

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

## VIZUALIZACE HYDRAULICKÉ SMYČKY PRO TESTOVÁNÍ OHŘÍVAČŮ UŽITKOVÉ VODY

HYDRAULIC CIRCUIT VISUALIZATION FOR AIR CONDITIONING SERVICE WATER HEATERS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. SILVIA SILESKÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DANIEL ZUTH, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automatizace a informatiky

Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Silvia Sileská

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:

### **Vizualizace hydraulické smyčky pro testování ohřivačů užitkové vody**

v anglickém jazyce:

### **Hydraulic circuit visualization for air conditioning service water heaters**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se bude zabývat tvorbou vizualizace pro ovládání, zobrazení a záznam dat z hydraulické smyčky, která slouží pro testování ohřivačů užitkové vody. Realizace bude pomocí SW ControlWeb, jako hlavní řídicí jednotka bude PLC. Jedná se o reálnou hydraulickou smyčku navrhovanou pro Strojírenský zkušební ústav, s.p.. Práce je součástí řešení VVZ MSM 0021630529 - Inteligentní systémy v automatizaci.

Cíle diplomové práce:

- seznámení s základními prvky použité v hydraulické smyčce
- popis akčních prvků a řídicího systému
- realizace vizualizace pro ovládání všech prvků
- realizace ukládání dat pro potřeby zkoušky
- návrh řídicího algoritmu pro PLC pro plně automatický průběh zkoušky

Seznam odborné literatury:

- JANOTKOVÁ, E. - Technika prostředí /Brno :VUT,1991. 1. vyd. 201 s. ISBN 80-214-0258-X
- 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 2011/2012.

V Brně, dne 21.11.2011

L.S.

---

Ing. Jan Roupec, Ph.D.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Táto diplomová práca sa zaoberá tvorbou vizualizácie pre ovládanie, zobrazenie a záznam dát z hydraulického slučky, ktorá slúži pre testovanie ohrievačov úžitkovej vody. Vizualizácia je vytvorená vo vývojovom prostredí Control Web 6 od firmy Moravské přístroje. Hydraulická slučka sa reálne nachádza v Strojírenskom zkušebnom ústave, s.p.. Vytvorená vizualizácia prispieje k zautomatizovaniu skúšobných experimentov. Technologický celok je riadený pomocou programovateľného automatu, ktorý komunikuje prostredníctvom OPC serveru s vizualizáciou užívateľského rozhrania na operátorskom PC.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the creation of visualization for control, display and record data from the hydraulic circuit, which is used for testing water heaters. Visualization is created in the program Control Web from Moravian Instruments. Hydraulic circuit is located in the Strojírenský zkušební ústav, s.p.. Visualization contribute to automating experiments. Technological unit is controlled by the programmable controller, which communicates via the OPC server with the user interface on PC.

## **KLÚČOVÉ SLOVÁ**

Vizualizácia, hydraulická slučka, Control Web

## **KEYWORDS**

Visualization, Hydraulic circuit, Control Web





## **PREHLÁSENIE O ORIGINALITE**

Prehlasujem, že som diplomovú prácu spracovala samostatne podľa pokynov vedúceho práce a s použitím uvedenej literatúry.

V Brne, dňa 24. 5. 2012

.....

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

SILESKÁ, S. *Vizualizace hydraulické smyčky pro testování ohřivačů užitkové vody*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 72 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Daniel Zuth, Ph.D



## **POĎAKOVANIE**

Týmto by som sa chcela poďakovať pánovi Ing. Danielovi Zuthovi Ph.D. za vedenie práce, cenné rady a pripomienky. Ďalej by som sa chcela poďakovať pánovi Ing. Milanovi Baštovi za spoluprácu v Strojírenskom zkušebním ústave, s.p..

## **OBSAH:**

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE.....	3
ABSTRAKT.....	5
1 ÚVOD.....	11
2 RIADENIE TECHNICKÝCH SÚSTAV.....	13
2.1 Prostriedky automatického riadenia.....	15
2.1.1 Snímače.....	15
2.1.2 Prostriedky pre prenos, úpravu a spracovanie signálu.....	16
2.1.3 Regulátory.....	17
2.1.4 Akčné členy.....	18
3 MERANIE A METROLOGIA.....	19
3.1 Metódy a postupy merania, vyhodnotenie merania.....	19
3.1.1 Príprava merania.....	20
3.1.2 Vlastné meranie.....	20
3.1.3 Spracovanie výsledkov merania.....	20
3.2 Chyby a neistoty merania.....	20
3.3 Meranie teploty.....	22
3.3.1 Odporové teplomery.....	22
3.4 Meranie prietoku.....	23
3.4.1 Prietokomery.....	23
3.4.2 Indukčné prietokomery.....	24
3.5 Meranie tlaku.....	24
3.5.1 Tlakomery.....	25
4 METODA MERANIA DLE NORMY ČSN EN 12897.....	27
4.1 Termíny a definície.....	27
4.2 Skúšanie výkonu a bezpečnosti prípravy teplej vody.....	27
4.2.1 Skúšobné zariadenie.....	27
4.2.2 Popis jednotlivých súčastí.....	28
4.3 Skúška výkonu, ohrev teplej vody.....	29
4.4 Tlaková strata vykurovacej strany výmenníku tepla.....	30
4.5 Vyjadrenie výsledkov - množstvo teplej vody.....	30
4.6 Opätovné ohriatie.....	31
4.7 Funkcie teplotných poistných armatúr.....	31
5 SOFTWARE VYUŽÍVANÝ V AUTOMATIZÁCII.....	33
5.1 Control Web.....	34
5.2 LabVIEW.....	35
5.3 InTouch.....	36
5.4 DIAdem.....	37
6 RIADENIE HYDRAULICKEJ SLUČKY.....	39
6.1 Prvky použité v hydraulickej smyčke.....	40
6.1.1 Čerpadlo WILO IP – 40/130 – 2,2/2.....	41
6.1.2 Čerpadlo WILO Stratos 25/1 – 8PN10.....	42
6.1.3 Prietokomer FLOW 38 DN32 COMAC CAL.....	43
6.1.4 Regulačné ventily s magnetickým pohonom MXG461B15.....	44

6.1.5	Gul'ové kohúty Johnson Control VG1205ES + 536GGA .....	45
6.1.6	Diferenčné tlakomery LD301 .....	45
6.1.7	Elektromagnetický ventil Peveko MVPE325.0.....	46
6.1.8	Odporové teplomery Pt 100.....	47
6.1.9	Elektromer ZE310.D .....	48
6.1.10	Barometrický tlakomer COMET T2114.....	49
6.2	Programovateľný logický automat .....	49
6.2.1	Technické vybavenie programovateľných automatov.....	50
6.2.2	Programovacie jazyky PLC .....	51
6.3	Programovateľný automat ILC 150 ETH.....	51
6.3.1	Rozširovací modul analógových vstupov: IB IL AI 8/SF-PAC .....	52
6.3.2	Rozširovací modul analógových výstupov: IB IL AO 2/SF-PAC .....	53
6.3.3	Modul pre pripojenie odporových senzorov teploty: IB IL TEMP 4/8 RDT-PAC...	54
6.3.4	Rozširovací modul pre komunikáciu pre RS232:IB IL RS232-PRO-PAC.....	54
6.3.5	Modul IB IL 24DO40 .....	55
6.4	OPC server.....	55
7	IMPLEMENTACE VIZUALIZÁCIE RIADENIA .....	57
7.1	Konfigurácia komunikácie OPC serveru.....	57
7.2	Popis vizualizácie .....	58
7.2.1	Panel vizualizácie hydraulického slučky .....	58
7.2.2	Panel záznamu merania .....	59
7.2.3	Panel grafu .....	61
7.3	Algoritmus automatického riadenia priebehu skúšky .....	61
8	ZÁVER.....	65
	POUŽITÁ LITERATURA.....	66
	ZOZNAM OBRÁZKOV .....	69
	ZOZNAM TABULIEK.....	70
	ZOZNAM PRÍLOH .....	71
	Príloha A Schéma zapojenia hydraulického slučky .....	72

# 1 ÚVOD

Hlavným cieľom práce je spracovať problematiku vizualizácie hydraulického systému pre testovanie ohrievačov úžitkovej vody. Práca sa bude zaoberať tvorbou vizualizácie pre ovládanie, zobrazenie a záznam dát z reálnej hydraulického systému, ktorá sa nachádza v Strojnírenskom zkušebnom ústave, s.p.. Vizualizácia má byť realizovaná prostredníctvom software Control Web, ktorý bol jednou z požiadaviek zadávateľa. Práca nás zoznámí so základnými prvkami použitými v hydraulickom systéme, s popisom akčných prvkov a riadiaceho systému.

Prevádzku a skúšobné postupy pre nepriamo ohrievané uzatvorené zásobníkové ohrievače sú stanovené pomocou európskej normy ČSN EN 12897. Táto norma je určená pre zásobníkové ohrievače až do objemu 1000 l použiteľné v systémoch zásobovania vodou pri tlaku od 0,005 Mpa do 1Mpa, vybavené regulačným a zabezpečovacím zariadením, ktoré zaisťuje, že teplota pitnej vody v zásobníku nepresiahne 100 °C.

Z pohľadu praktického prevádzania skúšok v skúšobnom ústave je nevyhnutné zaistiť predpísané skúšobné postupy, ktoré sú predpísané touto normou. Za týmto účelom bola v skúšobnom ústave inštalovaná skúšobná trať pre skúšanie ohrievačov, ktorá predstavuje hydraulickú skúšobnú slučku. Do tejto slučky je možné pripojiť skúšaný ohrievač za účelom overenia jeho predpísaných parametrov. Riadenie a zber dát z inštalovanej technológie je prevedené najnižšou vrstvou riadiaceho systému prostredníctvom PLC. Programovateľný automat komunikuje cez OPC server s užívateľským rozhraním na PC.

Záver práce sa bude zaoberať navrhnutím riadiaceho algoritmu pre zautomatizovanie vykonávania skúšky.



## 2 RIADENIE TECHNICKÝCH SÚSTAV

Riadenie je každé cieľavedomé pôsobenie na riadený objekt, s cieľom dosiahnuť vopred daného stavu. Pokiaľ také riadenie prebieha automaticky, hovoríme o automatickom riadení. Automatické riadenie sa v technickej praxi vyskytuje v dvoch hlavných formách:

- Sekvenčné riadenie, keď riadený systém prechádza postupne z jedného stavu do druhého. K prechodu obvykle dochádza vtedy, ak sú splnené určité podmienky. Typickým príkladom je štart alebo ukončenie nejakého technologického procesu.
- Riadenie dynamických systémov. V tomto prípade je cieľom riadenia, aby daná výstupná (regulovaná) veličina čo najpresnejšie sledovala časový priebeh danej riadiacej (žiadanej, vstupnej) veličiny a to bez ohľadu na signálové a parametrické poruchy, ktoré na riadenú sústavu môžu pôsobiť. Regulátor, ktorý generuje akčnú veličinu, pôsobiaci na sústavu, musí plniť dve úlohy:
  - Zaistiť verné sledovanie riadenia, čo je obtiažne vzhľadom k časovým meškaniam riadeného objektu
  - Kompenzovať poruchy, ktoré môžu na riadený objekt pôsobiť tak, aby sa ich vplyv na regulovanej veličine prejavil v čo najmenšej miere.

Regulované sústavy (systémy, objekty) môžu mať jeden vstup a jeden výstup. V tom prípade ich označujeme názvom SISO systémy (z anglického Single Input-Single Output). Pokiaľ majú viac vstupov a viac výstupov, hovoríme o MIMO systémoch (Multi Input-Multi Output) [1], [2].

V systémoch automatického riadenia sa vyskytujú tieto základné veličiny:

- Regulovaná veličina – je výstupná veličina riadeného systému
- Riadiaca veličina – žiadaná hodnota alebo vstupná veličina. Hodnota a časový priebeh tejto premennej určuje aká má byť hodnota a časový priebeh regulovanej veličiny
- Regulačná odchýlka – je rozdiel medzi žiadanou hodnotou a regulovanou veličinou
- Akčná veličina – je vstupná veličina regulovanej sústavy a výstupná veličina regulátoru
- Porucha – je veličina, ktorá pôsobí buď na vstupe, výstupe alebo na ľubovoľnom mieste regulovanej sústavy.

Regulované sústavy môžu mať stále (časovo nemenné) vlastnosti, alebo sa ich vlastnosti môžu v čase meniť. Procesy, prebiehajúce v regulovaných sústavách môžu byť popísané buď lineárnymi alebo nelineárnymi rovnicami. Za lineárne považujeme systém, u ktorého platia nasledujúce dve tvrdenia:

- Násobení konštantou – odozva systému je priamo úmerná budiacemu signálu.
- Princíp superpozície – nezávislé skladanie výslednej odozvy systému vzhľadom k jednotlivým budiacim signálom.

V reálnom svete je len veľmi málo systémov, ktoré sú skutočne lineárne. Rada reálnych systémov sa však od lineárnych systémov odlišuje len málo a preto ich môžeme s určitou mierou nepresnosti za lineárne považovať [3]. Proces riadenia môže byť realizovaný rôznymi spôsobmi a podľa toho sa systémy riadenia rozdeľujú do niekoľkých skupín. Rozlišujeme regulátory priamočinné a s pomocnou energiou podľa toho, či sa k riadeniu používa energia

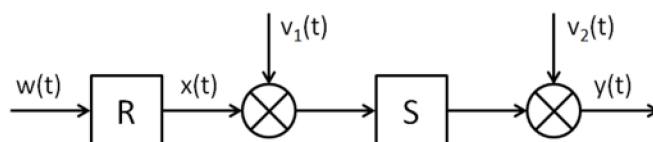


odobraná z riadenej sústavy alebo zo zvláštneho zdroja. Medzi priamočinné regulátory patria jednoduché regulátory v chladničkách alebo regulátory hladiny či napätia. Iné delenie môže byť podľa toho, či pôsobenie akčnej veličiny je v čase spojité, či prebieha iba v určitých časoch. Podľa toho hovoríme o spojitom alebo diskretnom riadení. Podľa časového priebehu žiadanej veličiny delíme riadenie do troch skupín [1]:

- Riadenie na konštantnú hodnotu – žiadaná hodnota má po celú dobu činnosti konštantnú hodnotu (riadenie frekvencie a napätia v rozvodnej sieti, regulácia hladiny, riadenie teploty v rôznych technologických prevádzkach). Úlohou riadenia je kompenzácia porúch, ktoré pôsobia na riadený systém. Regulácia na konštantnú hodnotu sa vyskytuje obvykle u riadených základných fyzikálnych veličín (teplota, tlak, vlhkosť, napätie, prúd, otáčky, prietok, hladina). Zaraďujeme sem tiež systémy, u ktorých sa žiadaná hodnota síce čas od času mení ale medzi tým je konštantná. Systémy automatického riadenia na konštantnú hodnotu sa často obecné nazývajú regulátory.
- Systémy typu servomechanizmus – žiadaná hodnota sa mení vopred neznámym spôsobom a hlavnou úlohou riadenia je zaistiť jej čo najpresnejšie sledovanie regulovanou veličinou. Názov je odvodený od najčastejšej realizácie tohoto typu riadenia, sledovania polohy. Úloha kompenzácie porúch je v tomto prípade druhoradá a primárna je zaistenie čo najrýchlejšej a najvernejšej zhody riadiacej a riadenej veličiny.
- Programové riadenie – žiadaná veličina má v čase vopred známom priebeh. Obe základné úlohy riadenia sú rovnocenné a podľa toho tiež musí byť navrhnutý riadiaci algoritmus [1].

Zásadné delenie spočíva v tom, či sa riadenie deje v otvorenom obvode (ovládania) alebo v uzatvorenom obvode so spätnou väzbou (regulácia).

Bloková schéma so zobrazeným systémom priameho riadenia je na Obr.1.



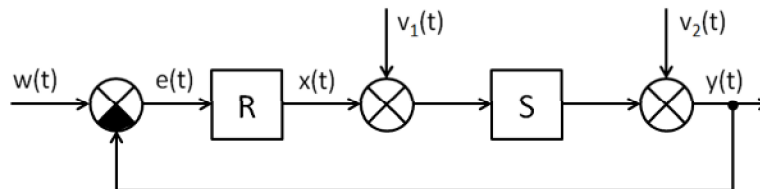
Obr. 1 Schéma ovládania

Na riadenú sústavu (S) s výstupom  $y$  pôsobí okrem akčnej veličiny  $x$  poruchy  $v_1$  a  $v_2$ . Regulátor R produkuje akčnú veličinu  $x$  podľa riadiacej hodnoty  $w$ , ktorá pôsobí na jeho vstupe. Vzhľadom k tomu, že regulátor nemá žiadne informácie o skutočnej hodnote výstupu  $y$ , nemôže reagovať na pôsobenie oboch poruchových signálov, z čoho vyplýva, že v tomto usporiadaní nie je možné splniť jednu z hlavných úloh, kompenzovať vplyv poruchových signálov. Druhou základnou úlohou je realizácia verného sledovania žiadanej hodnoty, túto úlohu je možné realizovať len za poznatku informácií o regulovanej sústave. Riadenie bez spätnej väzby sa dá použiť len vtedy, ak chceme zmeniť vlastnosti sústavy z hľadiska prenosu riadiacej veličiny. Ide o jednoduché riadenie v zmysle ovládania. Pri presnej znalosti prenosu sústavy je možné vypočítať tvar akčnej veličiny tak, aby sústava prešla z jedného stavu do druhého pri splnení zadaných podmienok [1].

Oproti tomu riadenie so spätnou väzbou (regulácia), ktorého bloková schéma je na Obr.2, poskytuje ďaleko širšie možnosti. Riadiaca veličina  $w$  je v súčtovom člene

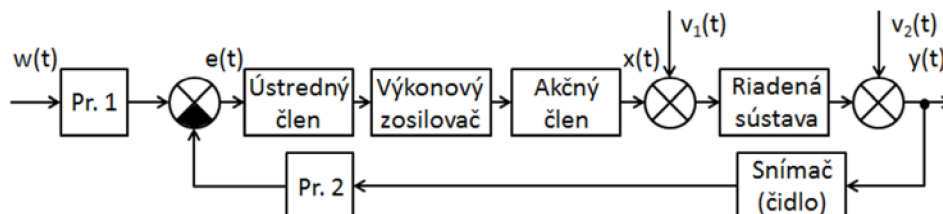
## 2. RIADENIE TECHNICKÝCH SÚSTAV

porovnávaná s hodnotou regulovanej veličiny  $y$  a výsledná regulačná odchýlka  $e$  je vstupnou veličinou regulátoru. Regulátor tak môže reagovať nielen na zmenu riadiacej veličiny, ale aj na dôsledky pôsobiacich porúch. Bloková schéma na Obr. 2 maximálne zjednodušené pre účely zobrazenia základného princípu. Praktické prevedenie je obvykle zložitejšie. Schéma najčastejšej prístrojovej realizácie je na Obr.3.



Obr. 2 Schéma spätnoväzobného riadenia

Riadiaca veličina  $w$  je zadávaná ručne alebo z nadriadeného systému. Pre následný rozdiel od regulovanej veličiny  $y$  je treba ju upraviť na rovnakú fyzikálnu veličinu, ako je signál z čidla regulovanej veličiny. K tomu slúžia prevodníky Pr.1. a Pr.2., u ktorých predpokladáme linearitu a z hľadiska dynamiky nulové omeškanie. Preto sa dajú v regulačnej schéme na obrázku vynechať. Dynamické vlastnosti snímača nie sú obvykle zanedbateľné, ale predpokladáme, že sú zahrnuté do chovania regulovanej sústavy. Samotný regulátor sa skladá z ústredného člena, ktorý určuje vlastný algoritmus riadenia, výkonového zosilňovača a akčného člena. Dynamické vlastnosti týchto blokov obvykle zahrňujeme buď do regulovanej sústavy alebo do regulátoru. Na Obr. 3 nie sú nakreslené signálové poruchy, ktoré však môžu pôsobiť v ktoromkoľvek mieste. V technickej praxi je možné chápať pod slovom regulátor všetky bloky z Obr.3, okrem samotnej sústavy a akčného člena [1].



Obr. 3 Schéma praktického prevedenia regulácie

### 2.1 Prostriedky automatického riadenia

Prostriedky automatického riadenie sú obecné všetky technické zariadenia, ktoré slúžia k získavaniu, prenosu, uchovávaníu, spracovaniu a využívaniu informácií.

#### 2.1.1 Snímače

Snímač (senzor, prevodník, detektor) je vstupný prvok tvoriaci vstupný blok meracieho reťazca, tj. prvok, ktorý je v priamom styku s meraným prostredím (Obr. 4). Vlastná citlivá časť snímača je niekedy označovaná ako čidlo. Snímač ako primárny zdroj informácie meria sledovanú fyzikálnu, chemickú alebo biologickú veličinu a podľa určitého definovaného princípu ju transformuje na meraciu veličinu, najčastejšie elektrickú. U pasívnych snímačov je nutné elektrickú veličinu (odpor, indukčnosť, kapacitu) ďalej transformovať na analógový napätový alebo prúdový signál, pričom meracou veličinou je amplitúda, kmitočet, fáza atď. Ďalej existujú snímače, u ktorých je neelektrická veličina priamo transformovaná na elektrický signál. Transformovaný elektrický signál je nutné zosilniť. Pri zosilňovaní signálu

je nevyhnutné zaistiť dostatočný odstup signálu od šumu snímača a zosilňovača a od parazitných signálov pôsobiacich ako na snímač, tak na zosilňovač. Uvedené požiadavky sa realizujú špeciálnymi zapojeniami zosilňovačov, frekvenčným obmedzením signálov, moduláciou elektrickej alebo priamo neelektrickej veličiny s následnou synchronnou demoduláciou alebo číslicovým spracovaním signálu. Ďalšie spracovanie signálu je riešené analógovými obvodmi, alebo po analógovo- číslicovom prevode číslicovou technikou vybavenou väčšinou mikroprocesorom. Analógový výstup meracieho reťazca je realizovaný priamo ukazujúcim prístrojom, zapisovačom, blokom pre prenos signálu, ako napr. blokom zaisťujúcim unifikáciu analógového signálu, modulátorom signálu, optoelektronickým členom pre prenos modulovaného signálu svetlovodom apod. Pri číslicovom spracovaní signálu je v najjednoduchšom prípade výstup tvorený číslicovým meracím prístrojom. S výhodou sa používajú rýchle signálne procesory zaisťujúce radu špeciálnych operácií. Dnešná doba je spojená s vývojom a praktickým nasadením tzv. inteligentných snímačov pripojených cez rozhranie do zbernicových sietí. Progresívnu skupinu tvoria integrované snímače vyrábané na databáze kremíku, optické vláknové senzory vrátane integrovanej optiky, chemické senzory atď. Nástup týchto nových meracích prvkov je nutným predpokladom pre stále náročnejšie požiadavky na automatizáciu merania pri súčasnom znižovaní výrobných nákladov na meraciu techniku a zvyšovanie spoľahlivosti pri meraní a spracovaní dát [4], [5].



Obr. 4 Snímač tlaku [6], snímač vlhkosti [7]

### 2.1.2 Prostriedky pre prenos, úpravu a spracovanie signálu

Zdroje informácií technických systémov sú v prevažnej miere tvorené výstupnými signálmi snímačov elektricky aj neelektricky meraných technických veličín a majú spravidla analógový charakter. Tento signál je potrebné previesť na jednotný alebo unifikovaný signál, nutný pre vzájomné prepojenie prvkov riadiacich systémov rôznych výrobcov a výkonovo upraviť pre prenos informácie na väčšie vzdialenosti. V niektorých prípadoch sa signály transformujú pre ďalšie spracovanie a prenos užitím iného druhu fyzikálneho nosiču signálu. Meracia a riadiaca technika sa často orientuje na elektronické číslicové spracovanie dát (Obr. 5). Preto je potreba realizovať prevod analógových veličín na číslicové a po číslicovom spracovaní v niektorých prípadoch je nutný prevod späť do analógového tvaru. Tieto prevody sa uskutočňujú pomocou analógovo-číslcových (A/Č, A/D) alebo číslicovo-analógových (Č/A, D/A) prevodníkov. Pri prenose signálu na väčšiu vzdialenosť dochádza k útlmu signálu, preto je potrebné obnoviť energiu, prípadne tvar signálu. Z tohto dôvodu sa musia na dlhé analógové vedenia zaraďovať zosilňovače. Pre diskretný signál sa do vedení zaraďujú tvarovače signálu, ktoré obnovia pôvodný obdĺžnikový tvar a amplitúdu diskretného signálu (Obr. 5). Pri prenose sa signál zaťažuje šumom a je preto potrebné tento šum od signálu oddeliť. K tomu sa používajú filtre. Podľa cieľu spracovania a vzťahu signálu a šumu v spracovanom signály rozoznávame rôzne druhy filtrov [4], [5].



Obr. 5 NI cRIO s pripojeným snímačom natočenia, aktívny opakovač [8]

### 2.1.3 Regulátory

Regulátory sa väčšinou skladajú z troch funkčných častí, ktoré sú viac či menej od seba funkčne aj konštrukčne oddelené (kompaktné regulátory). Sú to meracie členy, ústredný člen a akčný člen. Snímač meracieho členu zisťuje priebeh regulovanej veličiny a mení jej signál, vhodný ku spracovaniu v ďalších členoch regulátora. Konštrukcia snímaču je daná druhom a veľkosťou regulovanej veličiny a druhom regulátora. Výstupný signál snímaču, úmerný okamžitej hodnote regulovanej veličiny sa v porovnávacom člene zrovnáva so žiadanou hodnotou, nastavenou riadiacim členom. Výstup porovnávacieho členu, ktorý je úmerný regulačnej odchýlke sa zavádza do ústredného členu. To je hlavná časť regulátora. Skladá sa z niekoľkých funkčných celkov, ktoré prevádzajú vlastné riadiace funkcie regulátora. Jeho výstupný signál ovláda akčný člen. Ten sa skladá z pohonu a regulačného orgánu a riadi tok energie do regulovanej sústavy [4].

Regulátory môžeme deliť podľa ich činnosti na niekoľko skupín. Delenie regulátorov podľa druhu energie, s ktorou pracujú [5]:

- Mechanické regulátory
  - obsahujú len mechanické členy
  - nie sú príliš presné ani rýchle
  - sú rozmerné a ich jedinou výhodou je jednoduchosť a to, že môžu byť jednoducho opravené
- Pneumatické regulátory
  - vhodné v prevádzkach, kde je realizovaný rozvod tlakového vzduchu
  - vzhľadom k veľkej poddajnosti vzduchu majú mäkkú charakteristiku, ktorá môže byť niekedy výhodná
  - využívajú ventily, membrány, clony, vzduchové valce atď.
  - sú prevádzkovo nenáročné, presnosť a rýchlosť vyhovuje pre menej náročné aplikácie
- Hydraulické regulátory
  - využívajú k napájaniu olej
  - rozvod je realizovaný tlakovými hadicami, rôznymi ventilmi apod.
  - hmotnosť kvapaliny a pohyblivých častí zhoršuje dynamické vlastnosti
  - prednosťou je spoľahlivosť a jednoduché prevádzanie opráv, preto sa používajú v ťažkých prevádzkach
- Elektrické regulátory (Obr. 6)



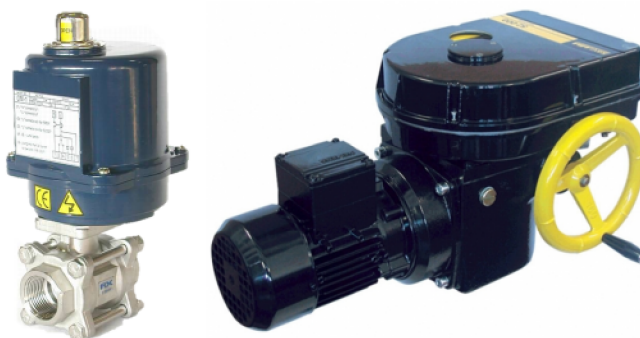
- požívajú k napájaniu elektrickú energiu
- najväčšou výhodou elektronických regulátorov je vysoká kvalita regulácie (vysoká presnosť a rýchlosť), malé rozmery a malá hmotnosť, vysoká energetická účinnosť, čistá a bezhlučná prevádzka s minimálnou údržbou, dostupnosť súčiastok a relatívne nízka cena
- nevýhodou je väčšia zložitosť, ktorá komplikuje opravy, citlivosť na elektromagnetické pole, niekedy tieto regulátory samy produkujú rušivé signály
- s rastúcou spoľahlivosťou a dostupnosťou integrovaných obvodov vzrástla aj spoľahlivosť týchto systémov



Obr. 6 Kompaktné regulátory [9]

#### 2.1.4 Akčné členy

Akčné členy sú všetky prvky, ktoré sú určené k využitiu spracovanej informácie. Medzi akčné členy patria hlavne pohony a na ne nadväzujúce regulačné orgány (Obr. 7). Pohony sú zariadenia, ktoré prevádzajú signály z členov pre spracovanie informácie na výchylku konajúcu požadovanú prácu s požadovaným výkonom. Regulačné orgány sú zariadenia pre ovládanie toku hmoty alebo energie systémom. Nie vždy je možné rozdeliť akčný člen na pohon a regulačný orgán. Pohony môžeme rozdeliť na pohony určené pre ovládanie regulačných orgánov a na pohony špeciálne, ktoré sú riešené pre každú aplikáciu individuálne. Podľa energie, ktorá je využitá ku konaniu práce pohonov, rozlišujeme pohony elektrické, pneumatické a hydraulické. Pohony môžeme ďalej rozdeliť podľa výstupného signálu na spojité a nespojité a podľa dráhy pohybu ich výstupnej časti na posuvné, rotačné a kyvné. Podľa chovania v čase ich delíme na statické a nestatické [4].



Obr. 7 Akčné členy (servopohony) [10]

### 3 MERANIE A METROLÓGIA

Meranie siaha hlboko do histórie ľudstva. Rozšírenie merania do obchodu a priemyslu si vyžiadalo zavedenie jednotnej sústavy jednotiek fyzikálnych veličín, ktorá bola a je stále zdokonaľovaná. Tak došlo ku vzniku metrológie ako vednej disciplíny o meraní, ktorej hlavným účelom je definícia a realizácia jednotiek. Neustály vývoj merania viedol k zavádzaniu meraní i do mnohých nefyzikálnych vied. Pritom sa ukázalo, že meranie je potrebné chápať obecnjšie a nie je ho možno obmedzovať iba na veličiny, ktorých hodnoty odvodzujeme od jednotiek fyzikálnych veličín. Vývoj meracej techniky je teraz zameraný predovšetkým na zlepšovanie statických a dynamických vlastností snímačov, prenosných členov, prevodníkov a vyhodnocovacích členov. Významné miesto v meracej technike zaujímajú snímače meraných veličín s elektrickým výstupným signálom, pretože umožňujú diaľkový prenos a jednoduché spracovanie signálu. U rozsiahlych prevádzok je možné sústrediť všetky dôležité údaje na jedno miesto spracovania a využiť ich k riadeniu procesu. Technické meranie ako zdroj informácií sú nevyhnutnou disciplínou takmer vo všetkých oboroch, pretože sú na meracej technike závislé. Výskum, vývoj, výroba aj prevádzka všetkých zariadení sú prakticky nemysliteľné bez vyspelej meracej techniky [11].

Dôležitú úlohu plní meracia technika v automatizácii. V tejto oblasti má meracia technika dvojité poslanie:

- Získavanie informácií o chovaní riadeného procesu (bez týchto informácií nemôže samočinné riadenie prebiehať).
- Získavanie informácií o vlastnostiach jednotlivých členov riadiaceho systému (bez týchto informácií by nebolo možné navrhnuť regulačný obvod, realizovať ho a nastaviť).

Metrológia je teda veda o meraní, ktorá sa zaoberá definíciou medzinárodne uznávaných jednotiek merania, realizáciou jednotiek merania pomocou vedeckých metód, technikou merania, meradlami a stanovením fyzikálnych a materiálových konštánt.

V súčasnej dobe je používaná sústava jednotiek SI. Sústava SI je medzinárodne dohodnutá sústava jednotiek fyzikálnych veličín, ktorá sa skladá zo základných jednotiek, odvodených jednotiek a násobkov jednotiek. Medzi sedem základných jednotiek patrí: meter, kilogram, sekunda, kelvin, ampér, kandela, mol. Odvodené jednotky sú tvorené ako súčiny a podiely základných jednotiek.

#### 3.1 Metódy a postupy merania, vyhodnotenie merania

Najbežnejším spôsobom členenia metód je delenie na metódy priame a nepriame. Metódy merania môžeme obecnne deliť podľa rôznych kritérií:

- Podľa spôsobu určenia meranej veličiny.
- Podľa spôsobu snímania veličiny.
- Podľa druhu meranej veličiny.
- Podľa spôsobu získania meranej hodnoty.

Podľa posledného kritéria (spôsob získania meranej hodnoty) delíme metódy na priame a nepriame. Priama meracia metóda vychádza z definície meranej veličiny, nepriama meracia

metóda vychádza z určenia funkčnej závislosti meranej veličiny na inej fyzikálnej veličine [11], [12].

K získaniu objektívnych hodnôt meraných veličín je nutné zachovať určitý pracovný postup nielen pri vlastnom meraní, ale predovšetkým pri jeho príprave, pri vyhodnocovaní merania a pri rozboru chýb [11].

### 3.1.1 Príprava merania

Príprava merania je najdôležitejšou etapou experimentu, pretože musí zaistiť zdarný priebeh vlastného merania a zaistiť, aby experimentátor bol poučený o zámeroch experimentu a o postupe meracích prácach. Pritom musí byť zvolené vhodné meracie zariadenie a správne usporiadanie meraní. Pri príprave merania je nutné previesť podrobný rozbor meracieho problému predovšetkým s ohľadom na účel merania, a to v týchto fázach:

- Voľba druhu a počtu meraných veličín z hľadiska ich dôležitosti a potrebnosti.
- Voľba presnosti meraní z hľadiska potrebnosti.
- Voľba meracej metódy z hľadiska požadovanej presnosti a spracovania nameraných hodnôt.
- Voľba konfigurácie meracieho reťazca z hľadiska predchádzajúcich požiadaviek a účelu merania.
- Voľba meracích miest a správneho zabudovania snímačov a ich príslušenstva z hľadiska ich prístupnosti.
- Voľba ochrany meracieho zariadenia proti pôsobeniu rušivých vplyvov vonkajšieho prostredia.
- Predbežný rozbor chýb merania z hľadiska dovolených chýb meraných veličín a z toho vyplývajúcich požiadaviek na výslednú presnosť.

Aby bolo možné taký podrobný rozbor problému merania previesť a vysloviť správne závery, je potrebné poznať jednak fyzikálnu podstatu a funkciu jednotlivých členov meracieho reťazca, ich vlastnosti statické a dynamické, meracie metódy a systémy [11], [12].

### 3.1.2 Vlastné meranie

K úspešnému priebehu vlastného merania je treba zaistiť bezporuchovú činnosť všetkých členov meracieho reťazca vrátane indikácie nameraných veličín a i z hľadiska zvoleného spôsobu spracovania výsledkov merania.

### 3.1.3 Spracovanie výsledkov merania

Aby sme mohli určiť najpravdepodobnejšie hodnoty meraných veličín je potrebné namerané hodnoty vhodným spôsobom spracovať aj z hľadiska rozboru vyskytujúcich sa chýb. V prípade nepriamych meraní je potrebné určiť analytické aproximácie funkčných závislostí vhodnými matematicko-štatistickými metódami [11].

## 3.2 Chyby a neistoty merania

Absolútna chyba je rozdiel medzi nameranou a pravou hodnotou meranej veličiny. Je to teda hodnota, kým neistota je parameter charakterizujúci interval hodnôt. Pomer absolútnej chyby k prislúchajúcej konvenčne pravej hodnote meranej veličiny je pomerná alebo relatívna

### 3. MERANIE A METROLÓGIA

chyba. Chyba merania je súhrnná hodnota, ktorá zahŕňa celý rad čiastkových chýb, z ktorých niektoré sa vyskytujú systematicky, iné náhodne.

Medzi základné chyby merania patria:

- Prístrojové chyby – sú chyby vyplývajúce z nedokonalosti použitých meracích prostriedkov. Časť chýb vznikajúcich pri výrobe (výrobné odchýlky jednotlivých dielov, nepresnosti montáže) sa tiež pri výrobe odstraňuje, hodnoty niektorých chýb udáva výrobca formou korekčných kriviek, ostatné chyby udáva výrobca ako maximálne dovolenú chybu a nevzťahujú sa na jeden prístroj, ale na celý typ.
- Chyby inštalácie – sú chyby vyplývajúce z nedostatkov zapojenia, uloženia a nastavenia meradiel, zo vzájomného ovplyvňovania meradiel zapojených paralelne alebo sériovo, chyby vyplývajúce z ovplyvnenia hodnôt meranej veličiny meradlom a pod.
- Chyby metódy – sú chyby vyplývajúce z nedokonalosti použitých meracích metód, z použitia približných hodnôt fyzikálnych konštánt a nie presne zodpovedajúcich závislostí.
- Chyby pozorovacie – sú chyby spôsobené nedokonalosťou pozorovateľa.
- Chyby výpočtové – sú chyby vznikajúce spracovaním nameraných hodnôt (použitie približných vzťahov, chyby interpolácie, extrapolácie, linearizácie a pod.).

Neistota v meraní je parameter súvisiaci s výsledkom merania, ktorý charakterizuje rozptyl hodnôt, ktoré možno racionálne priradiť k meranej veličine. Môže sa týkať výsledku merania, hodnôt odčítaných z použitých prístrojov, hodnôt použitých konštánt, korekcií a podobne. Neistota výsledku merania odráža nedostatky v dokonalom poznaní hodnoty meranej veličiny. Úplné poznanie vyžaduje nekonečné množstvo informácií. Javy, ktoré prispievajú k neistote a tým ku skutočnosti, že výsledok merania nemožno charakterizovať jedinou hodnotou, sa nazývajú zdroje neistôt. V praxi existuje mnoho potenciálnych zdrojov neistôt pri meraní medzi ktoré patria [11], [12]:

- Neúplná definícia meranej veličiny.
- Nedokonalá realizácia definície meranej veličiny.
- Nereprezentatívny výber vzoriek – nameraná vzorka nemusí reprezentovať definovanú meranú veličinu.
- Nedostatočne známe účinky podmienok prostredia alebo ich nedokonalé merania.
- Subjektívnosť odčítavania z analógových prístrojov.
- Obmedzená rozlišovacia schopnosť prístrojov alebo prah rozlíšenia.
- Nepresnosť etalónov a referenčných materiálov.
- Nepresné hodnoty konštánt a iných parametrov získaných z externých zdrojov a používaných v algoritme spracovania údajov.
- Aproximácie a predpoklady zahrnuté v metóde a postupe merania.
- Zmeny pri opakovaných meraniach meranej veličiny v očividne rovnakých podmienkach.

Pri určovaní neistôt vychádzame z teórie pravdepodobnosti a matematickej štatistiky, pričom predpokladáme, že merané hodnoty, ako aj chyby, majú určité rozdelenie



pravdepodobnosti (podliehajú určitému zákonu rozdelenia pravdepodobnosti). Potom aj výsledok merania má určité rozdelenie pravdepodobnosti. Základnou kvantitatívnou charakteristikou neistoty je štandardná neistota – označujeme ju písmenom  $u$ . Štandardná neistota sa rovná smerodajnej odchýlke príslušného rozdelenia pravdepodobnosti. Štandardné neistoty vo všeobecnosti sú tvorené viacerými zdrojmi. Neistoty z jednotlivých zdrojov môžeme vyhodnocovať dvoma základnými metódami:

- Štatistickými metódami z nameraných údajov.
- Neistoty získané iným spôsobom.

Zlúčením štandardných neistôt zo všetkých zdrojov získame celkovú štandardnú neistotu. Okrem štandardných neistôt, ktoré vytvárajú interval pokrývajúci skutočnú hodnotu meranej veličiny s pomerne malou pravdepodobnosťou (napríklad okolo 66%), často požadujeme hodnotu neistoty, ktorá by vytvárala interval s väčšou pravdepodobnosťou pokrytia skutočnej hodnoty. Túto neistotu nazývame rozšírenou neistotou a označujeme ju  $U$  [12], [13].

### 3.3 Meranie teploty

Teplota je jednou z najdôležitejších stavových veličín ovplyvňujúcich takmer všetky stavy a procesy v prírode. Teplota je mierou kinetickej energie pohybujúcich sa častíc látky. Za najnižšiu teplotu, ktorú nazývame absolútnou teplotnou nulou, je považovaný taký stav hmoty, kde v nej ustane akýkoľvek pohyb častíc. V minulosti sa používalo k odčítaniu teploty rady stupníc, ktoré boli založené na fyzikálnych vlastnostiach teplotnej látky. Pre dosiahnutie rovnakých výsledkov meraní, nezávisle na jeho princípe, bola odvodená z účinnosti ideálneho Carnotovho cyklu termodynamická teplotná stupnica. Základnou jednotkou termodynamickej teploty je Kelvin. Jeden Kelvin je 273,16-ty diel termodynamickej teploty trojného bodu vody. Okrem termodynamickej teploty sa používa ešte Celziová teplota, ktorá je vyjadrovaná v stupňoch Celzia. Ďalej sa môžeme stretnúť so stupnicou Reaumurovou, ktorá rozdeľuje interval medzi tuhnutím a varom destilovanej vody na 180 dielikov. V anglosaských zemiach sa dodnes používa Fahrenheitova stupnica [14].

#### 3.3.1 Odporové teplomery

Odporové teplomery využívajú k meraniu teploty teplotnú závislosť elektrického odporu materiálu. Túto závislosť vyjadruje teplotný súčiniteľ odporu  $\alpha$  [ $K^{-1}$ ], ktorého strednú hodnotu pre teplotný rozsah od 0 do 100 °C udáva vzťah

$$\alpha = \frac{R_{100} - R_0}{100 \cdot R_0}, \quad (1)$$

kde je  $R_0$  a  $R_{100}$  odpor materiálu pri teplote 0 °C a 100 °C. K meraniu teploty sa využíva predovšetkým čistých kovov ako sú platina, meď, nikel atď [14].

Odporový teplomer sa skladá z odporového snímača teploty, spojovacieho medeného vedenia, napájacieho zdroja a meracieho prístroja. Odporový snímač teploty je konštrukčný celok, ktorý obsahuje meraciu vložku. V meracej vložke je merací odpor spojený vnútorným vedením so svorkovnicou. Pre teploty do 500 °C je vnútorné vedenie kantalové, pre vyššie teploty je strieborný. Odporové snímače teploty sa vyrábajú s ponorom 160, 250, 400 mm. Plášťové odporové snímače teploty sú vo forme dvoch vodičov navzájom izolovaných

### 3. MERANIE A METROLÓGIA

keramickým lisovaným práškom MgO alebo SiO<sub>2</sub> v stonkovej trubici, kde je tiež umiestnený merací odpor (Obr. 8). Stonku je možné ľubovoľne tvarovať ohýbaním s minimálnym polomerom oblúku 25 mm. Teplotný rozsah je od -100 °C do 250 °C [12]. Ďalej sa touto problematikou zaoberá napr. [11], [15], [16], [17].



Obr. 8 Meracia sonda odporového teplomeru [14]

#### 3.4 Meranie prietoku

Kvapaliny, pary a plyny označujeme spoločným názvom tekutiny. Pojmom prietok rozumieme množstvo tekutiny, pretekajúce za určitú časovú jednotku cez potrubie alebo otvorený kanál. Prietok sa môže vyjadrovať v objemových alebo v hmotnostných jednotkách. Hovoríme potom o objemovom, resp. o hmotnostnom prietoku.

Objemový prietok  $q_v$  sa definuje ako podiel objemu látky, ktorá prechádza daným prierezom a času

$$q_v = \frac{dV}{dt}. \quad (2)$$

Jednotkou objemového prietoku je  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Hmotnostný prietok  $q_m$  je definovaný ako podiel hmotnosti látky, ktorá prechádza daným prierezom a času

$$q_m = \rho \frac{dV}{dt}. \quad (3)$$

Jednotkou hmotnostného prietoku je  $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Na priame meranie aktuálneho prietoku sa používajú prietokomery. Na nepriame meranie sa dajú využiť meradlá pretečeného množstva, doplnené o časomerné zariadenie. V tomto prípade dostaneme hodnotu priemerného prietoku počas určitého časového intervalu. Využíva sa aj meranie rýchlosti tekutiny, ktorá prúdi cez potrubie so známym plošným obsahom prierezu [17], [18], [19].

##### 3.4.1 Prietokomery

Tekutina pretekajúca cez uzavreté potrubie sa nedostáva do styku s okolitým prostredím. Potrubie má zvyčajne kruhový prierez. V uzavretých potrubíach sa najčastejšie používajú tieto skupiny meradiel:

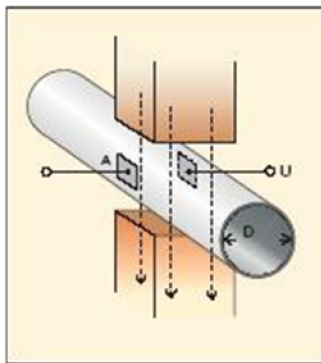
- Objemové (pulzačné) meradlá pretečeného množstva.
- Rýchlostné meradlá pretečeného množstva (vodomery).
- Prietokomery využívajúce tlakovú stratu tekutiny.
- Prietokomery využívajúce dynamické pôsobenie tekutiny.
- Ultrazvukové prietokomery.
- Magnetické indukčné prietokomery.

- Špeciálne prietokomery.
- Hmotnostné prietokomery.

Pri výbere meradla treba brať do úvahy, či je potrubie zaplnené meranou kvapalinou úplne alebo iba čiastočne. Niektoré meradlá pracujú správne iba pri úplnom zaplnení potrubia, inak môže dôjsť k značnému skresleniu merania [12], [19].

### 3.4.2 Indukčné prietokomery

Meranie prietoku tekutiny pomocou elektromagnetického prietokomera sa zakladá na využití Faradayovho zákona. Ten hovorí, že ak sa v magnetickom poli pohybuje vodič dĺžky  $l$  rýchlosťou  $v$  v kolmo na magnetické siločiar, vo vodiči sa naindukuje napätie  $U$ . V prípade indukčného prietokomera je vodič vytváraný elektricky vodivou meranou kvapalinou, ktorá sa pohybuje v magnetickom poli (Obr. 9). Pri pohybe kvapaliny sa na ňu indukuje elektrické napätie, ktoré je snímané v prietokomery dvojicou elektród. Veľkosť tohto napätia je priamo úmerná strednej rýchlosti prúdeniu meranej kvapaliny. Indukčné prietokomery sú ideálne meradlá pre meranie prietokov všetkých kvapalín vrátane vody s elektrickou vodivosťou. Meranie indukčným prietokomerom je veľmi presné, nezávislé na hustote, teplote a tlaku kvapaliny [19].



Obr. 9 Základný princíp indukčného prietokomera [20]

### 3.5 Meranie tlaku

Tlak je jednou zo základných fyzikálnych veličín. Závisia od neho vlastnosti väčšiny kvapalných alebo plynných látok, ich energetický obsah a podobne. Tlak je definovaný ako podiel sily a plošného obsahu. Jednotkou tlaku je Pascal. V technickej praxi sa najčastejšie meria tlak v tekutinách. Prítom sa používa niekoľko pojmov, ktoré spresňujú, aký tlak sa meracím prostriedkom odmeral. Buď sa nameraný tlak vzťahuje k absolútnemu nulovému tlaku alebo k barometrickému tlaku [11], [12].

Prístroje na meranie tlaku sa nazývajú tlakomery. Bežné tlakomery v zásade využívajú dva princípy určovania neznámeho tlaku:

- Vychádzajú zo základného definičného vzťahu

$$P = \frac{dF}{dS} \quad (4)$$

- Snímajú deformáciu citlivého prvku tlakomera a z nej určujú pôsobiaci tlak

Do prvej skupiny patria kvapalinové, zvonové a piestové tlakomery. Do druhej skupiny sa zaraďujú tlakomery s rôznymi deformačnými členmi.

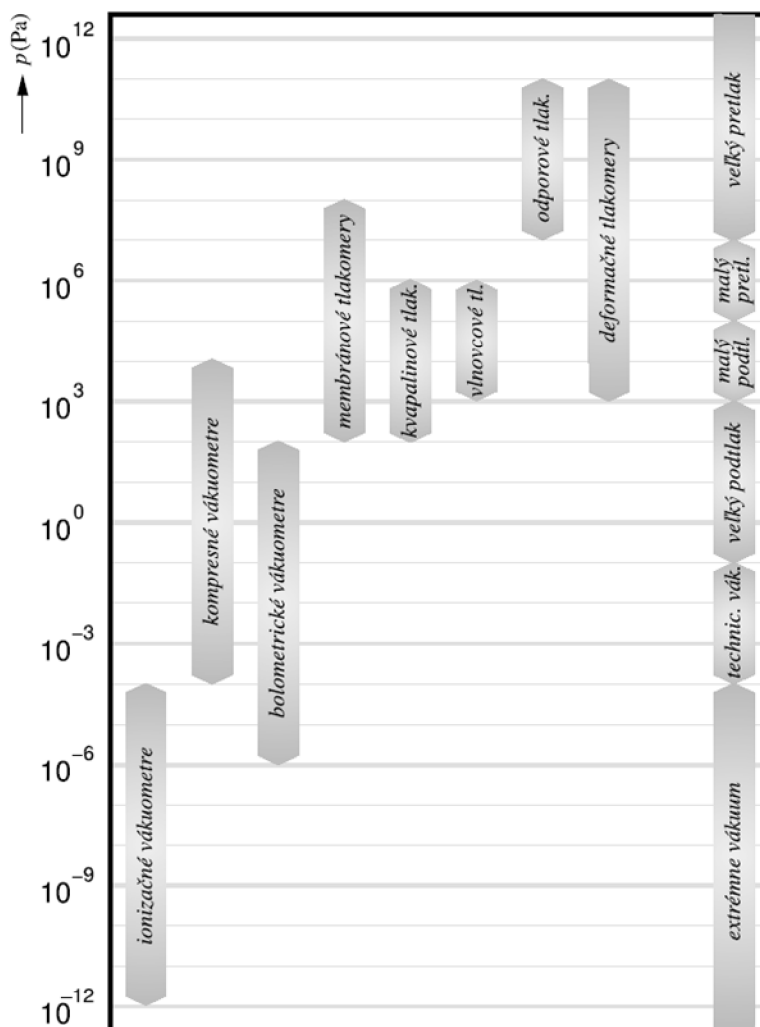
#### 3.5.1 Tlakomery

Obecne sa prístroje na meranie tlaku nazývajú tlakomery. V technickej praxi sa najčastejšie merajú tlaky v rozpätí od  $10^{-12}$  po  $10^{12}$  Pa. Žiadny tlakomer nemôže merať tlak v celom tomto rozsahu. Preto sa tlakomery rozdeľujú do skupín, ktoré sa vzájomne prekrývajú a umožňujú tak vybrať vhodný typ pre každý merací rozsah (Obr. 10). Tlakomery môžeme rozdeliť z rôznych hľadísk [18]. Najčastejšie ich rozdeľujeme podľa určenia na:

- Manometre na meranie pretlakov (kladných alebo záporných).
- Barometre na meranie tlaku ovzdušia.
- Vákuometre na meranie veľkého podtlaku.
- Manovákuometre na meranie pretlaku a podtlaku.
- Diferenčné tlakomery na meranie tlakového rozdielu.

Podľa triedy presnosti poznáme tlakomery:

- Kontrolné, merajúce s dovolenou chybou 0,04 až 0,8 % meracieho rozsahu.
- Prevádzkové, merajúce s dovolenou chybou 0,8 až 2,5 % meracieho rozsahu.
- Hrubé meranie, merajúce s dovolenou chybou 2,5 % meracieho rozsahu.



Obr. 10 Rozdelenie tlakomerov podľa ich meracieho rozsahu [18]



## 4 METODA MERANIA DLE NORMY ČSN EN 12897

Táto európska norma ČSN EN 12897 Zásobovanie vodou - Nepriamo ohrievané uzatvorené zásobníkové ohrievače vody stanovuje požiadavky na prevádzku a skúšobné postupy pre nepriamo ohrievané uzatvorené zásobníkové ohrievače až do objemu 1000 litrov použiteľné v systémoch zásobovania vodou pri tlaku od 0,05MPa do 1MPa, vybavené regulačným a zabezpečovacím zariadením, ktoré je navrhnuté pre zaistenie, že teplota pitnej vody v zásobníkovom ohrievači neprestúpi 100 °C [21].

### 4.1 Termíny a definície

Pre účely použitia tejto normy sú zavedené nasledujúce termíny a definície [21]:

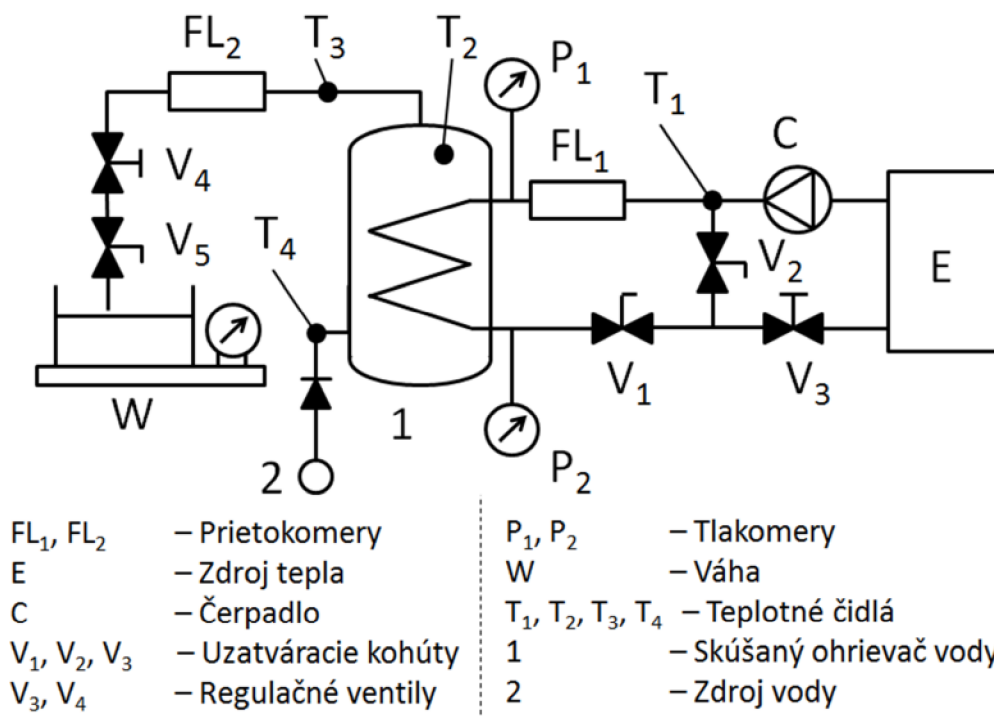
- Uzatvorený nepriamo ohrievaný zásobník vody – uzatvorená (bez spojenia s atmosférou) nádoba s teplovodivou plochou pre ohrev a akumuláciu pitnej vody.
- Celkový objem – celkový objem zásobníkového ohrievača v litroch určený výrobcom na vstupe do zariadenia.
- Skutočný objem – zmeraný objem akumulačnej nádoby pitnej vody v litroch.
- Strana pitnej vody – časť zásobníkového ohrievača vody, ktorá je v priamom kontakte s pitnou vodou.
- Vykurovacia strana – časť zásobníkového ohrievaču vody, ktorá obsahuje teplotnosnú látku.
- Najvyšší návrhový tlak – najvyšší prípustný tlak v zásobníkovom ohrievači vody za normálnej prevádzky.
- Pracovný tlak – stanovený vstupný tlak ohrievača vody.
- Prevádzková teplota –teplota pri ktorej je voda akumulovaná.
- Výmenník tepla – tepelný výmenník v zásobníku teplej vody, ktorým preteká teplotnosná látka a ohrieva akumulovanú pitnú vodu.
- Dvojstenný výmenník tepla – tepelný výmenník so súosými stenami, ktoré zaisťujú, že akákoľvek netesnosť jednej z oboch stien nedovolí teplotnosnej látke znečistiť pitnú vodu.

### 4.2 Skúšanie výkonu a bezpečnosti prípravy teplej vody

Skúška musí byť použitá, ak národné predpisy vyžadujú pre udržanie teploty akumulovanej vody pod 100 °C osadenie teplotnej poistnej armatúry.

#### 4.2.1 Skúšobné zariadenie

Zariadenie musí byť navrhnuté podľa schématického diagramu na Obr. 11. Kompletne zostavený ohrievač vody vrátane tepelnej izolácie musí byť upevnený na plochú podložku s hrúbkou 20 mm z drevovláknitej dosky so strednou hustotou alebo pripevnený na stenu podľa montážnych pokynov výrobcu. Dĺžka všetkých spojovacích potrubí musí byť čo najkratšia a prívodné potrubie vykurovacej vody a výtokové potrubie teplej vody musí byť tepelne izolované. Na pranie môžu byť doplnené ďalšie armatúry za účelom zjednodušenia montáže a obsluhy skúšobného zariadenia. Ak národné predpisy vyžadujú inštaláciu teplotnej poistnej armatúry, musí byť skúška prevedená aj s týmto zariadením [21].



Obr. 11 Skúšobné zariadenie [21]

#### 4.2.2 Popis jednotlivých súčastí

**Zdroj tepla** – Termostatom ovládaný zdroj tepla schopný zaistiť dodávku vykurovacej vody o teplote  $(80 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Pokiaľ je podľa národných predpisov požadovaná skúška teplotných poistných armatúr, bude taktiež potrebné zaistiť zdroj vykurovacej vody o teplote  $(110 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Množstvo vykurovacej vody bude v praxi závislé na navrhnutom kotle a vykurovacom systéme, do ktorého bude ohrievač vody zabudovaný. Obvykle býva tento systém navrhnutý na teplotný spád medzi ohriatou a vratnou vodou v rozmedzí  $10 ^\circ\text{C}$  až  $20 ^\circ\text{C}$ . Pre zaistenie porovnateľných hodnôt sa v týchto skúškach používa prietok  $0,25 \text{ l/s}$ , ale táto hodnota musí v priebehu skúšky zostať konštantná.

**Obehové čerpadlo** – Čerpadlo schopné dodávať  $0,25 \text{ l/s}$  vykurovacej vody, pokiaľ výrobcom nebolo určené iné množstvo. Všetky merané prietoky sa musia pohybovať v rozmedzí  $(0,25 \pm 0,01) \text{ l/s}$ .

**Prietokomer** – Prietokomer ciachovaný pre vodu o teplote  $80 ^\circ\text{C}$  s presnosťou  $0,01 \text{ l/s}$  a určený pre vyššie uvedený prietok. Druhý prietokomer nie je nevyhnutný a je určený pre zrýchlenie ciachovania skúšobného okruhu.

**Obtok** – súčasťou obtoku sú dva plnoprietokové uzatváracie guľové kohúty ( $V_1$  a  $V_2$ ).

**Vypúšťacia armatúra** – plnoprietokový pákový uzatvárací guľový kohút ( $V_3$ ).

**Regulačné ventily** – Dva ihlové ventily ( $V_3$  a  $V_4$ ) alebo podobné zariadenia pre reguláciu prietoku vykurovacej a teplej vody.

**Tlakomery** – Dva tlakomery ( $P_1$  a  $P_2$ ) alebo podobné zariadenie ako je diferenčný tlakomer, schopný zmerať tlakovú stratu vykurovacej strany výmenníku tepla s presnosťou  $\pm 2\%$ .

**Teplotné čidlá** – Štyri teplomery alebo teplotné senzory, schopné zmerať teplotu s presnosťou  $\pm 1 ^\circ\text{C}$ . Tieto zariadenia musia byť umiestnené nasledujúcim spôsobom:

#### 4. METODA MERANIA DLE NORMY ČSN EN 12897

- (T<sub>1</sub>) Toto teplotné meracie zariadenie je umiestnené na potrubí vykurovacej vody za čerpadlom a účelom jeho inštalácie je merať teplotu vykurovacej vody bezprostredne pred odbočkou do obtoku.
- (T<sub>2</sub>) Toto teplotné meracie zariadenie je umiestnené vo vnútri alebo na zásobníku teplej vody s cieľom merať teplotu teplej vody 25 mm pod výstupom vody zo zásobníku.
- (T<sub>3</sub>) Toto teplotné meracie zariadenie je umiestnené na výstupe teplej vody zo zásobníku vo vzdialenosti najviac 150 mm od zásobníku a jeho účelom je merať teplotu teplej vody na výstupe zo zásobníku.
- (T<sub>4</sub>) Toto teplotné meracie zariadenie je umiestnené na vstupe studenej vody do zásobníku vo vzdialenosti najviac 150 mm od zásobníku s cieľom merať teplotu privádzanej vody.

#### 4.3 Skúška výkonu, ohrev teplej vody

Ohrievač vody musí byť pre skúšanie zapojený podľa Obr. 11 a podrobený nasledujúcemu postupu [21]:

1. Ohrievač vody a okruh vykurovacej vody musí byť naplnený a odstránený prebytočný vzduch. V tú chvíľu sa môže primárny okruh ohriať otvorením armaúr V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub> a V<sub>3</sub> na teplotu 80 °C a zvyšný prebytočný vzduch môže byť ešte odstránený.
2. Kohút V<sub>2</sub> musí byť uzatvorený, kohút V<sub>1</sub> a regulačný ventil V<sub>3</sub> musia byť otvorené a ventil V<sub>3</sub> musí byť nastavený tak, aby sme dosiahli požadovanú hodnotu  $\Delta T$ . V okamihu dosiahnutia požadovanej hodnoty  $\Delta T$  musí byť kohút V<sub>2</sub> otvorený a kohút V<sub>1</sub> uzatvorený.
3. Ohrievač vody musí byť pripojený na zdroj studenej pitnej vody, regulačný ventil V<sub>4</sub> a uzatvárací kohút V<sub>5</sub> musia byť otvorené. Vzduch zo systému sa vypúšťa, pokiaľ voda voľne nevyteká z výtokového potrubia.
4. Pri plne otvorenom uzatváracom kohúte V<sub>5</sub> musí byť otáčaním regulačného ventilu V<sub>4</sub> nastavený prietok teplej vody podľa tabuľky Tab. 1. Tento prietok môže byť meraný buď pomocou prietokomeru FL<sub>2</sub> alebo meraním doby za ktorú sa zmení množstvo vypúšťanej vody na váhu W. Potom by mal byť uzatvorený kohút V<sub>5</sub>.

*Tab. 1 Závislosť prietoku teplej vody na objeme zásobníku*

Objem (l)	Prietok (l/s)
Do 100	0,15
101 – 250	0,25
251 – 500	0,50
501 – 750	0,75
751 – 1 000	1,00

5. Skúška musí začať pri teplote studenej vody T<sub>2</sub> v rozmedzí 13 °C až 15 °C. Táto požiadavka môže byť splnená buď napustením čerstvej vody otvorením kohúta V<sub>5</sub> alebo prihriatím zásobníku ohrievaču pomocou okruhu vykurovacej vody.



6. Uzatvorením kohúta  $V_5$ ,  $V_1$  a otvorením kohúta  $V_2$  sa ohreje primárny okruh na požadovanú teplotu ( $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Ako náhle sa parametre primárneho okruhu ustália, musí byť kohút  $V_1$  otvorený a kohút  $V_2$  bezprostredne potom uzatvorený. V okamihu dosiahnutia teploty  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  na vrchole zásobníku sa začne merať čas. V priebehu tejto doby ohrevu môže byť nevyhnutné previesť nejaké drobné úpravy prietoku, meraného  $FL_1$  pomocou regulačného ventilu  $V_3$ . Behom tejto doby ohrevu musí byť stanovená tlaková strata z rozdielu medzi hodnotami nameranými tlakomermi  $P_1$  a  $P_2$  alebo použitím nejakého obdobného meracieho zariadenia.
7. Ako náhle teplota  $T_2$  dosiahne hodnotu  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , musí byť zdroj tepla odpojený otvorením kohúta  $V_2$  a bezprostredným uzatvorením kohúta  $V_1$ . Takto získaný čas musí byť zaznamenaný a označený ako doba ohrevu. Jednu minútu je možné celý systém považovať za stabilizovaný.
8. Jednu minútu po uzatvorení kohúta  $V_1$  sa musí zahájiť vypúšťanie otvorením kohúta  $V_5$  a zároveň sa začne merať čas a upraví sa prietok pomocou regulačného ventilu  $V_4$  v prípade, že sa líši od hodnôt uvedených v Tab. 1. Teplota vytekajúcej vody  $T_3$  musí byť meraná po každých 5 litroch. Ako náhle teplota  $T_3$  klesne pod  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , musí sa kohút  $V_5$  po prietoku posledných piatich litroch bezprostredne uzatvoriť. Použitie váhy a meranie času pre získanie závislosti teploty na množstve vypustenej vody môže byť nahradené automatickým meracím zariadením zo zápisom nameraných hodnôt. Akékoľvek alternatívne meracie zariadenie pre meranie množstva vypustenej vody musí mať presnosť 1 %.

#### 4.4 Tlaková strata vykurovacej strany výmenníku tepla

Tlaková strata vykurovacej strany výmenníku tepla meraná podľa kroku 6 predchádzajúcej kapitoly musí byť zaznamenaná.

#### 4.5 Vyjadrenie výsledkov - množstvo teplej vody

Množstvo teplej vody je určené podľa kroku 8 z 4.3. Toto vypúšťané množstvo teplej vody musí byť graficky zaznamenané, pričom prírastky po 5 l sa vynášajú na osu  $x$  a teplota  $T_3$  sa vynáša na osu  $y$ . Ak sa použije automatické zapisovacie zariadenie, pre stanovenie závislosti teploty na pretekajúcom množstve sa dajú použiť kontinuálne namerané hodnoty. Aby zásobníkový ohrievač splnil požiadavky tejto normy, musí byť najmenej 75 % skutočného objemu zásobníku vypusteného ako teplá voda o teplote  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  alebo vyššia [21].

#### 4.6 Opätovné ohriatie

Výkon výmenníku tepla v kW musí byť vypočítaný zo závislosti teploty na vypustenom množstve teplej vody. Z tejto závislosti je možné stanoviť priemernú teplotu vody vypustenej pri teplote 40 °C a vyššej, táto teplota sa označí  $T_{av}$ . Objem vody vypustenej pri teplote 40 °C a vyššej sa označí  $V$ . Čas v minútach, potrebný pre ohriatie vody v zásobníku z 15 °C na 60 °C sa označí  $t$ . Tepelný výkon výmenníku tepla sa označí  $P$  a vypočíta sa nasledujúcim spôsobom [21]:

$$P = \frac{(T_{av} - 15) \times V}{14,3 \times t} \quad (5)$$

Kde

$P$  tepelný výkon výmenníku tepla v kW

$T_{av}$  priemerná teplota vody vypustená pri teplote 40 °C a vyššej

$V$  objem vody vypustenej pri teplote 40 °C a vyššej

$T$  čas v minútach, potrebný pre ohriatie vody v zásobníku z 15 °C na 60 °C

14,3 súčiniteľ pre prepočet na kilowatty (860/60 min)

#### 4.7 Funkcie teplotných poistných armatúr

Táto skúška je nutná len v prípade, že národné predpisy požadujú inštaláciu teplotnej poistnej armatúry. Ohrievač vody musí byť zapojený podľa Obr. 11. Pokiaľ ohrievač obsahuje ponorný elektrický vykurovací článok alebo iné elektrické zariadenie pre prídavné vykurovanie, musí byť tiež zapojený. Regulačný termostat a poistky prívodu energií musia byť odpojené a meracie prístroje musia byť zapojené, aby zmerali teplotu, pri ktorej dôjde k otvoreniu teplotnej poistnej armatúry [21].

- Teplota vykurovacej vody musí byť nastavená na 110<sub>-2</sub> °C a prietok na 0,25 l/s.
- Teplota, pri ktorej regulačný termostat (obvykle od 60 do 65 °C) vypne, musí byť zaznamenaná.
- Regulačný termostat musí byť nastavený na maximum a nová prevádzková teplota zaznamenaná. Až do tohto bodu nesmie tepelná poistka zasiahnuť.
- Ohrev musí pokračovať pokiaľ tepelná poistka nezopne. Táto teplota musí byť zaznamenaná. Do tejto doby nesmie byť teplotná poistná armatúra v prevádzke.
- Ohrev musí pokračovať, pokiaľ nezačne teplotná poistná armatúra fungovať. V tomto bode nesmie teplota v zásobníku, označená ako  $T_2$ , prekročiť 100 °C. Skúška musí pokračovať so stále pripojeným zdrojom tepla pokiaľ sa termopoistný ventil prípadne neuzatvorí. Následne sa skúška ešte raz opakuje.
- Ak je zapojený prídavný ohrev, musí byť skúška zopakovaná za súčasného pôsobenia elektrického a vodného ohrevu. V takom prípade skúšaný termostat a poistné zariadenie reguluje prívod elektrickej energie do vykurovacieho článku.



## 5 SOFTWARE VYUŽÍVANÝ V AUTOMATIZÁCI

Vizualizačné systémy sa stali štandardnou súčasťou automatizácie. Technika vstavovaných panelových počítačov sprístupňuje použitie priamo na pracoviskách, napr. pre obsluhu jednotlivých strojov a liniek alebo technologických objektov ako sú napr. kotolne, transformátorové stanice. Často sa v tejto súvislosti stretávame so skratkou SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), ktorá je ešte doplnená dodatkom HMI (Human-Machine Interface), ktorý upresňuje, že sa jedná o operátorské rozhranie. Ako vizualizačný systém je označovaný programový produkt, ktorý je používaný univerzálne ako nástroj, s ktorým je možné vytvoriť špecializovaný program. Tento program zviditeľňuje stav a deje v konkrétnom riadenom objekte, umožňuje jeho ručné ovládanie a zadávanie parametrov a realizuje mnoho ďalších funkcií. Vizualizačné systémy sú dostupné v dvoch verziách. Vývojová verzia je určená pre dodávateľa riadenia technologického objektu. Pomocou vývojovej verzie je vytvorená vlastná aplikácia a po odladení a overení je preložená do verzie, ktorá je určená pre prevádzku. Táto verzia je označovaná ako runtime verzia.

Vývojová verzia vizualizačného systému je programové prostredie pre vývoj aplikačného programu vizualizácie riadeného objektu. V tejto verzii je možné definovať formu a obsah jednotlivých obrazoviek a okien, vytvoriť a umiestniť na nich potrebné grafické objekty pre schematické znázornenie technológie, ale aj znázornenie zobrazovacích a ovládacích prvkov ako napr. ventilov, signálnych kontroliek, displejov, tlačidiel, prepínačov atď. Umožňuje definovať vstupné, výstupné a vnútorné premenné, priradiť k nim stavy grafických objektov na obrazovkách a definovať vzťahy a súvislosti medzi nimi. Všetky vizualizačné systémy majú obdobné základné princípy a spôsoby práce. Dôležitými sú rozsah a kvalita knižníc grafických komponentov pre univerzálne použitie. Dôležitým je tiež logické usporiadanie jednotlivých okien, riešenie kontextovej nápovede, ale aj jazyková mutácia programu a jeho dokumentácia.

Len výnimočne je izolovaný objekt riadený priamo z počítača. Takmer vždy je nutné riešiť komunikáciu s ďalšími systémami a podsystémami, programovateľnými automatmi, regulátormi a priemyslovými počítačmi, s účastníkmi distribuovaného systému, s modulmi vzdialených vstupov a výstupov, s prístrojmi na priemyslových zberniciach, ale aj medzi ďalšími počítačmi riadiaceho a informačného systému. Dôležitý je sortiment programovaných ovládačov pre komunikáciu s rôznymi typmi riadiacich systémov a priemyslovými zberniciami. V súčasnosti má veľký význam kompatibilita s komunikačnými štandardmi, predovšetkým OPC. Komunikuje s inými vizualizačnými systémami, čo umožňuje splniť požiadavky, aby novo budovaná automatizovaná prevádzka komunikovala s existujúcou prevádzkou. Štandardom sú taktiež rôzne typy bezdrôtovej komunikácie, ale predovšetkým rozhranie Ethernet a rozličné prostriedky komunikácie po sieťach intranet a internet, pomocou ktorých je možné prepojiť automatizované systémy. Úloha vizualizácie je len časť projektu automatického riadenia. Je výhodné, aby vizualizačný systém zjednodušoval riešenie rôznych väzieb. Veľmi užitočná je výmena definovaných premenných medzi spolupracujúcimi systémami, napr. medzi programom PLC a vizualizačným systémom. Prínosom je i väzba medzi databázovým a vizualizačným systémom. Vo fázy ladenia je veľmi výhodná komunikácia medzi programom PLC, ktorý je vo fázy simulovaného behu vo vývojovom systéme, a medzi vizualizáciou pripravovanej vývojovej verzii vizualizačného systému.

Mnohé problémy a chyby je možné vyriešiť v predstihu. S komunikatívnosťou vizualizačných systémov súvisí diaľková správa aplikácie, takže je možné analyzovať problém na diaľku, nájsť riešenie, upraviť ho.

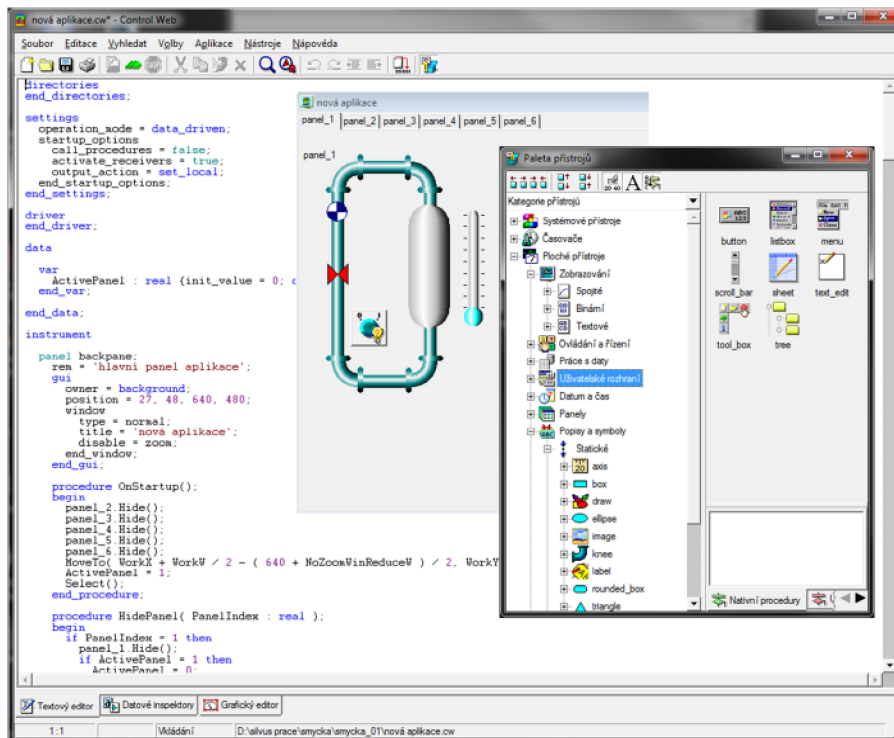
Z pohľadu využívaných softwaru v automatizácii existujú produkty zameriavajúce sa na vizualizáciu, meranie a analýzu dát (Control Web, Lab VIEW, InTouch, DEWESoft), alebo produkty špecializujúce sa iba na jednotlivé časti (spracovanie dát – DIAdem, vizualizácia – PROMOTIC). V podstate sa dá povedať, že každý dodávateľ uceleného systému riadenia technologických procesov dodáva vlastný SCADA/HMI systém [22].

### 5.1 Control Web

Program Control Web od firmy Moravské přístroje patrí v ČR medzi najrozšírenejšie software určené k vývoji priemyslových SCADA/HMI aplikácií. Control web je univerzálny nástroj pre vývoj a nasadzovanie vizualizačných a riadiacích aplikácií (Obr. 12), ukladanie a vyhodnocovanie dát. Každá aplikácia systému Control Web má možnosť komunikovať cez Ethernet, USB, sériové linky, Wi-Fi, Bluetooth, môže obsahovať internetový HTTP server, ale súčasne má k dispozícii web klienta. Dokáže posielať e-maily, posielať a prijímať SMS správy, komunikovať cez GPRS alebo rádiové mosty, spolupracovať s OPC servermi, atď. Jeho architektúra je založená na grafických komponentoch, ktoré umožňujú vytvárať široký rozsah vizualizácií od jednoduchých a časovo nenáročných až po zložité riadiace aplikácie reálneho času. Dajú sa v ňom vytvárať aplikácie pracujúce v reálnom čase alebo dátovo riadené aplikácie. U systémov riadených Control Webom je každý vstupne/výstupný kanál čítaný v dobe, keď ho nejaký virtuálny prístroj požaduje. Umožňuje sekvenčné riadenie procesov, virtuálne prístroje sú aktivované systémom v presne definovanom čase a sekcii. Umožňuje tiež vizualizácie technológií prostredníctvom internetových štandardov HTTP a HTML pomocou ľubovoľného WWW klienta. Umožňuje úplnú nezávislosť na používanom hardware. Ovládače plne podporujú štandardné komunikačné rozhranie v priemyselnej automatizácii ako je OPC a DDE.

K dispozícii sú všetky komponenty nutné k tvorbe SCADA/HMI aplikácií, zobrazovacie a ovládacie prvky, alarmy a archívy a pod. Dajú sa jednoducho používať v grafickom režime so sprievodcom, paletami prístrojov a s inšpektormi jednotlivých prístrojov. Využitie grafického módu redukuje programovanie do niekoľkých pohybov myši. Druhý spôsob programovania využíva textového módu. Tieto dva módy sa navzájom dopĺňajú. Tomuto spôsobu programovania sa hovorí dvojcestné programovanie. Každú aplikáciu je možné podľa potreby vytvárať chvíľu v grafickom editore a chvíľu v textovom editore. Control Web je otvorený program, množina virtuálnych prístrojov nie je pevne daná, užívatelia ju môžu podľa potreby dopĺňať.

Cieľom systému Control Web je uľahčiť realizáciu bežných projektov. Samozrejme pri rešpektovaní všetkých existujúcich štandardov pre beh programu a ich užívateľské rozhrania, výmena dát a prístup k databázam, komunikáciu po počítačových sieťach a spoluprácu s hardware pre zber dát a riadenia [23], [24].

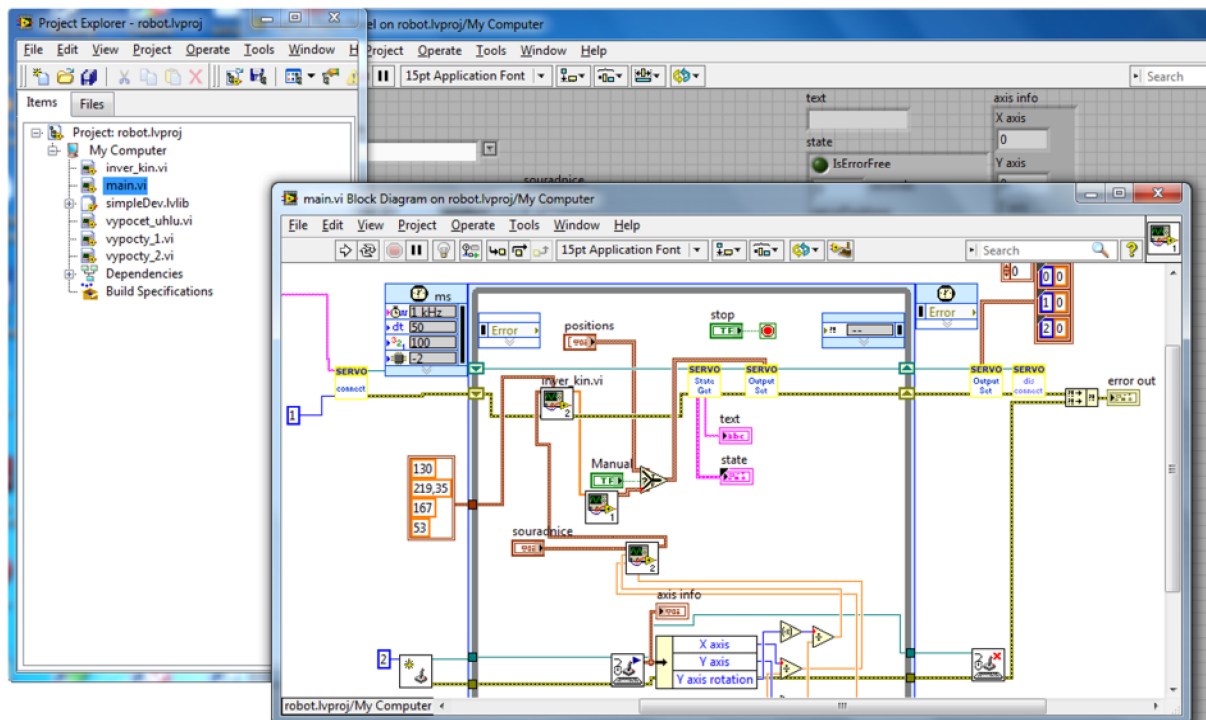


Obr. 12 Ukážka programu v Control Web

## 5.2 LabVIEW

LabVIEW je grafické vývojové prostredie, ktoré zahrňuje flexibilitu programovacieho jazyka rovnako ako vysokú úroveň funkčného použitia predovšetkým v automatizácii a meraní. Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench alebo LabVIEW sa stal grafickým vývojovým prostredím, ktorého hlavným atribútom nie je textové programovanie, ale programovanie pomocou jednoduchých blokov a zložitých komplexných sústav týchto blokov (Obr. 13). Obsahuje bohaté knižnice pre vytváranie rôznorodých aplikácií zameraných predovšetkým na oblasť merania a automatizácie, to jest zber, analýza a prezentácia dát. Jedná sa o plnohodnotný programovací jazyk so všetkými odpovedajúcimi dátovými a programovými štruktúrami v grafickej podobe. Často býva označovaný tiež ako jazyk G (ako grafický). Výsledkom vývojového prostredia je tzv. virtuálny prístroj (VI – Virtual Instrument), ktorý je ekvivalentný fyzickému prístroju. Každý VI sa skladá z dvoch základných častí. Čelný panel (Front Panel) určuje, ako bude prístroj vyzerat' pre koncového užívateľa. Druhou časťou je blokový diagram (Block Diagram), v ktorom je určená jeho základná funkcia. Virtuálny prístroj sa sám o sebe môže skladať z ďalších virtuálnych „pod-prístrojov“. Tieto „pod-prístroje“ vykonávajú jednoduchšie základné funkcie prístroja, ako napr. získavanie dát, prepočet, analýza atd. Týmto virtuálnym prístrojom hovoríme podriadené virtuálne prístroje (Substitute Virtual Instruments). Aby sa vytvorený virtuálny prístroj mohol stat' „pod-prístrojom“, musia sa nadefinovať vstupy/výstupy z/do nadriadenej aplikácie. K tomuto slúži tzv. konektor, ktorý definuje počet vstupov, výstupov a ich organizácii do každého jedného podriadeného virtuálneho prístroja. Takto modulárne poskladaný virtuálny prístroj sa dá vďaka bohatej škále ladiacich prostriedkov odskúšať, vyladiť a preložiť do spustiteľného tvaru ako samostatná aplikácia.

Virtuálna inštrumentácia kombinuje výhody ľahko dostupných zariadení, ako je PC s flexibilným softwarom spolu s veľkým množstvom meracieho a riadiaceho hardwaru. Takto môže koncový užívateľ ľahko vytvoriť požadované aplikácie alebo ich v priebehu času meniť podľa požiadaviek. Vďaka virtuálnej inštrumentácii dochádza ku zníženiu času potrebného na vývoj, ku zvýšeniu kvality vyvíjaných aplikácií a k zníženiu ich nákladov. Bez virtuálnej inštrumentácie sa v dnešnej dobe neobíde žiadna aplikácia začínajúca spotrebnou elektronikou končiac rafinérskymi spoločnosťami [25].



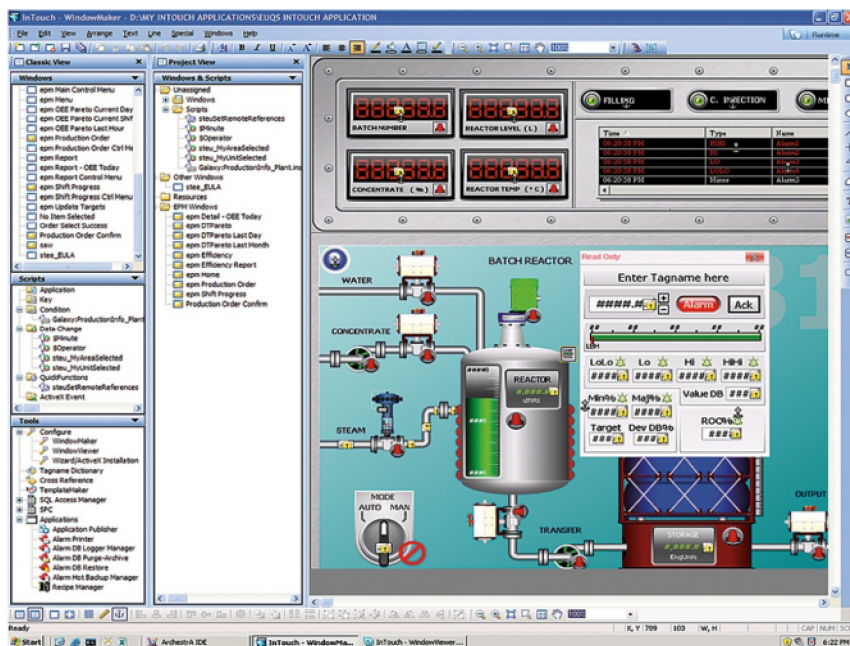
Obr. 13 Ukážka programu v LabVIEW

### 5.3 InTouch

Wonderware InTouch je softwarový produkt kategórie SCADA/HMI určený pre vizualizáciu a supervízne riadenie výrobných technológií a procesov (Obr. 14). InTouch umožňuje obsluhu v reálnom čase sledovať a reagovať na priebehy výrobných operácií prostredníctvom názorného grafického znázornenia ľubovoľných technologických procesov. Pre zber dát z technologických procesov je k dispozícii rozsiahla ponuka komunikačných I/O serverov priamo od Wonderware alebo od nezávislých softwarových firiem. Podporovaná je aj komunikácia s OPC servermi od ľubovoľných dodávateľov. Okrem nástrojov pre jednoduché vytváranie grafických obrazoviek zobrazujúcich aktuálne stavy prevádzkovaných technológií je súčasťou systému InTouch aj správa distribuovaných historických dát umožňujúca spoluprácu s výkonnou databázou histórie Wonderware Historian Server a správa distribuovaných alarmov, ktoré je možné ukladať do databáze MS SQL Server 2008 [26].



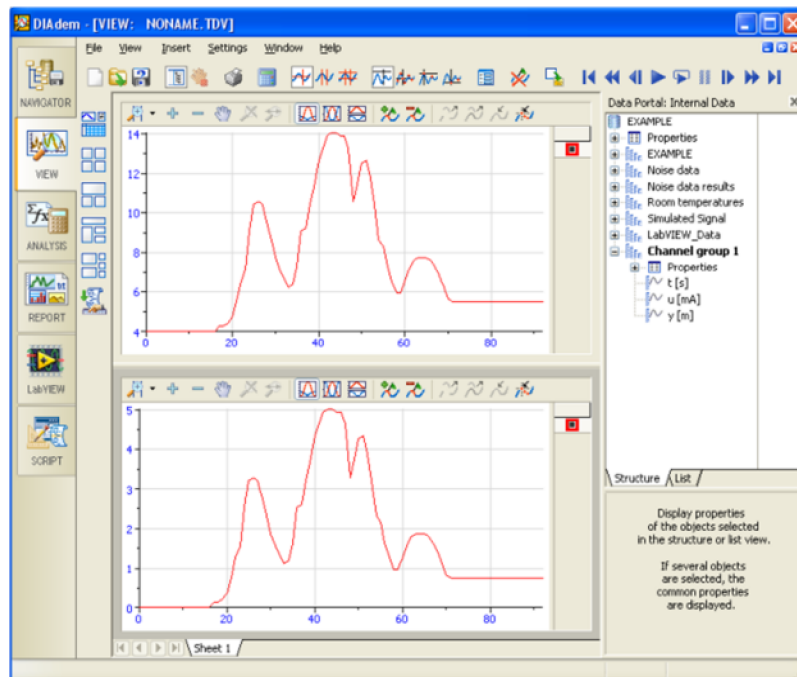
## 5. SOFTWARE VYUŽÍVANÝ V AUTOMATIZÁCIÍ



Obr. 14 Ukážka grafickej vizualizácie technologických procesov [27]

### 5.4 DIAdem

Diadem je softvérový nástroj (Obr. 15), ktorý je možné použiť na rýchle vyhľadanie, načítanie, vizualizovanie, analyzovanie dát získaných počas merania alebo vzniknuté v priebehu simulácie. Je navrhnutý tak, aby zodpovedal požiadavkám dnešných testovacích prostredí, ktoré vyžadujú rýchly prístup, spracovanie a správu o veľkých objemoch dát rozptýlených v rôznych vlastných formátoch. Tento softvérový nástroj je od firmy National Instruments (NI) [28].



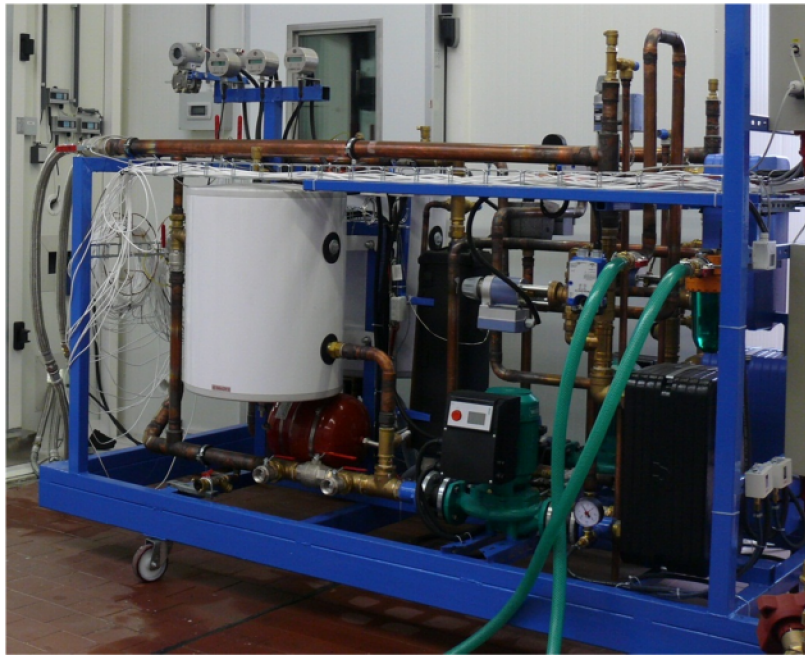
Obr. 15 Ukážka panelu softvérového nástroju DIAdem [28]





## 6 RIADENIE HYDRAULICKEJ SLUČKY

Predmetom tejto práce je navrhnúť a implementovať vizualizáciu riadenia hydraulického systému, ktorá je použitá pre testovanie nepriamo ohrievaných zásobníkových ohrievačov podľa normy ČSN EN 12897. Popisovaný technologický systém sa nachádza v laboratóriách Strojárskeho zkušebného ústavu, s.p., kde sa prevádzajú príslušné skúšky (Obr. 16). Topológia testovacej hydraulického systému vychádza z požiadaviek skúšania podľa vyššie zmienenej normy. Schéma zapojenia skúšobnej hydraulického systému dodanej skúšobným ústavom je obsiahnutá v prílohe tejto práce. Skúšobná hydraulická slučka je rozdelená do dvoch základných častí, a to primárneho a sekundárneho okruhu. Primárny okruh slúži k zásobovaniu ohrievača vykurovacou vodou. Cirkulácia vykurovacej vody v primárnom okruhu je zaistená pomocou obehového čerpadla s označením C1. Prietok vody je regulovaný pomocou dvojice regulačného kohúta RK1 a regulačného ventilu RV1. V primárnom okruhu je ďalej prítomná trojica kohútov OK1, OK2, OK3, ktorá riadi obtok ohrievača. Pre riadenie tlaku je v primárnom okruhu zabudovaný presostat PC1. Vykurovacia voda primárneho okruhu hydraulického systému je ohrievaná pomocou dvojice kotlov (KOTOL\_1 a KOTOL\_2), ktoré sú vybavené termostatmi. Pre indikáciu prietoku vykurovacej vody je použitý prietokomer s označením V1. V primárnom okruhu je ďalej meraná teplota vykurovacej vody a tlak v mieste pripojenia testovaného ohrievača (diferenčné tlakomery P1 a P2). Teplota je meraná na viacerých miestach pomocou príslušných teplomerov (Tw1in, Tw1out, Tw5kotel). Medzi primárny okruh a vodovodný rád je pripojená pomocná slučka pomocou dvojice výmenníkov. Cirkulácia vody v tejto smyčke je zaistená pomocou obehového čerpadla C4. Prietok vody touto smyčkou je regulovaný dvojicou regulačného kohúta RK4 a regulačného ventilu RV4. Prítok vody z vodovodného rádu je ovládaný kohútom OK4. Sekundárny okruh slúži k zásobovaniu ohrievača studenou vodou, ktorá je pomocou ohrievača ohriata a odvedená odpadným potrubím. Prietok vody sekundárnym okruhom je regulovaný pomocou regulačného kohúta RK3, regulačného ventilu RV3 a regulačného ventilu RV5. Pre indikáciu prietoku ohriatej vody je použitý prietokomer V5. V sekundárnom okruhu je meraná teplota vody na vstupe do ohrievača (Tw5voda), ďalej v nádrži ohrievača (Tw5nádrž) a na výstupe z ohrievača (Tw5out). Riadiaci systém testovacej hydraulického systému je rozdelený do troch základných vrstiev, čo odpovedá hierarchickej architektúre riadenia. Na najvyššej vrstve sa nachádza PC, na ktorom je realizovaná vizualizácia užívateľského rozhrania (predmet tejto práce). Užívateľské rozhranie komunikuje s podriadenu vrstvou prostredníctvom OPC serveru, ktorý komunikuje s PLC nachádzajúcim sa na podriadenej vrstve. PLC podriadenej vrstvy je použité pre spracovanie a generovanie signálov prichádzajúcich z jednotlivých snímačov a akčných členov v hydraulickom systéme, ktoré sa nachádzajú na najnižšej vrstve.



Obr. 16 Hydraulická slučka v Strojárskeho zkušebnom ústavu, s.p.,

### 6.1 Prvky použité v hydraulickej smyčke

Popis významných prostriedkov automatického riadenia obsiahnutých v testovacej hydraulickej smyčke nasleduje v ďalších podkapitolách a v Tab. 2.

Tab. 2 Prehľad vybraných prostriedkov použitých v hydraulickej smyčke

Označenie prostriedku	Názov prostriedku
C1	Čerpadlo WILO IP – 40/130 – 2,2/2
C4	Čerpadlo WILO Stratos 25/1 – 8 PN10
V1	Prietokomer FLOW 38 DN32 COMAC CAL
V5	Prietokomer FLOW 38 DN32 COMAC CAL
RV1	Elektromagnetický ventil Siemens MXG461B25 – 8
RK1	Guľový kohút Johnson Control VG1205ES + 536GGA
RV3	Elektromagnetický ventil Siemens MXG461B15 – 5
RK3	Guľový kohút Johnson Control VG1205ES + 536GGA
RV4	Elektromagnetický ventil Siemens MXG461B15 – 3
RK4	Guľový kohút Johnson Control VG1205ES + 536GGA
RV5	Elektromagnetický ventil Peveko MVPE325.0
P1	Diferenčný tlakomer LD 301 0 – 125 kPa
P2	Diferenčný tlakomer LD 301 0 – 250 kPa
Tw1in	Odporový teplomer Pt100
Tw1out	Odporový teplomer Pt100
Tw5kotel	Odporový teplomer Pt100

## 6. RIADENIE HYDRAULICKEJ SLUČKY

Tw5voda	Odporový teplomer Pt100
Tw5nádrž	Odporový teplomer Pt100
Tw5out	Odporový teplomer Pt100
Elektromer 1	Elektromer ZE310.D
Elektromer 2	Elektromer ZE310.D
BAR_TLAK_PB	Barometrický tlakomer COMET T2114

### 6.1.1 Čerpadlo WILO IP – 40/130 – 2,2/2

Jedná sa o elektronicky regulované suchobežné čerpadlo v inline – prevedení s pripojením na prírubu a automatickým prispôsobovaním výkonu (Obr. 17). Môže byť použité k čerpaniu studenej a teplej vody bez abrazívnych látok vo vykurovacích, studenodvodných a chladiacich zariadeniach [29]. Vlastnosti čerpadla sú zobrazené v Tab. 3.

*Tab. 3 Vlastnosti čerpadla WILO IP – 40/130 – 2,2/2*

Parametre čerpadla	Hodnota
Teleso	liatina GG 25
Hriadeľ	X 20 Cr 13
Obežné kolo	plastická hmota
Prevádzkový tlak	max. 10 bar
Stupeň menovitého tlaku	PN 10
Teplota média	-20 °C až 120°C
Napájací prúd	3~400V/50Hz
Menovitý výkon motoru	2,2 kW
Rozsah otáčok	1150..2800 ot./min
Menovitý prúd max.	6,8 A
Spôsob ochrany	IP 55
Potrubná prípojka	DN 40/PN16
Riadiaci signál	4-20 mA



*Obr. 17 Čerpadlo WILO IP – 40/130 – 2,2/2 [29]*

### 6.1.2 Čerpadlo WILO Stratos 25/1 – 8PN10

WILO Stratos je mokrobežné obehové čerpadlo s pripojením na závit alebo na prírubu, EC motorom a automatickým prispôsobovaním výkonu (Obr. 18). Môže byť použité v teplovodnom kúrení všetkých systémov, klimatizačnom zariadení, uzatvorených chladiacich okruhoch, alebo v priemyslových cirkulačných zariadeniach. Má integrovanú elektronickú reguláciu výkonu pre dosiahnutie konštantného/variabilného diferenčného tlaku. Vlastnosti čerpadla sú zobrazené v Tab. 4 [29].

Zvláštnosti/prednosti produktu sú:

- Trieda energetickej účinnosti A.
- 80% úspora prúdu v porovnaní s neregulovanými obehovými čerpadlami.
- Maximálna účinnosť vďaka technológii ECM.

*Tab. 4 Vlastnosti čerpadla WILO Stratos 25/1 – 8PN10*

Parametre čerpadla	Hodnota
Teleso	EN-GJL 200
Hriadel'	X 46 Cr 13
Obežné kolo	PPS vyztužený sklenenými vláknami
Prevádzkový tlak	max. 10 bar
Stupeň menovitého tlaku	PN 10
Teplota média	-10 °C až 110°C
Okolité teplota	40 °C
Napájací prúd	1~230V/50Hz
Menovitý výkon motoru	0,13 kW
Rozsah otáčok	max. 3700 ot./min
Menovitý prúd max.	1,2 A
Spôsob ochrany	IP 44
Potrubná prípojka	DN 25/PN10
Riadiaci signál	0-10 V



*Obr. 18 Čerpadlo WILO Stratos 25/1 – 8PN10 [29]*

## 6. RIADENIE HYDRAULICKEJ SLUČKY

### 6.1.3 Prietokomer FLOW 38 DN32 COMAC CAL

Jedná sa o indukčný prietokomer v celonerezovom kompaktnom prevedení, ktorý je určený do technologických procesov a do ťažkého priemyslu (Obr. 19). Vďaka svojej konštrukcii umožňuje merať prietoky v rozsahu  $Q_{\min}/Q_{\max}$  až 1 : 200 s rozlíšením smeru. Štandardný merací rozsah s vysokou presnosťou je spravidla 1 : 100. Hlavnou prednosťou je veľmi rýchla odozva meraču v závislosti na prietoku, čím je vhodný do najrôznejších riadiacich aplikácií, pričom je schopný merať prázdne potrubie a v takom prípade neposiela nadriadenej riadiacej jednotke neplatné dáta. Pri napájaní 220 V je merač vybavený výkonným adaptívne riadeným zdrojom, ktorý minimalizuje výkonovú stratu celého zariadenia, čím šetrí spotrebu energie. Vzhľadom ku svojmu použitiu neobsahuje archívy nameraných hodnôt, v prípade výpadku si však uchováva základné metrologické počítadlá [30]. Vlastnosti prietokomeru sú zobrazené v Tab. 5.

Hlavnými prednosťami sú:

- Veľká variabilita prevedenia.
- Veľký dynamický rozsah prietoku až 1 : 200.
- Vysoká presnosť merania v celom rozsahu prietoku.
- Možnosť nulovania i na diaľku.
- Vysoká odolnosť proti abrazii.
- Merateľnosť valnej väčšiny médií okrem ropných produktov.
- Senzor prietoku je možno prispôbiť veľmi agresívnej alebo zásaditej kvapaline.

*Tab. 5 Vlastnosti prietokomeru FLOW 38DN32 COMAC CAL*

Parameter	Hodnota
Napájacie napätie	24V, 230V
Príkon prístroja	3,6 VA
Krytie skrinky	IP 67
Krytie čidla	IP 65
Displej	LCD 2x16 znakov
Dovolená max teplota okolia	55°C
Výstup	4-20 mA
Presnosť prietokomeru	0,2 % v rozsahu 1:100
Vzorkovanie	6,25 vzoriek za sekundu
Svetlosť	DN 32



Obr. 19 Prietokomer FLOW 38DN32 COMAC CAL [30]

#### 6.1.4 Regulačné ventily s magnetickým pohonom MXG461B15

Ventily kategórie MXG-461B sú zmiešavacie alebo priame ventily (Obr. 20). Sú dodávané s namontovaným magnetickým pohonom, vybavené elektronickým modulom pre riadenia polohy a so spätnou väzbou od polohy. Je možné ich použiť pre aplikácie s pitnou vodou. Vďaka krátkej prestavovacej dobe, vysokému rozlíšeniu a regulačnému pomeru sú tieto ventily ideálne pre spojitú reguláciu studenej a teplej úžitkovej vody. Magnetický pohon je možné ovládať regulátorom Siemens alebo regulátorom od iného výrobcu, ktorý poskytuje výstupný riadiaci signál DC 0/2 – 10 V alebo DC 0/4 – 20 mA. Riadiaci signál je v elektronickom module prevedený na fázovo modulovaný signál, ktorý generuje magnetické pole v cievke. To spôsobí pohyb regulačného disku do inej polohy, ktorá je výsledkom spolupôsobenia ostatných síl. Vreteno armatúry reaguje okamžite na akékoľvek zmeny signálu a priamo prevádza odpovedajúci pohyb na regulačný disk, čím je umožnená rýchla a presná regulácia výkonu. Poloha regulačného disku ventilu je meraná spojitou. Vnútorňý regulátor polohy vyrovnáva akékoľvek odchýlky v systéme a poskytuje signál polohovej spätnej väzby [31]. Vlastnosti ventilov sú zobrazené v Tab. 6.

Vlastnosti:

- Krátka prestavovacia doba (< 2s), vysoké rozlíšenie zdvihu (1 : 1000).
- Veľký regulačný pomer.
- Napájacie napätie AC / DC 24 V.
- Indikácia prevádzkových stavov, viditeľná z vonku.
- Presný signál spätnej väzby od polohy indukčným snímaním zdvihu.
- Bezpečnostná funkcia: pri výpadku napájania je uzatvorený smer A → AB.
- Robustná a bez údržbová konštrukcia bez trecích plôch.

Tab. 6 Regulačné ventily MXG461B15

Typ ventilu	DN	$k_{vs}$ [m <sup>3</sup> /h]	Napájacie napätie	Výkon [W]	Riadiaci signál
MXG461B15-3	15	3	AC/24V	15	DC 0, 2 – 10V
MXG461B25-8	25	8	DC 20-30 V	15	DC 4 – 20 mA





Obr. 20 Ventil Siemens MXG461B15 [31]

### 6.1.5 Gul'ové kohúty Johnson Control VG1205ES + 536GGA

Gul'ové kohúty rady VG1000 sú určené k regulácii prietoku teplej alebo studenej vody a nízkotlakovej pary v závislosti na požiadavku regulátoru vo vykurovacích (Obr. 21), ventilačných a klimatizačných systémoch. Jedná sa o dvojcestné kohúty, ktoré majú telo buď z kovanej mosadze s pochromovanou mosadznou guľičkou pre vodu a roztoky glykolu od -30 °C do 95 °C alebo telo z kovanej mosadze s guľičkou z nerezovej oceli pre vodu a roztoky glykolu od -30 °C do 140 °C a sýtu paru 100 kPa [32].

Vlastnosti:

- Napájacie napätie AC 24 V.
- Moment servopohonu 6 Nm
- Doba prestavenia 25 – 40 s.
- Riadiaci signál 0 – 10 V (4 – 20 mA).
- Uzatvárací tlak 1380 kPa.
- Svetlosť DN15.



Obr. 21 Gul'ové ventily Johnson Control VG1205ES + 536GGA [32]

### 6.1.6 Diferenčné tlakomery LD301

Snímače rady LD301 sú určené pre presné meranie nízkych diferenčných, absolútnych a relatívnych tlakov (Obr. 22). Dodávajú sa v širokej škále prevedenia oddeľovacích membrán, náplní a materiálov prírub, takže vyhovujú aj náročným aplikáciám v priemysle [33].



Vlastnosti:

- Meracie rozsahy od 1,25 bar do 250 bar.
- Statický tlak až 320 bar.
- Linearita  $\leq 0,1\%$  pre pomer nastavenie rozsahu 10:1.
- Maximálny pomer nastavenie rozsahu 120:1.
- Ovládanie a komunikácie prostredníctvom komunikačného protokolu HART.
- Voľne programovateľné prispôsobenie charakteristiky v 16 bodoch.
- Voľne programovateľný LCD display.
- Krytie IP 67.
- Kompaktné prevedenie odolné voči vibráciám.
- Zvonku nastaviteľný počiatok a koniec meracieho rozsahu.
- Možnosť konfigurácie snímača prostredníctvom integrovaného displeja.
- Meraná médiá: kvapaliny, pary, plyny.
- Napájanie DC 10 – 36 V.
- Výstupný signál 4 – 20 mA.



Obr. 22 Diferenčný tlakomer LD301 [33]

### 6.1.7 Elektromagnetický ventil Peveko MVPE325.0

Elektromagnetické ventily rady MV sú určené k dvojpolohovému riadeniu prietoku vody, vzduchu, prípadne iných plynov a olejov s maximálnou viskozitou  $2 * E$  (Obr. 23). Ventily nie sú určené k ovládaniu prietoku plyných palív. Vyrábajú sa pre rôzne tlakové rozpätia, ovládacie napätia, s rôznymi druhmi tesnenia a s rôznymi svetlost'ami. Nepriamo ovládané ventily sú opatrené pryžovou servomembránou, u priamo ovládaných ventilov je membrána zavesená na pohyblivom jadre elektromagnetu [34].

Nepriamo ovládaný ventil potrebuje pre svoje otvorenie aspoň minimálny tlakový rozdiel. Priamo ovládané ventily využívajú zavesený diferenčný systém, ktorý umožňuje funkciu (otváranie) ventilu už od nulového tlakového rozdielu. Tlakový rozdiel je rozdiel tlaku pred a za ventilom.

## 6. RIADENIE HYDRAULICKEJ SLUČKY

Vlastnosti:

- Typová rada MVPE.
- Pripojovací rozmer Rp1.
- Svetlosť DN25.
- Funkcia „Bez prúdu uzatvorený„.
- Prevedenie 2/2-cestné.
- Konštrukčná varianta - membránový ventil.
- Ovládanie - priamo ovládaný.
- Teplota 140 °C.
- Minimálny tlak 0 kPa.
- Maximálny tlak 1.4 MPa.
- Napájanie/frekvencia: 230V/50 Hz.
- Materiál telesa MS.
- Materiál tesnenia EPDM.
- Riadiaci signál 0 – 10 V.



*Obr. 23 Elektromagneticky ventil Peveko WVPE325.0 [34]*

### 6.1.8 Odporové teplomery Pt 100

Odporové snímače teploty typu Pt100 sú určené pre presné meranie teploty v rozsahu od 200 °C do 800°C. Princíp merania spočíva v zmene elektrického odporu platínového drôtu v závislosti na teplote [35]. Podľa presnosti sa tieto snímače delia do troch tried:

- Trieda presnosti A s toleranciou 0,15°C.
- Trieda presnosti B s toleranciou 0,30°C.
- Trieda presnosti C s toleranciou 0,60°C.

Všetky uvedené tolerancie platia pre teplotu 0 °C. Pri teplote 0 °C majú odpor 100 Ω. K dispozícii je niekoľko typov snímačov Pt100 a to buď samostatné alebo zabudované v ochrannom kryte (Obr. 24).



Obr. 24 Odporové teplomery Pt 100 [36]

### 6.1.9 Elektromer ZE310.D

Elektromery ZE310.D sú trojfázové statické jedno až štvortarifné elektromery činnnej energie triedy 1 a 2 podľa ČSN EN 62052-11, určené pre priame a nepriame pripojenie (Obr. 25). Základom technického riešenia je mikroprocesor, ktorý zastáva všetky hlavné funkcie. Prevádza analógové signály zo senzorov prúdu a napätia na digitálne, prevádza výpočty, obsluhuje displej alebo počítač, sníma tarifné vstupy, komunikuje po optorozhraní, generuje IR a SO impulzy a vybrané hodnoty a údaje ukladá do pamäte a prispôbuje vlastnosti elektromeru požiadavkám a potrebám odberateľa. Galvanické oddelenie prúdových a napäťových obvodov zaisťujú meracie prúdové transformátory. Merací systém umožňuje meranie i za prítomnosti jednosmerných a harmonických zložiek v meraných obvodoch v celom meracom rozsahu elektromeru. Negatívne pôsobenie jednosmerných zložiek je eliminované v každej meracej perióde. Kalibrácia meracieho systému sa uskutočňuje programovo, elektromer neobsahuje žiadne mechanické nastavovacie prvky. Merací systém zabezpečuje s veľkou rezervou deklarovanú presnosť elektromeru [37].



Obr. 25 Elektromer ZE310.D [37]

Vlastnosti:

- Trieda presnosti: Trieda 1 alebo 2 podľa ČSN EN 62052-11, 62053-21.
- Menovité napätie  $U_n$  podľa požiadavky 3x 100 V až 3x 230 V.
- Rozsah prevádzkového napätia 0,75  $U_n$  až 1,15  $U_n$ .
- Menovitý kmitočet 50 Hz.
- Prevádzkový kmitočet: 45 až 55 Hz.

## 6. RIADENIE HYDRAULICKEJ SLUČKY

- Menovitý prúd  $I_n$  5 A.
- Komunikačné rozhranie RS232.

### 6.1.10 Barometrický tlakomer COMET T2114

Snímač je určený pre meranie barometrického tlaku vzduchu bez prímiesí agresívnych látok (Obr. 26). Merací senzor tlaku je súčasťou elektroniky prístroja. Namerané hodnoty sú zobrazované na LCD displeji. Displej môže byť v prípade potreby úplne vypnutý. Do obvodu sa snímač zapája pomocou jednej prúdovej slučky, dvojvodičovo a vyžaduje napájanie z vyhodnocovacieho zariadenia. Všetky nastavovania snímaču sa prevádzajú pomocou osobného počítaču pripojeného komunikačným káblom SP003. Snímač je určený pre montáž na stenu. Nie je doporučené snímač dlhodobo prevádzkovať v prostredí v stave kondenzácie. Pri väčšom množstve kondenzovanej vody môže pri dlhodobej expozícii dôjsť k poškodeniu senzoru [38].

Vlastnosti:

- Napájanie DC 9 – 30 V.
- Rozsah merania 300hPa až 1350 hPa.
- Presnosť do  $\pm 0,2$  kPa.
- Rozsah prevádzkových teplôt -30 až 80 °C.
- Analógový výstup 4 až 20 mA.



Obr. 26 Tlakomer COMET T2114 [38]

## 6.2 Programovateľný logický automat

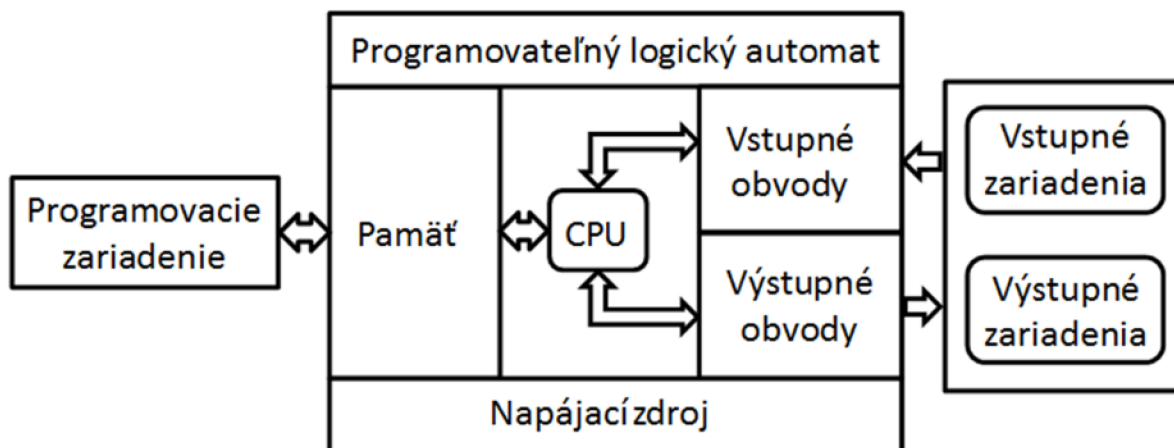
Programovateľný automat je užívateľsky programovateľný riadiaci systém prispôbostený pre riadenia priemyslových a technologických procesov alebo strojov. Sú známe aj pod označením PLC (Programmable Logic Controller). Programovateľné automaty boli pôvodne určené pre riadenie strojov, ako náhrada za pevnú reléovú logiku. Vzhľadom k tomu, že PLC nenahradili len riadiace počítače a minipočítače, ale i malú automatizáciu, reprezentovanú priemyslovými regulátormi, bezkontaktnou logickou a reléovou logikou, bolo pochopiteľné, že jedným z kategorických požiadaviek priemyslu bol predovšetkým jednoduchý programovací jazyk, ktorý by bol veľmi podobný jazyku logických schém, booleovským rovnicami, reléovým schémam, assembleru. Vďaka jednoduchým programovacím jazykom bolo jednoduché klasickú techniku logického riadenia nahradiť programovo orientovanými a taktiež flexibilnejšími riadiacimi systémami, programovateľnými automatmi. Programovateľný automat umožňuje logické rovnice

naprogramovať, zatiaľ čo reléová logika rieši logické rovnice fyzickým prepojením logických členov. Akákoľvek zmena logickej štruktúry sa jednoducho prevedie zmenou programu programovateľného automatu.

Na našom trhu sa vyskytuje rada typov programovateľných automatov od rôznych výrobcov, napr. ABB, EG, Moeller, Mitsubishi, Siemens, Teco. Programovateľné automaty rôznych výrobcov sa líšia v detailoch, avšak majú spoločné základné znaky, spôsoby použitia a v poslednej dobe sa zjednocuje aj spôsob ich programovania podľa štandardu IEC 1131-3.

### 6.2.1 Technické vybavenie programovateľných automatov

Každý programovateľný automat sa skladá z centrálnej procesorovej jednotky, systémovej pamäti, užívateľskej pamäti, súboru vstupných a výstupných jednotiek pre pripojenie riadeného systému (technologického procesu, výrobného stroju alebo zariadenia) a súboru komunikačných jednotiek pre komunikáciu s ostatnými systémami. Jednotky programovateľného automatu sú navzájom prepojené systémovou zbernicou (Obr. 27).



Obr. 27 Programovateľný logický automat

Centrálna procesorová jednotka je základom celého programovateľného automatu a určuje jeho výkonnosť. Riadi všetky operácie v PLC. Vykonáva naprogramovaný sled inštrukcií uložených v pamäti. CPU môže byť realizovaná ako samostatný modul, ktorý je možné doplniť vstupnými a výstupnými obvody.

Pamäťový priestor sa môže deliť na pamäť užívateľskú, systémovú a pamäť dát. Do užívateľskej pamäte sa ukladá užívateľský program. Táto pamäť býva typu EPROM alebo EEPROM a máva kapacitu rádovo desiatky KB až jednotky MB. V systémovej pamäti je umiestnený systémový program. Táto pamäť je tiež typu EPROM. V samostatnej jednotke môže byť umiestnená užívateľská pamäť. Pamäť dát musí byť typu RAM. Sú v nej umiestnené užívateľovi dostupné registry, zápisníkové registry, čítače, časovače a vyrovnávacie registre pre obrazy vstupov. Počet týchto registrov ovplyvňuje možnosti programovateľného automatu. Adresovateľný priestor vymedzený pre vstupy/výstupy obmedzuje počet pripojiteľných periférnych jednotiek.

Komunikačné jednotky umožňujú komunikáciu so vzdialenými modulmi vstupov a výstupov, s podsystémami, so súradnými a nadriadenými systémami, s operátorskými panelmi a s inými inteligentnými prístrojmi, s počítačmi a s ich sieťami a vytvárajú tak distribuované systémy [4], [39].

### 6.2.2 Programovacie jazyky PLC

Sú to jazyky navrhnuté pre jednoduchú, názornú a účinnú realizáciu logických funkcií. Jazyky systémov rôznych výrobcov sú podobné, nikdy však nie sú rovnaké, takže ich nie je možné prenášať medzi programovateľnými automatmi. Medzinárodná norma IEC 1131 definuje tieto typy jazykov.

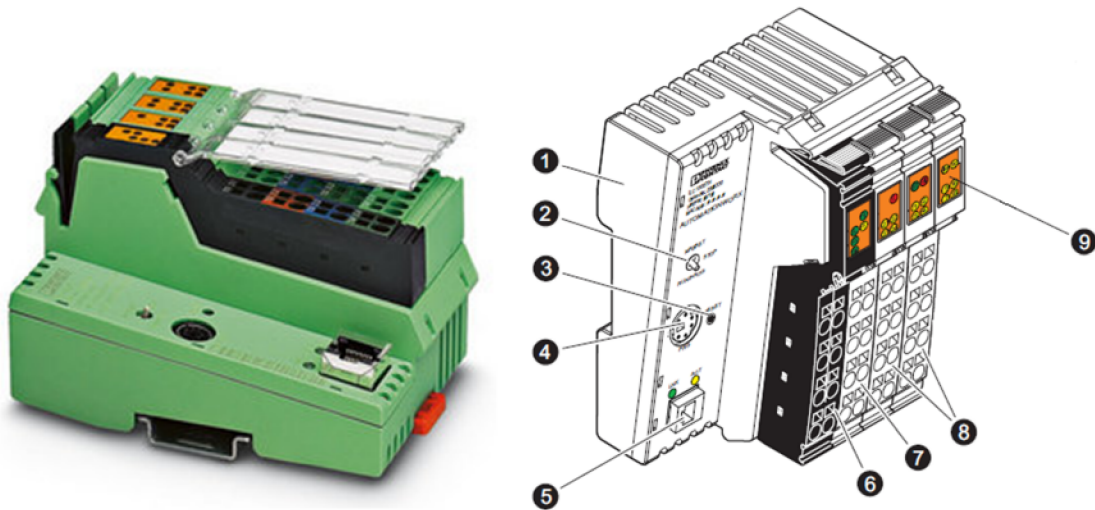
- Instruction List (IL) je obdobou assembleru u počítačov a je tiež strojovo orientovaný. Je to najzákladnejší jazyk na úrovni assembleru, s ktorým má mnoho spoločného. Jedná sa o zoznam jednotlivých inštrukcií. Výhodou je jeho univerzálnosť a možnosť naprogramovať prakticky čokoľvek. Medzi nevýhody patrí obtiažnosť na pochopenie a u väčších úloh veľké množstvo inštrukcií aj pre základné strojové úkony.
- Structured text (ST) sa radí medzi vyššie programovacie jazyky a vychádza z jazykov Pascal a C. V tomto jazyku je napr. možnosť vetvenia podmienkou alebo tvorba cyklov pomocou kľúčových slov FOR, WHILE alebo REPEAT. Výhodou jazyka ST je úsporný a jednoduchý zápis oproti jazyku IL. Pre človeka so znalosťami programovania v programovacom jazyku C je ľahko zvládnuteľný.
- Sequential function chart (SFC) je funkčný graf, ktorý by sa dal prirovnať k orientovanému grafu, kde uzly obsahujú určitú časť kódu programu a jednotlivé orientované hrany medzi jednotlivými uzlami vždy obsahujú logickú podmienku, ktorej splnenie je nutné pre pokračovanie programu cez danú hranu. Program vždy pokračuje po tej hrane, ktorej podmienka je najskôr splnená. Nevýhodou tohto jazyka je nutnosť správneho pochopenia logiky a spôsobu programovania v jazyku SFC.
- Ladder diagram (LD) je grafický programovací jazyk, ktorý kód programu reprezentuje ako reléový obvod. Jeho veľkou výhodou je jednoduchá pochopiteľnosť pre osoby so znalosťami elektrieky, bez znalostí akéhokoľvek programovania práve vďaka reprezentácii cez reléový obvod. Nevýhodou je ťažká použiteľnosť na rozsiahlejšie úlohy.
- Function block diagram (FBD) je grafický programovací jazyk, kde kód je tvorený prepojením a skladaním jednotlivých funkčných blokov. Program sa skladá ako stavbnica. Výhodou tohto jazyka je opäť jeho názornosť, ľahká pochopiteľnosť a u jednoduchých úloh rýchla tvorba programu. Nevýhodou je obtiažna aplikovateľnosť pre zostavovanie programu u zložitejších úloh [39], [40].

### 6.3 Programovateľný automat ILC 150 ETH

ILC150 ETH je malá výkonná riadiaca jednotka (Obr. 28), ktorá dopĺňa radu vysoko modulárnych riadiacich jednotiek Inline Controller od firmy Phoenix Contact. Uplatnenie nachádza u stredných a malých aplikácií, ktorý je možné jednotku vďaka vysokej modularite dokonale prispôbiť. Riadiacu jednotku je možné parametrizovať, programovať, vymieňať dáta s OPC servermi alebo komunikovať s ďalšími účastníkmi v sieti prostredníctvom integrovaného rozhrania Ethernet. Vďaka týmto parametrom vyniká nad modelmi rovnakej cenovej skupiny od iných výrobcov, kde podobné vlastnosti a možnosti získame až u modelov vyšších tried alebo nákladným rozšírením pomocou rozširujúcich modulov. Programovanie sa prevádza pomocou software PC WorX, ktorý splňuje normu IEC 61131, takže je možné zariadenie programovať jedným z touto normou definovaných jazykov. Odolnosť voči



vibráciám, vlhkosti a rozsah teplôt a tlaku prípustných pre fungovanie sú obvyklé a neodkláňajú sa od štandardu pre tento druh zariadenia [41], [42].



Obr. 28 Riadiaca jednotka ILC 150 ETH [41]

Popis jednotlivých častí riadiacej jednotky:

1. Základná elektronická jednotka
2. Prepínač prevádzkových stavov
3. Tlačidlo reset
4. RS232 rozhranie
5. Ethernet rozhranie
6. Konektor pre pripojenie napájania
7. Konektor pre výstupy
8. Konektory pre vstupy
9. Indikácia diagnostiky a stavu

Špecifikácia zariadenia:

- V x Š x H                    119,8 x 80 x 71,5 mm
- Hmotnosť                    285 g
- DI                                8
- DO                                4
- Rozhranie                    Ethernet, RS 232, INTERBUS
- Rýchlosť                      1,5 ms
- Dátová pamäť                256kB + 8kB permanentná dátová pamäť

Zariadenie je možné ďalej rozširovať a konfigurovať pre konkrétnu úlohu pomocou rozširujúcich modulov prostredníctvom miestnej zbernice INTERBUS [41], [42].

### 6.3.1 Rozširovací modul analógových vstupov: IB IL AI 8/SF-PAC

Vstupná svorka Inline pre analógový signál (Obr. 29), ktorá je vhodná pre pripojenie všetkých zariadení dostupných na trhu s analógovým výstupom. Svorka slúži pre detekciu a

## 6. RIADENIE HYDRAULICKEJ SLUČKY

záznam prúdových a napätových signálov všetkých obvyklých kategórií. Medzi charakteristické vlastnosti tohto výrobku patrí vysoká presnosť merania pri zachovaní rýchlej detekcie a záznam nameraných hodnôt. Modul je využitý pre pripojenie prietokomerov a tlakomerov [41].

Špecifikácia zariadenia:

- Vstupný prúdový signál 0 – 20 mA, 4 – 10 mA, -20 – 20 mA, 0 – 40 mA, -40 – 40 mA
- Vstupný napätový signál 0 – 5V, -5 – 5 V, 0 – 10 V, -10 – 10 V, 0 – 25 V, -25 – 25 V, 0 - 50 V
- Počet vstupov 8
- Presnosť prúdový vstup  $\pm 0,04 \%$
- Presnosť napätový vstup  $\pm 0,02 \%$
- Doba prevodu A/D 10  $\mu$ s



Obr. 29 IB IL AI 8/SF-PAC [41]

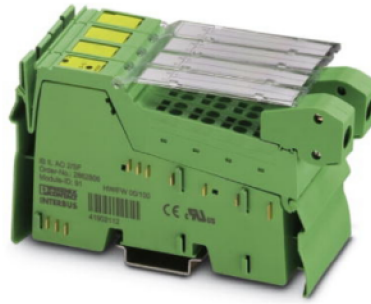
### 6.3.2 Rozširovací modul analógových výstupov: IB IL AO 2/SF-PAC

Výstupná svorka Inline pre analógový signál (Obr. 30), ktorá je vhodná pre použitie tam, kde je potrebné riadiť a ovládať analógovým signálom. Jednotlivé výstupy je možné individuálne konfigurovať na obvyklé rozsahy výstupných analógových veličín. Analógové signály sú prevádzané s presnosťou rozlíšenia 16 bitov. Prehľadné označenie jednotlivých výstupov je umožnené pomocou výklopných popisných polí [41].

Špecifikácia zariadenia:

- Výstupný prúdový signál 0 – 20 mA, 4 – 20 mA
- Výstupný napätový signál 0 – 10 V
- Počet výstupov 2
- Presnosť  $\pm 0,01 \%$
- Doba prevodu D/A < 100  $\mu$ s
- Rozlíšenie D/A 16 bitov





Obr. 30 IB IL AO 2/SF-PAC [41]

### 6.3.3 Modul pre pripojenie odporových senzorov teploty: IB IL TEMP 4/8 RDT-PAC

Vstupná svorka Inline pre analógový signál (Obr. 31), ktorá je špeciálne určená pre pripojenie odporových snímačov teploty. Modul podporuje všetky bežne dostupné snímače z platiny. (Pt 100, Pt 500, Pt 1000, Pt 10000) a niklu. Podporuje oba bežné spôsoby pripojenia u týchto snímačov a to dvoma alebo troma vodičmi. Každý vstup je možné individuálne konfigurovať pre pripojenie rôznych snímačov. Namerané hodnoty sú v digitálnej podobe zobrazené v tvare 16 bitových hodnôt. Tento modul je využitý pre pripojenie odporových snímačov teploty [41].

Špecifikácia zariadenia:

- Počet vstupov 8
- Presnosť  $\pm 0,06\%$
- Doba prevodu A/D  $< 10\ \mu\text{s}$
- Rozlíšenie A/D 16 bitov



Obr. 31 IB IL TEMP 4/8 RDT-PAC [41]

### 6.3.4 Rozširovací modul pre komunikáciu pre RS232: IB IL RS232-PRO-PAC

Funkčná svorka Inline RS232 (Obr. 32), ktorá je určená pre sériový prenos dát. Svorka obsahuje jeden sériový vstupný a výstupný kanál v prevedení RS232. Tento modul je možné využiť pre jednoduché a rýchle napojenie akéhokoľvek zariadenia, ktoré je vybavené rozhraním RS232. Prehľadné označenie je umožnené pomocou výklopných popisovacích polí [41].



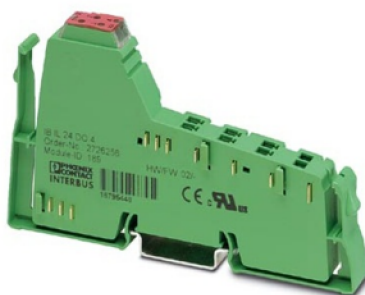
Obr. 32 IB IL RS232-PRO-PAC [41]

### 6.3.5 Modul IB IL 24DO40

Výstupná svorka Inline pre digitálny signál je určená pre pripojenie pohonov ako sú napr. elektromagnetické ventily, stykače a vizuálne indikátory (Obr. 33). Vstupy a výstupy sú pripojené pomocou jednoduchého alebo rozšíreného inline konektoru, v závislosti od počtu kanálov. Prehľadné označenie je umožnené pomocou výklopných popisných polí [41].

Špecifikácia zariadenia:

- Výstupný napät'ový signál 24 V DC
- Maximálny výstupný prúd/kanál 500 mA
- Počet výstupných kanálov 4
- Rýchlosť 500 kBit/s



Obr. 33 IB IL 24 DO 4 [41]

## 6.4 OPC server

OPC (OLE for Process Control) tvorí programovú vrstvu medzi technickým vybavením a programami, ktoré s týmto hardware komunikujú. Prvky priemyselnej automatizácie vybavené OPC serverom sú rovnako jednoducho použiteľné ako napríklad grafické karty vybavené ovládačom pre daný operačný systém. Pre použitý hardware je potrebné nainštalovať patričný OPC server a prostredníctvom OPC klienta dokážu programy komunikovať s daným serverom. Technicky je štandard OPC založený na komponentovej technológii COM firmy Microsoft. Technológia COM je používaná k implementácii rady komponentov v operačných systémoch Windows, taktiež obsahuje radu vlastností užitočných pre OPC, ako napríklad globálna registrácia komponentov a kategórie komponentov

Univerzálny OPC server je produkt, ktorý ku komunikácii so zariadením využíva ovládače systému Control Web. Pre všetky zariadenia, ku ktorým existuje kompatibilný ovládač so systémom Control Web, existuje tiež OPC server. OPC server komunikuje

prostredníctvom ovládača s určitým zariadením a taktiež ponúka plnohodnotné štandardné OPC rozhranie. K OPC serveru je možné pripojiť ľubovoľné množstvo zariadení rôznych typov. S OPC serverom môže komunikovať ľubovoľný počet klientov. Dáta z jedného zariadenia môže zdieľať viac klientov. Adresný priestor všetkých zariadení je mapovaný do hierarchického adresného priestoru OPC serveru [24].

Existujú štyri základné spôsoby výmeny dát medzi serverom a klientom:

- Synchronná komunikácia so zariadením je vždy blokujúca. To znamená, že požiadavka klienta je dokončená, až sú dáta prenesené z alebo do fyzického zariadenia.
- Synchronná komunikácia s vyrovnávacou pamäťou. Server poskytuje klientom hodnoty z vlastnej vyrovnávacej pamäte. Nezávisle na komunikácii s klientmi musí server zaistiť periodické obnovovanie týchto hodnôt.
- Asynchronná komunikácia je neblokujúca. Klient oznámi, ktoré hodnoty chce čítať alebo zapísať. Po dokončení komunikácie server informuje klienta.
- Periodická komunikácia. Server môže sám periodicky čítať dáta z pripojeného zariadenia a uchovávať ich vo vyrovnávacej pamäti. Pri zmene niektorých hodnôt môže informovať klientov.

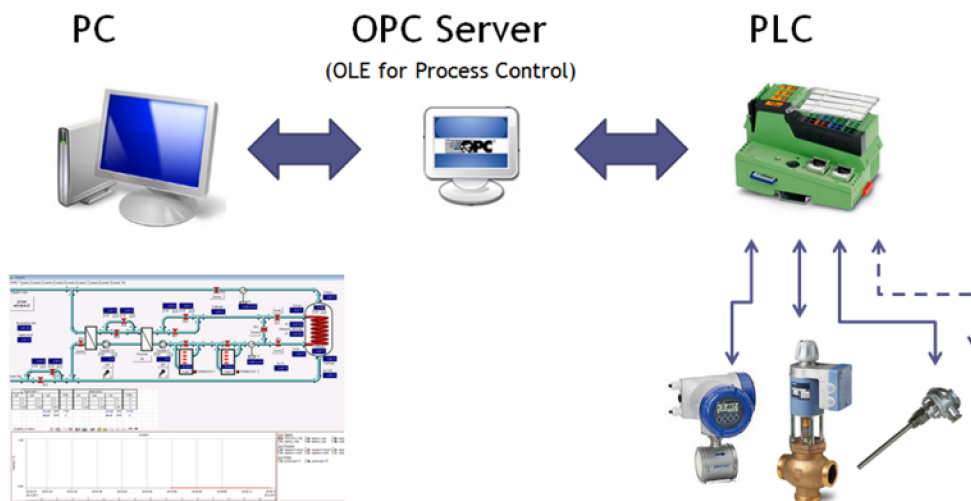
Všetky tieto typy komunikácie sa dajú rôzne kombinovať. Jeden klient môže časť dát čítať synchronne a druhú časť dát asynchronne. Je možné pred dokončením asynchronnej komunikácie zahájiť ďalšiu asynchronnú alebo synchronnú komunikáciu.

Univerzálny OPC server poskytuje rozhranie `BrowserServerAdresSpace`. Toto rozhranie umožňuje klientom prechádzať celý adresný priestor serveru. Z tohto hľadiska je nastavenie klientskych aplikácií veľmi jednoduché. Adresný priestor OPC serveru pre ovládače Control Web je vždy hierarchický. Tento priestor je rozdelený podľa pripojených zariadení. Dátovými elementmi sú kanály ovládačov pripojených zariadení. Každý kanál je identifikovaný číslom a spravidla odpovedá určitej časti adresného priestoru pripojeného zariadenia.

Súčasťou OPC serveru je prehľadné konfiguračné rozhranie. Je možné kedykoľvek za behu OPC serveru pripojiť alebo odpojiť zariadenie, prípadne zmeniť konfiguráciu. OPC server ponúka aj diagnostické rozhranie, ktoré umožňuje online sledovať stav všetkých komunikovaných elementov, ich hodnoty a požiadavky na komunikáciu zo strany klientov. Všetky chyby pri komunikácii medzi serverom a klientom sú zaznamenávané [24].

## 7 IMPLEMENTACE VIZUALIZÁCIE RIADENIA

Pre riadenie technologického procesu testovacej hydraulickej slučky bola vybraná hierarchická architektúra riadiaceho systému. Riadiaci systém je rozdelený do troch základných vrstiev. Na najvyššej vrstve sa nachádza PC s implementovaným užívateľským rozhraním pre riadenie experimentu. Užívateľské rozhranie komunikuje s prostrednou vrstvou pomocou OPC serveru, ktorý je zodpovedný za predávanie informácií medzi PC a podriadeným PLC. PLC podriadenej vrstvy je použitý pre spracovanie a generovanie signálov prichádzajúcich z jednotlivých snímačov a akčných členov v hydraulickej smyčke, ktoré sa nachádzajú na najnižšej vrstve Obr. 34.



Obr. 34 Architektúra riadenia hydraulickej slučky

Pre tvorbu aplikácie užívateľského rozhrania bol použitý software Control Web 6.1. Jedná sa o produkt firmy Moravské přístroje, a.s.. Voľba tohto programu vychádza z doporučenia Strojírenského zkušebního ústavu, s.p., ktorý tento vývojový software používa k riadeniu experimentov. V podstate sa jedná o aplikáciu riadenia a vizualizácie skúšok prevádzaných v skúšobnom ústave.

Control Web je hardwarovo nezávislý, čo z neho robí univerzálny nástroj umožňujúci napojenie na ľubovoľnú technológiu. Obsahuje predchystané palety virtuálnych prístrojov pre meranie, zobrazovanie a ovládanie. Podporuje prvky 2D a 3D grafiky. Obsahuje podporu pre komunikáciu RS232, ethernetu, bluetooth, GSM alebo OPC. Riadiaca a vizualizačná aplikácia vytvorená pre potreby Strojírenského zkušebního ústavu, s.p. je členená pre prehľadnosť do niekoľkých prepínateľných panelov. Pre aktuálne ovládanie technológie sú v súčasnej dobe použité prvé 3 panely. Zvyšné panely sú pripravené pre možnosť budúceho rozšírenia aplikácie. Prepínanie panelov je implementované klasickým spôsobom v záhlaví aplikácie.

### 7.1 Konfigurácia komunikácie OPC serveru

OPC vychádza z komponentovej technológie COM. OPC klient pozná jedinečný identifikátor OPC serveru, s ktorým chce komunikovať. Požiada operačný systém o vytvorenie instance tohto serveru. Operačný systém vyhľadá požadovanú komponentu, zistí ktorý proces musí spustiť a pokiaľ už nebeží, tak ho spustí. Spustený program musí zaregistrovať svoju komponentu, ktorá umožňuje vytvárať instance OPC serveru. Túto

komponentu potom operačný systém požiada o vytvorenie OPC serveru a vytvorený OPC server vráti klientovi. Klient vlastne dostane ukazovateľ na objekt, u ktorého môže volať rôzne metódy a komunikovať tak s OPC serverom. Tento princíp je zhodný aj pri spúšťaní OPC serveru na inom počítači. Proces OPC serveru je spustený vždy len jedenkrát a musí umožniť vytvoriť ľubovoľný počet instancií objektu OPC serveru – jedna instancia vždy pre jedného klienta. Niektorí klienti prístupujú z lokálneho počítaču, iní zo vzdialených počítačov. Vzdialenú aj lokálnu komunikáciu zaisťuje COM rozhranie. Preto je nastavenie prístupových práv vždy len záležitosťou operačného systému a nikdy sa nenastavuje priamo v OPC servery [43]. Nastavenie komunikácie OPC serveru sa prevádza pomocou dvojice konfiguračných súborov. Jedným z nich je parametrický súbor, ktorý má príponu „par“. Tento súbor hovorí, s akým zariadením a s akým dátovým priestorom bude aplikácia pracovať. Druhý súbor je mapovací s príponou „dmf“. Príklad konfigurácie OPC ovládača je na Obr. 35.

Číslo kanálu	Datový typ	Směr	OPC identifikátor (DataID)
1	shortreal	bidirectional	NewResource.BAR_TLAK_PB
2	boolean	bidirectional	NewResource.CERPADLO_C1_NAPAJENI
3	boolean	bidirectional	NewResource.CERPADLO_C1_ON
4	shortreal	bidirectional	NewResource.CERPADLO_C1_VALUE
5	boolean	bidirectional	NewResource.CERPADLO_C2_NAPAJENI
6	boolean	bidirectional	NewResource.CERPADLO_C2_ON
7	shortreal	bidirectional	NewResource.CERPADLO_C2_VALUE
8	boolean	bidirectional	NewResource.CERPADLO_C4_NAPAJENI
9	boolean	bidirectional	NewResource.CERPADLO_C4_ON
10	shortreal	bidirectional	NewResource.CERPADLO_C4_VALUE
11	shortreal	bidirectional	NewResource.DIF_TLAK_P1
12	shortreal	bidirectional	NewResource.DIF_TLAK_P2
13	shortreal	bidirectional	NewResource.KOHOUT_RK1
14	shortreal	bidirectional	NewResource.KOHOUT_RK2
15	shortreal	bidirectional	NewResource.KOHOUT_RK3
16	shortreal	bidirectional	NewResource.KOHOUT_RK4
17	boolean	bidirectional	NewResource.PRESOSTAT_KOTEL_1

Obr. 35 Konfigurácia OPC ovládača pre Control Web

## 7.2 Popis vizualizácie

### 7.2.1 Panel vizualizácie hydraulického procesu

Prvý panel riadiacej aplikácie obsahuje vizualizáciu technologického procesu (Obr. 36). V hornej časti je zobrazená vizualizácia zapojenia hydraulického procesu. Sú tu zobrazené všetky informácie o aktuálnom stave technológie. Okrem veličín meraných priamo na skúšobnom zariadení sú ešte v ľavom hornom rohu zobrazené hodnoty aktuálnej teploty okolitého prostredia a barometrického tlaku. Aplikáciu je možné vypnúť pomocou tlačidla „STOP APLIKACE“, pri jeho stlačení sa zároveň prevedie aj ukladanie dát do súboru. V prípade akčných prostriedkov sú k dispozícii prvky pre zadanie hodnoty a prvky pre prečítanie aktuálneho nastavenia. Vizualizácia je vytvorená podľa schémy dodanej Strojírenským zkušebním ústavem, s.p.. Na prvom paneli sa tiež nachádza tabuľka s elektromermi, ktorá zaznamenáva spotrebu elektrickej energie pre ohrev vody v kotloch. Vedľa tabuľky je umiestnený ovládací panel pre riadenie skúšky ohrievačov. V spodnej časti





## 7. IMPLEMENTACE VIZUALIZÁCIE RIADENIA

smyčka  
vizualizace záznam měření | graf | panel\_4 | panel\_5 |

panel\_2

STOP APLIKACE      GENERUJ PROTOKOL

Ulož data      Reset dat

Záznam času			Stav zkoušky				Teploty na vode									
Datum	Čas	Čas běhu	Typ zkoušky	Stav	Tolerance	Výkon	Příkon	Tw5out	Tw5Nadrž	Tw5Voda	dt Tw 5	TwSKotel	Tw1out	Tw1in	dt Tw	
dlmčrok	h:m:s	min				Q 5 kW	Q 1 kW	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
měřené	měřené	počítané				počítané	počítané	měřené	měřené	měřené	počítané	měřené	měřené	měřené	počítané	
13.05.2012	23:23:20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13.05.2012	23:23:25	0.08	0	0	0	276.963	0	20.34	19.76	19.57	0.77	20.11	19.88	20.14	-0.26	
13.05.2012	23:23:30	0.17	0	0	0	276.962	0	20.35	19.77	19.57	0.78	20.10	19.88	20.12	-0.24	
13.05.2012	23:23:35	0.25	0	0	0	276.963	0	20.34	19.76	19.57	0.77	20.11	19.88	20.13	-0.25	
13.05.2012	23:23:40	0.33	0	0	0	276.963	0	20.33	19.76	19.56	0.77	20.09	19.88	20.13	-0.25	
13.05.2012	23:23:45	0.42	0	0	0	276.963	0	20.34	19.77	19.57	0.77	20.11	19.88	20.13	-0.25	
13.05.2012	23:23:50	0.50	0	0	0	276.962	0	20.35	19.77	19.58	0.77	20.12	19.88	20.14	-0.26	
13.05.2012	23:23:55	0.58	0	0	0	276.962	0	20.35	19.78	19.57	0.78	20.11	19.88	20.13	-0.25	
13.05.2012	23:24:00	0.67	0	0	0	276.963	0	20.34	19.76	19.57	0.77	20.10	19.88	20.14	-0.26	
13.05.2012	23:24:05	0.75	0	0	0	276.963	0	20.34	19.76	19.57	0.77	20.11	19.88	20.13	-0.25	

14 | < > >> \Záznam\Protokol\List3/

Obr. 37 Ukážka panelu „Záznam merania“

smyčka  
vizualizace záznam měření | graf | panel\_4 | panel\_5 |

panel\_2

STOP APLIKACE      GENERUJ PROTOKOL

Ulož data      Reset dat

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Skúška ohrievaču úžitkovej vody podľa normy CSN EN 12897 - Skúšanie výkonu a bezpečnosti prípravy teplej vody									
Dátum vykonania skúšky	21.05.2012								
Názov skúšobného zariadenia									
Výrobca									
Výrobné číslo									
Číslo úlohy									
Skúšku vykonal									
Výsledky skúšky									
Množstvo teplej vody	0								
Opätovné ohriatie (výkon vykurovacej strany tepelného výmenníka)	0								
Tlaková strata výmenníku tepla	0								
Regulácia teploty									

14 | < > >> \Záznam\Protokol\List3/

Obr. 38 Ukážka vygenerovaného protokolu





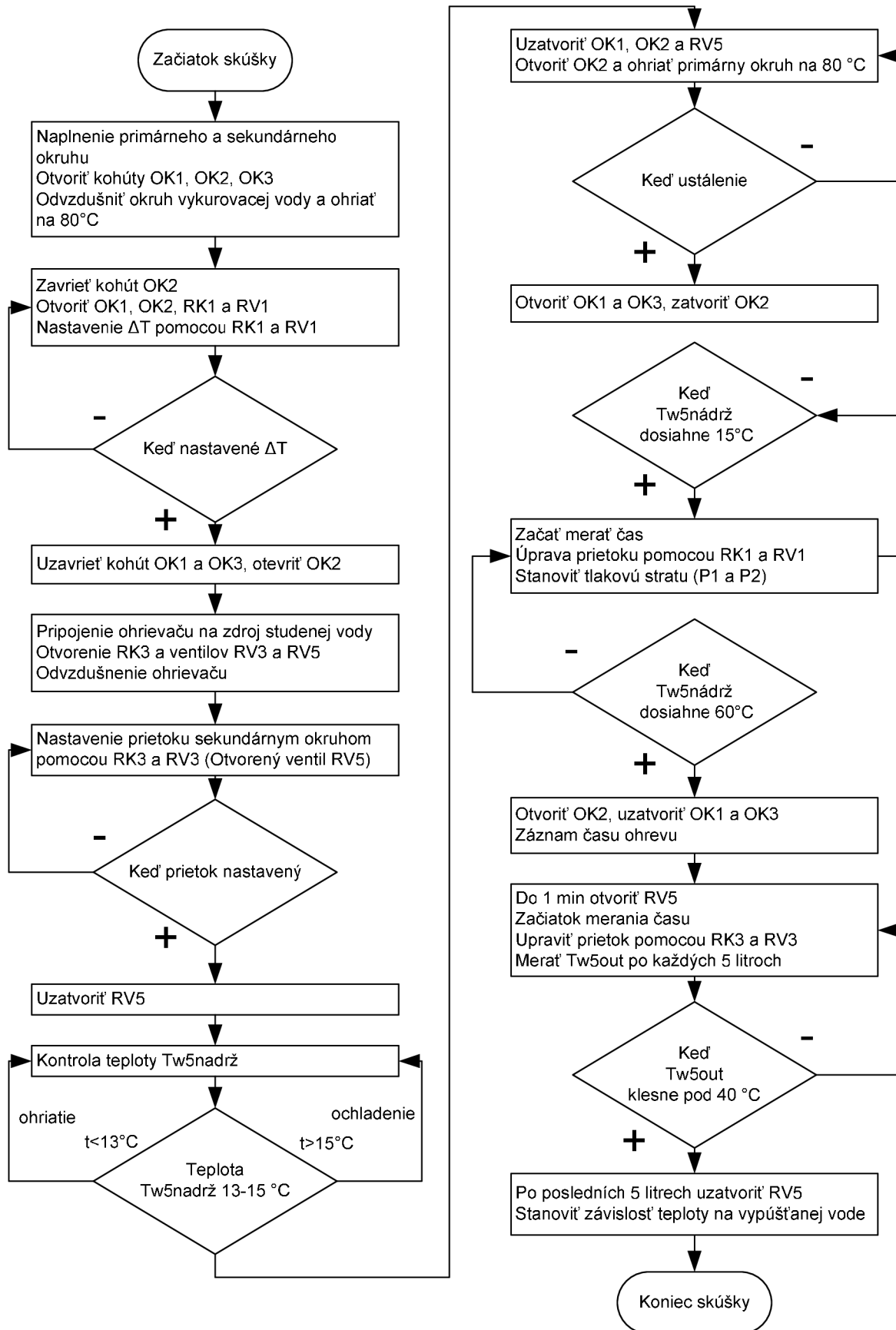
v závislosti na požiadavke ovládania konkrétnych akčných členov. Niektoré členy nie sú vybavené servomechanizmami a preto musia byť prestavované manuálne.

Algoritmus priebehu skúšky:

1. Naplnenie primárneho a sekundárneho okruhu hydraulickej slučky. Odvzdušnenie okruhu vykurovacej vody a ohriatia na 80 °C pomocou otvorenia kohúta OK1, OK2, OK3.
2. Nastavenie tepelného spádu vykurovacej vody na požadovanú hodnotu  $\Delta T$ . Uzatvorenie kohúta OK2, otvorenie kohúta OK1, OK2, RK1 a ventilu RV1. Dvojicou RK1 a RV1 sa nastaví požadovaná hodnota  $\Delta T$ . V okamihu nastavenia hodnoty požadovanou hodnotou  $\Delta T$  bude obvod prestavený pomocou uzatvorenia kohúta OK1 a OK3 a otvorenia kohúta OK2 (odpojenie okruhu od zásobníku).
3. Pripojenie ohrievaču na zdroj studenej pitnej vody a jeho odvzdušnenie pomocou otvorenia kohúta RK3 a ventilov RV3 a RV5.
4. Pomocou dvojice regulačného kohúta RK3 a ventilu RV3 sa nastaví prietok sekundárnym okruhom podľa Tab. 1 (otvorený ventil RV5). Po nastavení prietoku sa uzatvorí ventil RV5.
5. Kontrola teploty  $T_{w5nadrž}$ , ktorá musí byť v rozmedzí 13 – 15 °C, túto teplotu je možné dosiahnuť prihriatím vody v zásobníku alebo ochladením pomocou studenej vody otvorením ventilu RV5.
6. Uzatvorením kohúta OK1, OK2 a ventilu RV5 a otvorením kohúta OK2 ohriať primárny okruh na požadovanú teplotu 80 °C. Po ustálení parametrov primárneho okruhu sa otvorí kohút OK1 a OK3 pri súčasnom uzatvorení kohúta OK2. Kontrola teploty na vrchole zásobníka  $T_{w5nadrž}$ , ako náhle dosiahne teplotu 15 °C, začína sa merať čas. Behom tejto doby ohrevu je možné upraviť prietok pomocou RK1 a RV1. V tejto fázy musí byť stanovená tlaková strata pomocou tlakomerov P1 a P2.
7. Ako náhle teplota  $T_{w5nadrž}$  dosiahne hodnoty 60 °C, odpojí sa zdroj tepla otvorením kohúta OK2 a uzatvorením OK1 a OK3. Zároveň sa zaznamená čas a prehlási sa za dobu ohrevu. Jednu minútu je možné považovať systém za stabilizovaný.
8. Jednu minútu po zatvorení kohútov OK1 a OK3 sa musí začať s vypúšťaním ohrievaču otvorením ventilu RV5. Ďalej je potreba začať merať čas a upraviť prietok sekundárnym okruhom pomocou RK3 a RV3 v prípade, že sa líši od nastavenia podľa Tab. 1. Teplota vytekajúcej vody  $T_{w5out}$  musí byť meraná po každých 5 litroch. Ako náhle táto teplota klesne pod 40 °C, musí sa ventil RV5 bezprostredne uzatvoriť po prietoku posledných 5-tich litroch. Stanoví sa závislosť teploty na množstve vypustenej vody.

Algoritmus skúšky je možné alternatívne popísať pomocou vývojového diagramu (Obr. 41).

## 7. IMPLEMENTACE VIZUALIZÁCIE RIADENIA



Obr. 41 Vývojový diagram algoritmu priebehu skúšky

Ukážka časti skráteného kódu pre automatické riadenie priebehu skúšky.

```

procedure OnActivate();
begin

switch Faza_skusky of
case 10; (*Fáza 1 - Naplnenie primárneho okruhu*)
  label_70.ClearText();
  label_70.AddText('Naplnenie primárneho a sekundárneho okruhu');
  label_70.AddText('Otvoriť kohúty OK1, OK2, OK3');
  label_70.AddText('Odvzdušniť okruh vykurovacej vody a ohriať na 80 °C');
  label_70.SetDimension();

case 20; (*Fáza 2 - Nastavenie tepelného spádu*)

case 30; (*Fáza 3 - Naplnenie sekundárneho okruhu*)

case 40; (*Fáza 4 - Nastavenie prietoku*)

case 50; (*Fáza 5 - Kontrola teploty vody v zásobníku*)
  Protokol_tlakova_strata = DIF_TLAK_P1 - DIF_TLAK_P2;
  Protokol_cas_ohrevu_START = Cas_behu;
case 60; (*Fáza 6 - Začiatok skúšky*)
  if (80 <= TEPLOTA_TW5_KOTEL) then
    sound_10.Play('Windows Exclamation.wav',1,1,Zvuk);
  end;
case 70; (*Fáza 7 - Zistenie doby ohrevu*)
  Protokol_cas_ohrevu_STOP = Cas_behu;
  Protokol_cas_ohrevu = Protokol_cas_ohrevu_STOP - Protokol_cas_ohrevu_START;
  Protokol_Tav_Sum = 0;
  Protokol_Tav_Count = 0;
  Protokol_mnozstvo_tep_vody_START = PRUTOK_V5;
  Protokol_cas_vypustania_START = Cas_behu;

case 80; (*Fáza 8 - Zistenie množstva vypustenej vody*)
  Protokol_Tav_Sum = Protokol_Tav_Sum + TEPLOTA_TW5_OUT;
  Protokol_Tav_Count = Protokol_Tav_Count + 1;
case 90; (*Fáza 9 - Koniec skúšky*)
  Protokol_mnozstvo_tep_vody_STOP = PRUTOK_V5;
  Protokol_cas_vypustania_STOP = Cas_behu;
  Protokol_mnozstvo_tep_vody = Protokol_mnozstvo_tep_vody_STOP -
  Protokol_mnozstvo_tep_vody_START;
  Protokol_cas_vypustania = Protokol_cas_vypustania_STOP - Protokol_cas_vypustania_START;
  Protokol_Tav = Protokol_Tav_Sum / Protokol_Tav_Count;
end;
end_procedure;

```

Vyššie navrhnutý algoritmus popisuje priebeh vykonania zautomatizovanej skúšky. Jej základom je sekvenčné nastavovanie akčných členov v hydraulickej smyčke podľa krokov popísaných skúšobnou normou. Pre praktické vykonávanie postupnosti riadiacich krokov bol pripravený ovládací panel (Obr. 42), ktorý napomáha obsluhu pri prechode jednotlivých krokov skúšky. Pre jednotlivé kroky skúšky sú zobrazované inštrukcie pre obsluhu. Hlavným zmyslom zobrazovania inštrukcií je nutnosť manuálneho nastavovania niektorých akčných členov. Postup do ďalšieho kroku skúšky je umožnený po potvrdení krokov obsluhou.

<input type="checkbox"/>	Fáza 1 - Naplnenie primárneho okruhu	Popis fáze: Naplnenie primárneho a sekundárneho okruhu Otvoriť kohúty OK1, OK2, OK3 Odvzdušniť okruh vykurovacej vody a ohriať na 80 °C
<input type="checkbox"/>	Fáza 2 - Nastavenie tepelného spádu	
<input type="checkbox"/>	Fáza 3 - Naplnenie sekundárneho okruhu	
<input type="checkbox"/>	Fáza 4 - Nastavenie prietoku	
<input type="checkbox"/>	Fáza 5 - Kontrola teploty vody v zásobníku	
<input type="checkbox"/>	Fáza 6 - Začiatok skúšky	
<input type="checkbox"/>	Fáza 7 - Zistenie doby ohrevu	
<input type="checkbox"/>	Fáza 8 - Zistenie množstva vypustenej vody	
<input type="checkbox"/>	Fáza 9 - Koniec skúšky	

Obr. 42 Detail ovládacieho panelu pre riadenie priebehu skúšky

## 8 ZÁVER

Cieľom tejto diplomovej práce bolo navrhnúť a realizovať vizualizáciu hydraulického slučky, ktorá slúži pre riadenie testovania ohrievačov úžitkovej vody. Užívateľská aplikácia s vizualizáciou bola vytvorená v programe Control Web. V úvodnej časti tejto práce bol prevedený rozbor jednotlivých metód merania a postup skúšky nepriamo ohrievaných ohrievačov podľa normy ČSN EN 12897. V tejto norme je popísané zapojenie hydraulického slučky pre skúšanie ohrievačov úžitkovej vody. Reálne skúšobné zariadenie sa nachádza v Strojnírenskom zkušebnom ústave, s.p., pre ktoré je tento projekt vytváraný. Ďalšia časť tejto práce sa zaoberá popisom použitých akčných a meracích členov, ktoré sa nachádzajú v skúšobnej smyčke.

V praktickej časti tejto práce bola vytvorená vizualizácia pre ovládanie, zobrazenie a záznam dát z hydraulického slučky. Vo vizualizácii boli navrhnuté tri hlavné panely, prostredníctvom ktorých je možné riadiť priebeh skúšky. Načítanie dát z technológie bolo zrealizované prostredníctvom OPC serveru, ktorý umožňuje komunikáciu medzi najnižšou (PLC) a najvyššou vrstvou (PC) riadenia. Na prvom paneli bola vytvorená schéma zapojenia technológie. Ukladanie načítaných a nameraných dát bolo vyriešené zápisom do vopred vytvorenej tabuľky na ďalšom paneli užívateľskej aplikácie. V tejto tabuľke boli prevedené výpočty, ktoré sú výslednými hodnotami vykonaných skúšok. Ďalšou funkciou programu je generovanie protokolu priebehu skúšky, ktoré umožní zdokumentovať skúšobný proces. Vytvorená aplikácia užívateľského rozhrania bola testovaná na odstavenej technológii skúšobného zariadenia.

Budúce vylepšenie stávajúceho projektu by mohlo spočívať v nahradení manuálne ovládaných prvkov hydraulického slučky za plne automatické. Táto náhrada by priniesla možnosť úplne automatickej prevádzky skúšobného zariadenia, čím by bola zvýšená efektivita práce. Ďalšou možnosťou vylepšenia vytvorenej aplikácie by bolo rozšírenie o webové rozhranie, ktoré je podporované systémom Control Web. Pre správu dát z nameraných experimentov by bolo výhodné vytvoriť databázu skúšok.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [1] P. Blaha and P. Vavříň, *Řízení a regulace I*. Brno: FEKT Vysokého učení technického v Brně, 2005, p. 188.
- [2] R. H. Bishop, *The mechatronics handbook*. CRC Press, 2002, p. 1272.
- [3] R. Isermann, “Mechatronic systems—Innovative products with embedded control,” *Control Engineering Practice*, vol. 16, no. 1, pp. 14-29, 2008.
- [4] J. Lacina, *AUTOMATIZAČNÍ SYSTÉMY I*. Chomutov: SPŠ a VOŠ Chomutov.
- [5] J. Lacina, *Automatizace 2*. Chomutov: SPŠ a VOŠ Chomutov.
- [6] Profesional Servis s.r.o., “Snímač tlaku DICKEY-JOHN,” 2012. [Online]. Available: <http://www.profesionalservis.sk/pages/sk/katalog.php?akcia=search&cid=66>. [Accessed: 21-May-2012].
- [7] Smaris, “VSTH PoETH,” 2012. [Online]. Available: <http://www.smaris.cz/produkty/snimac-vlhkosti-a-teploty-na-stenu-vsth-poeth-103.html>. [Accessed: 21-May-2012].
- [8] National Instruments, “NI-cRIO,” 2012. [Online]. Available: <http://www.ni.com/>. [Accessed: 21-May-2012].
- [9] OMRON, “OMRON E5\_C,” 2012. [Online]. Available: [http://industrial.omron.cz/cs/products/catalogue/control\\_components/temperature\\_controllers/digital\\_process\\_controllers/e5\\_c/default.html](http://industrial.omron.cz/cs/products/catalogue/control_components/temperature_controllers/digital_process_controllers/e5_c/default.html). [Accessed: 21-May-2012].
- [10] Power Plastics, “Automaticke kulove ventily s elektrickym pohonem,” 2012. [Online]. Available: automatické kulové ventily s elektrickým pohonem. [Accessed: 21-May-2012].
- [11] J. Jenčík and J. Volf, *Technická měření*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, p. 213.
- [12] F. Vdoleček, *TECHNICKÁ MĚŘENÍ*. Brno: FSI VUT Brno, 2002, p. 64.
- [13] N. M. Durakbasa, A. Afjehi-Sadat, and H. p. Osanna, *Neistota merania*. Bratislava: STU Bratislava, 2005.
- [14] P. Regtien, M. Halaj, and E. Kureková, *Meranie teploty*. Bratislava: STU Bratislava, 2005, p. 47.
- [15] L. Michalski, K. Eckersdorf, J. Kucharski, and J. McGhee, *Temperature Measurement*, 2nd ed. London: Wiley, 2001.
- [16] J. G. Webster, *The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook (Electrical Engineering Handbook)2 volume set*, 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 1998.

## POUŽITÁ LITERATURA

- [17] J. G. Webster, *Mechanical Variables Measurement - Solid, Fluid, and Thermal*, 1st ed. Boca Raton: CRC Press, 1999, p. 664.
- [18] V. Chudý, R. Palenčár, E. Kureková, and M. Halaj, *Meranie technických veličín*, 1st ed. Bratislava: STU Bratislava, 1999.
- [19] E. Kureková and M. Halaj, *Meranie prietoku, pretečeného množstva a rýchlosti prúdenia tekutín*. Bratislava: STU Bratislava, 2005, p. 54.
- [20] K. Kabeš, “Magneticko-indukční průtokoměry – přehled trhu,” *Automatizace*, vol. 49, no. 5, 2006.
- [21] CEN Evropský výbor pro normalizaci, *ČSN EN 12897 Zásobování vodou - Nepřímo ohřívané uzavřené zásobníkové vody*. 2006.
- [22] L. Šmejkal, “Vizualizační systémy SCADA/HMI – přehled trhu,” *Automatizace*, vol. 49, no. 4, 2006.
- [23] Sofos, “Control Web,” 2012. [Online]. Available: <http://ipcautomatizacia.sofos.sk/control-web>. [Accessed: 23-May-2012].
- [24] Moravské přístroje, “Control Web 6.1,” 2012. [Online]. Available: <http://www.mii.cz/>. [Accessed: 23-May-2012].
- [25] National Instruments, “LabVIEW,” 2012. [Online]. Available: <http://www.ni.com/labview/>. [Accessed: 23-May-2012].
- [26] Pantek, “InTouch SCADA HMI,” 2012. [Online]. Available: <http://www.pantek.cz/produkty/intouch/>. [Accessed: 23-May-2012].
- [27] Wonderware, “Wonderware InTouch HMI,” 2012. [Online]. Available: <http://www.wonderware-benelux.com/products/intouch-hmi/>. [Accessed: 23-May-2012].
- [28] National Instruments, “NI DIAdem,” 2012. [Online]. Available: <http://www.ni.com/diadem/>. [Accessed: 23-May-2012].
- [29] WILO Praha s.r.o., “WILO,” 2012. [Online]. Available: <http://www.wilo.cz>. [Accessed: 20-May-2012].
- [30] COMAC CAL s.r.o., “FLOW 38,” 2012. [Online]. Available: <http://www.comaccal.com/flow38.php>. [Accessed: 20-May-2012].
- [31] Siemens, “MXG461B,” 2012. [Online]. Available: [https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/infrastructure-cities/IBT/mereni\\_a\\_regulace/ventily\\_a\\_pohony/magneticke\\_ventily/Documents/kat\\_MXG461B\\$.pdf](https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/infrastructure-cities/IBT/mereni_a_regulace/ventily_a_pohony/magneticke_ventily/Documents/kat_MXG461B$.pdf). [Accessed: 20-May-2012].
- [32] Johnson Control, “VG1205ES + 536GGA,” 2012. [Online]. Available: [http://www.johnsoncontrols.co.uk/content/dam/WWW/jci/be/eu\\_library/product\\_infor](http://www.johnsoncontrols.co.uk/content/dam/WWW/jci/be/eu_library/product_infor)

- mation/hvac\_control\_products/valves/tech\_info/vg1000\_threaded/PB\_VG1205-VG1805.pdf. [Accessed: 20-May-2012].
- [33] MAHRLO, "LD 301," 2012. [Online]. Available: [http://marweb.sk/prilohy/Snimace\\_tlaku\\_a\\_tlakove\\_diference/LD 301.pdf](http://marweb.sk/prilohy/Snimace_tlaku_a_tlakove_diference/LD_301.pdf). [Accessed: 20-May-2012].
- [34] Peveko, "MVPE325.0," 2012. [Online]. Available: [http://www.peveko.cz/data/mvpe\\_115.pdf](http://www.peveko.cz/data/mvpe_115.pdf). [Accessed: 20-May-2012].
- [35] ATERM, "MĚŘENÍ A REGULACE TEPLoty," 2012. [Online]. Available: <http://www.aterm.cz/Teperm.htm>. [Accessed: 23-May-2012].
- [36] SENSIT, "Pt 100," 2012. [Online]. Available: <http://www.sensit.cz/images/snimace-teploty.jpg>. [Accessed: 23-May-2012].
- [37] ZPA, *Třífázové statické elektroměry ZE 310*. Trutnov: ZPA Smart Energy a.s., 2009.
- [38] COMET, "COMET T2114," 2012. [Online]. Available: <http://www.cometsystem.cz/cz/>. [Accessed: 23-May-2012].
- [39] F. Zezulka, Z. Bradáč, P. Fiedler, P. Kučera, and R. Štohl, *Programovatelné automaty*. Brno, CR: FEKT Vysokého učení technického v Brně, 2003, p. 79.
- [40] T. Marada, *Přednášky programovatelných automatů*. Brno: FSI VUT Brno, 2008.
- [41] PHOENIX CONTACT, "Firemné www stránky PHOENIX CONTACT," 2012. [Online]. Available: <http://www.phoenixcontact.cz/>. [Accessed: 23-May-2012].
- [42] M. Kintr, "Modernizace zkušebního zařízení," VYSOKÉ UCENÍ TECHNICKÉ V BRNE, 2011.
- [43] Moravské přístroje, "Vzdálený přístup k OPC serveru," 2012. [Online]. Available: <http://www.mii.cz/art?id=259&lang=405>. [Accessed: 23-May-2012].

## ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 Schéma ovládania .....	14
Obr. 2 Schéma spätnoväzobného riadenia .....	15
Obr. 3 Schéma praktického prevedenia regulácie .....	15
Obr. 4 Snímač tlaku [6], snímač vlhkosti [7] .....	16
Obr. 5 NI cRIO s pripojeným snímačom natočenia, aktívny opakovač [8] .....	17
Obr. 6 Kompaktné regulátory [9] .....	18
Obr. 7 Akčné členy (servopohony) [10].....	18
Obr. 8 Meracia sonda odporového teplomeru [14] .....	23
Obr. 9 Základný princíp indukčného prietokomeru [20] .....	24
Obr. 10 Rozdelenie tlakomerov podľa ich meracieho rozsahu [18] .....	25
Obr. 11 Skúšobné zariadenie [21] .....	28
Obr. 12 Ukážka programu v Control Web .....	35
Obr. 13 Ukážka programu v LabVIEW .....	36
Obr. 14 Ukážka grafickej vizualizácie technologických procesov [27].....	37
Obr. 15 Ukážka panelu softvérového nástroju DIAdem [28] .....	37
Obr. 16 Hydraulická slučka v Strojírenském zkušebním ústavu, s.p.,.....	40
Obr. 17 Čerpadlo WILO IP – 40/130 – 2,2/2 [29] .....	41
Obr. 18 Čerpadlo WILO Stratos 25/1 – 8PN10 [29].....	42
Obr. 19 Prietokomer FLOW 38DN32 COMAC CAL [30] .....	44
Obr. 20 Ventil Siemens MXG461B15 [31] .....	45
Obr. 21 Guľové ventily Johnson Control VG1205ES + 536GGA [32].....	45
Obr. 22 Diferenčný tlakomer LD301 [33].....	46
Obr. 23 Elektromagnetický ventil Peveko WVPE325.0 [34] .....	47
Obr. 24 Odporové teplomery Pt 100 [36] .....	48
Obr. 25 Elektromer ZE310.D [37] .....	48
Obr. 26 Tlakomer COMET T2114 [38] .....	49
Obr. 27 Programovateľný logický automat.....	50
Obr. 28 Riadiaca jednotka ILC 150 ETH [41] .....	52
Obr. 29 IB IL AI 8/SF-PAC [41] .....	53
Obr. 30 IB IL AO 2/SF-PAC [41].....	54
Obr. 31 IB IL TEMP 4/8 RDT-PAC [41] .....	54
Obr. 32 IB IL RS232-PRO-PAC [41] .....	55
Obr. 33 IB IL 24 DO 4 [41] .....	55
Obr. 34 Architektúra riadenia hydraulickej slučky .....	57
Obr. 35 Konfigurácia OPC ovládaču pre Control Web .....	58
Obr. 36 Ukážka vizualizácie užívateľského rozhrania - prvý panel.....	59
Obr. 37 Ukážka panelu „Záznam merania“ .....	60
Obr. 38 Ukážka vygenerovaného protokolu .....	60
Obr. 39 Ukážka programu „Výpočty“ .....	61
Obr. 40 Ukážka panelu „Graf“ .....	61
Obr. 41 Vývojový diagram algoritmu priebehu skúšky .....	63
Obr. 42 Detail ovládacieho panelu pre riadenie priebehu skúšky .....	64



## ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1 Závislosť prietoku teplej vody na objeme zásobníku .....	29
Tab. 2 Prehľad vybraných prostriedkov použitých v hydraulickej smyčke .....	40
Tab. 3 Vlastnosti čerpadla WILO IP – 40/130 – 2,2/2 .....	41
Tab. 4 Vlastnosti čerpadla WILO Stratos 25/1 – 8PN10 .....	42
Tab. 5 Vlastnosti prietokomeru FLOW 38DN32 COMAC CAL .....	43
Tab. 6 Regulačné ventily MXG461B15 .....	44



## **ZOZNAM PRÍLOH**

Príloha A Schéma zapojenia hydraulickej slučky

Príloha B Datový nosič

Digitálna vezria práce

