server lze přirovnat ke komunikačnímu ovladači, kterému se nakonfigurují jednotlivé veličiny, jestli jsou vstupní nebo výstupní a jejich vazba na veličiny v paměti externího hardwaru. Dále se nastaví perioda komunikace. Takhle nadefinovaný OPC server poté za chodu

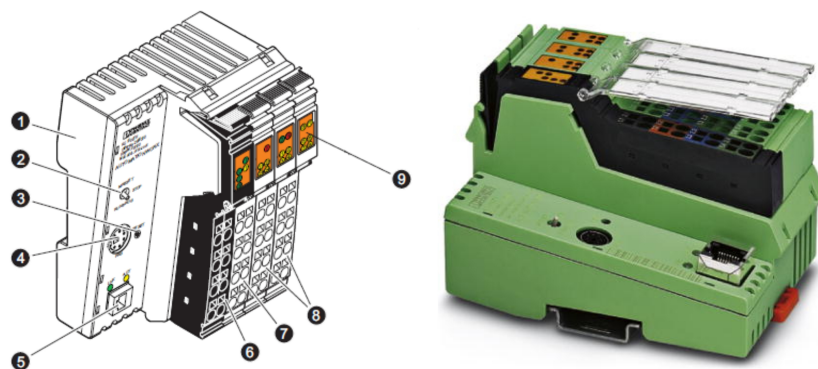
přenáší data. OPC klient musí být připojen na konkrétní OPC server. Pomocí metody COM lze prohledat celý prostor a najít všechny dostupné OPC servery a pak jen ten správný připojit a následně propojit i dané veličiny. Za chodu OPC klientu a OPC serveru dochází při přenosu dat k přenosu třech složek: hodnoty samotné, času a kvality údaje. V dnešní době již většina výrobců programovatelných automatů a i vizualizačních a řídicích programů pro automatizaci podporují výměnu dat pomocí OPC. Tyto produkty jsou vybaveny rozhraním OPC klient a je tak možno je napojit na OPC server.



## 7 REALIZOVANÁ MODERNIZACE

Zadavatel ve všech bodech navrhované modernizace souhlasil s navrhovanými technologiemi. Tam kde bylo více možných řešení si po konzultaci a zvážení všech aspektů daného řešení zvolil dle vlastního uvážení jedno z navrhovaných řešení. Jednalo se o výběr programovatelného automatu a výběr systému pro vývoj uživatelské aplikace. Na základě zadavatelem vybraných technologií je sestaveno modernizované pracoviště. Předmětem této práce je sestavit a naprogramovat řídicí člen a naprogramovat uživatelskou aplikaci. Periferie jako jsou snímače teploty, průtokoměr a další zařízení si zadavatel pořizuje a vybírá sám, pouze s ohledem na konzultované parametry z důvodu kompatibility připojení k řídicí jednotce, tedy programovatelnému automatu.

### 7.1 Programovatelný automat ILC 150 ETH



Obr. 25 Řídicí jednotka ILC 150 ETH [3]

Popis jednotlivých částí řídicí jednotky:

- |   |                                    |
|---|------------------------------------|
| 1 | Základní elektronická jednotka     |
| 2 | Přepínač provozních stavů          |
| 3 | Tlačítko reset                     |
| 4 | RS232 rozhraní                     |
| 5 | Ethernet rozhraní                  |
| 6 | Konektor 1: pro připojení napájení |
| 7 | Konektor 2: výstupy                |
| 8 | Konektory 3 a 4: vstupy            |
| 9 | Indikace diagnostiky a stavu       |

ILC 150 ETH je malá výkonná řídicí jednotka, která doplňuje řadu vysoce modulárních řídicích jednotek Inline Controller firmy Phoenix Contact. Její uplatnění je u středních a malých aplikací, kterým lze jednotku díky vysoké modularitě dokonale přizpůsobit. Přes integrované rozhraní Ethernet lze jednotku parametrizovat, programovat, vyměňovat data s OPC servery nebo komunikovat s dalšími účastníky v síti. Díky těmto parametrům vyniká nad modely stejné cenové skupiny od jiných výrobců, kde podobné vlastnosti a možnosti získáme až u modelů vyšších tříd nebo nákladným rozšířením pomocí rozšiřujících modulů. Programování se provádí pomocí software PC WorX, který splňuje normu IEC 61131 a je tedy možno zařízení programovat jedním z touto normou definovaných jazyků. Odolnost vůči vlhkosti, vibracím a rozsah teplot a tlaku přípustných pro fungování jsou obvyklé a nevybočují ze standardu pro tento druh zařízení.

Specifikace zařízení:

- |             |                      |
|-------------|----------------------|
| • V x Š x H | 119,8 x 80 x 71,5 mm |
| • Hmotnost  | 285g                 |
| • DI        | 8                    |
| • DO        | 4                    |

- Rozhraní Ethernet, RS-232 (pro externí napojení)  
INTERBUS (pro místní rozšíření pomocí rozšiřujících modulů)
- Rychlost 1,5 ms (pro 1K instrukcí)
- Datová paměť 256kB + 8kB remanentní datová paměť (NVRAM)

Zařízení lze dále rozšiřovat a konfigurovat pro konkrétní úlohu pomocí rozšiřujících modulů přes místní sběrnici INTERBUS (Master).

Omezení pro rozšíření:

- Maximální počet vstupních/výstupních bodů je 4096
- Maximum připojených zařízení je 128

Pro zkušební pracoviště musí mít řídicí jednotka následující minimální konfiguraci dle současných požadavků:

- 2x vstup pro termočlánek Ni-Cr
- 4x vstup pro odporový senzor teploty
- 2x proudový vstup
- 2x rozhraní pro komunikaci po RS232
- 1x napěťový výstup

Na základě těchto požadavků musí být základní řídicí jednotka rozšířena o následující moduly:

- |      |                        |                                       |
|------|------------------------|---------------------------------------|
| • 1x | IB IL AI 8/SF-PAC      | 8 analogových vstupů                  |
| • 1x | IB IL TEMP 4/8 RTD-PAC | 8 vstupů pro odporové senzory teploty |
| • 1x | IB IL TEMP 2 UTH-PAC   | 2 vstupy pro termočládky              |
| • 2x | IB IL RS 232-PRO-PAC   | rozhraní RS232 pro komunikaci         |
| • 1x | IB IL AO 2/SF-PAC      | 2 analogové výstupy                   |

Tato konfigurace programovatelného automatu byla zvolena po konzultaci se zadavatelem s ohledem na další možné a plánované rozšíření a modernizování zkušebního pracoviště. Proto jsou v konfiguraci programovatelného automatu rezervy v počtu jednotlivých vstupů. Fakta v této kapitole byla převzata z firemních materiálů firmy Phoenix Contact [3].

### 7.1.1 Modul analogových vstupů: IB IL AI 8/SF-PAC



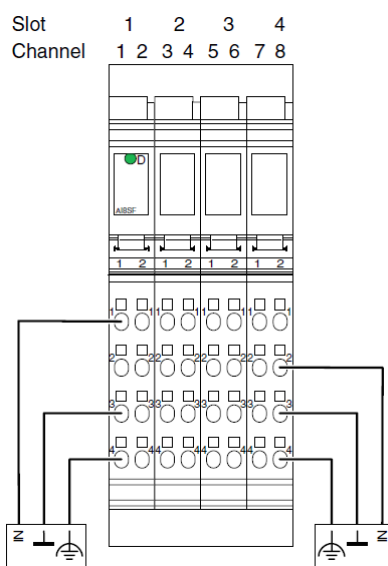
Obr. 26 Modul IB IL AI 8/SF-PAC [3]

Vstupní svorka Inline pro analogový signál, která je vhodná pro připojení všech zařízení dostupných na trhu s analogovým výstupem. Svorka slouží pro detekci a záznam proudových a napěťových signálů všech obvyklých kategorií. Mezi charakteristické vlastnosti tohoto výrobku patří vysoká přesnost měření při zachování rychlé detekce a záznamu naměřených hodnot. Kvalitní potlačení rušení. Přehledné označení jednotlivých vstupů je umožněno pomocí výklopných popisovacích polí. Tento modul je využit pro připojení průtokoměru a tlakoměru. Fakta

v této kapitole byla převzata z firemních materiálů firmy Phoenix Contact [7].

Specifikace zařízení:

- Počet vstupů je 8
- Technika připojení pomocí dvou vodičů
- Doba převodu A/D cca 10  $\mu$ s
- Rozlišení měřené hodnoty 16 bitů (15 bitů + znaménko)
- Vstupní signál proudový 0 – 20 mA, 4 – 10 mA, -20 – 20 mA, 0 – 40 mA, -40 – 40 mA
- Vstupní signál napěťový 0 – 5 V, -5 – 5 V, 0 – 10 V, -10 – 10 V, 0 – 25 V, -25 – 25 V, 0 – 50 V
- Přesnost proudový vstup  $\pm 0,04$  %
- Přesnost napěťový vstup  $\pm 0,02$  %



Obr. 27 Schéma zapojení modulu analogových vstupů (vlevo napěťový vstup, vpravo proudový vstup) [3]

### 7.1.2 Modul analogových výstupů: IB IL AO 2/SF-PAC



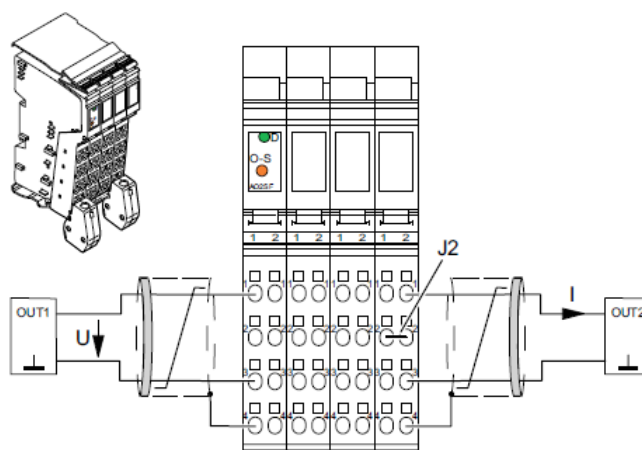
Obr. 28 Modul IB IL AO 2/SF-PAC [3]

Výstupní svorka Inline pro analogový signál, která je vhodná pro použití tam, kde je třeba řídit a ovládat analogovým signálem. Jednotlivé výstupy lze individuálně konfigurovat na obvyklé rozsahy výstupních analogových veličin (proudových a napěťových). Analogové signály jsou převáděny s přesností rozlišení 16 bitů. Přehledné označení jednotlivých výstupů je umožněno pomocí

výklopných popisovacích polí. Tento modul je využit k řízení ventilátoru pro regulaci tahu. Fakta v této kapitole byla převzata z firemních materiálů firmy Phoenix Contact [8].

Specifikace zařízení:

- Počet výstupů je 2
- Technika připojení pomocí dvou vodičů
- Doba převodu D/A < 100  $\mu$ s
- Rozlišení DAC 16 bitů
- Výstupní signál proudový 0 – 20 mA, 4 – 20 mA
- Výstupní signál napěťový 0 – 10 V
- Přesnost  $\pm 0,01$  %



Obr. 29 Schéma zapojení modulu analogových výstupů (vlevo napěťový, vpravo proudový) [3]

### 7.1.3 Modul pro připojení odporových senzorů teploty: IB IL TEMP 4/8 RDT-PAC

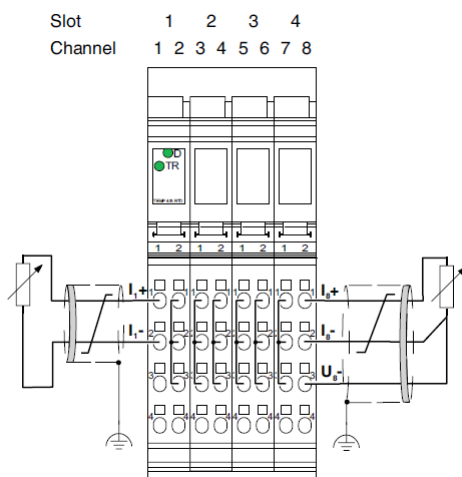


Obr. 30 Modul IB IL TEMP 4/8 RTD-PAC [3]

Vstupní svorka Inline pro analogový signál, která je speciálně určena pro připojení odporových snímačů teploty. Modul podporuje všechny běžné dostupné snímače z platiny (Pt 100, Pt 500, Pt 1000 a Pt 10000) a niklu. Podporuje i oba běžné způsoby připojení u těchto snímačů a to dvěma nebo třemi vodiči (v našem případě použita technologie připojení pomocí 3 vodičů na základě požadavku zadavatele). Každý vstup lze individuálně konfigurovat pro připojení různých snímačů. Naměřené hodnoty jsou v digitální podobě zobrazeny ve tvaru 16bitových hodnot. Přehledné označení jednotlivých vstupů je umožněno pomocí výklopných popisovacích polí. Tento modul je využit pro připojení odporových snímačů teploty. Fakta v této kapitole byla převzata z firemních materiálů firmy Phoenix Contact [6].

Specifikace zařízení:

- Počet vstupů je 8
- Technika připojení pomocí dvou nebo tří vodičů
- Doba převodu A/D < 10  $\mu$ s
- Použitelné typy senzorů RTD: Pt, Ni, KTY, Cu a lineární odpory
- Rozlišení A/D je 16 bitů
- Přesnost 0,06 %



Obr. 31 Schéma zapojení odporových snímačů teploty (vlevo 2-vodiči a vpravo 3-vodiči)[3]

#### 7.1.4 Modul pro připojení termočlánků: IB IL TEMP 2 UTH-PAC



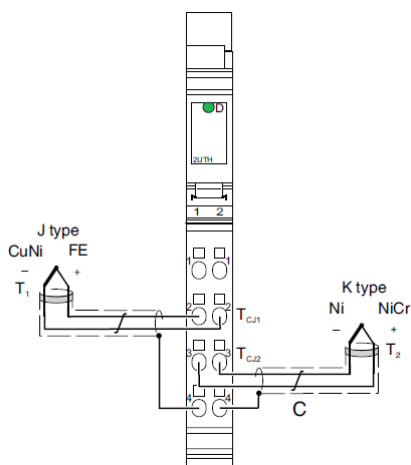
Obr. 32 Modul IB IL TEMP 2 UTH-PAC [3]

Vstupní svorka Inline pro analogový signál, která je speciálně určena pro připojení a záznam signálu z termočlánků (snímač teploty). Opět je modul kompatibilní se všemi běžně dostupnými modely na trhu (Typy senzorů TC: U, T, L, J, E, K, N, S, R, B, C, W, HK). Každý vstup lze individuálně konfigurovat pro připojení různých snímačů. Přehledné označení jednotlivých vstupů je umožněno pomocí výklopných popisovacích polí. Tento modul je využit pro připojení termočlánků. Fakta v této kapitole byla převzata z firemních materiálů firmy Phoenix Contact [5].

Specifikace zařízení:

- Počet vstupů je 2
- Technika připojení pomocí dvou vodičů
- Doba převodu A/D < 120  $\mu$ s
- Rozlišení A/D je 16 bitů

- Přesnost  $\pm 0.05$  K



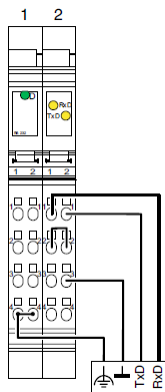
Obr. 33 Schéma zapojení termočlánků (na obrázku na kanál 1 připojen termočlánek typu J a na kanál 2 připojen termočlánek typu K)[3]

### 7.1.5 Modul pro komunikaci po RS232: IB IL RS232-PRO-PAC



Obr. 34 Modul IB IL RS232-PRO-PAC [3]

Funkční svorka Inline RS232, která je určena pro sériový přenos dat. Svorka obsahuje jeden sériový vstupní a výstupní kanál v provedení RS232. Tento modul lze využít pro snadné a rychlé napojení jakéhokoliv zařízení, které je vybaveno rozhraním RS232. Přehledné označení je umožněno pomocí výklopných popisovacích polí. Tento modul je využit pro připojení stávajících zařízení na rozbor spalin (Horiba) a váhového terminálu (Mettler Toledo) k programovatelnému automatu. Fakta v této kapitole byla převzata z firemních materiálů firmy Phoenix Contact [4].



Obr. 35 Schéma zapojení modulu pro RS232 [3]

### 7.1.6 Funkce programovatelného automatu

Programovatelný automat plní dvě základní funkce. První funkcí je shromažďování dat z jednotlivých snímačů a externích zařízení a jejich předávání na OPC server. Druhou funkcí je naopak načtení požadovaných dat z OPC serveru a regulace výkonu ventilátoru a z toho plynoucí regulace tahu. Spuštění programu programovatelného automatu je zahájeno v závislosti na uživatelské aplikaci.

U připojení jednotlivých snímačů na měření teploty, průtoku, tlaku (= tahu) se jedná pouze o základní konfiguraci daných modulů na které jsou tyto měřicí přístroje napojené a ty pak již za běhu programu na programovatelném automatu v každém cyklu programu zaktualizují měřenou veličinu. To znamená, že při spuštění programu dojde ke konfiguraci jednotlivých modulů a pak po celou dobu spuštění programu je měřena požadovaná veličina. Její hodnota je ukládána do proměnné a ta je pak automatem předávána na OPC server odkud si tuto hodnotu může nahrát uživatelská aplikace.

U stávajících zařízení na rozbor spalin Horiba ENDA-600 a váhového terminálu Mettler Toledo IND560 byla situace složitější. Obě zařízení jsou vybavena komunikačním rozhraním RS232 a proto pro jejich připojení k programovatelnému automatu bylo použito právě toto rozhraní. Od výrobce zařízení na rozbor spalin se bohužel nepodařilo získat popis komunikace přes toto rozhraní a proto se musel popis komunikace zjišťovat ve spolupráci se zadavatelem experimentálně odposloucháváním komunikace po sériové lince během fungování zařízení a běhu originálního programu EDA2000 na počítači dodávaného výrobcem zařízení pro obsluhu tohoto zařízení. Následně byl porovnáván odposlechnutý kód s výsledky, které originální program poskytoval a touto metodou identifikován a sestaven komunikační protokol. Obecně pouhým zevrubným pohledem na odposlechnutou komunikaci bylo zjištěno, že program EDA2000 vyšle každých 5 sekund dotaz na aktuální měřené hodnoty pro jednotlivé parametry a zařízení Horiba ENDA-600 pošle odpověď. Zařízení na rozbor spalin umožňuje sledovat až 16 parametrů, ale v případě zadavatele je použito pouze 6 parametrů. Zařízení však svou odpověď posílá v bloku kódu, kde nevyužité parametry nabývají nesmyslných hodnot a tak první pohled na kód nám nedá odpověď, které parametry jsou ty pro nás důležité. Proto za provozu zařízení a programu EDA2000 se prováděl druhý „online“ odposlech, kdy se porovnávaly aktuální hodnoty z programu EDA2000 zobrazované na monitoru počítače a jednotlivé bloky kódu s odpovědí od zařízení na rozbor spalin a v něm se identifikovali dané shodné hodnoty pro jednotlivé použité parametry. Drobná nástraha spočívá ještě v případě některých parametrů v tom, že byly programem EDA2000 dopočítávány a korigovány. Proto musel být ještě částečně prozkoumán kód programu EDA2000. Po provedení všech těchto kroků bylo úspěšně identifikováno, že se jedná o parametry, které jsou v bloku kódu s odpovědí pod číselným označením 010 až 015. Funkce programovatelného automatu je tedy v případě zařízení na rozbor spalin taková, že každých 5 sekund přes modul sériové komunikace vyšle dotaz s žádostí o aktuální hodnoty a zařízení odpoví blokem kódu s odpovědí. Z tohoto bloku kódu následně vypreparuje konkrétní hodnoty pro parametry 010 až 015 a těchto šest hodnot předá na OPC server.

Druhý modul pro sériovou komunikaci je potřebný pro váhový terminál Mettler Toledo IND560. Tento terminál je z výroby standardně vybaven rozhraním RS232 a jedná se ve své podstatě o specifický programovatelný automat s předem daným způsobem použití pro zařízení na měření hmotnosti. Díky tomu je od výrobce k dispozici podrobný dokument ke komunikaci s terminálem pomocí tohoto portu. K dispozici bylo hned několik možností komunikace. Například zařízení nabízí nepřetržitě vysílání aktuální hodnoty měřené veličiny, kdy hodnota je aktualizována několikrát za sekundu. Tento způsob komunikace byl nevhodný z toho důvodu, že bylo posíláno velké množství dat a klade to tedy vysoké nároky i na zařízení, které data přijímá. Tento druh komunikace je vhodný pro aplikace, kde je požadavek na vysokou přesnost vážení. Například u aplikací v chemickém průmyslu, kde potřebuji dávkovat s přesností na gramy danou látku. V případě aplikace zadavatele je vhodnější komunikace obdobným způsobem jako u zařízení na rozbor spalin, tedy formou dotaz odpověď, kdy si četnost odeslaných aktuálních hodnot můžu řídit sám. Je jen na mém zvážení,

jak často k terminálu pošlu dotaz na aktuální hodnotu. Takže v tomto případě je programovatelný automat nastaven tak, že každou sekundu vyšle přes modul sériové komunikace dotaz na aktuální hodnotu měřené veličiny a od terminálu obdrží odpověď. Tuto hodnotu pak předá na OPC server z kterého si ji může nahrát uživatelská aplikace.

Pro regulaci tahu je použit jeden analogový výstup z modulu analogových výstupů. Na programovatelném automatu je spuštěn PID regulátor, který má z OPC serveru zjištěnou žádanou hodnotu regulované veličiny, tedy tahu (na OPC server je požadovaná hodnota tahu nahraná z uživatelské aplikace, kde ji zadá obsluha aplikace) a ze snímače na měření tahu, který je také připojen k programovatelnému automatu má aktuální hodnotu regulované veličiny. A výstup PID regulátoru, tedy akční veličina je převedena na analogový výstup modulu analogových výstupů, kde je tímto signálem řízen výkon ventilátoru, kterým je přímo ovlivněna hodnota tahu.



Obr. 36 Horiba ENDA-600 (vlevo) a Mettler Toledo IND560 (vpravo)

Ukázky kódu pro programovatelný automat:

```
(*Konfigurace a nastavení čtení z modulu pro snímače Pt100*)
PT100_OUT2 := WORD#2#0011000000000000; (*konfiguracni slovo*)
PT100_OUT1 := WORD#16#4000; (*prikaz který nastavi modul dle konfiguracniho slova*)
PT100_OUT1 := WORD#16#0800; (*prikaz který spusti snimani hodnoty ze snimace*)

(*Konfigurace modulu pro komunikaci po RS232*)
rs232_DO[0] := BYTE#16#40;
rs232_DO[1] := BYTE#16#24;
rs232_DO[2] := BYTE#2#0100_0000;
rs232_DO[3] := BYTE#16#74;
rs232_DO[4] := BYTE#16#0D;
rs232_DO[5] := BYTE#16#0A;
rs232_DO[6] := BYTE#16#00;
(*Nactení konfigurace modulu pro komunikaci po RS232*)
rs232_DO[0] := BYTE#16#3D;
(*Posílání dat po RS232*)
rs232_DO[0] := BYTE#16#1B; (*Prikaz nastavi modul pro odesilání*)
rs232_DO[1] := BYTE#65; (*Zapsaná data na rs232_DO[1 až 11] jsou odeslána*)
.
.
rs232_DO[11] := BYTE#66;
rs232_DO[0] := BYTE#16#5B; (*Prikaz pro opětovné odesílání přes rs232_DO[1 až 11]*)
(*Příjem dat po RS232*)
rs232_DO[0] := BYTE#16#30; (*Prikaz nastavi modul pro příjem*)
(*Nyní na rs232_DI[1 až 11] můžu přijmout data, rs232_DI[0] zde je informace jestli je co přijmat*)
```

Pro získání hodnot z Horiby musím odeslat přes modul pro komunikaci po RS232 klíčové slovo: „,DA.04“. (to znamená na rs232\_DO [1 až 6] zapsat postupně jednotlivé znaky). V případě váhového terminálu IND560 se musí pro získání hodnoty zaslat klíčové slovo: „SI <CR><LF> “. Po odeslání těchto dat zařízení odešlou zpět požadované informace.

Jednotlivé proměnné vyskytující se v kódu jsou napojené na dané výstupy konkrétních modulů přímo v od výrobce dodávaném programu pro programování programovatelného automatu.



V případě modulu pro odporové snímače teploty se pomocí konfiguračního slova musí nastavit od způsobu připojení (dvěma vodiči nebo třemi vodiči), přes druh připojeného snímače, rozlišení hodnoty až jednotky hodnoty (°F nebo °C). Stejně nastavení se musí dělat u všech použitých modulů programovatelného automatu.

## 7.2 Uživatelská aplikace a Control Web

Pro tvorbu uživatelské aplikace byl použit software Control Web 6. Jedná se o produkt firmy Moravské přístroje a.s.. Tento produkt je firmou vyvíjen již dvě desítky let a dříve byl znám pod označením Control Panel (jednalo se o verzi pro MS DOS). Později byl tento název změněn právě na Control Web, což je aplikace pro operační systémy Windows firmy Microsoft. Jedná se o nástroj pro snadný a rychlý vývoj řídicího a vizualizačního software pro automatizaci. Díky své nízké ceně a jednoduchosti je dostupný a vhodný jak pro malé aplikace (případ této diplomové práce nebo školních úloh), tak i pro velké a rozsáhlé projekty typu řízení jaderné elektrárny. Control Web je hardwarově nezávislý, což z něj dělá zcela univerzální nástroj a umožňuje napojení na libovolnou technologii. Obsahuje předchystané sady virtuálních přístrojů pro měření, zobrazování a ovládání. Podporuje 2D a 3D grafiku. Je otevřený pro komunikaci například pomocí RS232, ethernetu, GSM, bluetooth nebo OPC. Aplikace vytvořené pomocí Control Webu jsou schopné provozu 24 hodin denně a 7 dní v týdnu.

Aplikace vytvořená pro potřeby SZÚ s.p. je členěna pro přehlednost do několika panelů (5-ti panelů) mezi nimiž se po spuštění aplikace lze libovolně přepínat pomocí ovládacího prvku, který je umístěn v záhlaví programu společně s indikátorem stavu zkoušky a tlačítky pro ovládání aplikace. Jako indikátor stavu zkoušky slouží dvě led diody umístěné nad sebou, v případě rozsvícení červené zkouška neprobíhá a v případě rozsvícení zelené právě probíhá zkouška. Vedle led diod jsou umístěny dvě tlačítka. První pro spuštění a ukončení zkoušky, druhé pro ukončení programu. První tlačítko má proměnlivý popis v závislosti na aktuálním stavu programu. V případě že zkouška ještě nebyla zahájena má popis „Začít zkoušku“, pokud zkouška již probíhá, tak má popis „Ukončit zkoušku“. Stiskem tlačítka „Ukončit zkoušku“ dojde k uložení tabulek se zálohou veškerých měřených veličin během průběhu zkoušky. V případě právě probíhající zkoušky program na stisk tlačítka „Ukončit program“ nereaguje a je třeba dříve ukončit zkoušku stiskem tlačítka „Ukončit zkoušku“, a pak teprve je možné stiskem tlačítka „Ukončit program“ ukončit program. Zcela v pravém rohu záhlaví je umístěné pole s aktuálním časem a datem. Toto záhlaví je zobrazeno vždy bez ohledu na zvoleném panelu. Jednotlivé panely jsou popsány v následujících podkapitolách.



Obr. 37 Záhlaví aplikace

### 7.2.1 Start

Tento panel je úvodním a je zde před začátkem zkoušky nutné vyplnit informace o použitém druhu paliva a definovat hodnotu požadovaného tahu. Aplikace tyto informace dále používá při průběhu zkoušky. Požadovaný tah je použit jako hodnota žádaná pro regulaci tahu. Informace o palivu jsou použity pro protokol o provedené zkoušce. Parametry je možné pomocí tlačítka „Ulož parametry“ uložit a při dalším spuštění programu se tyto informace předvyplní automaticky a již není nutné tyto hodnoty vyplňovat nebo stačí změnit jen hodnoty, které se mění. Pole pro vyplnění jednotlivých parametrů je zde vloženo jako tabulka s předvyplněnými buňkami s popisem a prázdnými buňkami pro vepsání hodnot. Jako taková je i tabulka uložena, takže je možné tuto tabulku editovat v nějakém tabulkovém procesoru (například InCalc) a provést v ní požadované uživatelské změny nebo hromadně nahrát hodnoty jednotlivých parametrů.

Analytický ukazatel	Značka	Jednotka	Hodnota	Nejistota m.
Spalné teplo	Os			
Výhřevnost	Qi			
Voda veškerá v původním stavu	Wrt			
Popel	A			
Uhlík	C			
Vodík	H			
Dusík	N			
Síra	D			
Chlor	Cl			
Kyslík dopočet do 100%	O			
CO2 max	CO2 max			
Přepočítávací faktor emisí pro emisí mg.m-3 na mg.MJ-1	femis			
Min. potřebný objem kyslíku	V02 min			
Min. potřebný objem suchého vzduchu	VVZ min			
Min. množství suchých kouřových plynů	Vks min			

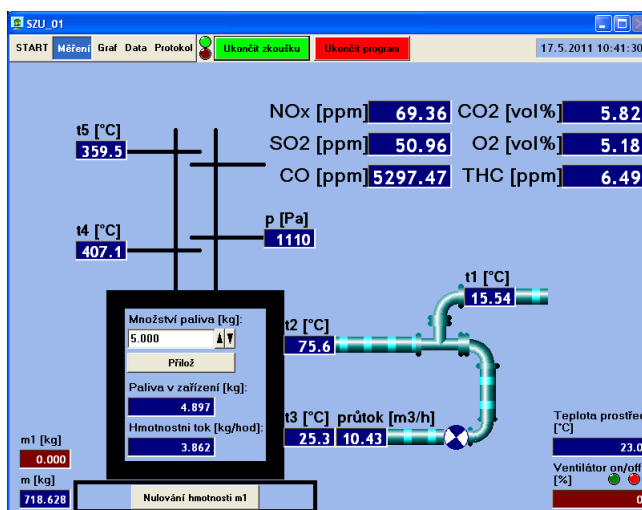
  

Parametr	Jednotka	Hodnota
Požadovaný tah	Pa	

Ulož parametry

Obr. 38 Panel start

## 7.2.2 Měření



Obr. 39 Panel měření

Panel „Měření“ je základním a hlavním panelem této aplikace. Zde jsou zobrazeny veškeré informace o probíhající zkoušce a uživatel zde může zasahovat do průběhu zkoušky. Většinu okna zabírá schématický náčrt zkušební sestavy s vyznačenými jednotlivými měřeními parametry u kterých je vždy zobrazována aktuální hodnota. Kromě veličin měřených přímo na zkušební sestavě jsou ještě v pravém dolním rohu zobrazeny hodnoty aktuální teploty v prostředí, kde je zkušební sestava umístěna a hodnota výkonu ventilátoru vyjádřena v procentech. Pole zobrazující výkon ventilátoru je ještě doplněno o dvě led diody. Rozsvícení červené znázorňuje, že ventilátor je zcela vypnut a jeho výkon se rovná nule. Naopak v případě že ventilátor je v činnosti, tak svítí zelená led dioda. Hodnoty se zobrazují v reálném čase s obnovovací periodou 1 sekundy. Na přání zadavatele jsou informace ze zařízení na rozbor spalin větší jak ostatní prvky panelu. Jedná se totiž o nejdůležitější veličiny při zkoušce a proto musí na první pohled upoutat zrak. Kromě zobrazovacích přístrojů zde najdeme i ovládací prvky. Tlačítko „Nulování hmotnosti m1“ nám nastaví aktuální hmotnost v době stisku tlačítka jako nulovou hmotnost a zobrazovací prvek „m1 [kg]“ zobrazuje aktuální hmotnost vůči této nulové hmotnosti. Tato funkce je zadavatelem využívána například pro odečet aktuálního množství paliva. Nad tímto tlačítkem se nachází tlačítko s proměnným popisem „Začít zkoušku“ nebo „Přílož“. Popis se mění v závislosti na aktuálním stavu programu. Pokud ještě není zkouška spuštěna je zobrazen popis „Začít zkoušku“ a stiskem tohoto tlačítka je zkouška spuštěna. V případě že již zkouška probíhá, je popis tlačítka nastaven na „Přílož“ a pomocí tohoto

tlačítka je zaznamenáno, že došlo k doplnění paliva ve zkušebním zařízení a přepočítá se aktuální hmotnost paliva. Aby tlačítko vykonalo svoji funkci, je podmínkou, že v editačním řádku nad tlačítkem s popisem „množství paliva [kg]” je nastavena hodnota hmotnosti přidávaného paliva větší jak nula. V případě že je vyplněna nula, tak program na stisk tlačítka nereaguje. Program dává uživateli prostor v délce 20 sekund na to, aby přiložil (právě tato časová konstanta byla zvolena na přání zadavatele).

#### Ukázka kódu pro tlačítko „Přilož“:

```

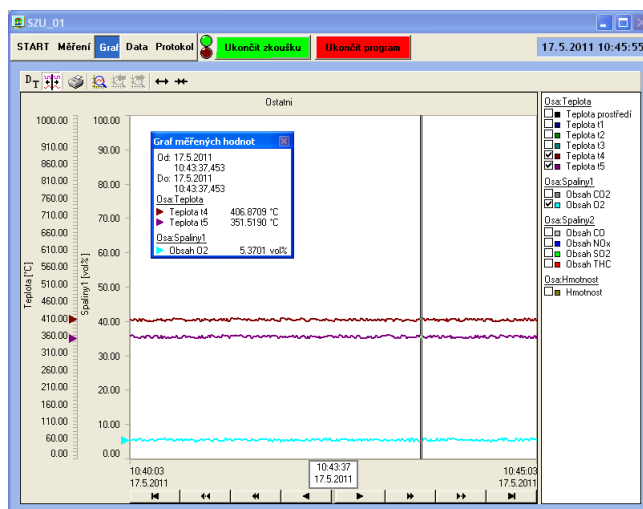
activity
  period = casovani_pristroje;
end_activity;
gui
  owner = Merení;
  position = 147, 362, 135, 25;
end_gui;
text_align = center;
text = 'Začít zkoušku';
font = 'Microsoft Sans Serif (Central European)', 8, bold;

procedure OnPress();
begin
  (*V pripade ze jiz zkouska probiha, funkce PRILOZ*)
  if ((b_start = true) and (b_konec = false) and (value_palivo_pridane > 0.0)) then
    value_hmotnost_pred = value_hmotnost;
    value_pocatecni_hmotnost_paliva = value_palivo_pridane;
    (*pocikat 20sekund*)
    pause 20;
    (*Zaznamenani prilozeni do tabulky se zalohou dat*)
    r_radek_zaloha = r_radek_zaloha + 2;
    (*Layer : any; Row : longcard; Col : any; Value : string; Recalculate, PaintGraphs :bool*)
    zaloha_dat.SetStringValue(1, r_radek_zaloha, 1, 'NOVA PERIODA', false, false);
    zaloha_dat.SetStringValue(2, r_radek_zaloha, 1, 'NOVA PERIODA', false, false);
    r_radek_zaloha = r_radek_zaloha + 1;
    zaloha_dat.SetStringValue(1, r_radek_zaloha, 1, day:value_string + '.' + month:value_string
      + '.' + year:value_string, false, false);
    zaloha_dat.SetStringValue(2, r_radek_zaloha, 1, day:value_string + '.' + month:value_string
      + '.' + year:value_string, false, false);
    zaloha_dat.SetStringValue(1, r_radek_zaloha, 2, hour:value_string + ':' +
      minute:value_string + ':' + second:value_string, false, false);
    zaloha_dat.SetStringValue(2, r_radek_zaloha, 2, hour:value_string + ':' +
      minute:value_string + ':' + second:value_string, false, false);
    zaloha_dat.SetStringValue(1, r_radek_zaloha, 3, 'Mnozstvi:', false, false);
    zaloha_dat.SetStringValue(2, r_radek_zaloha, 3, 'Mnozstvi:', false, false);
    zaloha_dat.SetRealValue(1, r_radek_zaloha, 4, Mereni_values.value_palivo_pridane, false,
      false);
    zaloha_dat.SetRealValue(2, r_radek_zaloha, 4, Mereni_values.value_palivo_pridane, false,
      false);
    r_radek_zaloha = r_radek_zaloha + 2;
    (*Zaznamenani casu zacatku periody pro vypocet hmotnostniho toku*)
    value_cas_start_perioda = ((hour:value_real * 3600) + (minute:value_real * 60) +
      second:value_real);
  end;

  (*V pripade ze je program spusten a jeste zkouska nezacala, funkce ZACIT ZKOUSKU*)
  if ((b_start = false) and (b_konec = false) and (value_palivo_pridane > 0.0)) then
    b_start = true;
    button_on.SetText ('Ukončit zkoušku');
    button_priloz.SetText ('Přilož');
    value_hmotnost_pred = value_hmotnost;
    value_pocatecni_hmotnost_paliva = value_palivo_pridane;
    value_cas_start_perioda = ((hour:value_real * 3600) + (minute:value_real * 60) +
      second:value_real);
  end;
end_procedure;

```

### 7.2.3 Graf



Obr. 40 Panel graf

Panel „Graf“ obsahuje přístroj, na kterém si lze navolit zobrazení libovolné veličiny, jejíž hodnota je zobrazována ve formě číselné hodnoty na panelu „měření“ do grafu. Lze zvolit libovolnou kombinaci veličin od jedné veličiny až po všechny. Tato volba se provádí pomocí vyběrací palety na levém okraji panelu, přičemž jsou veličiny řazeny do skupin podle příslušnosti k jednotlivým y-ovým osám. Dynamicky podle zvolených veličin jsou zobrazovány y-ové osy se stupnicí pro dané veličiny. Na ose x je čas. I s touto osou se dá pracovat, kdy si zde může nastavit libovolný časový interval, který chceme zobrazit. Na začátku osy je zobrazen počáteční čas a na konci osy koncový čas. Lze tak zobrazit třeba detailní trend v průběhu pár sekund až po zhuštěnou křivku reprezentující hodnoty na intervalu několika hodin. Možnost zobrazení aktuálních hodnot a jejich dokreslování v aktuálním čase je také samozřejmé. Právě navolený a zobrazený graf je možno vytisknout na tiskárně připojené k počítači, ať už fyzické nebo virtuální.

### 7.2.4 Data

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
2	Time	CO	CO2	NOx	O2	SO2	THC			
3		ppm	vol%	ppm	vol%	ppm	ppm			
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										

Obr. 41 Panel data

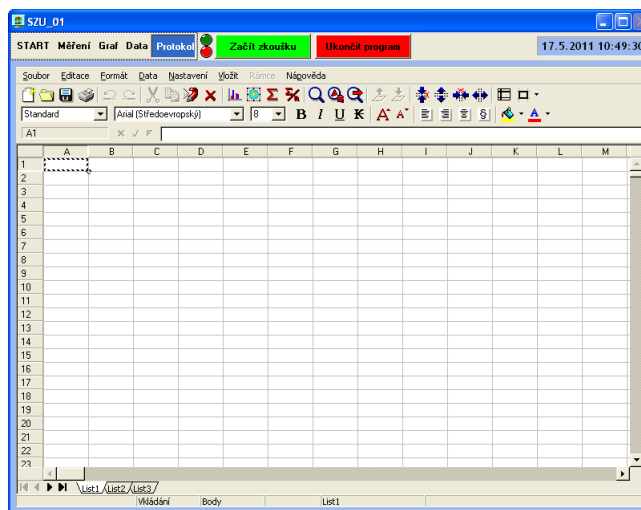
Tento panel zobrazuje tabulku, která obsahuje dva listy. Do jednoho listu jsou vkládány hodnoty spojené s rozбором spalin a do druhého všechny ostatní měřené veličiny. Pro tuto tabulku byl vytvořen vzor s hlavičkou tabulky, který je vždy při startu programu načtený a hodnoty jsou do tabulky dále zapisovány do příslušných buněk. Tyto hodnoty se do tabulky zapisují v reálném čase a je tedy možné hodnoty sledovat i zde v tabulkovém soupisu. U každé hodnoty je zde i zapsaná

informace o aktuálním čase s přesností na sekundy. Tabulka tak jak je zde vidět je potom pod zcela originálním označení, které obsahuje opět datum a čas probíhajícího měření uložena do adresáře se zálohami dat z měření. Takovéto označení bylo zvoleno z důvodu nezaměnitelnosti souboru se soubory z více měření. A tento soubor je poté možno kdykoliv si otevřít v tabulkovém procesoru (například InCalc) a hodnoty si prohlédnout nebo libovolně dále zpracovávat. Tato tabulka je uzamčena a není možné v rámci programu v ní provádět jakékoliv změny a úpravy. V případě, že uživatel klikne na tlačítko „Přiložit“ na panelu „měření“ je do této tabulky opět zaznamenán čas přiložení, množství přiloženého paliva a to vše je od sebe výrazně odděleno tím, že program vynechá dva řádky před a za informací o přiložení. V levé části panelu jsou dva editační řádky pro zadání rozsahu řádků s daty, které se mají použít pro vygenerování protokolu. Tato volba je zde pro to, že obvykle se provádí více period měření a pro vypracování protokolu se používá pouze jedna perioda. Protokol se vygeneruje po stisku tlačítka „Generuj protokol“. Tlačítko splní svoji funkci pouze tehdy, pokud již byla ukončena zkouška. V případě, že zkouška stále probíhá, tak program na stisk tlačítka nereaguje. Vygenerovaný protokol je poté v panelu „protokol“. Množství zaznamenaných hodnot je omezeno maximálním rozsahem tabulky tak, aby ji byl schopný otevřít tabulkový procesor. Při zvolené periodě vkládání dat každých pět sekund (tato perioda byla zvolena na přání zadavatele) je program schopen zaznamenat data ze zkoušky trvající déle jak deset hodin. Zde má tedy zadavatel ještě velké rezervy, protože jeho požadavkem byla možnost zaznamenat zkoušky s přibližnou délkou trvání šesti hodiny.

Ukázka kódu, který zapíše hodnotu proměnné „value\_hmotnost“ do tabulky na pozici sloupce číslo 9 a řádek jehož číslo je dáno hodnotou proměnné „r\_radek\_zaloha“. (výťah kódu pro jeden datový element):

```
item_element
condition = true;
layer = 2;
row = r_radek_zaloha;
column = 9;
data_element = value_hmotnost;
end_item_element;
```

## 7.2.5 Protokol



Obr. 42 Panel protokol

Tento panel obsahuje přístroj, který simuluje tabulkový procesor InCalc a podporuje všechny jeho funkce. Po stisknutí tlačítka „Generuj protokol“ na panelu „Data“ je zde do pracovní plochy tohoto přístroje vygenerován na základě vytvořené předlohy protokol. Tento protokol je zde možné libovolně upravovat pouze s ohledem na funkce a možnosti tabulkového procesoru InCalc a následně tento protokol uložit nebo vytisknout, záleží pouze na požadavku uživatele. Uložený soubor s protokolem lze přenést na libovolný jiný počítač a zde opět v nějakém tabulkovém procesoru tento protokol dále upravovat a měnit dle svých požadavků.

### 7.3 Komunikace

Vzájemná komunikace a přenos dat mezi programovatelným automatem a uživatelskou aplikací vytvořenou programem Control Web je uskutečňována pomocí technologie OPC. Na počítači, kde je nainstalována uživatelská aplikace, je také spuštěn OPC server a programovatelný automat společně s uživatelskou aplikací jsou OPC klienti. Tito OPC klienti jsou napojeni na tento jeden OPC server a jsou zde propojeny a navázány konkrétní veličiny. Poté za provozu aplikace zde dochází k online výměně dat mezi oběma technologiemi.

## 8 ZÁVĚR

V první části této práce je popsána teorie potřebná k zvládnutí metrologie a měření jednotlivých veličin v rámci zkušebny SZÚ s.p.. Dále jsou zde stručně popsány zkušební metody používané zadavatelem na původním zkušebním zařízení a jež budou používány i na modernizovaném zkušebním pracovišti. Potom následují kapitoly již se samotným návrhem možných řešení pro modernizaci zkušebního pracoviště a závěrečné kapitoly se věnují samotné realizaci modernizace zkušebního pracoviště.

Celá práce probíhala formou konzultací mezi mnou, vedoucím diplomové práce a zadavatelem. V první fázi jsem absolvoval několik sezení se zadavatelem, kdy došlo k postupnému definování veškerých požadavků. Poté za podpory vedoucího diplomové práce jsem navrhl možná řešení pro modernizaci zkušebního zařízení tak, aby byly splněny všechny požadavky a řešení bylo perspektivní i do budoucna. Tyto možnosti řešení jsem u zadavatele prezentoval a byl k dispozici pro zodpovězení jeho dotazů a podporu při výběru toho nejvhodnějšího řešení, které muselo splňovat veškeré nároky kladené na akreditované zkušební pracoviště. Vybrané řešení bylo následně rozpracováno do konkrétního plánu, jež stanovoval posloupnost jednotlivých prací. Jako první byl otestován ve školní laboratoři programovatelných automatů FSI VUT Brno vybraný programovatelný automat včetně všech rozšiřujících modulů potřebných pro tuto aplikaci (napojení a funkčnost odporového snímače teploty, termočlánek, proudového analogového vstupu, komunikace pomocí modulu pro komunikaci po sériové lince RS232). Poté bylo nutné zajistit komunikaci mezi stávajícími zařízeními (zařízení na rozbor spalín Horiba a váhový terminál Moetler Toledo) a programovatelným automatem. V případě zařízení na rozbor spalín se jednalo o experimentální činnost, protože neexistuje manuál pro komunikaci po sériové lince a podporu od výrobce zařízení se také nepodařilo získat. U zařízení od firmy Moetler Toledo se povedlo získat od výrobce manuál pro komunikaci po sériové lince a vše tak bylo značně jednodušší. Ve fázi, kdy byla vyřešena komunikace mezi programovatelným automatem a těmito dvěma zařízeními, byla prakticky hotová celá část programovatelného automatu a jeho napojení na externí zařízení a jednotlivé snímače (teploty, tlaku, atd.).

Nyní zbývala část vytvoření uživatelského programu. Na začátku opět proběhlo sezení se zadavatelem, při kterém zadavatel vyjádřil své požadavky na grafický vzhled a funkčnost. Poté jsem s ohledem na technické možnosti programu Control Web (tento program byl zadavatelem vybrán pro tvorbu uživatelského programu) a zároveň požadavky zadavatele vytvořil návrh grafického vzhledu, který jako první schválil vedoucí diplomové práce. Po tomto schválení jsem jej prezentoval u zadavatele. Po několika menších úpravách jsme docílili grafické podoby, jakou si zadavatel představoval. Odsouhlasený grafický vzhled jsem musel uvést „v život“, když programování v programu Control Web je velice podobné programovacím jazykům jako je C, C++ nebo Pascal. Zprovoznování programu probíhalo postupně po částech. Mezi jednotlivými částmi proběhla vždy konzultace u zadavatele tak, aby výsledný program splňoval přesně představu zadavatele a splňoval technické podmínky kladené na toto pracoviště. Konečná verze programu byla posléze laboratorně otestována, zda splňuje všechny požadavky a zadavatelem schválena.

Dle požadavku zadání této diplomové práce byla výše popsaným postupem navržena a realizována modernizace zkušebního zařízení pro zkoušky kamen a krbů na tuhá paliva určených k vytápění. Nyní je tedy celá technologie připravené k nasazení u zadavatele. Pracoviště je vytvořeno pomocí univerzálních nástrojů, které je možné i do budoucna upravovat a měnit. Tím je dosaženo možnosti další modernizace a vylepšení zkušebního zařízení dle přání SZÚ, s.p.. Do termínu odevzdání a dokončení této diplomové práce nezvládl zadavatel realizovat svoji část modernizace zkušebního zařízení. Je to konstrukce smyčky oběhu vody a nákup jednotlivých periférií (snímače teploty, tlaku a průtokoměr). Z tohoto důvodu nebyla zatím technologie nasazena do reálného provozu, ale s jejím nasazením se jednoznačně počítá a bude uskutečněno v nejbližším možném termínu, kdy zadavatel zrealizuje svoji část modernizace zkušebního zařízení.





## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VDOLEČEK, František. *Technická měření: Text pro podporu výuky v kombinovaném studiu*. Brno: FSI VUT Brno, 2002. [cit 16. Březen 2011].
- [2] ČMI. *Český metrologický institut*. [online].2011 [cit 16. Březen 2011]. Dostupné z: <http://www.cmi.cz>.
- [3] PHOENIX CONTACT. *Firemní www stránky Phoenix Contact*. [online]. 2011 [cit 25. Březen 2011]. Dostupné z: <http://www.phoenixcontact.cz>.
- [4] PHOENIX CONTACT. *IB IL RS 232-PRO (-PAC) data sheet*. [online]. 10/2008 [cit 25. Březen 2011]. Dostupné z: [http://select.phoenixcontact.com/phoenix/dwld/db\\_en\\_ib\\_il\\_rs\\_232\\_pro\\_pac\\_7112\\_en\\_03.pdf?cp=y&asid2=2911288862908](http://select.phoenixcontact.com/phoenix/dwld/db_en_ib_il_rs_232_pro_pac_7112_en_03.pdf?cp=y&asid2=2911288862908).
- [5] PHOENIX CONTACT. *IB IL TEMP 2 UTH (-PAC) data sheet*. [online]. 10/2007 [cit 25. Březen 2011]. Dostupné z: [http://select.phoenixcontact.com/phoenix/dwld/db\\_gb\\_ib\\_il\\_temp\\_2\\_uth\\_pac\\_5722\\_en\\_03.pdf?cp=y&asid2=7316949241707](http://select.phoenixcontact.com/phoenix/dwld/db_gb_ib_il_temp_2_uth_pac_5722_en_03.pdf?cp=y&asid2=7316949241707).
- [6] PHOENIX CONTACT. *IB IL TEMP 4/8 RTD (-PAC) data sheet*. [online]. 08/2008 [cit 25. Březen 2011]. Dostupné z: [http://select.phoenixcontact.com/phoenix/dwld/db\\_en\\_ib\\_il\\_temp\\_4\\_8\\_rtd\\_7079\\_en\\_05.pdf?cp=y&asid2=444532470563536](http://select.phoenixcontact.com/phoenix/dwld/db_en_ib_il_temp_4_8_rtd_7079_en_05.pdf?cp=y&asid2=444532470563536).
- [7] PHOENIX CONTACT. *IB IL AI 8/SF (-PAC) data sheet*. [online]. 11/2008 [cit 25. Březen 2011]. Dostupné z: [http://select.phoenixcontact.com/phoenix/dwld/db\\_en\\_ib\\_il\\_ai\\_8\\_sf\\_6226\\_en\\_03.pdf?cp=y&asid2=0915258022902](http://select.phoenixcontact.com/phoenix/dwld/db_en_ib_il_ai_8_sf_6226_en_03.pdf?cp=y&asid2=0915258022902).
- [8] PHOENIX CONTACT. *IB IL AO 2/SF (-PAC) data sheet*. [online]. 03/2010 [cit 25. Březen 2011]. Dostupné z: [http://select.phoenixcontact.com/phoenix/dwld/db\\_en\\_ib\\_il\\_ao\\_2\\_sf\\_6655\\_en\\_06.pdf?cp=y&asid2=693190656691221](http://select.phoenixcontact.com/phoenix/dwld/db_en_ib_il_ao_2_sf_6655_en_06.pdf?cp=y&asid2=693190656691221).
- [9] SIEMENS. *Image Database* [online]. [cit. 01. Duben 2011]. Dostupné z: <https://www.automation.siemens.com/bilddb/guiwelcome.asp?lang=en>.
- [10] MII. *Firemní www stránky Moravské přístroje a.s.* [online].2011 [cit 25. Březen 2011]. Dostupné z: <http://www.mii.cz>.
- [11] NI. *Firemní www stránky National instruments* [online].2011 [cit 25. Březen 2011]. Dostupné z: <http://www.ni.com>.
- [12] MARADA, Tomáš. *Přednášky programovatelných automatů*. Brno, 2008. [cit 16. Březen 2011].



## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č. 1 – Vzor tabulky se záznamem hodnot z proběhlé zkoušky – list Horiba

Příloha č. 2 – Vzor tabulky se záznamem hodnot z proběhlé zkoušky – list Ostatní

Příloha č. 3 – CD-R se souborem obsahujícím tento dokument ve formátu \*.pdf

