

# Řízení fyzikálních veličin při provádění zátěžových zkoušek materiálu

Bc. Jakub Koráb

---

Diplomová práce  
2006



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta aplikované informatiky  
Ústav automatizace a řídicí techniky  
akademický rok: 2005/2006

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub KORÁB**  
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**  
Studijní obor: **Automatické řízení a informatika**

Téma práce: **Řízení fyzikálních veličin při provádění zátěžových zkoušek materiálů**

Zásady pro vypracování:

1. Proměřte a analyzujte dynamické vlastnosti zkušebny automobilových hadic dynamickým tlakem.
2. Zvolte vhodný řídicí algoritmus a realizujte řízení tlaku s různými průběhy žádané veličiny.
3. Proměřte a analyzujte dynamické vlastnosti komory pro vyzrávání betonových vzorků, kde zkoumanými veličinami jsou teplota a vlhkost v komoře.
4. Realizujte současné řízení teploty a vlhkosti ve zkušební komoře.
5. Implementaci řídicích algoritmů realizujte v prostředí Control Web

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. Balátě, J. 2003. Automatické řízení. BEN.

2. Bobál V., Bohm J., Prokop R., Fessl J.: Praktické aspekty samočinně se nastavujících regulátorů: algoritmy a implementace, VUT v Brně, 1999.

3. Bílý R., Čagaš P., Čagaš R., Hladovka D., Kolařík M., Sobotík J., Zálešák M., Zgarba Z., CONTROL WEB 2000. 1. vydání Praha: Computer Press, 1999. 382 s. ISBN 80-7226-258-0.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marek Kubalčík, Ph.D.**

Ústav řízení procesů

Datum zadání diplomové práce: **14. února 2006**

Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2006**

Ve Zlíně dne 14. února 2006



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*pověřený děkan*



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.  
*ředitel ústavu*

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá řízením fyzikálních veličin při provádění zátěžových zkoušek materiálu ve zkušebně automobilových hadic a v komoře pro vyzrávání betonových vzorků. U zkoušky automobilových hadic je regulovanou veličinou tlak. Zkušebna je k PC připojena pomocí jednotky Datalab IO/USB. Řízení zkušebny je zajištěno pomocí programu ControlWeb 2000. Řízený proces byl popsán systémem druhého řádu. Pro řízení byly použity regulátory založené na metodě přiřazení pólů a to jak s pevně nastavenými parametry tak samočinně se nastavující. Komora pro vyzrávání vzorků je systémem se dvěma vstupy a dvěma výstupy s vnitřními interakcemi. Regulovanými veličinami jsou teplota a vlhkost. Komora je k PC připojena přes rozhraní RS 485 pomocí modulů ADAM. Řízení komory je zajištěno pomocí programu ControlWeb 2000. Pro řízení byly aplikovány samočinně se nastavující regulátory pro řízení systémů se dvěma vstupy a dvěma výstupy založené na metodě přiřazení pólů.

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the control of physical variables during the material endurance testing in the car tube test room and the maturing chamber for concrete samples. The controlled variable in the car hose test is pressure. The communication between the test room and PC is established by Datalab IO/USB unit and the control is assured by ControlWeb 2000. The proces is described as the second order system. The used controllers for this process are based on pole placement both with fixed parameters and adaptive ones. The maturing chamber is a system with two inputs, two outputs and cross - coupling. The controlled variables are temperature and moisture. Communication between the chamber and PC is established by RS 485 with the ADAM modules and the control is made in ControlWeb 2000 as well. The adaptive controllers for two inputs/outputs systems based on pole placement are used for the control.

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Markovi Kubalčíkovi Ph. D za odborné vedení, rady a připomínky, které mi poskytoval během vedení mé diplomové práce. Dále bych rád poděkoval panu Mgr. Romanovi Dlabajovi Ph.D. z firmy ITC Zlín a.s. za poskytnuté zázemí a cenné rady.

# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>9</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 POPIS ZKUŠEBNY AUTOMOBILOVÝCH HADIC</b> .....	<b>12</b>
1.1 POPIS MECHANICKÝCH ČÁSTÍ ZKUŠEBNY.....	13
1.1.1 Zkušební komora a upevňovací rošt.....	13
1.1.2 Ohřívací okruh kapaliny.....	14
1.1.3 Ohřívací okruh vzduchu, chlazení vzduchu .....	14
1.1.4 Elektrický rozvaděč.....	15
1.1.5 Vibrační jednotka, vibrační rošt.....	16
1.1.6 Tlakovací okruh.....	16
<b>2 POPIS KOMORY PRO VYZRÁVÁNÍ BETONOVÝCH VZORKŮ</b> .....	<b>18</b>
2.1 POPIS MECHANICKÝCH ČÁSTÍ KOMORY.....	19
2.1.1 Klimatizační jednotka .....	19
2.1.2 Vyvíječ páry .....	20
2.1.3 Senzor teploty a vlhkosti.....	21
<b>3 CONTROL WEB 2000</b> .....	<b>22</b>
3.1 CO JE CONTROL WEB 2000.....	22
3.2 CONTROL WEB A REÁLNÝ ČAS.....	23
3.3 TVORBA APLIKACE V PROSTŘEDÍ CONTROL WEBU.....	23
3.4 POPIS FUNKCÍ CONTROL WEBU .....	27
3.5 INCALC .....	29
<b>4 NÁVRH REGULÁTORŮ</b> .....	<b>30</b>
4.1 REGULÁTOR PRO ZKUŠEBNU AUTOMOBILOVÝCH HADIC .....	30
4.1.1 Regulátory založené na metodě přiřazení pólů .....	30
4.2 REGULÁTORY PRO ZKUŠEBNÍ KOMORU PRO VYZRÁVÁNÍ BETONOVÝCH VZORKŮ.....	33
4.3 POUŽITÉ MODELÝ ŘÍZENÝCH PROCESŮ .....	33
4.3.1 Návrh algoritmu regulátoru 1DOF.....	34
4.3.2 Regulátor se strukturou 2DOF .....	37
<b>5 IDENTIFIKACE</b> .....	<b>40</b>
5.1 JEDNORÁZOVÁ METODA NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ .....	40
5.2 PRŮBĚŽNÁ IDENTIFIKACE REKURZIVNÍ METODOU NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ.....	41
5.2.1 Modifikace průběžné identifikace pro dvourozměrový regulátor .....	44
<b>6 KVADRATICKÁ KRITÉRIA KVALITY REGULACE</b> .....	<b>45</b>
<b>II PRAKTICKÁ ČÁST</b> .....	<b>46</b>
<b>7 PROPOJENÍ ZKUŠEBNY AUTOMOBILOVÝ HADIC K PC</b> .....	<b>47</b>

7.1	POPIS JEDNOTKY DATALAB IO/USB .....	47
7.2	SPOJENÍ CONTROLWEBU S DATA LABEM .....	49
<b>8</b>	<b>NÁVRH A POPIS APLIKACE ZKUŠEBNY AUTOMOBILOVÝCH HADIC V CONTROL WEBU .....</b>	<b>51</b>
8.1	PANEL 1 .....	51
8.2	PANEL 2 .....	55
8.3	PANEL 3 .....	56
8.4	ALGORITMUS REGULACE .....	57
<b>9</b>	<b>ANALÝZA VLASTNOSTÍ ZKUŠEBNY AUTOMOBILOVÝ HADIC .....</b>	<b>58</b>
9.1	STATICKE VLASTNOSTI ZKUŠEBNY .....	58
9.2	DYNAMICKÉ VLASTNOSTI ZKUŠEBNY .....	58
9.3	IDENTIFIKACE ZKUŠEBNY .....	60
<b>10</b>	<b>NAMĚŘENÉ REGULAČNÍ POCHODY PRO ZKUŠEBNU AUTOMOBILOVÝCH HADIC .....</b>	<b>62</b>
10.1	NEADAPTIVNÍ REGULÁTOR .....	62
10.2	STC REGULÁTOR .....	65
<b>11</b>	<b>PROPOJENÍ KOMORY PRO VYZRÁVÁNÍ BETONOVÝCH VZORKŮ K PC .....</b>	<b>70</b>
11.1	POPIS MODULŮ ADAM .....	71
11.2	SPOJENÍ CONTROLWEBU S MODULY ADAM .....	73
<b>12</b>	<b>NÁVRH A POPIS APLIKACE KOMORY PRO VYZRÁVÁNÍ BETONOVÝCH VZORKŮ V CONTROLWEBU .....</b>	<b>74</b>
12.1	PANEL 1 .....	74
12.2	PANEL 2 .....	75
12.3	ALGORITMUS REGULACE .....	76
<b>13</b>	<b>ANALÝZA VLASTNOSTÍ KOMORY PRO VYZRÁVÁNÍ BETONOVÝCH VZORKŮ .....</b>	<b>78</b>
13.1	STATICKE VLASTNOSTI ZKUŠEBNY .....	78
13.2	DYNAMICKÉ VLASTNOSTI ZKUŠEBNY .....	78
<b>14</b>	<b>NAMĚŘENÉ REGULAČNÍ POCHODY U KOMORY PRO VYZRÁVÁNÍ BETONOVÝCH VZORKŮ .....</b>	<b>82</b>
14.1	ADAPTIVNÍ REGULÁTOR SE STRUKTUROU 1DOF .....	82
14.2	ADAPTIVNÍ REGULÁTOR SE STRUKTUROU 2DOF .....	86
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>95</b>

<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>97</b>
<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>100</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>101</b>



## ÚVOD

Náplní první části této diplomové práce je analýza a řízení zkušebny automobilových hadic. Jde o zařízení určené pro mechanické a tlakové testování automobilových hadic chladících okruhů. Úkolem řízení byla regulace tlaku v primárním tlakovacím okruhu zařízení podle různých průběhů žádané hodnoty. Jako programové prostředí byl zvolen ControlWeb 2000 a pro komunikaci mezi PC a zkušebnou bylo použito jednotky DataLab IO/USB.

Primární okruh zkušebny se skládá z proporcionálního ventilu, pomocného a hlavního hydraulického válce. Tlak je nastavován pomocí hlavního válce (pístu) který stlačí testovací kapalinu. Poloha tohoto pístu a tudíž velikost tlaku je nastavována pomocným válcem (pístem). Úkolem celého řízení je ovládání tohoto pomocného pístu rychlostí přitékání / odtékání oleje v pístu. Toto se děje pomocí proporcionálního ventilu, který se ovládá proudovým signálem.

Požadavkem na regulaci z hlediska prováděných zkoušek je dlouhodobé asymptotické sledování referenčního signálu teploty ve tvaru sinusových a rampových signálů.

Primární tlakový okruh má částečně nelineární charakter. Bylo třeba zvolit vhodný lineární model, který by vystihl dynamické vlastnosti soustavy. Byl zvolen model druhého řádu a jeho parametry byly identifikovány metodou nejmenších čtverců.

Pro řízení tlaku v primárním okruhu byl použit diskretní zpětnovazební PID regulátor založený na metodě přiřazení pólů a to jak s pevně nastavenými parametry tak samostatně se nastavující. Práce se také zabývá návrhem aplikace v prostředí ControlWeb 2000 určené pro řízení a vizualizaci zkušebny.

Náplní druhé části této diplomové práce je analýza a řízení komory pro vyzrávání betonových vzorků. Jedná se o speciální místnost, která se používá k vyzrávání betonu pro následné mechanické zkoušky. Úkolem řízení je aby v této místnosti byla po dobu vyzrávání konstantní teplota a vlhkost vyšší než 95%. Jako programové prostředí byl zvolen ControlWeb 2000 a pro komunikaci mezi PC a zkušebnou bylo použito rozhraní RS485, převod signálu z RS 232, snímání hodnot ze senzorů a ovládání akčních zařízení je pak provedeno pomocí modulů ADAM.

Teplota v komoře se reguluje pomocí klimatizační jednotky, je zde možné pouze snižování teploty. Vlhkost v komoře se pak reguluje pomocí vyvíječe páry, zde je možné pouze zvyšování vlhkosti. Ovládání klimatizační jednotky i vyvíječe páry je dvoustavové.

Požadavkem na regulaci z hlediska prováděných zkoušek je asymptotické sledování referenčních signálů ve tvaru skokových změn přičemž vlhkost by neměla klesnout pod 95 procent.

Z důvodu silné nelinearity procesu nebylo možno použít regulátor s pevně nastavenými parametry. Jedná se o systém s vnitřními interakcemi (každý ze vstupů ovlivňuje oba výstupy). Pro řízení byl tedy použit samočinně se nastavující regulátor pro řízení systémů se dvěma vstupy a dvěma výstupy založený na metodě přiřazení pólů a to se strukturou regulačního obvodu 1DOF a také 2DOF. Práce se také zabývá návrhem aplikace v prostředí ControlWeb 2000 určené pro řízení a vizualizaci komory.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 POPIS ZKUŠEBNY AUTOMOBILOVÝCH HADIC

Zkušební zařízení je určeno pro tlakové a mechanické zkoušky hadic chladících okruhů automobilů. V podstatě jde o simulaci motorového prostoru vozidla při níž cirkuluje kapalina vzorkem podle daných průběhů tlaku a při stanovených teplotách kapaliny a okolí. Vlastní zařízení je tvořeno izolovanou zkušební komorou, vibrační jednotkou k vyvození požadovaných amplitud a frekvencí, tlakovacím okruhem pro vytvoření požadované hodnoty vnitřního přetlaku, ohřívacím okruhem s cirkulací kapaliny simulující chladicí směs, ohřívacím okruhem vzduchu komory a elektrorozvaděčem s prvky řídicími celý zkušební proces.

Z vibrační jednotky ukotvené do podlahy se mechanické kmity přenášejí trubkou do vibračního roštu, který je opatřen redukcemi pro uchycení max. 6 kusů zkušebních hadic. Druhé konce hadic jsou pevně fixovány na nosném roštu komory a připojeny k hadicím odvádějícím kapalinu do výstupní kostky na stropu komory. Nakloněním vibračního roštu je možné zkoušené hadice zatěžovat mechanickými vibracemi v radiálním a axiálním směru. K cirkulačnímu okruhu kapaliny je paralelně připojena primární hydraulická soustava sloužící pro zajištění požadovaného tlaku v hadicích podle předem daného průběhu.

Po připojení hadic na koncovky ve zkušební komoře se provede zahlcení cirkulačního okruhu samotížným výtokem kapaliny ze zásobního kanystru a následné vytlačení zbývajících vzduchu v okruhu lehkým tlakováním. Po uzavření odzdušňovacího ventilu se zapne oběhové čerpadlo a topné těleso v ohřívací nádobě. Současně se spustí ventilátor a topná tělesa cirkulace vzduchu. Po temperaci kapaliny a vzduchu na požadované hodnoty se spustí předem nastavená vibrační jednotka, čímž je zahájena vlastní zkouška. Nastavené teplotní hodnoty jsou kontrolovány teplotními čidly v ohřívací nádobě, vratné kostce na výstupu z komory a teplota vzduchu čidlem v prostoru komory. Hodnota tlaku v okruhu kapaliny je měřena piezorezistivním senzorem tlaku umístěným těsně před vstupní kostkou. Přepouštěcí ventil plní funkci pojistného prvku okruhu kapaliny. Schéma celého systému je uvedeno v příloze **PI**. Fotografie zařízení je na (Obr. 1).

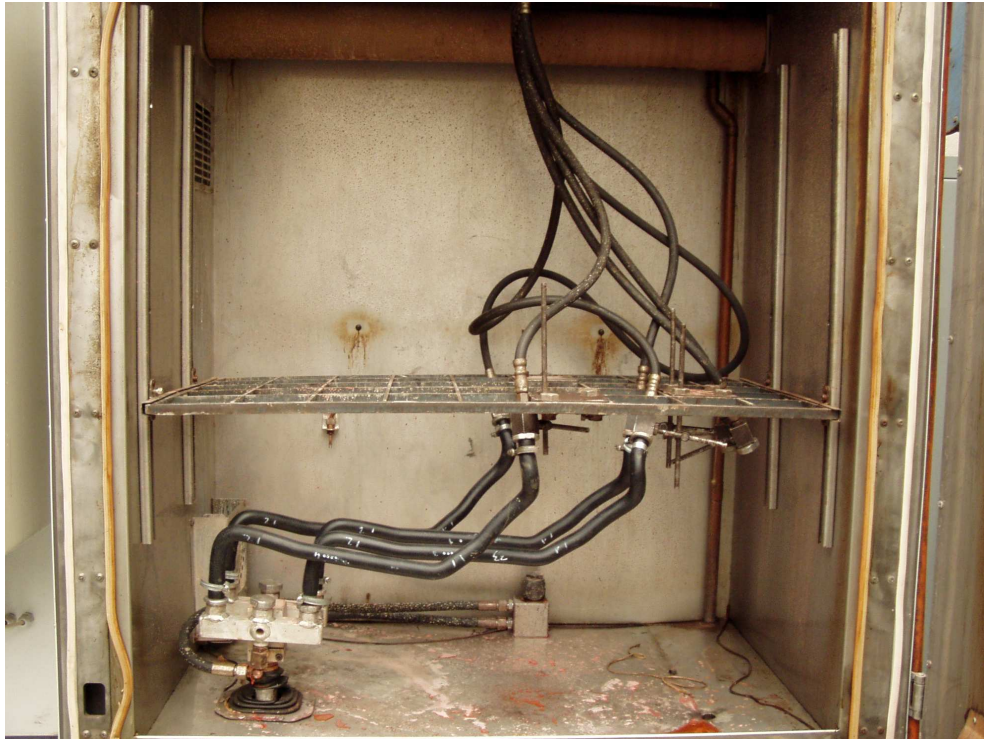


*Obr. 1. Zkušebna automobilových hadic*

## **1.1 Popis mechanických částí zkušebny**

### **1.1.1 Zkušební komora a upevňovací rošt**

Zkušební komora je svařena z nerezových plechů tak, aby mohly jednotlivé díly dilatovat podle rozdílů teploty. Dno je prolomené z důvodu vytvoření sklonu pro odtok kapaliny do odpadní nádoby. Přední strana obvodových dílů má široký lem, který tvoří vstupní límec komory nesoucí těsnění pro utěsnění dveří. Levý bok má dva otvory pro cirkulaci ohřívaného vzduchu a jeden otvor pro trubku chlazení vzduchu. Pravý bok jen otvor pro trubku chlazení vzduchu. Ke dnu komory je uchycena vstupní kostka cirkulace kapaliny, ke stropu výstupní kostka. Na zadní části teplotní komory je uchyceno teplotní čidlo. Levý i pravý bok mají dvě vedení pro přestavování upevňovacího roštu, do jehož čtvercových 3 sady horních a dolních plechových úchytlů. Spodní úchyty mají čtyři vodící pouzdra. Pro stavění svislé nosné tyčky na níž je příčná tyčka s převáděcí kostkou. Jedna strana kostky je osazena redukčním hrdlem zkušebních hadic, na druhé straně je hrdlo pro připojení odváděcí hadice. Fotka zkušební komory a upevňovacího roštu je uvedena na (Ob. 2.).



*Obr. 2. Zkušební komora a upevňovací rošt*

### **1.1.2 Ohřívací okruh kapaliny**

V cirkulačním ohřívacím okruhu kapaliny jsou oběhové čerpadlo do 140°C, tlaková nerezová ohřívací nádoba s topným tělesem kapaliny a snímačem teploty, vstupní kostka do komory, vysokotlaké hadice pro rozvod k vibračnímu roštu, duralový vibrační rošt, zkušební hadice s redukcemi šroubení, odváděcí vysokotlaké hadice do výstupní kostky se snímačem teploty a měděné potrubí uzavírající okruh. Paralelně je k okruhu připojen piezorezistivní tlakový snímač, pojistný ventil a tlakovací nádoba s regulačními prvky.

Maximální teplota v cirkulačním okruhu kapaliny : 135 °C

### **1.1.3 Ohřívací okruh vzduchu, chlazení vzduchu**

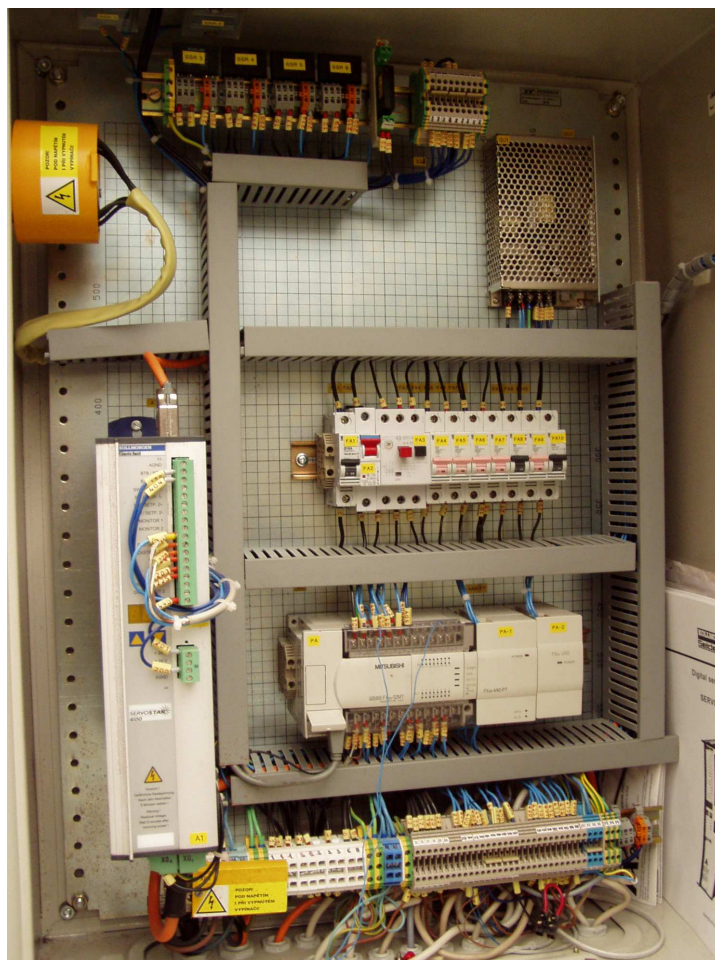
Pro vyhřátí vzduchu v komoře slouží topný kanál na levém boku komory, který má ventilátor ohřevu vzduchu a topné těleso vzduchu, v komoře je topné těleso. Topení je zapínáno snímačem teploty umístěným na zadní stěně komory. Ve zkušebním režimu vysoké teploty kapaliny a relativně nízké teploty vzduchu v komoře bude docházet sáláním z cirkulačního

okruhu k postupnému zvyšování teploty vzduchu. Ochlazovat vzduch v komoře má zajistit proudící vzduch v chladicí trubce procházející pod stropem komory, který je proháněn trubkou ventilátorem chlazení. Zapínání ventilátoru chlazení je řízeno snímačem teploty.

Maximální teplota vzduchu uvnitř komory : 135 °C

#### 1.1.4 Elektrický rozvaděč

Tato část obsahuje veškeré elektronické řídicí a jisticí obvody. Hlavní částí celého řídicího systému je modulární programovatelný automat MITSUBISHI Melsec FX2N. K tomuto PLC jsou přidány 3 moduly. 2 z nich pak slouží ke snímání teplot v okruhu vzduchu a v okruhu kapaliny pomocí snímačů Pt 100. Třetí modul slouží k převodu signálu z tlakového snímače. Rozvaděč mimo jiné obsahuje ještě řídicí modul pro vibrační jednotku s názvem Servostar 600.



Obr. 3. Elektrický rozvaděč

### 1.1.5 Vibrační jednotka, vibrační rošt

Vibrační jednotka je stěžejním komponentem zkušebního zařízení. Umožňuje nastavit požadovanou zkušební frekvenci a amplitudu výkmitu vibračního roštu se zkoušenými hadicemi. Na základně, která je silentbloky orientována k rámu zařízení a přichycena pevně k podlaze jsou uchyceny dvě bočnice. Mezi bočnicemi je vložena kotevní deska, která nese zbývající komponenty. V levé části pastorek poháněný servomotorem, otáčí ozubeným kolem kliky v němž je uložen excentrický ozubený pastorek, který má rovněž excentricky umístěný čep kliky. Ozubené kolo kliky se při vibrování otáčí společně s excentrickým pastorkem a polohově ho fixují dva palce s ozubením. Při seřizování excentricity jsou oba palce vysunuty z ozubení ozubeným věncem, který se současně zasune do ozubení excentrického pastorku a dovolí jen jeho odvalování. Pomalým otáčením servomotoru se natáčí pastorek odvaluje a mění excentricitu čepu kliky - tedy amplitudu pracovního zdvihu. Po nastavení nové polohy se ozubený věnec vrátí spolu se segmentem natáčení, pomocí zdvihu pneuválce do uvolňovací polohy. Ojnice přenáší pohyb na oko kliky, které je uchyceno na spojnici tyčí v níž jsou vodící tyče sevřeny. Vodící tyče se pohybují ve valivých pouzdrech uložených v kostce pouzder a trubkách tyčí. Ve spojnici tyčí je sevřena trubka kmitání na jejímž horním konci je rozváděcí vibrační rošt. Schéma vibrační jednotky je uvedeno na příloze P2.

Maximální amplituda v radiálním i axiálním směru :  $\pm 15$  mm

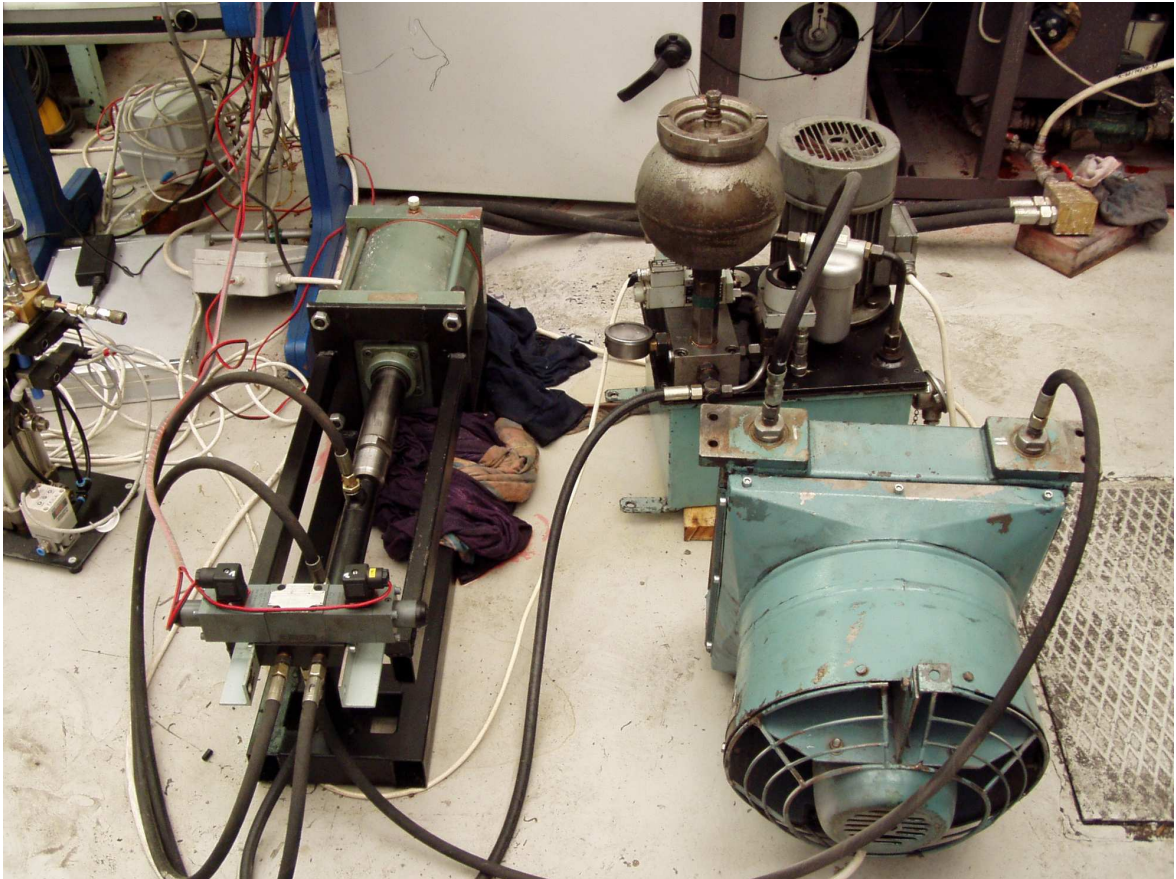
Frekvenční rozsah mechanických vibrací : 0 – 20 Hz

### 1.1.6 Tlakovací okruh

Tlakovací okruh je stěžejním komponentem celého zkušebního zařízení. Slouží k řízení přetlaku v testovaných vzorcích podle požadovaných průběhů. Zdrojem tlaku je hydraulická jednotka MEPS2 od firmy TOS Vrchlabí. Základní částí je třífázové hydraulické zubové čerpadlo MEZ o příkonu 1,5 kW a průtoku 8 l/min. Čerpadlem je vytvářen tlak oleje, který je čerpán ze zásobníkové nádrže do celého okruhu. Olej je hnán přes redukční ventil VP2-10-1/10, který udržuje nastavený tlak v okruhu, do akumulátoru tlaku sloužícího jako vyrovnávač a také zásobník tlaku. Za redukčním ventilem je vřazen elektromagnetický ventil



který podle svého nastavení pouští nebo nepouští tlak oleje dál do okruhu. V okruhu je zařazen vzduchový chladič oleje z důvodu nepřekročení teploty oleje přes hodnotu 50°C.



*Obr. 4. Tlakovací okruh*

Z akumulátoru je olej hnán do primárního hydraulického okruhu. Ten se skládá z proporcionálního ventilu, pomocného hydraulického válce DN25 (průměr 25mm) a hlavního hydraulického válce DN200 (průměr 200mm). Tlak je nastavován pomocí hlavního válce (pístu) který stlačí testovací kapalinu. Poloha tohoto pístu a tudíž velikost tlaku je nastavována pomocným válcem (pístem). Úkolem celého řízení je ovládání tohoto pomocného pístu rychlostí přitékání / odtékání oleje v pístu. Toto se děje pomocí proporcionálního ventilu REXROTH 4WRA6, který se ovládá proudovým signálem.

## 2 POPIS KOMORY PRO VYZRÁVÁNÍ BETONOVÝCH VZORKŮ

Jedná se o speciální místnost (klíma komoru cca 20-25m<sup>3</sup>), která se používá k vyzrávání betonu pro následné mechanické zkoušky. V této místnosti musí být po dobu vyzrávání konstantní vlhkost a teplota. Požadovaná teplota je 20°C ( $\pm 1^\circ\text{C}$ ) a požadovaná vlhkost je vyšší než 95%.

Teplota se reguluje prostřednictvím klimatizační jednotky. Průchod vzduchu přes chladicí výměník má za následek automatické vysoušení (nechtěné) vzduchu (kondenzací vlhkosti na studeném výměníku).

Vlhkost se reguluje prostřednictvím zvlhčovače – vyvíječe páry. Toto zařízení se skládá ze dvou elektrod ponořených ve vodní lázni. Tyto elektrody způsobují var vody v zásobníku a tím vyvin páry

Realizace řízení prostřednictvím PC s instalovaným vizualizačním a řídicím softwarem Control Web 2000. Sběr dat je prováděn pomocí linky RS 232 s převodem na RS485. Měřicí karta a binární výstupy jsou realizovány pomocí distribuovaných modulů ADAM 4017 a ADAM 4050 od firmy Adventech. Měřicí sonda teploty a vlhkosti má proudový výstup 4-20mA.



Obr. 5. Komora pro vyzrávání betonových vzorků

## 2.1 Popis mechanických částí komory

### 2.1.1 Klimatizační jednotka

Jedná se o klimatizační jednotku značky FUJITSU AMY12R která může fungovat jako chladicí a také vytápěcí jednotka. V našem případě se používá pouze pro chlazení z důvodu požadavku že teplota v komoře by neměla překročit hodnotu 20°C. Spínání klimatizace je prováděno pomocí řídicího triaku napětím 230V.

*Technické parametry zařízení:*

Napětí : 220 -240V ~50Hz

Výkon: 3,4 – 3,5 kW

Proud: 7,1 – 7,3 A

Max. tlak: 2,7 kPa



*Obr. 6. Klimatizační jednotka*

### 2.1.2 Vyhvíječ páry

Jde o jednotku sloužící k vyvívání páry a tím i vlhkosti s názvem HYGROMATIK HY1.05L. Spínání vyhvíječe je prováděno pomocí řídicího triaku napětím 230V.

*Technické parametry zařízení:*

Napětí : 400V ~ 50 – 60 Hz

Jmenovitý výkon: 3,8 kW

Jmenovitý proud: 5,4 A

Objem zásobníku: 6,4l

Jmenovitý výstup: 5 kg/h

Max. tlak: 1 - 10 Bar



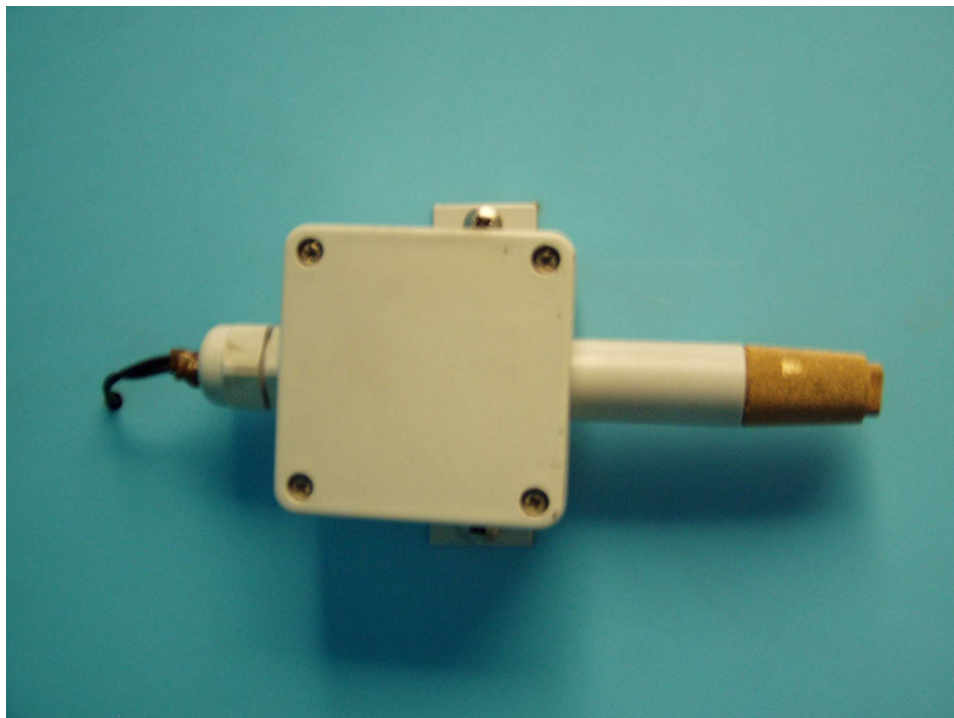
Obr. 7. Vyhvíječ páry

### 2.1.3 Senzor teploty a vlhkosti

Jde o senzor od firmy Comet s.r.o s typovým označením NH 421.65. Snímač se skládá z elektroniky s mikroprocesorem v odolné plastové skřínce s přípojovací svorkovnicí a čidla vlhkosti a teploty v krytce. Výstupy snímačů jsou galvanicky oddělenými 4 až 20mA. Nejmodernější polymerní čidlo vlhkosti zaručuje dlouhodobou stálost údaje, odolnost vůči vodnímu kondenzátu. Snímače jsou určeny pro měření vzduchu bez agresivních příměsí

*Technické parametry zařízení:*

Rozsah měřené relativní vlhkosti :	0 – 100% (4– 20mA)
Rozsah měřené teploty:	30°C – 80°C (4 – 20mA)
Přesnost měření reaktivní vlhkosti:	±2.5% vlhkosti od 5 do 95% při 23°C
Přesnost měření teploty:	±1,5 °C při T < 25°C a RV>30%
Napájení:	9 – 30 V DC



*Obr. 8. Senzor vlhkosti a teploty Comet NH*

### 3 CONTROL WEB 2000

Aplikace pro řízení a vizualizaci u obou zkušebních zařízení byla realizována v prostředí Control Web 2000. Následující část práce se zabývá popisem tohoto prostředí s důrazem na jeho přednosti pro které byl zvolen.

#### 3.1 Co je CONTROL WEB 2000

Program Control Web 2000 (dále jen Control Web nebo CW) od firmy Moravské přístroje a.s (ČR) patří k velice rozšířeným produktům určeným pro vývoj průmyslových SCADA/MMI aplikací. Jedná se o objektově orientovaný grafický generátor umožňující monitorování, řízení, bilancování a trendování technologického procesu. Vyznačuje se snadnou konfigurovatelnou objektově orientovanou grafikou s vlastním grafickým editorem. Control Web pracuje v prostředí operačních systémů implementujících aplikační programové rozhraní Win32 a podporuje řadu průmyslových standardů.

Lze v něm vytvářet aplikace pracující v reálném čase nebo datově řízené aplikace. U systémů řízených Control Webem je každý vstupně/výstupní kanál čten přesně v době, kdy jej nějaký virtuální přístroj požaduje. Taktéž umožňuje vizualizaci technologií, prostřednictvím internetových standardů http a HTML, pomocí libovolného WWW klienta [5].

Control Web je používán a nasazován prakticky ve všech významných českých průmyslových podnicích a univerzitách a úspěšně pracuje i v mnoha aplikacích po světě. Pro svou schopnost zvládat značná množství dat je často nasazován na velmi velké aplikace, které jsou již za možnostmi většiny vizualizačních programů. Pro svou výhodnou cenu je často používán i při výuce na středních a vysokých školách. Jako příklad lze uvést monitorování a řízení aplikací od jaderné energetiky až po vědecké a školní laboratoře [5].

Celkově se dá říci, že CONTROL WEB:

- a) Šetří čas díky pokročilým vizuálním programovacím nástrojům
- b) Šetří investice – celý velmi rozsáhlý a bohatě vybavený systém se dá pořídit za příznivou cenu

- c) Odstraňuje závislost na konkrétních dodavatelských technickém a programovém vybavení díky své otevřenosti a skladbě komponent
- d) Zjednodušuje návrh systémů díky své škálovatelnosti od počítačů do dlaně, až po servery zapojené do clusteru
- e) Odstraňuje problémy s propojením v počítačových sítích a vazbou na podnikové informační systémy
- f) Zpřístupňuje aplikace pro připojení přes Internet

Aplikace jsou díky využití nejmodernějších softwarových technologií vždy na úrovni doby [5]

### **3.2 CONTROL WEB a reálný čas**

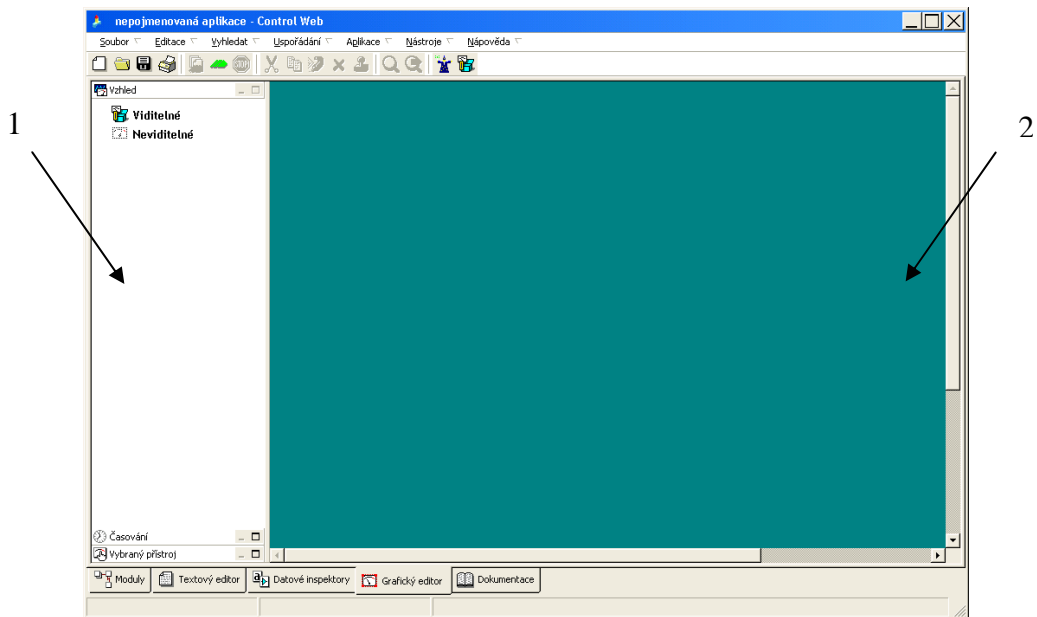
Většina vizualizačních programů nejen nedokáže realizovat libovolné řídicí algoritmy, ale především nedokáže pracovat v přesném reálném čase. S volně programovatelným systémem Control Web lze v rámci jediného programového systému realizovat soft-PLC řídicí v reálném čase stroje a výrobní linky, měřicí a regulační systémy i rozsáhlé síťové vizualizační a operátorské systémy.

Schopnost práce v reálném čase je v současné době nutným a zásadním požadavkem kladeným na moderní programové systémy pro průmyslovou automatizaci. Časové rozlišení aplikací systému Control Web lze zjemňovat až do řádu milisekund [3].

### **3.3 Tvorba aplikace v prostředí Control Webu**

Po spuštění programu Control Web je automaticky otevřen nový prázdný projekt. Projektové okno (Obr. 9) slouží k návrhu vlastní měřicí úlohy. Celé okno lze rozdělit na dvě části, kdy v jednom z nich se zobrazují použité přístroje projektu (1) a ve druhém (2) grafické provedení vytvářené aplikace.

Spojováním jednotlivých funkčních bloků obsažených v paletě přístrojů programu, sestavíme projekt s požadovanými vlastnostmi.



Obr. 9 Projektové okno aplikace

Celá aplikace je pak tvořena množinou virtuálních přístrojů, které jsou schopny samy o sobě pracovat, nebo-li vykonávat nějakou činnost. Virtuální přístroj si tedy pamatuje nějaká data a taktéž je schopen s těmito daty dále manipulovat.

Kromě jiného je možné v hlavním okně najít 5 záložek, jejichž význam popisují níže (Obr. 10).



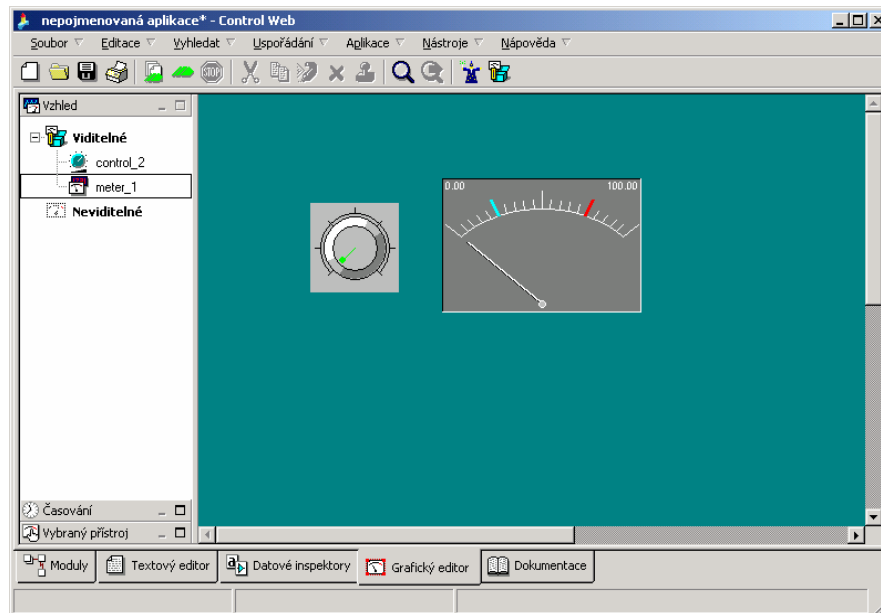
Obr. 10. Záložky projektového okna

- 1) Moduly – slouží pro vývoj modulární aplikace a umožňují zavedení pořádku do vytvářené aplikace
- 2) Textový editor – zde se nachází zdrojový kód vytvořené aplikace
- 3) Datový inspektor – umožňuje nastavení veškerých proměnných, kanálů, konstant, přístupových práv atd.
- 4) Grafický editor – pro vkládání přístrojů a úpravu vzhledu výsledné aplikace



## 5) Dokumentace – nápověda Control Webu v elektronické podobě

Vložení přístroje do projektu (Obr. 11) spočívá ve výběru bloku v paletě přístrojů a jeho přetáhnutí na pracovní plochu. Ve zvoleném místě bude vytvořen požadovaný objekt, který lze uchopením pomocí levého tlačítka myši libovolně přemísťovat.

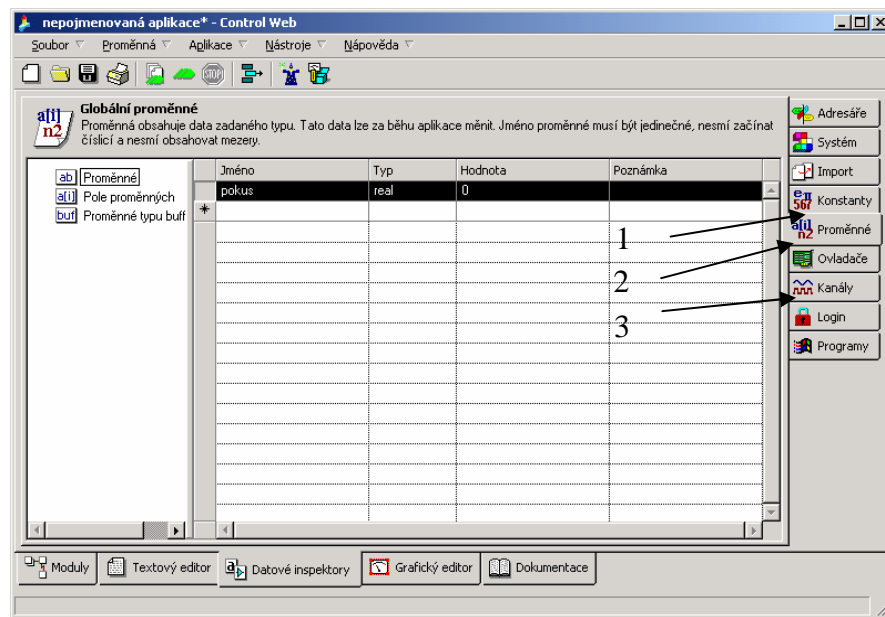


Obr. 11. Vložení přístroje na pracovní plochu

K tomu, aby se dané zařízení chovalo podle našich představ je třeba nastavit v záložce output nebo expression, záleží na typu přístroje, požadované parametry. Této záložky docílíme kliknutím pravého tlačítka myši na přístroj a výběrem položky inspektor přístroje.

Jednotlivé přístroje lze spojovat pomocí následujících tří datových elementů (Obr. 12):

- 1) konstant – umožňují uchování neměnných hodnot
- 2) proměnných – slouží pro uchování dat, které se mění během činnosti aplikačního programu
- 3) kanálů – slouží pro přenos dat mezi aplikačním programem a vstupně/výstupním zařízením, kde každý kanál musí být opatřen příslušným ovladačem

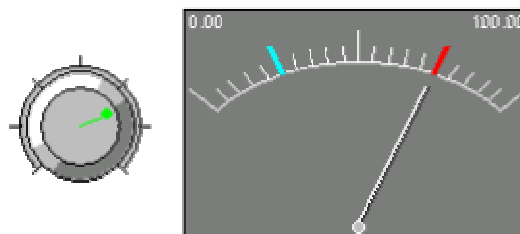


Obr. 12. Ukázka definice datových elementů

Můžeme tedy říci, že všechny tyto elementy se dají rozdělit do dvou skupin. A to na:

- a) globální – jsou společné pro celý aplikační program nebo jeho modul
- b) lokální – jsou určeny pouze jednomu virtuálnímu přístroji [3]

Takto definované virtuální přístroje můžeme spojovat ve funkční bloky a v poloze nacházející se v sekci *Editace* hlavního menu rovněž vyjmát či kopírovat do schránky a následně vkládat do jiného panelu. Výsledkem takového propojení dvou přístrojů (např. regulační panel – displej) lze ukázat na názorném obrázku (Obr. 13).



Obr. 13. Výsledek spuštěné aplikace

Tytéž funkce lze vyvolat kliknutím pravého tlačítka myši na požadovaný objekt. Tím se zároveň zpřístupňují další možnosti, jako např. smazání objektu, skrytí vlastního panelu, přepnutí okna atd.


Kliknutím levého tlačítka na objekt je tento objekt označen jako aktivní. Chceme-li označit více objektů najednou, lze to učinit současným stiskem tlačítka SHIFT a kliknutím levého tlačítka myši na příslušné objekty, nebo prostým tažením myši se stisknutým levým tlačítkem po projektovém okně. Vybrané objekty lze takto hromadně přemísťovat, či smazat stisknutím tlačítka DELETE.

### 3.4 Popis funkcí Control Webu

K rychlejšímu a pohodlnějšímu výběru funkce nám dobře poslouží toolbar aplikace Control Webu (Obr.14). Obsahuje následující funkce:



Obr. 14. ToolBar Control Webu

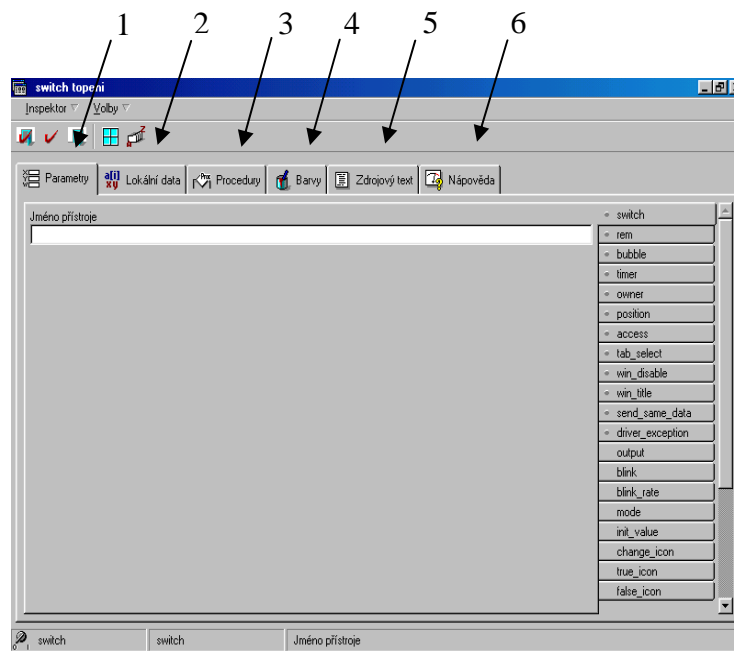
 Spuštění aplikace. Lze provést pouze tehdy, není-li již regulace spuštěna v jiném otevřeném projektu. Této funkce lze rovněž dosáhnout pomocí klávesové zkratky F5. Spuštění aplikace je doprovázeno průběžnou inicializací dat, jednotlivých přístrojů, globálních proměnných, výstupních kanálů a zajištění plynulého rozběhu časování. Každý přístroj během inicializace může ovlivňovat datové elementy, může spouštět událostní procedury a posílat zprávy jiným přístrojům.



Zastavení regulace.

## Nastavení vlastností a chování přístrojů

Nastavení vlastností jednotlivých objektů lze zpřístupnit kliknutím pravého tlačítka myši na požadovaný přístroj (objekt). Tím se aktivuje kontextové menu objektu a zvolením položky *Inspektor přístroje* bude otevřen dialog umožňující změnit vlastnosti a nastavení objektu (Obr. 15).



Obr. 15. Popis a vlastnosti nastavené přístroje

- 1) Nastavení kanálů, časování, vlastníka přístroje, název archivačního souboru apod.
- 2) Definice datových elementů
- 3) Nastavení procedur
- 4) Změna barvy vzhledu přístroje
- 5) Zdrojový kód přístroje
- 6) Elektronická nápověda Control Webu

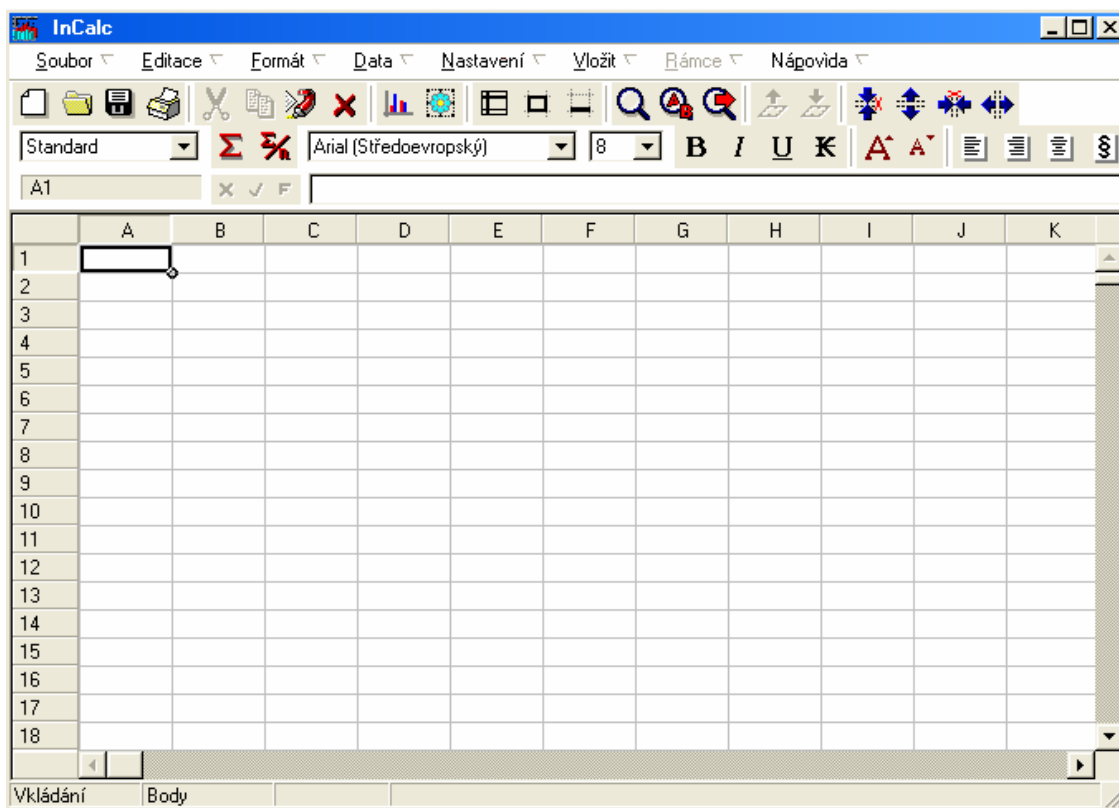
Virtuální přístroje využívající standardní, tj. *dvourozměrné* vykreslování, vždy samostatně zajišťují překreslení své plochy prostřednictvím GDI systému Windows. Mohou se tedy překreslit kdykoliv bez ohledu na ostatní komponenty a dokonce i na panel, na je-

hož ploše leží. A když se takové přístroje překrývají, věc se snadno řeší rozdělením překrytého přístroje na několik obdelníků a jejich postupným překreslením.

### 3.5 InCalc

InCalc je tabulkový kalkulátor pracující v prostředí průmyslového informačního systému Control Web. Je určen pro zpracovávání číselných dat a jejich zobrazování pomocí grafů. InCalc plně podporuje technologii dvOLE (Data view object link and embedding), která umožňuje jednoduché vkládání jakéhokoliv DataView a jeho jednoduchou editaci bez nutnosti přenášet data mezi různými aplikacemi.

Tabulka je tvořena buňkami uspořádanými do 256 sloupců označených kombinací písmen a 8192 řádků označenými příslušnými číslicemi. InCalc může pracovat ve dvou režimech: režim 2D (dvourozměrná tabulka) a režim 3D (trojrozměrná tabulka). Trojrozměrná tabulka může mít až 64 vrstev. Na disku se data ukládají s souboru s příponou tbw.



Obr. 16. Okno tabulkového procesoru InCalc

## 4 NÁVRH REGULÁTORŮ

Následující kapitola se zabývá popisem regulátorů aplikovaných pro řízení výše zmíněných procesů. Regulátor je systém, jehož výstup představuje takové změny akční veličiny  $u$ , které vedou v regulačním obvodu k odstranění regulační odchylky  $e$  v konečném časovém horizontu. Regulační odchylka je rozdíl mezi řídicí veličinou  $w$  a regulovanou veličinou  $y$ . V regulační odchylce se odráží jak změna požadované hodnoty regulované veličiny tak i změna regulované veličiny vlivem nejrůznějších poruch. Díky tomu regulátor realizuje dva úkoly současně. Základní úkol je potlačení poruch na regulovanou veličinu. A druhým neméně důležitým úkolem je sledování požadovaných změn řídicí veličiny [1].

V teorii automatického řízení se nejvíce používají dva základní typy regulačních obvodů. Jedná se o strukturu 1DOF a o strukturu 2DOF. Podstatný rozdíl je v typu regulátoru. Zatímco obvod struktury 1DOF obsahuje pouze jediný zpětnovazební regulátor, obvod struktury 2DOF má přímovazební část regulátoru zapojenou přímo na vstup žádané hodnoty a zpětnovazební část regulátoru ve zpětné vazbě.

### 4.1 Regulátor pro zkušebnu automobilových hadic

#### 4.1.1 Regulátory založené na metodě přiřazení pólů

V této metodě jsou parametry regulátoru závislé na koeficientech stabilních polynomů pravých stran polynomiálních rovnic a tedy kořenech těchto polynomů, které jsou současně póly přenosu uzavřeného regulačního obvodu [2]. Nevhodná volba pólů může vést až k nestabilnímu regulátoru (s nestabilním polynomem ve jmenovateli přenosu) nebo k záporným hodnotám koeficientů polynomu čitatele jeho přenosu, což při kladném zesílení řízeného objektu znamená existenci kladných zpětných vazeb v systému řízení.

#### Návrh regulačního obvodu PID – A

Návrh tohoto regulátoru vychází z obecného blokového schéma uzavřeného regulačního obvodu podle (Obr.17.), kde

$$G_P(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} \quad (5.1)$$

je diskrétní přenos regulované soustavy. V našem případě byla zvolena soustava druhého řádu s polynomy

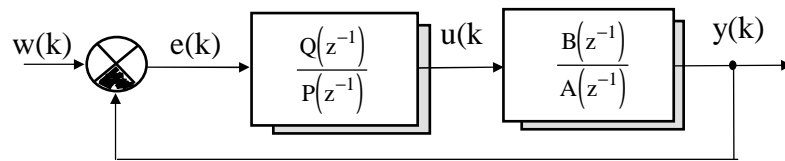
$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}; \quad B(z^{-1}) = b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} \quad (5.2)$$

Tento model se v praxi ukázal jako vhodný pro řadu různých řízených procesů

$$G_R(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{Q(z^{-1})}{P(z^{-1})} \quad (5.3)$$

je přenos regulátoru s polynomy

$$P(z^{-1}) = (1 - z^{-1})(1 + \gamma z^{-1}); \quad Q(z^{-1}) = q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2} \quad (5.4)$$



Obr. 17. Blokové schéma regulačního obvodu s regulátorem PID – A

Z rovnice (5.4) určíme operátorovou rovnici regulátoru ve tvaru

$$U(z) = \frac{Q(z^{-1})}{P(z^{-1})} E(z) \quad (5.5)$$

a po dosazení polynomů (5.4) do rovnice (5.5) obdržíme vztah pro výpočet akčního zásahu

$$u(k) = q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2) + (1 - \gamma)u(k-1) + \gamma u(k-2) \quad (5.6)$$

Pro přenos řízení uzavřeného regulačního obvodu podle (Obr. 17.) obdržíme vztah

$$G_W(z) = \frac{Y(z)}{W(z)} = \frac{B(z^{-1})Q(z^{-1})}{A(z^{-1})P(z^{-1}) + B(z^{-1})Q(z^{-1})} \quad (5.7)$$

kde ve jmenovateli (5.4) je charakteristický polynom. Volbou určujícího charakteristického polynomu

$$D(z^{-1}) = 1 + \sum_{i=1}^{n_d} d_i z^{-i}, n_d \leq 4 \quad (5.8)$$

v podmínkové rovnici polynomiální rovnici

$$A(z^{-1})P(z^{-1}) + B(z^{-1})Q(z^{-1}) = D(z^{-1}) \quad (5.9)$$

je zadáno předepsané rozložení pólů přenosové funkce (5.4). Toho dosáhneme vhodnou volbou parametrů polynomů regulátoru (5.1), které jsou řešením polynomiální rovnice (5.9).

### Regulátor PID - A1

Pro tuto strukturu regulátoru nadefinujeme charakteristický polynom s ohledem na požadavek na průběh přechodového děje spojitě soustavy 2. řádu. Požadované chování přechodového děje uzavřeného regulačního obvodu můžeme dosáhnout volbou vlastní kruhové frekvence  $\omega_n$  a poměrného tlumení  $\xi$  v charakteristické rovnici spojitě soustavy 2. řádu (2)

$$s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 = 0 \quad (5.10)$$

Jestliže volíme polynom  $D(z^{-1})$  ve tvaru

$$D(z^{-1}) = 1 + d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2} \quad (5.11)$$

potom pro periodu  $T_0$  lze odvodit následující vztahy pro výpočet jeho koeficientů

$$\begin{aligned} d_1 &= -2 \exp(-\xi\omega_n T_0) \cos(\omega_n T_0 \sqrt{1-\xi^2}); \quad \text{pro } \xi \leq 1 \\ d_1 &= -2 \exp(-\xi\omega_n T_0) \cosh(\omega_n T_0 \sqrt{1-\xi^2}); \quad \text{pro } \xi > 1 \\ d_2 &= \exp(-2\xi\omega_n T_0) \end{aligned} \quad (5.12)$$

Aby polynom (5.9) měl stabilní póly, musí platit  $\xi > 0$ ,  $\omega_n > 0$ . Poměrný koeficient tlumení  $\xi$  můžeme volit podle toho, zda je požadován nekmitavý, případně kmitavý průběh regulačního pochodu. Doporučují volit hodnotu vlastní kruhové frekvence tak, aby platila nerovnost  $0.45 \leq \omega_n T_0 \leq 0.90$ .

Dosadíme-li na pravou stranu rovnice (5.9) polynom (5.10) s parametry (5.11), obdržíme soustavu čtyř algebraických lineárních rovnic o čtyř neznámých, které můžeme zapsat v maticovém tvaru



$$\begin{bmatrix} b_1 & 0 & 0 & 1 \\ b_2 & b_1 & 0 & a_1 - 1 \\ 0 & b_2 & b_1 & a_2 - a_1 \\ 0 & 0 & b_2 & -a_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_0 \\ q_1 \\ q_2 \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

První matice na levé straně systému (5.13) je závislá pouze na parametrech regulované soustavy, vedlejší vektor obsahuje neznámé parametry navrženého regulátoru, které jsou řešením systému (5.13) a vektor na pravé straně závisí na počtu pólů  $n_d$  a jejich rozložení v komplexní rovině. V tomto případě jsou složky vektoru pravé strany dány vztahy

$$x_1 = d_1 + 1 - a_1; x_2 = d_2 + a_1 - a_2; x_3 = a_2; x_4 = 0 \quad (5.14)$$

## 4.2 Regulátory pro zkušební komoru pro vyzrávání betonových vzorků

### 4.3 Použité modely řízených procesů

Dynamické chování mnohazměrového procesu může být popsáno modelem ve formě maticového zlomku

$$\mathbf{Y}(z) = \mathbf{G}(z)\mathbf{U}(z) = \mathbf{A}^{-1}(z^{-1})\mathbf{B}(z^{-1}) = \mathbf{B}_1(z^{-1})\mathbf{A}_1^{-1}(z^{-1}) \quad (5.15)$$

Kde polynomiální matice  $\mathbf{A} \in R_{22}[z^{-1}]$ ,  $\mathbf{B} \in R_{22}[z^{-1}]$  jsou levým nesoudělným rozkladem přenosové matice  $\mathbf{G}(z)$  a matice  $\mathbf{A}_1 \in R_{22}[z^{-1}]$ ,  $\mathbf{B}_1 \in R_{22}[z^{-1}]$  jsou pravým nesoudělným rozkladem  $\mathbf{G}(z)$ .  $\mathbf{U}(z)$  je vektor akčních veličin a  $\mathbf{Y}(z)$  je vektor regulovaných veličin.

Použité regulátory jsou založeny na modelu s polynomy druhého stupně. Tento model se ukázal jako vhodný při řízení několika laboratorních procesů [8], [9] kde regulátory založené na modelu s polynomy prvního stupně selhaly. Model s polynomy vyššího řádu než druhého vede k poměrně složitému výpočtu parametrů regulátoru a řídicího zákona. Model má šestnáct parametrů.

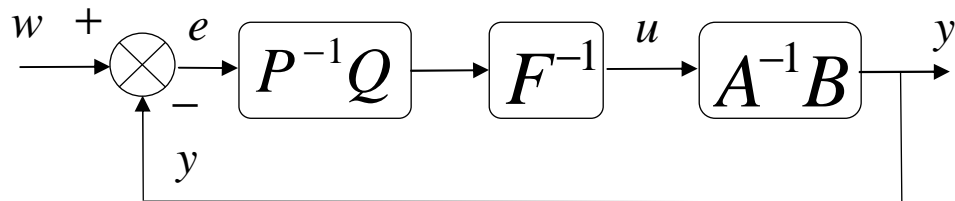
$$\mathbf{A}(z^{-1}) = \begin{bmatrix} 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} & a_3 z^{-1} + a_4 z^{-2} \\ a_5 z^{-1} + a_6 z^{-2} & 1 + a_7 z^{-1} + a_8 z^{-2} \end{bmatrix} \quad (5.16)$$

$$\mathbf{B}(z^{-1}) = \begin{bmatrix} b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} & b_3 z^{-1} + b_4 z^{-2} \\ b_5 z^{-1} + b_6 z^{-2} & b_7 z^{-1} + b_8 z^{-2} \end{bmatrix} \quad (5.17)$$

Algoritmy použitých regulátorů jsou založeny na polynomiálních metodách [7].

#### 4.3.1 Návrh algoritmu regulátoru 1DOF

1DOF konfigurace je zobrazena na (Obr. 18.)



Obr. 18. Schéma konfigurace 1DOF

Obsahuje jeden zpětnovazební regulátor. Stejně jako u řízeného systému, přenosová matice regulátoru může být zapsána ve formě maticového zlomku:

$$\mathbf{G}_R(z) = \mathbf{P}^{-1}(z^{-1})\mathbf{Q}(z^{-1}) = \mathbf{Q}_1(z^{-1})\mathbf{P}_1^{-1}(z^{-1}) \quad (5.18)$$

Vektor žádaných veličin  $W(z^{-1})$  je obecně definován jako:

$$\mathbf{W}(z) = \mathbf{F}_w^{-1}(z^{-1})\mathbf{h}(z^{-1}) \quad (5.19)$$

Referenční signály jsou předpokládány ze třídy skokových funkcí. V tomto případě je  $\mathbf{h}(z^{-1})$  vektor konstant a  $\mathbf{F}_w(z^{-1})$  nabývá tvaru

$$\mathbf{F}_w(z^{-1}) = \begin{bmatrix} 1 - z^{-1} & 0 \\ 0 & 1 - z^{-1} \end{bmatrix} \quad (5.20)$$

Kompenzátor  $\mathbf{F}(z^{-1})$  je z regulátoru vyčleněn pouze formálně. Tento komponent musí být součástí regulátoru, aby byl splněn požadavek na asymptotické sledování referenčního signálu. Jestliže jsou referenční signály ze třídy skokových funkcí,  $\mathbf{F}(z^{-1})$  je integrátor.

Z blokového schématu (Obr. 18.) vyplývá řídicí zákon (operátor  $z^{-1}$  bude kvůli zjednodušení v dalších rovnicích vynechán):

$$\mathbf{U} = \mathbf{F}^{-1}\mathbf{Q}_1\mathbf{P}_1^{-1}\mathbf{E} \quad (5.21)$$

Pro výstup systému platí maticová rovnice:

$$Y = A^{-1}BF^{-1}P^{-1}QE = A^{-1}BF^{-1}P^{-1}Q(W - Y) \quad (5.22)$$

Kterou je možno s využitím pravého maticového zlomku regulátoru postupně upravit do tvaru:

$$Y = P_1(AFP_1 + BQ_1)^{-1}BQ_1P_1^{-1}W \quad (5.23)$$

Je zřejmé, že prvky vektoru výstupní veličiny mají ve jmenovateli determinant matice  $AFP_1 + BQ_1$ . Tento determinant je charakteristickým polynomem mnohazměrového regulačního obvodu. Kořeny tohoto polynomu mají rozhodující vliv na chování uzavřené smyčky. Musí být umístěny uvnitř jednotkové kružnice, aby byl systém stabilní. Podmínku stability můžeme tedy definovat pomocí následující diofantické rovnice:

$$AF P_1 + BQ_1 = M \quad (5.24)$$

Kde  $M \in R_{22}[z^{-1}]$  je stabilní diagonální polynomiální matice:

$$M(z^{-1}) = \begin{bmatrix} 1 + m_1 z^{-1} + m_2 z^{-2} + m_3 z^{-3} + m_4 z^{-4} & 0 \\ 0 & 1 + m_1 z^{-1} + m_2 z^{-2} + m_3 z^{-3} + m_4 z^{-4} \end{bmatrix} \quad (5.25)$$

Stupně polynomů v maticích regulátoru musí být zvoleny tak, aby regulační obvod byl vnitřně ryzí. Struktura matic  $P_1$  a  $Q_1$  byla zvolena tak, aby se počet neznámých parametrů regulátoru shodoval s počtem algebraických rovnic plynoucích z řešení diofantické rovnice metodou neurčitých koeficientů. Matice regulátoru byly tedy zvoleny ve tvaru:

$$P_1(z^{-1}) = \begin{bmatrix} 1 + p_1 z^{-1} & p_2 z^{-1} \\ p_3 z^{-1} & 1 + p_4 z^{-1} \end{bmatrix} \quad (5.26)$$

$$Q_1(z^{-1}) = \begin{bmatrix} q_1 + q_2 z^{-1} + q_3 z^{-2} & q_4 + q_5 z^{-1} + q_6 z^{-2} \\ q_7 + q_8 z^{-1} + q_9 z^{-2} & q_{10} + q_{11} z^{-1} + q_{12} z^{-2} \end{bmatrix} \quad (5.27)$$

Z řešení diofantické rovnice vyplývá šestnáct algebraických rovnic, ve kterých vystupují jako neznámé parametry regulátoru. Maticově je možno tyto algebraické rovnice vyjádřit jako:

$$\begin{bmatrix} -a_2 & -a_4 & 0 & 0 & b_2 & 0 & 0 & b_4 \\ a_2 - a_1 & a_4 - a_3 & 0 & b_2 & b_1 & 0 & b_4 & b_3 \\ a_1 - 1 & a_3 & b_2 & b_1 & 0 & b_4 & b_3 & 0 \\ 1 & 0 & b_1 & 0 & 0 & b_3 & 0 & 0 \\ -a_6 & -a_8 & 0 & 0 & b_6 & 0 & 0 & b_8 \\ a_6 - a_5 & a_8 - a_7 & 0 & b_6 & b_5 & 0 & b_8 & b_7 \\ a_5 & a_7 - 1 & b_6 & b_5 & 0 & b_8 & b_7 & 0 \\ 0 & 1 & b_5 & 0 & 0 & b_7 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_3 \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_7 \\ q_8 \\ q_9 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_4 \\ m_3 + a_2 \\ m_2 - a_2 + a_1 \\ m_1 - a_1 + 1 \\ 0 \\ a_6 \\ a_5 - a_6 \\ -a_5 \end{bmatrix} \quad (5.28)$$

$$\begin{bmatrix} -a_2 & -a_4 & 0 & 0 & b_2 & 0 & 0 & b_4 \\ a_2 - a_1 & a_4 - a_3 & 0 & b_2 & b_1 & 0 & b_4 & b_3 \\ a_1 - 1 & a_3 & b_2 & b_1 & 0 & b_4 & b_3 & 0 \\ 1 & 0 & b_1 & 0 & 0 & b_3 & 0 & 0 \\ -a_6 & -a_8 & 0 & 0 & b_6 & 0 & 0 & b_8 \\ a_6 - a_5 & a_8 - a_7 & 0 & b_6 & b_5 & 0 & b_8 & b_7 \\ a_5 & a_7 - 1 & b_6 & b_5 & 0 & b_8 & b_7 & 0 \\ 0 & 1 & b_5 & 0 & 0 & b_7 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_2 \\ p_4 \\ q_5 \\ q_6 \\ q_7 \\ q_{10} \\ q_{11} \\ q_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ a_4 \\ a_3 - a_4 \\ -a_3 \\ m_4 \\ m_3 + m_4 \\ m_2 - a_4 + a_7 \\ m_1 - a_3 + 1 \end{bmatrix} \quad (5.29)$$

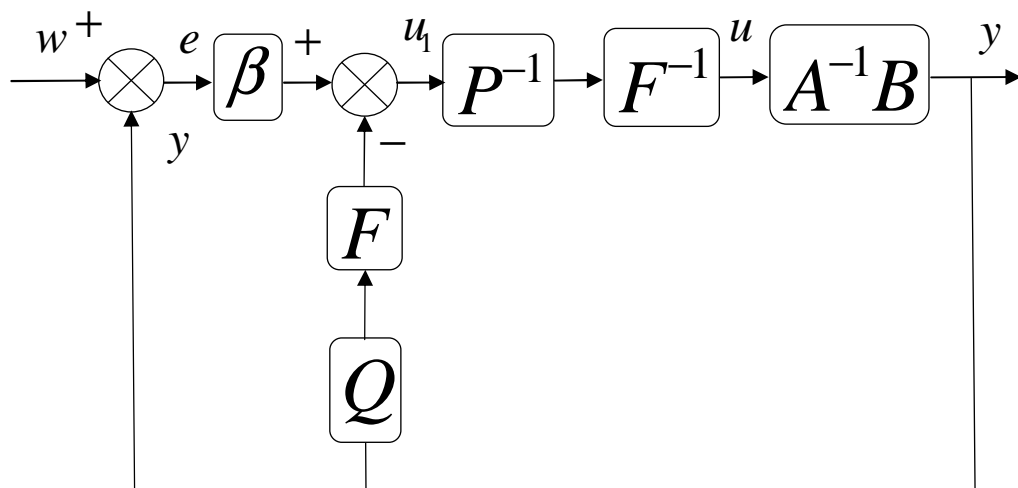
Parametry regulátoru jsou dány řešením těchto rovnic

$$\begin{aligned}
 -a_2 p_1 - a_4 p_3 + b_2 q_3 + b_4 q_9 &= m_4 \\
 (a_2 - a_1) p_1 + (a_4 - a_3) p_3 + b_2 q_2 + b_1 q_3 + b_4 q_8 + b_3 q_9 &= m_3 + a_2 \\
 (a_1 - 1) p_1 + a_3 p_3 + b_2 q_1 + b_1 q_2 + b_4 q_7 + b_3 q_8 &= m_2 - a_2 + a_1 \\
 p_1 + b_1 q_1 + b_3 q_7 &= m_1 - a_1 + 1 \\
 -a_6 p_1 - a_8 p_3 + b_6 q_3 + b_8 q_9 &= 0 \\
 (a_6 - a_5) p_1 + (a_8 - a_7) p_3 + b_6 q_2 + b_5 q_3 + b_8 q_8 + b_7 q_9 &= a_6 \\
 a_5 p_1 + (a_7 - 1) p_3 + b_6 q_1 + b_5 q_2 + b_8 q_7 + b_7 q_8 &= -a_6 + a_5 \\
 p_3 + b_5 q_1 + b_7 q_7 &= -a_5
 \end{aligned} \quad (5.30)$$

$$\begin{aligned}
 -a_2 p_2 - a_4 p_4 + b_2 q_6 + b_4 q_{12} &= 0 \\
 (a_2 - a_1) p_2 + (a_4 - a_3) p_4 + b_2 q_5 + b_1 q_6 + b_4 q_{11} + b_3 q_{12} &= a_4 \\
 (a_1 - 1) p_2 + a_3 p_4 + b_2 q_{41} + b_1 q_5 + b_4 q_{10} + b_3 q_{11} &= -a_4 + a_3 \\
 p_2 + b_1 q_4 + b_3 q_{10} &= -a_3 \\
 -a_6 p_2 - a_8 p_4 + b_6 q_6 + b_8 q_{12} &= m_4 \\
 (a_6 - a_5) p_2 + (a_8 - a_7) p_4 + b_6 q_5 + b_5 q_6 + b_8 q_{11} + b_7 q_{12} &= m_3 + a_8 \\
 a_5 p_2 + (a_7 - 1) p_4 + b_6 q_4 + b_5 q_5 + b_8 q_{10} + b_7 q_{11} &= m_2 - a_8 + a_7 \\
 p_4 + b_5 q_4 + b_7 q_{10} &= m_1 - a_7 + 1
 \end{aligned} \tag{5.31}$$

### 4.3.2 Regulátor se strukturou 2DOF

2DOF – B konfigurace je zobrazena na (Obr.19.)



Obr. 19. Schéma konfigurace 2DOF - B

Tato struktura obsahuje dvě zpětné vazby. Ze schématu plyne maticová rovnice pro výstup ze soustavy:

$$Y = A^{-1}BU = A^{-1}BF^{-1}P^{-1}U_1 \tag{5.32}$$

kde

$$U_1 = \beta(W - Y) - QFY \tag{5.33}$$

Pro výstup z regulátoru platí vztah:

$$U = F^{-1}P^{-1}U_1 \quad (5.34)$$

Po dosazení za  $U_1$  a  $Y$ :

$$U = F^{-1}P^{-1}[\beta(W - A^{-1}BU) - QFA^{-1}BU] \quad (5.35)$$

Rovnice (5.29) může být s využitím pravého maticového zlomku řízeného systému upravena do tvaru:

$$U = A_1[PA_1 + (\beta + FQ)B_1]\beta W \quad (5.36)$$

Regulační obvod je stabilní, jestliže je splněna diofantická rovnice:

$$PA_1 + (\beta + FQ)B_1 = M \quad (5.37)$$

Matice  $M$  je definována

$$M(z^{-1}) = \begin{bmatrix} 1 + m_1z^{-1} + m_2z^{-2} + m_3z^{-3} + m_4z^{-4} & 0 \\ 0 & 1 + m_5z^{-1} + m_6z^{-2} + m_7z^{-3} + m_8z^{-4} \end{bmatrix} \quad (5.38)$$

struktura matic regulátoru byla zvolena podle stejných pravidel jako v předchozích případech následovně:

$$P(z^{-1}) = \begin{bmatrix} 1 + p_1z^{-1} & p_2z^{-1} \\ p_3z^{-1} & 1 + p_4z^{-1} \end{bmatrix} \quad Q(z^{-1}) = \begin{bmatrix} q_1 + q_2z^{-1} & q_3 + q_4z^{-1} \\ q_5 + q_6z^{-1} & q_7 + q_8z^{-1} \end{bmatrix} \quad (5.39)$$

$$\beta(z^{-1}) = \begin{bmatrix} \beta_1 & \beta_2 \\ \beta_3 & \beta_4 \end{bmatrix} \quad (5.40)$$

Hodnoty parametrů regulátoru jsou výsledkem řešení diofantické rovnice (5.31). Užití metody neurčitých koeficientů definuje soustavu algebraických rovnic, kterou můžeme opět zapsat v maticovém tvaru:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & b_9 & 0 & b_{13} & 0 & b_9 & b_{13} \\ a_9 - 1 & a_{13} & b_{10} - b_9 & b_9 & b_{14} - b_{13} & b_{13} & b_{10} & b_{14} \\ a_{10} - a_9 & a_{14} - a_{13} & -b_{10} & b_{10} - b_9 & -b_{14} & b_{14} - b_{13} & 0 & 0 \\ -a_{10} & -a_{14} & 0 & -b_{10} & 0 & -b_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 1 & b_{11} & 0 & b_{15} & 0 & b_{11} & b_{15} \\ a_{11} & a_{15} - 1 & b_{12} - b_{11} & b_{11} & b_{16} - b_{15} & b_{15} & b_{12} & b_{16} \\ a_{12} - a_{11} & a_{16} - a_{15} & -b_{12} & b_{12} - b_{11} & -b_{16} & b_{16} - b_{15} & 0 & 0 \\ -a_{12} & -a_{16} & 0 & -b_{12} & 0 & -b_{16} & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_1 - a_9 + 1 \\ m_2 + a_9 - a_{10} \\ m_3 + a_{10} \\ m_4 \\ -a_{11} \\ a_{11} - a_{12} \\ a_{12} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5.41)$$

$$\begin{bmatrix}
 1 & 0 & b_9 & 0 & b_{13} & 0 & b_9 & b_{13} & p_3 \\
 a_9 - 1 & a_{13} & b_{10} - b_9 & b_9 & b_{14} - b_{13} & b_{13} & b_{10} & b_{14} & p_4 \\
 a_{10} - a_9 & a_{14} - a_{13} & -b_{10} & b_{10} - b_9 & -b_{14} & b_{14} - b_{13} & 0 & 0 & q_5 \\
 -a_{10} & -a_{14} & 0 & -b_{10} & 0 & -b_{14} & 0 & 0 & q_6 \\
 0 & 1 & b_{11} & 0 & b_{15} & 0 & b_{11} & b_{15} & q_7 \\
 a_{11} & a_{15} - 1 & b_{12} - b_{11} & b_{11} & b_{16} - b_{15} & b_{15} & b_{12} & b_{16} & q_8 \\
 a_{12} - a_{11} & a_{16} - a_{15} & -b_{12} & b_{12} - b_{11} & -b_{16} & b_{16} - b_{15} & 0 & 0 & \beta_3 \\
 -a_{12} & -a_{16} & 0 & -b_{12} & 0 & -b_{16} & 0 & 0 & \beta_4
 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix}
 -a_{13} \\
 a_{13} - a_{14} \\
 a_{14} \\
 0 \\
 m_5 - a_{15} + 1 \\
 m_6 + a_{15} - a_{16} \\
 m_7 + a_{16} \\
 m_8
 \end{bmatrix} \quad (5.42)$$

## 5 IDENTIFIKACE

Regulátory aplikované pro řízení obou zařízení byly realizovány jako samočinně se nastavující [2],[4] s průběžnou identifikací parametrů modelu procesu. Řízené procesy vykazují nelineární charakter. Použití samočinně se nastavujících regulátorů je metodou vhodnou pro řízení takových systémů. Parametry těchto regulátorů se během identifikace mění v závislosti na identifikaci soustavy. V každém kroku se rekurzivně aktualizují odhady parametrů soustavy. Tyto regulátory se nazývají STC založené na principu explicitní (nepřímé) identifikace. Následující kapitola bude věnována popisu použité metody průběžné identifikace. Identifikací se rozumí proces ztotožňování našich poznatků a vědomostí o zkoumaném objektu. Jedná se tedy o poznávací proces, který si je možno představit jako orientovanou interakci mezi poznávaným objektem a poznávacím subjektem. Výsledkem poznávacího procesu je určité relativní poznání. Kvalitní a přesná identifikace je základem pro návrh regulátoru a regulačního obvodu.

### 5.1 Jednorázová metoda nejmenších čtverců

Metoda nejmenších čtverců patří mezi metody regresní analýzy, které jsou vhodné pro vyšetřování statických i dynamických vztahů mezi veličinami ve vyšetřovaném objektu [4]. Uvažujeme jednorozměrový stochastický proces popsany modelem ARX, kde pro vektor parametrů a vektor dat předpokládáme  $\deg a = \deg b = n$ .

$$A(z^{-1})y = B(z^{-1})u + n_s \quad (5.1)$$

kde  $n_s$  je neměřitelná náhodná složka. Regresní model ARX se často zapisuje v kompaktní vektorové formě

$$y(k) = \Theta^T(k)\phi(k-1) + n_s(k) \quad (5.2)$$

$$\text{Vektor parametrů: } \Theta^T(k) = [a_1, a_2, \dots, a_{na}, b_1, b_2, \dots, b_{nb}, d_1, d_2, \dots, d_{nd}] \quad (5.3)$$

Vektor dat:

$$\phi^T(k-1) = [-y(k-1), -y(k-2), \dots, -y(k-n), u(k-1), u(k-2), \dots, u(k-n)] \quad (5.4)$$

Potom generování výstupní veličiny  $y(k)$  v jednotlivých časových okamžicích můžeme vyjádřit maticovou rovnicí

$$y = F\Theta + e \quad (5.5)$$



kde matice  $F$  o rozměru  $(N-n, 2n)$  má tvar

$$F = \begin{bmatrix} -y(n) & -y(n-1) & \dots & -y(1) & u(n) & u(n-1) & \dots & u(1) \\ -y(n+1) & -y(n) & \dots & -y(2) & u(n+1) & u(n) & \dots & u(2) \\ \vdots & & & & & & & \vdots \\ -y(N-1) & -y(N-2) & \dots & -y(N-n) & u(N-1) & u(N-2) & \dots & u(N-n) \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

a vektor  $y$  o rozměru  $(N-n)$  má tvar

$$y^T = [y(n+1), y(n+2), \dots, y(N)] \quad (5.7)$$

kde  $N$  je počet souborů naměřených vstupních a výstupních dat.

Z rovnice (5.1) pak můžeme určit chybu:

$$\hat{e} = y - F\hat{\Theta} \quad (5.8)$$

a zavedeme kritérium:

$$J_R = \hat{e}^T \hat{e} \quad (5.9)$$

minimum získáme když první derivaci rovnice (5.5) podle vektoru parametrů položíme rovnu 0, tj.

$$\left. \frac{\partial J}{\partial \Theta} \right|_{\Theta = \hat{\Theta}} = 0 \quad (5.10)$$

Řešením této rovnice získáme základní maticový tvar pro odhad parametrů modelu metodou nejmenších čtverců ve tvar

$$\hat{\Theta} = (F^T F)^{-1} F^T y \quad (5.11)$$

vztah (5.7) pak slouží pro jednorázový výpočet odhadů parametrů modelu procesu s použitím  $N$  souborů naměřených dat.

## 5.2 Průběžná identifikace rekurzivní metodou nejmenších čtverců

Pro použití samočinně se nastavujícího regulátoru není možné použít pro výpočet odhadů parametrů modelu procesu klasickou verzi ARX modelu, ale musíme použít jeho rekurzivní verzi vhodnou pro identifikaci v reálném čase [4]. Při této modifikaci se používají nově naměřené hodnoty pouze pro opravu (korekci) původních odhadů, čímž klesá výpočetní

složitost identifikačních algoritmů. Rekurzivní algoritmy umožňují sledovat změny vlastností (parametrů) procesu v reálném čase, a proto jsou základem samočinně se nastavujících regulátorů.

Nechť lineární jednorozměrový stochastický model je popsán modelem ARX. O neměřitelné náhodné složce  $e_s(k)$  předpokládáme, že je posloupností vzájemně nekorelované náhodné veličiny a rovněž nekorelované se vstupem a výstupem procesu. Dále předpokládáme, že náhodná veličina má nulovou střední hodnotu a konstantní kovarianci (rozptyl). Výhodou rekurzivní metody nejmenších čtverců je ta skutečnost, že potřebuje nejmenší objem apriorních informací o náhodné složce  $e_s(k)$ .

Naším úkolem je průběžně odhadovat neznámé parametry  $\Theta$  modelu na základě vstupů a výstupů k časovému okamžiku  $k$ ,  $\{y(i), u(i), i = k, k - 1, k - 2, \dots, k_0\}$  ( $k_0$  je počáteční čas identifikace). Hledáme takový vektor  $\hat{\Theta}$  o rozměru  $nz = 2n$ , který minimalizuje kritérium

$$J_k(\Theta) = \sum_{i=k_0}^k e_s^2(i) \quad (5.12)$$

kde

$$e_s(i) = y(i) - \Theta^T \phi(i) = \begin{bmatrix} 1 & -\Theta^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y(i) \\ \phi(i) \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

Jestliže požadujeme, aby algoritmus byl schopen sledovat pomalé změny parametrů identifikovaného procesu, můžeme toho dosáhnout technikou exponenciálního zapomínání. Potom minimalizujeme modifikované kritérium

$$J_k(\Theta) = \sum_{i=k_0}^k \varphi^{2(k-i)} e_s^2(i) \quad (5.14)$$

kde  $0 < \varphi^2 \leq 1$  je faktor exponenciálního zapomínání.

V této práci je využit algoritmus směrového zapomínání [6], kdy se standardní exponenciální zapomínání aplikuje pouze na data přinášející novou informaci [4]. Vektor odhadu parametrů se aktualizuje podle rekurzivního vztahu

$$\hat{\Theta}(k) = \hat{\Theta}(k-1) + \frac{\mathbf{C}(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k-1)}{1 + \xi(k-1)} \hat{e}(k-1) \quad (5.15)$$

kde

$$\xi(k) = \boldsymbol{\varphi}^T(k-1)\mathbf{C}(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k-1) \quad (5.16)$$

je pomocný skalár a

$$\hat{e}(k) = y(k) - \hat{\Theta}^T(k)\varphi(k-1) \quad (5.17)$$

je chyba predikce. Jestliže  $\xi(k) > 0$ , potom čtvercová kovarianční matice o rozměru  $n \times n$  je aktualizována podle vztahu

$$\mathbf{C}(k) = \mathbf{C}(k-1) - \frac{\mathbf{C}(k-1)\varphi(k-1)\varphi^T(k-1)\mathbf{C}(k-1)}{\varepsilon^{-1}(k) + \xi(k-1)} \quad (5.18)$$

kde

$$\varepsilon(k) = \varphi(k) - \frac{1 - \varphi(k)}{\xi(k-1)} \quad (5.19)$$

Jestliže  $\xi(k-1) = 0$ , potom

$$\mathbf{C}(k) = \mathbf{C}(k-1) \quad (5.20)$$

Hodnota adaptivního směrového zapomínání  $\varphi(k)$  je potom počítána v každé periodě vzorkování podle vztahu

$$\varphi(k) = \left\{ 1 + (1 + \rho) [\ln(1 + \xi(k-1))] + \left[ \frac{(\nu(k-1) + 1)\eta(k-1)}{1 + \xi(k-1) + \eta(k-1)} - 1 \right] \frac{\xi(k-1)}{1 + \xi(k-1)} \right\}^{-1} \quad (5.21)$$

kde

$$\eta(k) = \frac{\hat{e}^2(k)}{\lambda(k)} \quad \nu(k) = \varphi(k)[(\nu(k-1) + 1)] \quad (5.22)$$

$$\lambda(k) = \varphi(k) \left[ \lambda(k-1) + \frac{\hat{e}^2(k-1)}{1 + \xi(k-1)} \right] \quad (5.23)$$

jsou pomocné proměnné. Pro start algoritmu se osvědčilo vhodné zvolit následující počáteční podmínky: Prvky hlavní diagonály kovarianční matice  $C_{ii}(0) = 10^3$ , počáteční hodnota faktoru směrového zapomínání  $\varphi(0) = 1$ ,  $\lambda(0) = 0.001$ ,  $\nu(0) = 10^{-6}$ ,  $\rho = 0.99$ . Volba počátečních odhadů vektoru parametrů  $\hat{\Theta}(0)$  byla u jednotlivých experimentů provedena buď s apriorní informací nebo bez ní.

### 5.2.1 Modifikace průběžné identifikace pro dvourozměrový regulátor

V případě použití systému se dvěma vstupy a dvěma výstupy se bude identifikovat celkem šestnáct neznámých parametrů modelu ARX .

$$\begin{aligned} y_1(k) &= \Theta_1^T(k)\phi(k-1) + n_1(k) \\ y_2(k) &= \Theta_2^T(k)\phi(k-1) + n_2(k) \end{aligned} \quad (5.24)$$

Máme tedy dva vektory parametrů diskrétního modelu o rozměru  $n = 8$ .

$$\Theta_1^T(k) = [a_1, a_2, a_3, a_4, b_1, b_2, b_3, b_4] \quad (5.25)$$

$$\Theta_2^T(k) = [a_5, a_6, a_7, a_8, b_5, b_6, b_7, b_8] \quad (5.26)$$

Vektor dat pak plníme následujícím způsobem

$$\begin{aligned} \phi^T(k-1) &= [-y_1(k-1), -y_1(k-2), -y_2(k-1), -y_2(k-2), \\ &u_1(k-1), u_1(k-2), u_2(k-1), u_2(k-2)] \end{aligned} \quad (5.27)$$

Aktualizace odhadu vektoru parametrů pak probíhá podle vztahu.

$$\Theta_{1,2}^T(k) = \Theta_{1,2}^T(k-1) + \frac{\mathbf{C}(k-1)\phi(k)}{1 + \phi^T(k)\mathbf{C}(k-1)\phi(k)} (y(k) - \Theta_{1,2}^T(k-1)\phi^T(k)) \quad (5.28)$$

## 6 KVADRATICKÁ KRITÉRIA KVALITY REGULACE

Kriterii kvality regulace jsou rozptyly akční a regulované veličiny. Rozptyly charakterizují odchylky veličin od jejich středních hodnot, základem je sumace kvadrátů regulační odchylky  $e(k) = w(k) - y(k)$  a přírůstků akční veličiny  $\Delta u(k) = u(k) - u(k-1)$  podle vztahů

$$S_e = \frac{1}{k_2 - k_1 + 1} \sum_{k=k_1}^{k_2} e^2(k) \quad S_u = \frac{1}{k_2 - k_1 + 1} \sum_{k=k_1}^{k_2} \Delta u^2(k) \quad (6.1)$$

kde  $\langle k_1, k_2 \rangle$  je zvolený interval pro určení kvality regulace.

## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 7 PROPOJENÍ ZKUŠEBNÝ AUTOMOBILOVÝ HADIC K PC

Prostředníkem při komunikaci mezi zkušebním zařízením a PC je zde modulární jednotka průmyslových vstupů a výstupů s názvem DATALAB IO/USB od firmy Moravské přístroje. Jednotka je k PC připojena pomocí rozhraní USB. Do jednotky jsou připojeny výstupní řídicí signály pro ovládnání hydrauliky a dále vstupní signál hodnoty tlaku v okruhu. Mezi výstupní signály patří analogový signál určující otevření proporcionálního ventilu, binární signál pro sepnutí čerpadla hydrauliky, binární signál pro sepnutí PLC, binární signál pro invertování proporcionálního ventilu a také binární signál pro ovládnání elektromagnetického ventilu. Z důvodu ovládnání proporcionálního ventilu proudovým signálem je zde převodník, který převádí výstupní napěťový signál na proudový signál.

*Tab. 1. Zapojení vstupů a výstupů u jednotky Datalab*

Modul	Číslo vstupu / výstupu	Reservace
DO1	1	Inverze proporcionálního ventilu
DO1	2	Spínání PLC
DO1	3	Spínání elektromagnetického ventilu
DO1	4	Spínání čerpadla
AO1	1	Ovládnání proporcionálního ventilu
AI1	1	Signál z tlakového senzoru

### 7.1 Popis jednotky DATALAB IO/USB

Toto zařízení představuje novou generaci vstupně/výstupních jednotek pro průmyslové použití. Koncepce jednotek je důsledně modulární. Každá jednotka má 4 pozice, do kterých lze zasunout vstupně/výstupní moduly podle potřeb aplikace. Lze tak libovolně kombinovat moduly pro 8 logických vstupů s moduly obsahujícími 8 logických výstupů ať již s relé či výstupními tranzistory s otevřeným kolektorem. K dispozici jsou i moduly přesných 16-

bitových analogových vstupů a množina I/O modulů není uzavřena a další typy modulů přibývají. DataLab má 4 sloty pro moduly označené písmeny A,B,C,D.

Označení slotů je pouze orientační a na funkci jednotky nemá vliv. Je zcela lhostejné, který modul je ve kterém slotu. Jednotka moduly automaticky rozpozná a přizpůsobí se okamžité konfiguraci.

### CPU Modul

Procesorová jednotka obsahuje USB rozhraní, napájecí konektor a 4 sloty pro vstupně/výstupní moduly. CPU modul je umístěn v robustní kovové skřínce. Tato jednotka je základní součástí modulárního systému.

### Modul reléových výstupů DO1

Modul obsahuje 8 reléových spínacích kontaktů. Výstupy jsou navzájem galvanicky odděleny. Sepnutý výstup je indikován LED. Mezní kmitočet cyklu (sepnutí-rozepnutí) je dán konstrukcí relé. Teoreticky je tento kmitočet max. 50 Hz. S ohledem na životnost kontaktu však budou prakticky používány mnohem nižší hodnoty. Doba komunikace mezi jednotkou DataLab IO/USB a nadřazeným počítačem je zanedbatelná—typicky 3 ms.

### Modul analogových vstupů AI2

Modul DL-AI2 obsahuje osm diferenčních analogových vstupů. Pomocí propojek lze nastavit každý vstup zvlášť pro napěťový nebo proudový signál. Indikační LED č. 1 signalizuje přítomnost napájecího napětí modulu. Modul AI2 umožňuje nejen nastavovat rozsahy jednotlivých vstupů, ale i vypínat jejich měření. Modul je schopen poskytnout nová data s frekvencí 50 Hz (50 vzorků za sekundu) na jeden kanál.

### Modul analogových výstupů AO0

Modul analogových výstupů má 8 napěťových výstupních kanálů v rozsahu 0 až 10V.

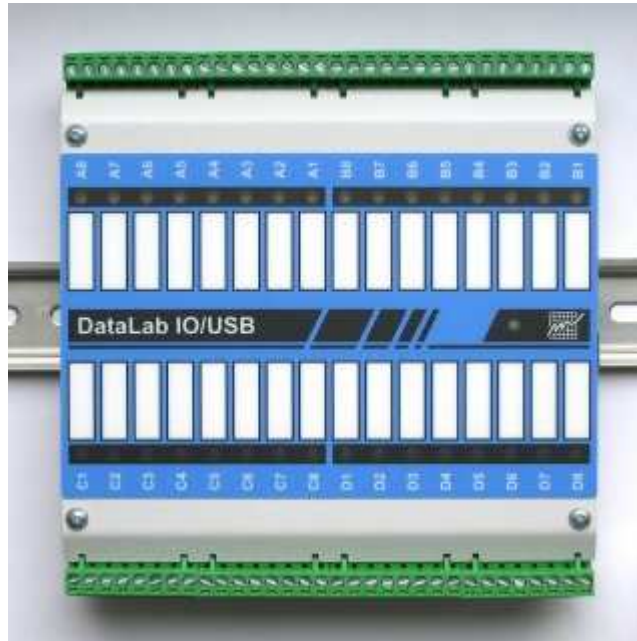
Čtyři kanály je možné pomocí propojek na desce přepnout do režimu proudových výstupů s rozsahy 0 až 20 mA. Mezní vzorkovací kmitočet 250 Hz je limitován rychlostí komunikace mezi jednotkou DataLab IO/USB a nadřazeným počítačem.

### Modul digitálních vstupů DI1

Modul DL-DI1 obsahuje 8 galvanicky navzájem oddělených digitálních vstupů. Logická



jednička vstupu je indikována LED. Mezní vzorkovací kmitočet je dán dobou komunikace mezi jednotkou DataLab IO/USB a nadřazeným počítačem. Doba jediné komunikace je kolem 4ms., tedy vzorkovací frekvence je asi 250 Hz.



Obr. 20. Modulární jednotka DataLab IO/USB

## 7.2 Spojení ControlWebu s DataLabem

Do programového prostředí programu ControlWeb byl implementován ovladač zařízení DataLab IO/USB. Úkolem ovladače je propojení aplikace s konkrétními vstupy a výstupy zařízení. Ovladač dostává požadavky na čtení nebo zápis dat pomocí kanálů. Proto bylo nutné vytvořit odpovídající kanály. Při instalaci ovladače bylo nutno nahrát do programu parametrický a mapovací soubor ovladače. V parametrickém souboru *datalab usb.par* je nastavení komunikace se vstupně/výstupním zařízením a mapování kanálů do paměti vstupně / výstupního zařízení. V mapovacím souboru *datalab usb.dmf* je uložena informace o typu a směru všech kanálů spojených s ovladačem.

Tab. 2. Názvy a popis kanálů definovaných v aplikaci ControlWebu

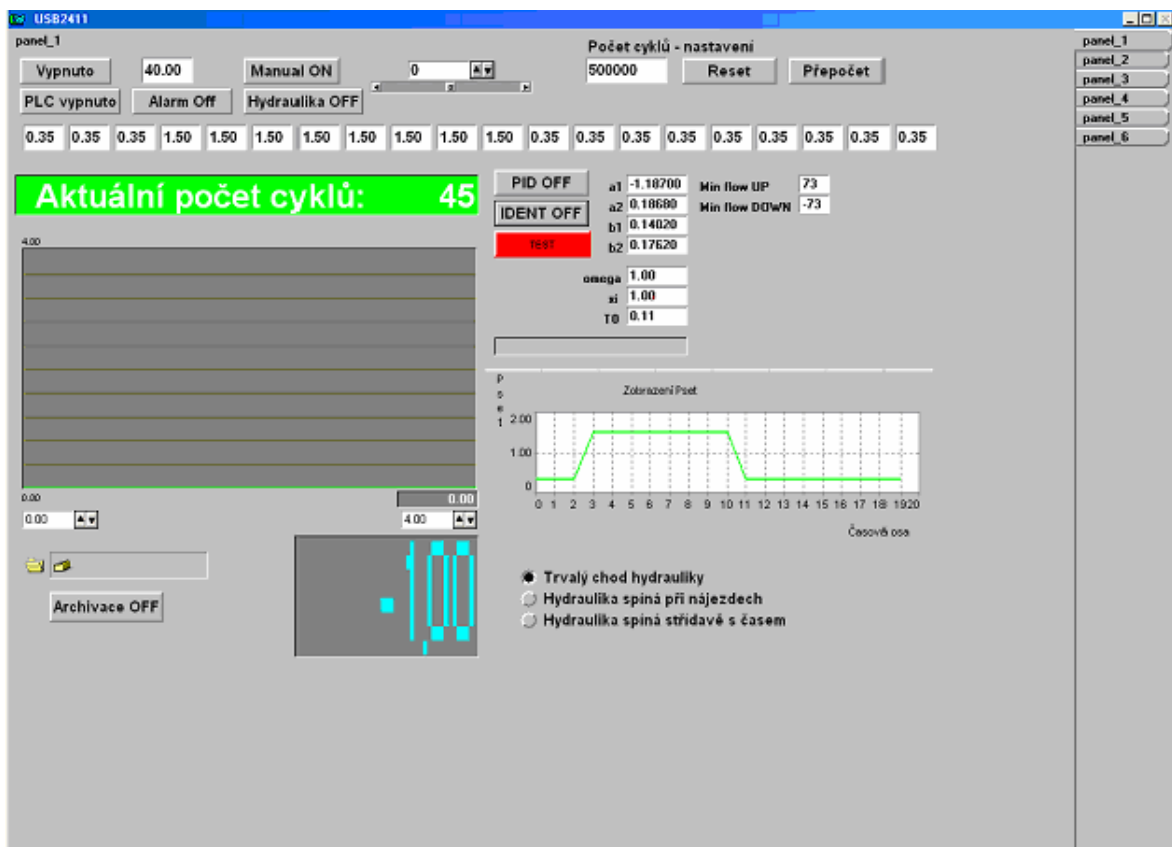
Jméno	Adresa	Typ	Směr	Timeout	Reservace
ai0	100	Real	Vstup	0,1	Signál z tlakového senzoru
ao0	200	Real	Výstup	0,1	Ovládání proporcionálního ventilu
do0	300	Boolean	Výstup	0,1	Inverze proporcionálního ventilu
do1	301	Boolean	Výstup	0,1	Spínání PLC
do2	302	Boolean	Výstup	0,1	Spínání elektromag. ventilu
do3	303	Boolean	Výstup	0,1	Spínání čerpadla

## 8 NÁVRH A POPIS APLIKACE ZKUŠEBNY AUTOMOBILOVÝCH HADIC V CONTROL WEBU

Při tvorbě aplikace navržené pro Windows 2000/XP, která bude umožňovat řídit zkušebnu automobilových hadic, se postupovalo tak, aby byla aplikace přehledná a jednoduchá na ovládání. Celý program je rozdělen do tří částí tzv. panelů, kde každý z nich se skládá z příslušných přístrojů, které jsou potřebné pro chod konkrétního panelu.

První panel by se dal nazvat hlavní panel aplikace. V tomto panelu je veškeré ovládání a vizualizace řídicího procesu. Druhý panel slouží pro zobrazování regulačního pochodu pro jednu periodu regulace. Třetí panel slouží pro průběžnou identifikaci řízené soustavy.

### 8.1 Panel 1



Obr. 21. Hlavní panel aplikace

Aplikace může běžet ve dvou režimech, v režimu manuálního ovládání a v režimu automatického řízení. Manuální režim spustíme aktivací tlačítka *MANUAL OFF*, při tomto režimu můžeme pomocí rolovací lišty (Obr. 23.) nastavovat rychlost přitékání / odtékání oleje v proporcionálním ventilu. Tento režim se používá při nastavování zkušebny před spuštěním zkoušky kdy se do primárního tlakového okruhu připouští nebo odpouští testovací kapalina.



Obr. 22. Rolovací lišta pro nastavování proporcionálního ventilu

V automatickém režimu který se aktivuje pomocí tlačítka *VYPNUTO* je pak spuštěna aplikace běžící v cyklech. Nastavení a zapínání regulace se pak provádí v pravé části panelu (Obr. 24.)



Obr. 23. Část panelu pro nastavování a spuštění regulace

Řízení zkušebny je realizováno dvěma způsoby:

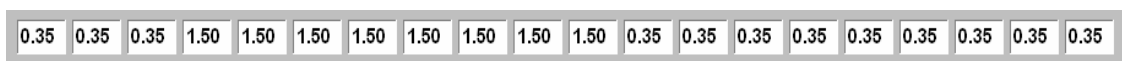
A) Neadaptivní regulace – tlak v primárním okruhu je řízen pevně nastaveným PID regulátorem založeným na metodě přiřazení pólů. Akční zásah je pak počítán pro soustavu danou předem identifikovanými parametry  $a_1, a_2, b_1, b_2$ .

B) Adaptivní regulace – tlak v primárním okruhu je řízen adaptivním PID regulátorem založeným na metodě přiřazením pólů. Akční zásah je počítán pro soustavu danou průběžnou identifikací. Spuštění adaptivní regulace se provádí aktivací tlačítka *IDENT OFF*.

Regulace se spouští aktivací tlačítka *PID OFF*. Pomocí dalších editačních polí pak nastavujeme periodu vzorkování, tlumení a zesílení regulátoru.

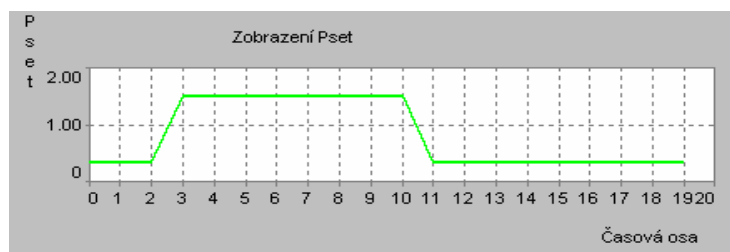
V této části panelu se pak ještě nachází tlačítko *TEST* sloužící pro aktivaci procedury na testování minimálního akčního zásahu. V závislosti na teplotě oleje v sekundární tlakovacím okruhu a na jiných vlivech se mění hodnota minimální rychlosti přitékání / odtékání oleje v proporcionálním ventilu. Tyto hodnoty je pak možné nastavit manuálně pomocí editačních polí *Min flow UP* a *Min flow DOWN* nebo pomocí testovací procedury. Při spuštění této testovací procedury aplikace postupně zvyšuje akční zásahy od hodnoty 69 (-69) a testuje zda-li za určitý čas došlo ke změně tlaku v primárním okruhu. Dojde-li ke změně, zvolí aktuální hodnotu akčního zásahu jako minimální. Toto se provádí první pro kladné a následně pro záporné hodnoty.

Řízení tlaku v primárním okruhu zkušebny probíhá v periodách. Tuto periodu si nastavujeme v editačním poli v levé horní části panelu, hodnota periody je v sekundách. Pomocí dvaceti dalších editačních polí si pak nastavujeme průběh žádané hodnoty (Obr. 25.).



Obr. 24. Editací pole pro nastavování žádaných hodnot

Perioda regulace je rozdělena na dvacet částí. Každé políčko pak určuje hodnotu žádané veličiny v určitém čase periody, hodnoty žádané veličiny jsou v jednotkách Bar. Po nastavení všech polí je pak nutno aktivovat tlačítko s názvem *PŘEPOČET* umístěném v pravé horní části panelu. Následně se pak provede výpočet průběhu žádané hodnoty, tak že sousedící body spojí přímkou a vypočítá 10 hodnot mezi těmito body. Celý průběh žádané hodnoty pak obsahuje 200 bodů. Tento průběh je zobrazen na grafu (Obr. 26).



Obr. 25. Grafické zobrazení průběhu žádané hodnoty

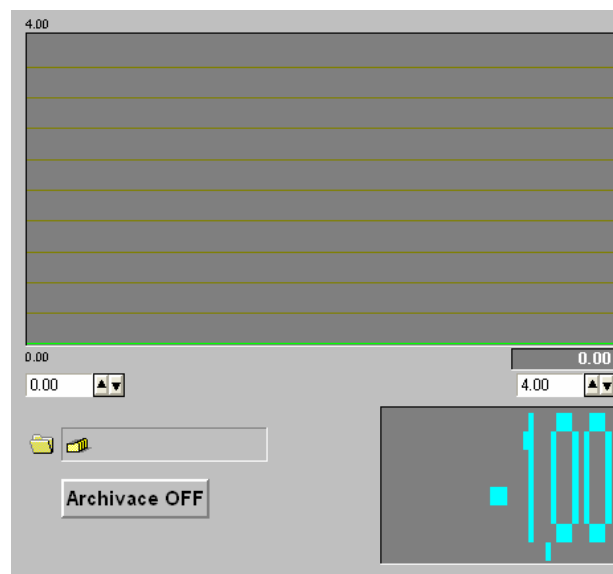
Celá zkouška běží v cyklech, jeden cyklus znamená provedení jedné periody řízení. Před spuštěním zkoušky je nutno aktivovat tlačítko *RESET* umístěné v pravé horní části panelu, po čemž se pak vynuluje počítadlo aktuálního počtu cyklů (Obr. 27).

**Aktuální počet cyklů: 45**

Obr. 26. Ukazatel aktuálního počtu cyklů

Pomocí editačního pole v pravém horní části panelu uvedeného pod názvem ‘ Počet cyklů – nastavení ’ si nastavíme kolik cyklů má trvat celá zkouška.

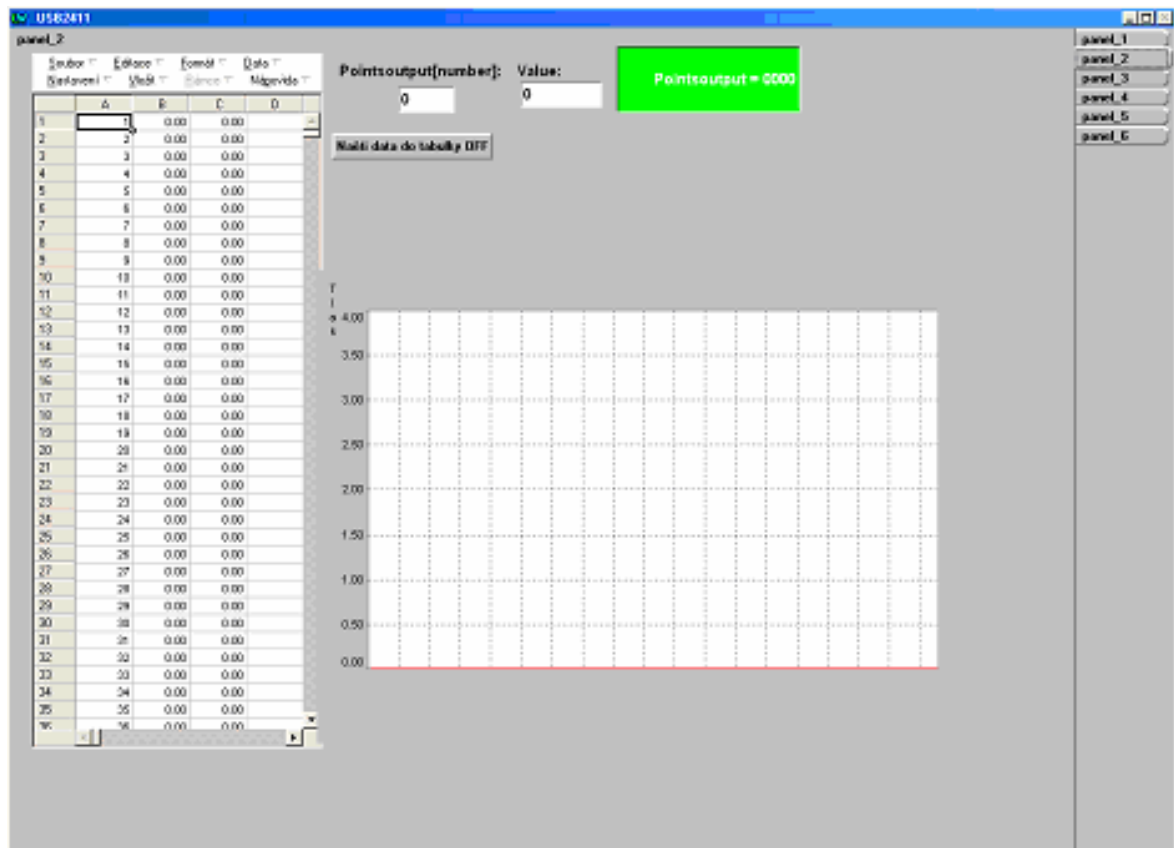
V levé části panelu se nachází vizualizační část aplikace (Obr. 28). Zde je pomocí přístroje *meter* zobrazován průběh tlaku v primárním okruhu. Je zde také numericky zobrazena aktuální hodnota tlaku. Jeden z požadavků zkoušky je že musí být veškeré průběhy archivovány, z toho důvodu je tu použit přístroj *Archiver* , který po své aktivaci pomocí tlačítka *ARCHIVACE OFF* archivuje hodnoty tlaku a žádané hodnoty v přednastaveném časovém intervalu do zvoleného databázového souboru.



Obr. 27. Vizualizační část panelu

Před spuštěním samotné zkoušky je ještě zapotřebí spustit čerpadlo hydrauliky pomocí tlačítka *HYDRAULIKA OFF* a také je nutno zapnout PLC pomocí tlačítka *PLC vypnuto*. Pomocí tlačítka *ALARM OFF* se spouští hlídání tlaku, v případě že by tlak překročil určitou hodnotu tak bude systém vypnut. Z důvodu menšího zatěžování hydraulické jednotky jsou zde tři možnosti jejího provozu, výběr režimu se provádí v pravé dolní části panelu. Hydraulika může běžet nepřetržitě, při nájezdech nebo střídavě s časem.

## 8.2 Panel 2



Obr. 28. Panel 2

Tento panel je určen pro zobrazení regulačního pochodu aktuálního cyklu. Aktivací tlačítka *NACTI DATA DO TABULKY OFF* se po dokončení aktuálního cyklu zobrazí průběh žádané a regulované veličiny. Pro zobrazení je zde použito přístroje *Table*. Při každém cyklu se ukládá 200 hodnot žádané i regulované veličiny. Tyto data jsou pak vložena do tabulky a jsou následně vykreslena.

### 8.3 Panel 3

H	H(stare)	fi	C	C(stare)
-0.10000000	-0.10000000	0	#DIV	1000.00000000
-0.20000000	-0.20000000	0	#DIV	0
0.30000000	0.30000000	0	#DIV	1000.0000
0.40000000	0.40000000	0	#DIV	0
H*	-0.10000000	-0.20000000	0.30000000	0.40000000
H(stare)*	-0.10000000	-0.20000000	0.30000000	0.40000000
fi*	0	0	0	0
epsilon1	#			
mezrys	0	0	0	0
chyba	0			
V	2.00010000			
V(stare)	1.00010000			
ficko	1.00000000			
ficko(sta)	1.00000000			
lamda	0.00100000			
lamda(st)	0.00100000			
n	#			
epsilon	#DIV			

Obr. 29. Panel 3

Tento panel slouží pro průběžnou identifikaci soustavy při adaptivním řízení. Jelikož není možné přímo v prostředí Control Webu počítat s maticemi bylo nutné použití nástavby InCalc. Vytvořil jsem tabulku obsahující vzorce nutné pro průběžnou identifikaci. Tato tabulka je pak zobrazována v tomto panelu. Tabulka je uložena v souboru *identifikace.tbw*.

Při každém cyklu regulace do tabulky vstupují aktuální hodnoty výstupu, žádané hodnoty a akční veličiny. Ještě před vstupem nových hodnot se provede výměna starých dat za nové. Po vstupu nových dat se pak provede přepočítání všech vzorců. Výstupem z tabulky jsou pak nové hodnoty parametrů  $a_1, a_2, b_1, b_2$ . Počáteční odhady parametrů soustavy se zadávají přímo do souboru tabulky na pozici *Hstare*. Komunikace mezi aplikací a tabulkou InCalc je prováděna pomocí příkazů *SetRealValue* a *GetRealValue*. Přepočtení tabulky je provedeno pomocí procedury *Recalculate*.



## 8.4 Algoritmus regulace

Algoritmus samotné regulace je zde zprostředkován pomocí procedury s názvem *regulace tlaku*, která se spouští každou periodu vzorkování. Jako první příkaz procedury je zavolání druhé procedury s názvem *uprava vstupu*. Tato procedura má za úkol nanormování aktuální žádané a výstupní hodnoty na rozsah 0 – 1 pro potřeby průběžné identifikace. Po provedení úpravy vstupu se přečtou identifikované parametry z předchozího cyklu přímo z tabulky identifikace. Na základě nových hodnot parametrů soustavy se podle algoritmu regulátoru PID A-1 spočítá akční zásah. Jelikož akční zásah může dosáhnout jen určité hodnoty je následně omezen na rozsah -1 až 1. Tento omezený akční zásah je pak potřeba poslat na vstup proporcionálního ventilu. Jelikož vstup ventilu pracuje s rozsahem hodnot (-130 – 130), je potřeba náš akční zásah přepočítat na tento rozsah. Po přepočtu jsou pak data poslána na vstup ventilu. Jako poslední krok algoritmu regulace je pak samotná identifikace. Nejprve je nutné vyměnit v tabulce identifikace staré data za nové a následně do ní vložit nový akční zásah, aktuální výstup a žádanou hodnotu, toto je realizováno procedurou *vymena\_dat*. Po vložení dat je pak celá tabulka přepočítána.

## 9 ANALÝZA VLASTNOSTÍ ZKUŠEBNY AUTOMOBILOVÝ HADIC

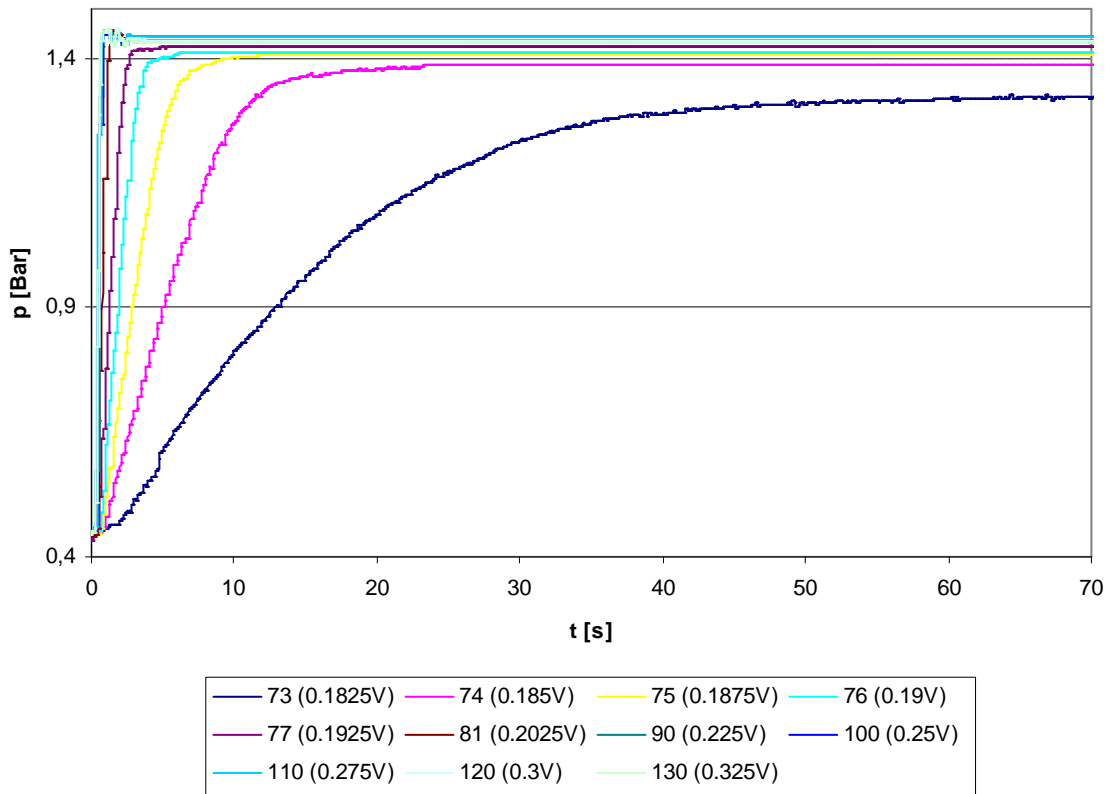
Před vlastní identifikací je nejprve potřeba se důkladně seznámit se základními vlastnostmi zkušebny automobilových hadic. Regulace rychlosti přitékání / odtékání oleje v proporcionálním ventilu je možná v rozmezí 0 až 11,4 l/min při tlaku až 315 bar v obou směrech. Změna řídicího napětí na převodníku od ventilu je možná v rozmezí  $\pm 10V$ . Základní vlastnosti modelu lze vyjádřit pomocí statických a dynamických charakteristik servomechanismu.

### 9.1 Statické vlastnosti zkušebny

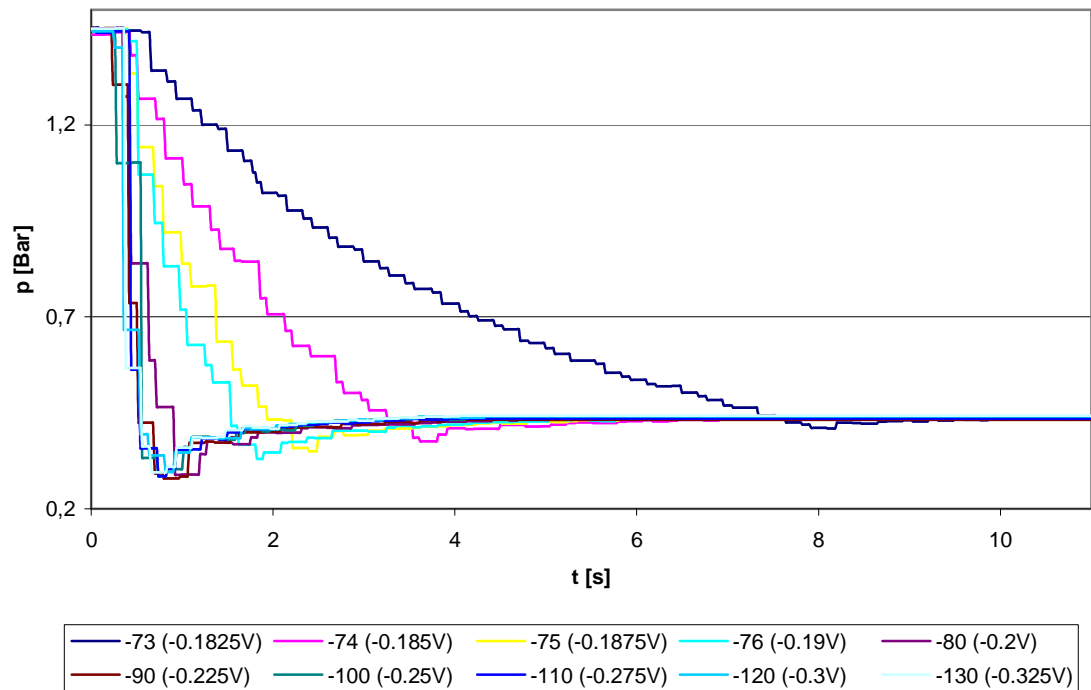
Základní statické vlastnosti se vyjadřují pomocí statické charakteristiky, která nám udává jaké hodnoty dosáhne soustava po ustálení přechodového jevu v závislosti na vstupu do soustavy. V našem případě není možno sestavit statickou charakteristiku z důvodu že se tlak v okruhu vždy ustálí na téměř stejné hodnotě tlaku. Řídíme jen rychlost přítoku nebo odtoku oleje do pomocného pístu, píst se vždy zastaví v konečné poloze nebo tehdy když už tlak oleje nepřekoná síly vytvořené tlakem hlavního pístu.

### 9.2 Dynamické vlastnosti zkušebny

Základní dynamické vlastnosti můžeme popsat pomocí přechodových charakteristik, což jsou odezvy soustavy na změny vstupní veličiny. Zde se sleduje rychlost a tvar těchto charakteristik. V našem případě je to změna tlaku v primárním okruhu zkušebny v závislosti na změně vstupního napětí převodníku pro proporcionální ventil. Byli tedy naměřeny charakteristiky závislosti výstupního tlaku na vstupním napětí převodníku od proporcionálního ventilu. Toto bylo změřeno jak pro kladné hodnoty (Obr.31.) tak i pro záporné hodnoty (Obr. 32.) akčního zásahu.



Obr. 30. Přechodové charakteristiky zkušebny pro jednotlivé kladné akční zásahy



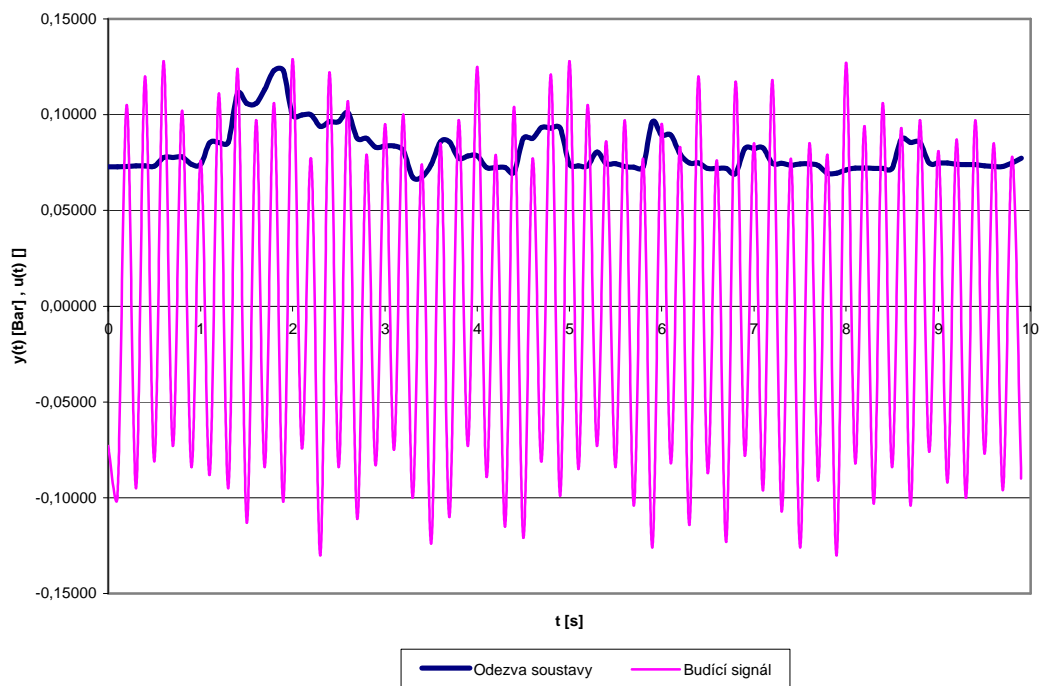
Obr. 31. Přechodové charakteristiky zkušebny pro jednotlivé záporné akční zásahy

Z důvodu přehlednosti jsou zde uvedeny mimo skutečného napětí na vstupu převodníku také hodnotu kterou prezentuje ControlWeb.

Při měření bylo zjištěno že je zde pásmo necitlivosti (-72 .. 72), a také při hodnotách od 130 (-130) do 4000 (-4000) jsou odezvy systému téměř totožné. Z tohoto důvodu byl vymezen rozsah akčních hodnot pro identifikaci a řízení na (-73 ... -130) a (73 ... 130).

### 9.3 Identifikace zkušebny

Z naměřených dynamických charakteristik bylo rozhodnuto, že přenosová funkce zkušebny bude druhého řádu. Vzhledem k rychlosti přechodových charakteristik a pár experimentech byla zvolena optimální vzorkovací periodu  $T_v$  zvolil hodnotu 0,1 sekundy. Tato hodnota je používána jak pro identifikaci, tak pro následnou regulaci. Pro identifikaci zkušebny byla použita jednorázová metoda nejmenších čtverců. Data pro identifikaci byla získána samostatným měřením. Jako budicí signál identifikované soustavy bylo použito napětí na převodníku proporcionálního ventilu. Odezva na budicí signál je potom hodnota tlaku v primárním okruhu. Upravené průběhy budicího signálu o náhodné amplitudě a odezvy na budicí signál je zobrazen na (Obr. 33.).



Obr. 32. Průběhy budicího signálu a odezvy použité pro identifikaci

**Pozn.:** Vektor budícího signálu byl kvůli dobré viditelnosti vydělen hodnotou 1000

Výsledný přenos:

$$G_s(z^{-1}) = \frac{0,1402z^{-1} + 0,1762z^{-2}}{1 - 1,1187z^{-1} + 0,1868z^{-2}} \quad (10.1)$$

## 10 NAMĚŘENÉ REGULAČNÍ POCHODY PRO ZKUŠEBNU AUTOMOBILOVÝCH HADIC

Kvůli přehlednosti regulačních pochodů budeme používat pro hodnoty tlaku a napětí na převodníku bezrozměrného tvaru. To znamená, že maximální hodnoty tlaku a řídicího napětí převodníku budeme označovat jako hodnotu 1 a naopak minimální hodnoty řídicího napětí budeme označovat -1 a minimální hodnoty tlaku budeme označovat 0. Mezi těmito bezrozměrnými tvary a skutečnými hodnotami budou jednoduché převodní konstanty. Hodnota tlaku v primárním okruhu se pohybuje od 0 do 1,8 Bar, do počítače jde pak signál s hodnotou 6000 – 15500. Stačí tedy od aktuální hodnoty odečíst 6000 a výsledek vynásobit hodnotou 0,0001176. U řídicího napětí pak při akčním zásahu 1 (-1) znamená poslání hodnoty 130 (-130) na vstup převodníku, pro akční zásah 0,01 (-0.01) znamená poslání hodnoty 73 (-73) na vstup převodníku. Přepočet akčních hodnot je vykonáván pomocí procedury *uprava\_vystupu* uvedené v těle aplikace.

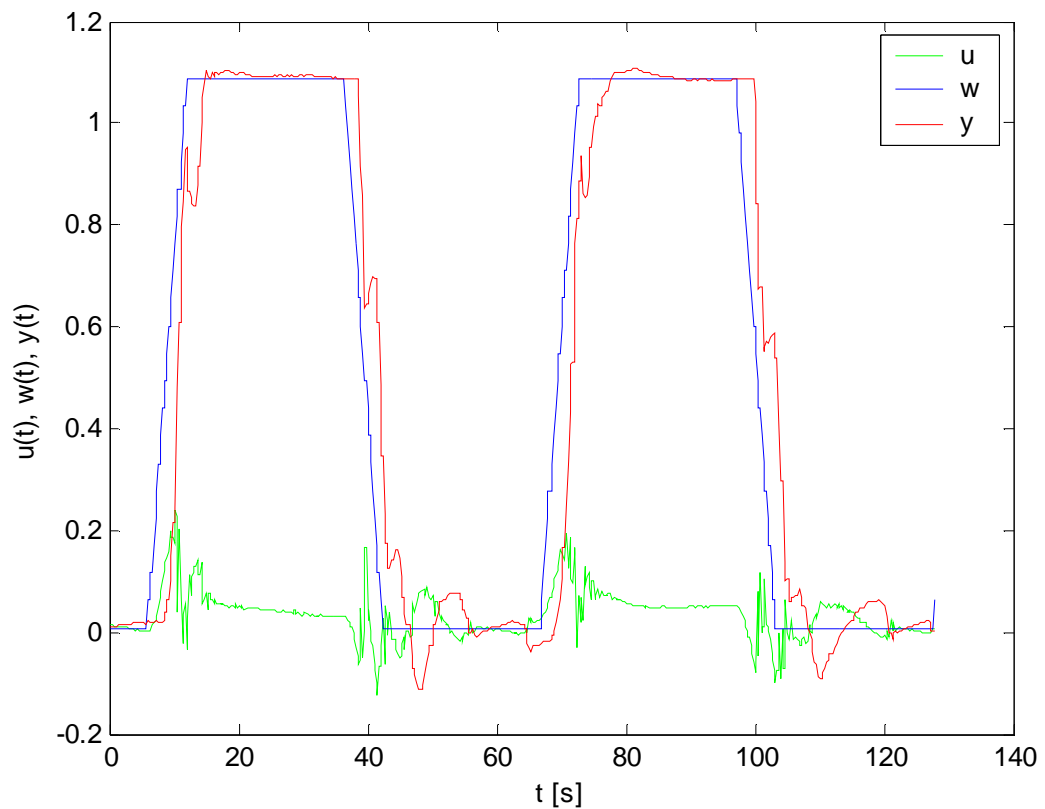
Z technické povahy modelu vyplývá, že akční zásah (napětí na převodníku), musí ležet v rozsahu -1 až 1, tzn. jestliže regulátor vypočte větší hodnotu akčního zásahu než je v reálu schopna převodníková skříň dodat, tak na se tato hodnota nastaví na hodnotu -1 nebo 1.

### 10.1 Neadaptivní regulátor

#### PID regulátor založený na přiřazení pólů, struktura regulačního obvodu PID – A1

Při zvolení  $\xi = 1$ ,  $\omega = 1$ , bude výstup z regulátoru počítán jako:

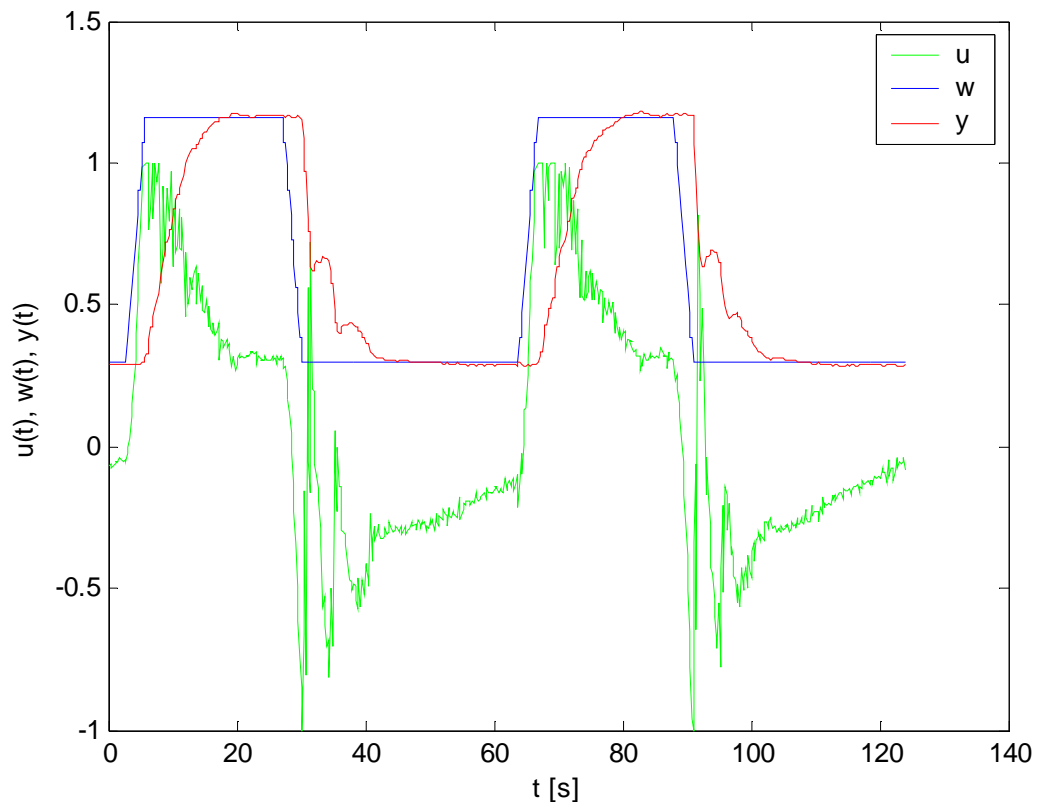
$$U(z^{-1}) = \frac{0,59039 - 0,80393z^{-1} + 0,23946z^{-2}}{1 - 0,77413z^{-1} - 0,22587z^{-2}} E(z^{-1}) \quad (11.1)$$



Obr. 33. Regulační průběhy pro PID A-1 s nastavením  $\xi=1$  a  $\omega=1$

Při zvolení  $\xi = 0,7$ ,  $\omega = 1$ , bude výstup z regulátoru počítán jako:

$$U(z^{-1}) = \frac{0,41316 - 0,59561z^{-1} + 0,21282z^{-2}}{1 - 0,79926z^{-1} - 0,20074z^{-2}} E(z^{-1}) \quad (11.2)$$



Obr. 34. Regulační průběhy pro PID A-1 s nastavením  $\xi=0,7$  a  $\omega=1$

Kvalita regulace zkušebny byla počítána v intervalu  $\langle 1; 123,8 \rangle$  sekund. Při porovnání kvality regulace (Tab. 3.) tohoto regulátoru s různým nastavením podle kritéria založeného na sumaci kvadrátu regulační odchylky i podle sumace kvadrátu přírůstku akční veličiny dopadl lépe regulátor s nastavením  $\xi=1$ ,  $\omega=1$ . Regulátor v prvním nastavení dosáhl sice lepších kvalit regulace ale reguluje s poměrně velikými překmity, což je při průběhu zkoušky nepřijatelné. Z tohoto důvodu bylo zvýšeno tlumení pomocí koeficientu  $\xi$  na hodnotu 0,7. Regulátor pak v tomto nastavení reguluje bez větších překmitů ale zase má mnohem pomalejší odezvy. Pro řízení zkušebny je více použitelnější regulátor v druhém nastavení.

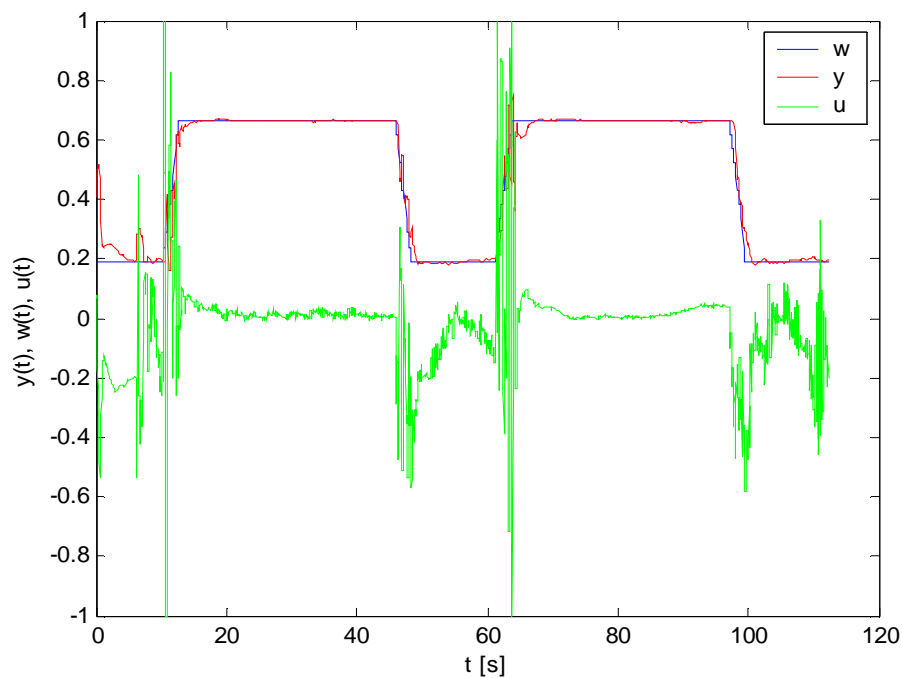


Tab. 3. Tabulka kvality regulace

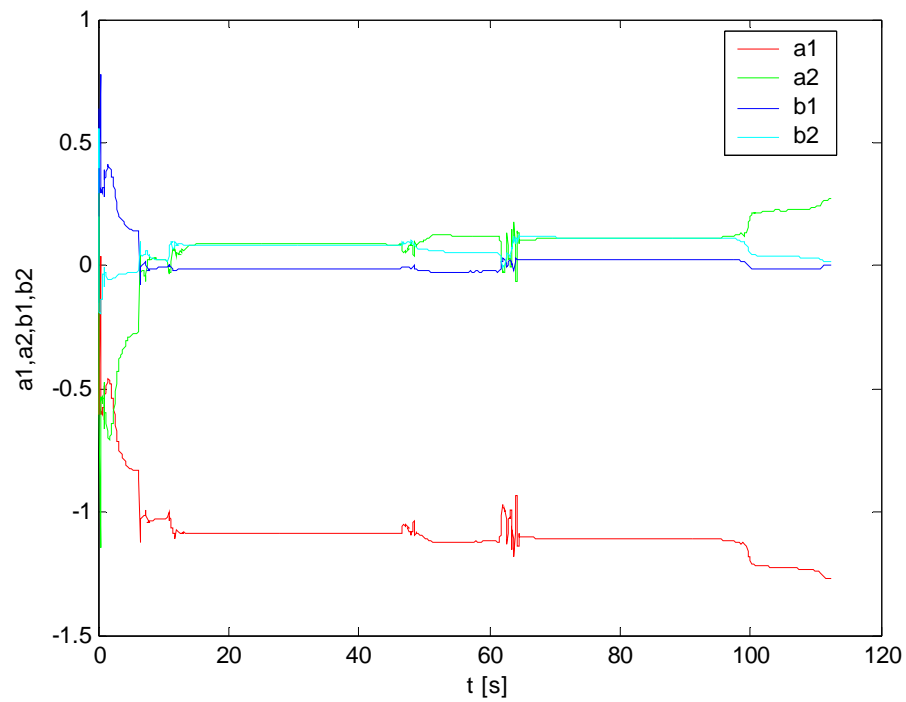
Metoda	$S_u \cdot 10^{-4}$	$S_y \cdot 10^{-4}$
<i>PID A-1</i> xi=1, omega=1	8,63	273,84
<i>PID A-1</i> xi=0,7, omega=1	194,44	727,77

## 10.2 STC regulátor

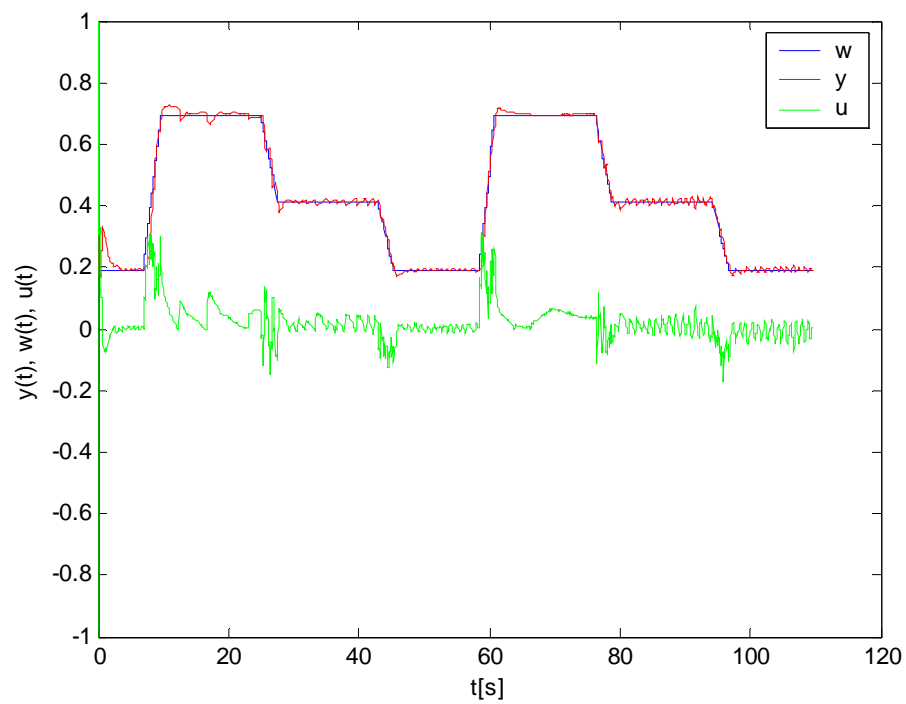
Pro samočinně se nastavující regulátor jsem opět použil PID regulátor založený na přiřazení pólů, struktura regulačního obvodu PID – A1. Prvky na hlavní diagonále kovarianční matice  $C$  byly nastaveny na hodnotu 1000. Počáteční odhad parametrů soustavy  $\hat{\Theta}(0)$ :  $a_1=0,1$ ,  $a_2=0,2$ ,  $b_1=0,3$ ,  $b_2=0,4$ . Počáteční hodnota faktoru směrového zapomínání  $\varphi(0) = 1$ ,  $\lambda(0) = 0.001$ ,  $v(0) = 10^{-6}$ ,  $\rho = 0.99$ .



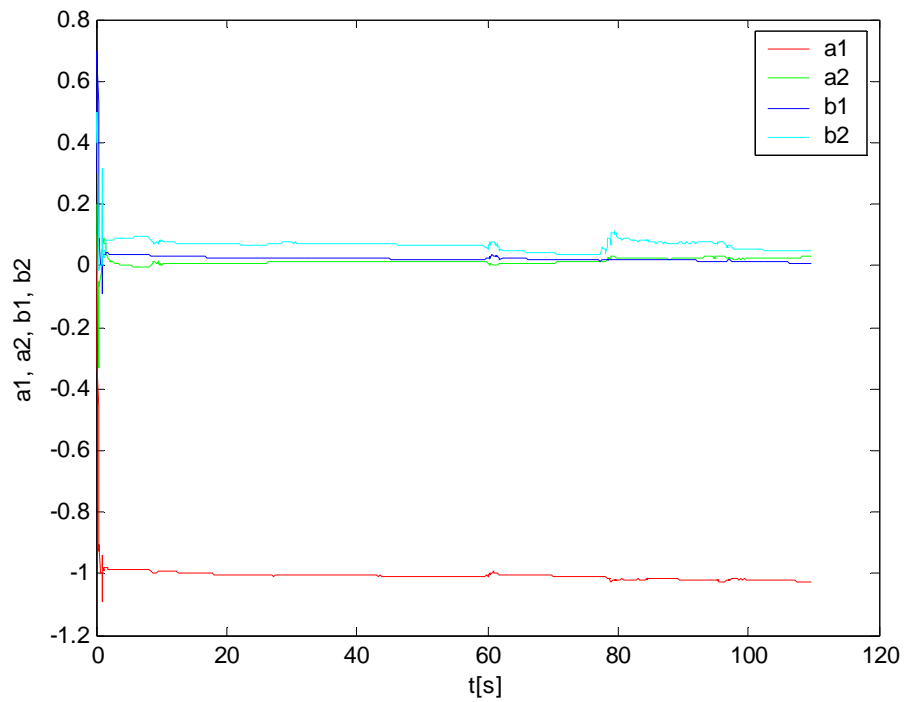
Obr. 35. Regulační průběhy na zkušební pro STC regulátor struktury PID A-1 při skokové změně žádané hodnoty



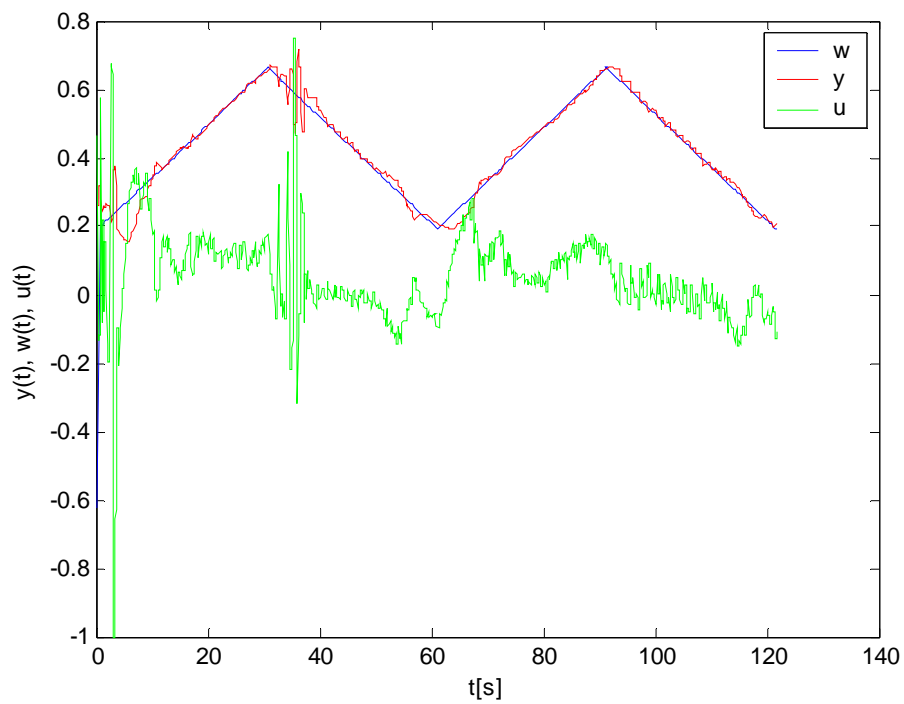
Obr. 36. Průběhy odhadů parametrů pro STC regulátor struktury PID A-1 při skokové změně žádané hodnoty



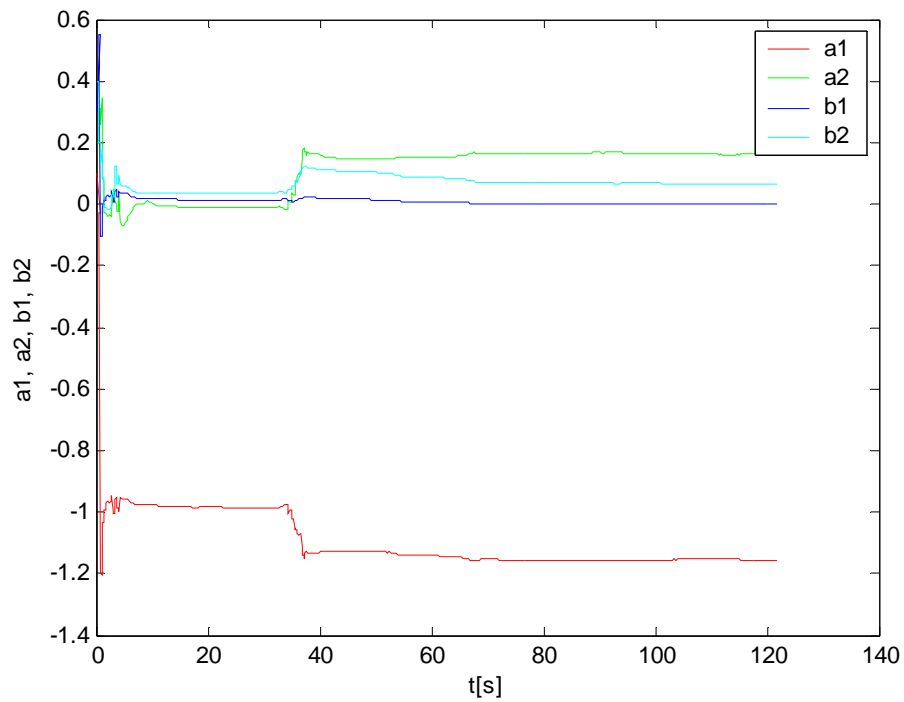
Obr. 37. Regulační průběhy na zkušební pro STC regulátor struktury PID A-1 při více skokových změnách žádané hodnoty



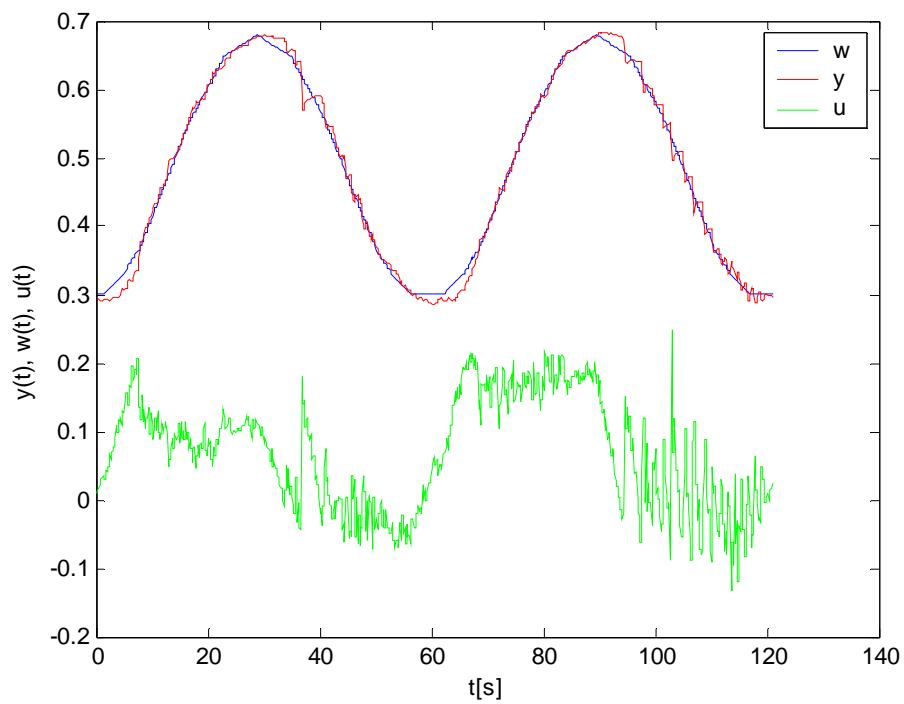
Obr. 38. Průběhy odhadů parametrů pro STC regulátor struktury PID A-1 při více skokových změnách žádané hodnoty



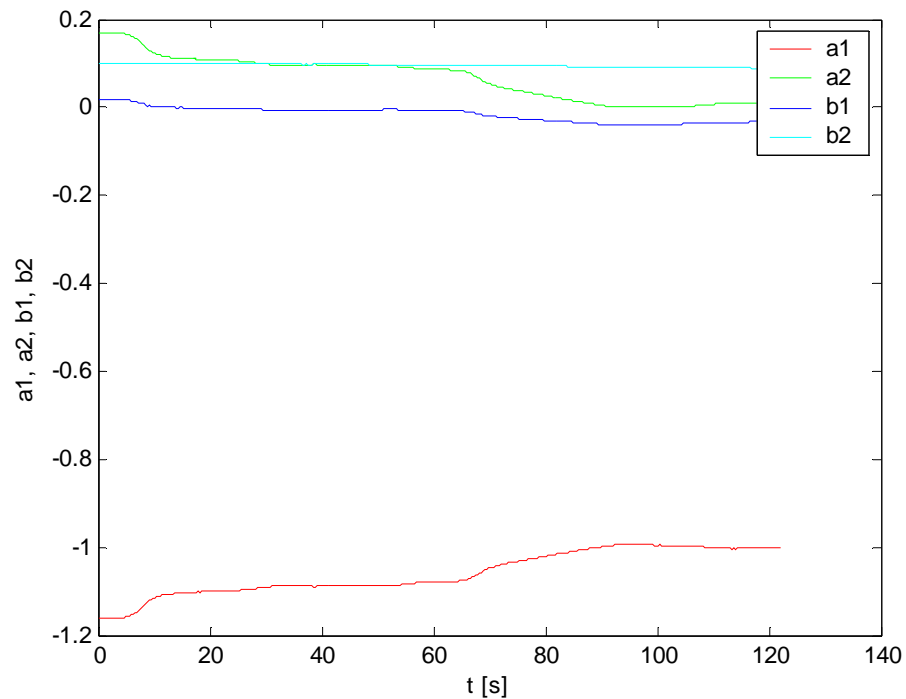
Obr. 39. Regulační průběhy na zkušební pro STC regulátor struktury PID A-1 při průběhu žádané hodnoty ve tvaru rampy



Obr. 40. Průběhy odhadů parametrů pro STC regulátor struktury PID A-1 při průběhu žádané hodnoty ve tvaru rampy



Obr. 41. Regulační průběhy na zkušební pro STC regulátor struktury PID A-1 při průběhu žádané hodnoty ve tvaru sinusovky

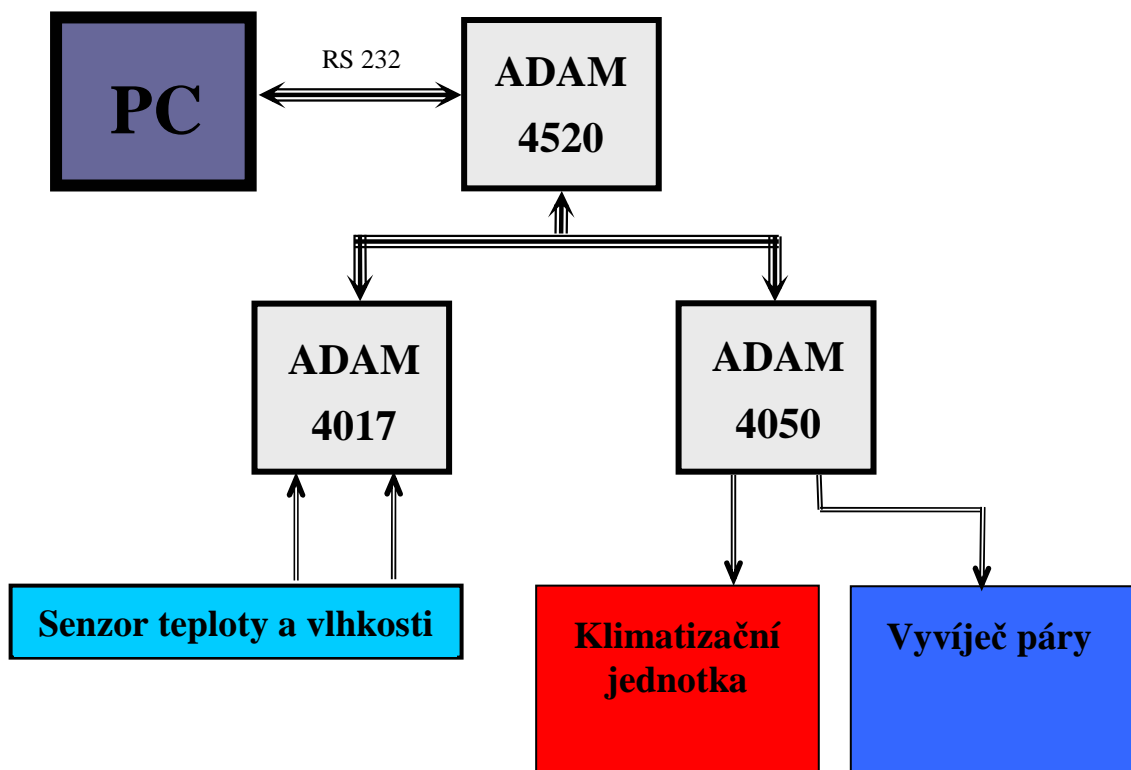


Obr. 42. Průběhy odhadů parametrů pro STC regulátor struktury PID A-1 při průběhu žádané hodnoty ve tvaru sinusovky

Při porovnání všech regulačních pochodů lze usoudit že si STC regulátor poradil se všemi tvary průběhů žádané hodnoty. Z dosažených výsledků je zřejmé že se na řízení zkušebny více hodí regulátor STC než regulátor s pevně nastavenými parametry. Je to dáno i tím že zkušebna mění neustále své vlastnosti, mezi tyto vlastnosti patří teplota testovacího média, počet a typ zkoušených vzorků.

## 11 PROPOJENÍ KOMORY PRO VYZRÁVÁNÍ BETONOVÝCH VZORKŮ K PC

Komunikace mezi PC a zkušebnou je zde zprostředkována pomocí rozhraní RS234 a RS 485. Jelikož se zkušební komora nachází vzdálenosti cca. 100m od řídicího počítače bylo nutné z důvodu poruchovosti při přenosu dat a nárokům na rychlost přenosu pomocí RS232 na delší vzdálenosti převést signál na standard RS 485. Toto se provedlo pomocí zařízení od firmy Advantech s názvem ADAM 4250. Na toto vedení je pak připojen modul binárních výstupů od firmy Advantech s názvem ADAM 4050 určený pro spínání klimatizace a vyvíječe páry. Na vedení RS 485 je pak ještě připojen modul analogových vstupů od firmy Advantech s názvem ADAM 4017 určený pro snímání hodnot relativní vlhkosti a teploty v komoře.



Obr. 43. Blokové schéma zapojení komory k PC

## 11.1 Popis modulů ADAM

### ADAM 4520

Tento modul je určen k převodu signálu ve standardu RS 232 na RS 485. Nabízí plně duplexní provoz. Vzdálenost zařízení může být až 1200m a k vedení můžeme připojit až 32 zařízení. Modul je napájen napětím 24 V a má spotřebu 1,4 W. Přenosová rychlost může dosáhnout až hodnoty 115,2 kbps. Kabelové vedení od modulu dále je tvořeno stíněnými kroucenými vodiči.



*Obr. 44. Modul ADAM 4520*

### ADAM 4017

Jedná se o 16. bitový modul nabízející 8 analogových kanálů, každý z těchto kanálů má programovatelný rozsah. K modulu můžeme připojit až 8 zařízení, s nadřazeným systémem pak komunikuje pomocí standardu RS 232. V našem případě máme zapojeny první dva kanály, z toho první je signál od senzoru teploty, druhý pak signál od senzoru vlhkosti. Jelikož senzory pracují proudovým výstupem 4-20 mA bylo nutno vřadit bočníky o hodnotě 120Ω. Modul pak snímá úbytky napětí na těchto bočnicích.



Obr. 45. Modul ADAM 4017

### ADAM 4050

Tento modul nabízí 7 digitálních vstupních kanálů a 8 digitálních výstupních kanálů. Výstupy jsou spínány pomocí tranzistorů s otevřeným kolektorem. Modul je vybaven funkcí WatchDog, která zajišťuje aby nedošlo k chybě zacyklením. S nadřazeným zařízením komunikuje modul pomocí standardu RS485. V našem případě máme zapojeny první dva digitální výstupní kanály. Jelikož se klimatizace a vyvíječ páry spínají pomocí napětí o hodnotě 230V bylo nutné vřadit spínací triaky.



Obr. 46. Modul ADAM 4050



## 11.2 Spojení ControlWebu s moduly ADAM

Do programového prostředí programu ControlWeb byl implementovány ovladače pro moduly ADAM 4050 a ADAM 4017. Úkolem ovladače je spojení aplikace s konkrétními vstupy a výstupy zařízení. Ovladač dostává požadavky na čtení nebo zápis dat pomocí kanálů. Proto bylo nutné vytvořit odpovídající kanály. Při instalaci ovladačů bylo nutno nahrát do programu parametrické a mapovací soubory ovladačů. V parametrických souborech *adam4017.par* a *adam4050.par* je nastavení komunikace s moduly a mapování kanálů do paměti modulů. V mapovacích souborech *adam4017.dmf* a *adam4050.dmf* jsou uloženy informace o typu a směru všech kanálů spojených s ovladači.

Tab. 4. Názvy a popis kanálů definovaných v aplikaci ControlWebu

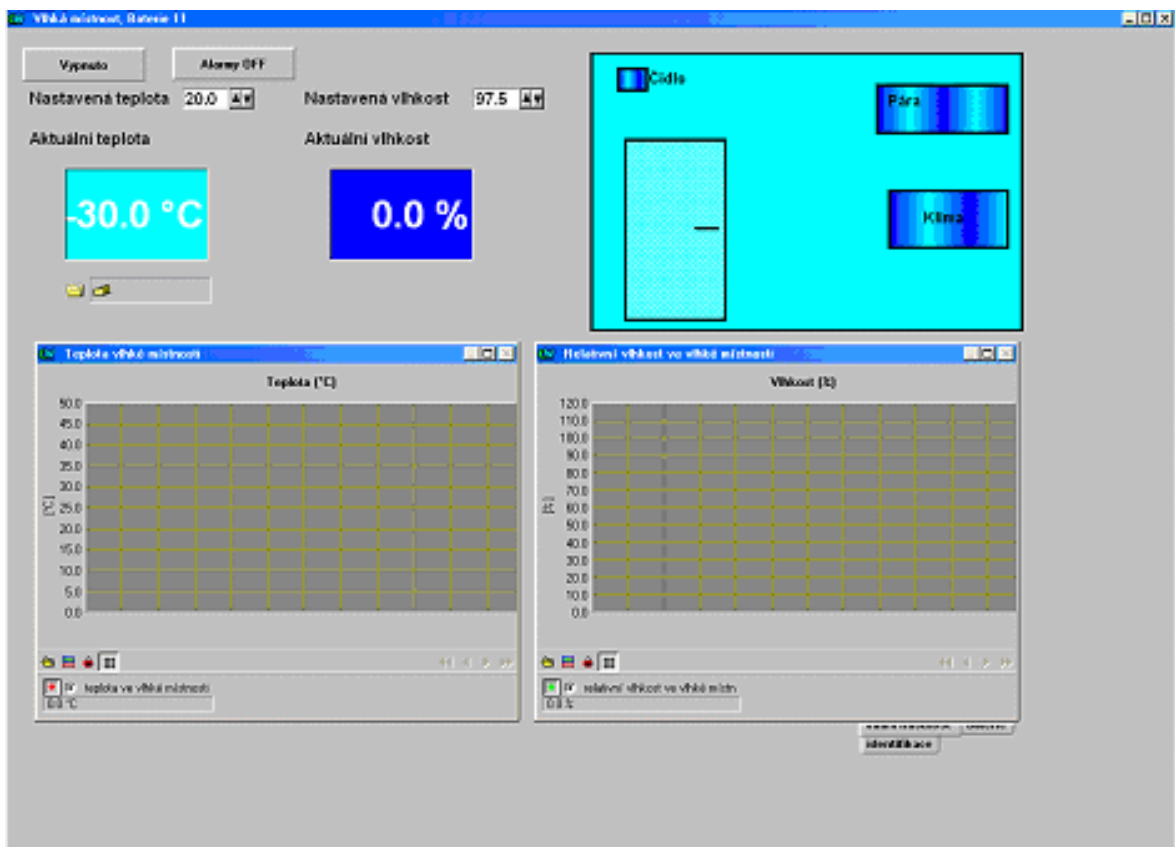
Jméno	Adresa	Typ	Směr	Timeout	Reservace
Adam4017_0	100	Real	Vstup	0,4	Vstup teploty
Adam4017_1	101	Real	Vstup	0,4	Vstup vlhkosti
Adam4050_0	300	Boolean	Výstup	0,2	Spínání klimatizace
Adam4050_1	301	Boolean	Výstup	0,2	Spínání vyvíječe páry

## 12 NÁVRH A POPIS APLIKACE KOMORY PRO VYZRÁVÁNÍ BETONOVÝCH VZORKŮ V CONTROLWEBU

Při tvorbě aplikace navržené pro Windows 98/NT, která bude umožňovat řídit a vizualizovat komoru pro vyzrávání betonových vzorků, bylo postupováno tak, aby byla aplikace přehledná a jednoduchá na ovládání. Celý program je rozdělen do dvou částí tzv. panelů, kde každý z nich se skládá z příslušných přístrojů, které jsou potřebné pro chod konkrétního panelu.

První panel by se dal nazvat hlavní panel aplikace. V tomto panelu je veškeré ovládání a vizualizace řídicího procesu. Druhý panel slouží průběžnou identifikaci řízené soustavy.

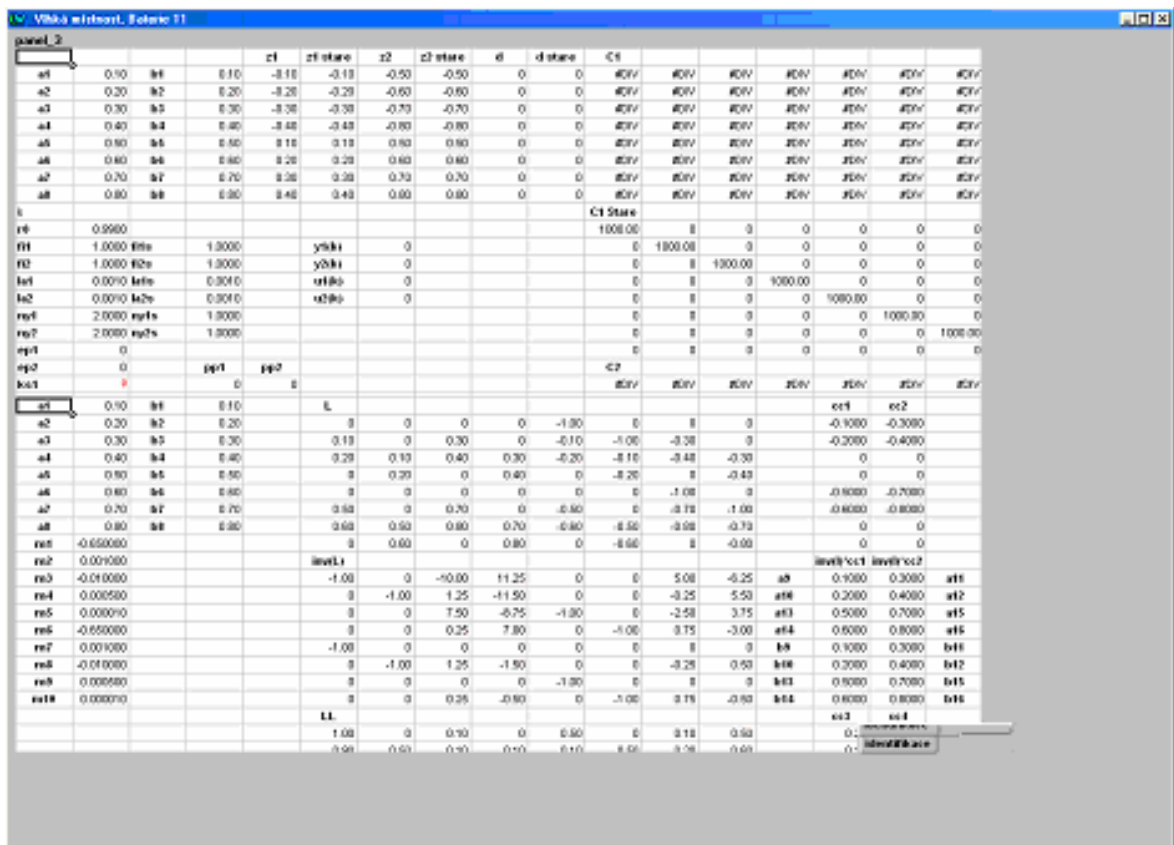
### 12.1 Panel 1



Obr. 47. Hlavní panel aplikace

Pro regulaci je zde použit dvourozměrný adaptivní regulátor se strukturou přiřazení pólů. Spuštění regulace se provádí pomocí tlačítka *VYPNUTO*. Na základě nastavených hodnot žádaných veličin probíhá regulace s periodou vzorkování 130s. Nastavení hodnoty žádané teploty a žádané vlhkosti se provádí v editačních polích umístěných v levé horní části aplikace. Aktuální teplota a vlhkost je pak zobrazována pomocí numerických zobrazovačů. Průběh regulace jde pak vidět na grafických zobrazovačích uvedených ve spodní části panelu, z toho na levém grafu je zobrazován průběh teploty a na levém průběh vlhkosti. V pravém horním rohu panelu se nachází vizualizační část. Pomocí grafických animací je zde znázorněn stav klimatizační jednotky, vyvíječe páry a jsou zde zobrazovány případné alarmy. Stiskem tlačítka *ALARMY OFF* aktivujeme alarmy, tzn. systém bude hlídat aby nepřekročila hodnota aktuální teploty a vlhkosti přednastavenou mez, v případě že překročí jednu z hodnot tak začne celá vizualizační část blikat červeně. Jeden z požadavků při zkoušce betonových vzorků je archivace průběhů teploty a vlhkosti. K tomu slouží přístroj *archiver*, který zaznamenává hodnoty teploty a vlhkosti po určitém časovém intervalu.

### 12.2 Panel 2



Obr. 48. Panel 2

Tento panel slouží pro průběžnou identifikaci soustavy při řízení a pro výpočty potřebné pro regulátor. Jelikož není možné přímo v prostředí Control Webu počítat s maticemi bylo nutné použití nástavby InCalc. Vytvořil jsem tabulku obsahující vzorce nutné pro průběžnou identifikaci a tabulku pro výpočty pro regulátor. Tyto tabulky jsou pak zobrazovány v tomto panelu. Tabulka identifikace je uložena v souboru *identifikace.tbw* a tabulka regulace v souboru *regulátor.tbw*.

Při každém cyklu regulace do tabulky identifikace vstupují aktuální hodnoty výstupů, žádaných hodnot a akčních veličin. Ještě před vstupem nových hodnot se provede výměna starých dat za nové. Po vstupu nových dat se pak provede přepočítání všech vzorců. Výstupem z tabulky jsou pak nové hodnoty parametrů  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7, a_8, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6, b_7, b_8$ . Počáteční odhady parametrů soustavy se zadávají přímo do souboru tabulky na pozici *z1stare* a *z2stare*. Komunikace mezi aplikací a tabulkou InCalc je prováděna pomocí příkazů *SetRealValue* a *GetRealValue*. Přepočtení tabulky je provedeno pomocí procedury *Recalculate*. Do tabulky regulace pak při každém cyklu vstupují identifikované parametry a výstupem z tabulky jsou pak parametry regulátoru.

### 12.3 Algoritmus regulace

Algoritmus samotné regulace je zde zprostředkován pomocí procedury s názvem *hlavni*, která se spouští každou periodu vzorkování. Jako první příkaz procedury je zavolání druhé procedury s názvem *uprava\_vstupu*. Tato procedura má za úkol nanormování aktuálních žádaných a výstupních hodnot na rozsah (0 – 1) pro potřeby průběžné identifikace. Po provedení úpravy vstupu se přečtou identifikované parametry z předchozího cyklu přímo z tabulky identifikace. Tyto parametry se pak načtou do tabulky regulace a následně je tabulka přepočtena. Z tabulky regulace jsou pak odebrány nové parametry regulátoru podle kterých se vypočte nový akční zásah. Jelikož akční zásah může dosáhnout jen určité hodnoty je následně omezen. Pro akční zásah klimatizace je omezen na rozsah -1 – 0 z důvodu že může klimatizace v našem případě pouze chladit. Pro akční zásah vyvíječe páry je omezen

na rozsah 0 – 1 z důvodu že vyvíječ může vlhkost pouze zvyšovat. Tyto omezené akční zásahy je pak potřeba poslat na vstup klimatizace a vyvíječe páry, jelikož vstupy těchto zařízení pracují pouze dvoustavově (zapnuto / vypnuto), je potřeba náš akční zásah převést na vstupy zařízení pomocí impulzování. Toto je provedeno pomocí procedury *uprava\_vystupu*. Jako poslední krok algoritmu regulace je pak samotná identifikace. Nejprve je nutné vyměnit v tabulce identifikace staré data za nové a následně do ní vložit nové akční zásahy, aktuální výstupy a žádané hodnoty, toto je realizováno procedurou *vymena\_dat*. Po vložení dat je pak celá tabulka přepočítána.

#### Impulzování výstupu

Jedná se o způsob převodu analogové veličiny na binární vstup. Uvažujeme zde že  $x$  % akčního zásahu je pro nás  $x$  % času periody vzorkování. Máme-li tedy např. 50% akčního zásahu bude akční člen zapnut na dobu 50% z hodnoty periody vzorkování.

## 13 ANALÝZA VLASTNOSTÍ KOMORY PRO VYZRÁVÁNÍ BETONOVÝCH VZORKŮ

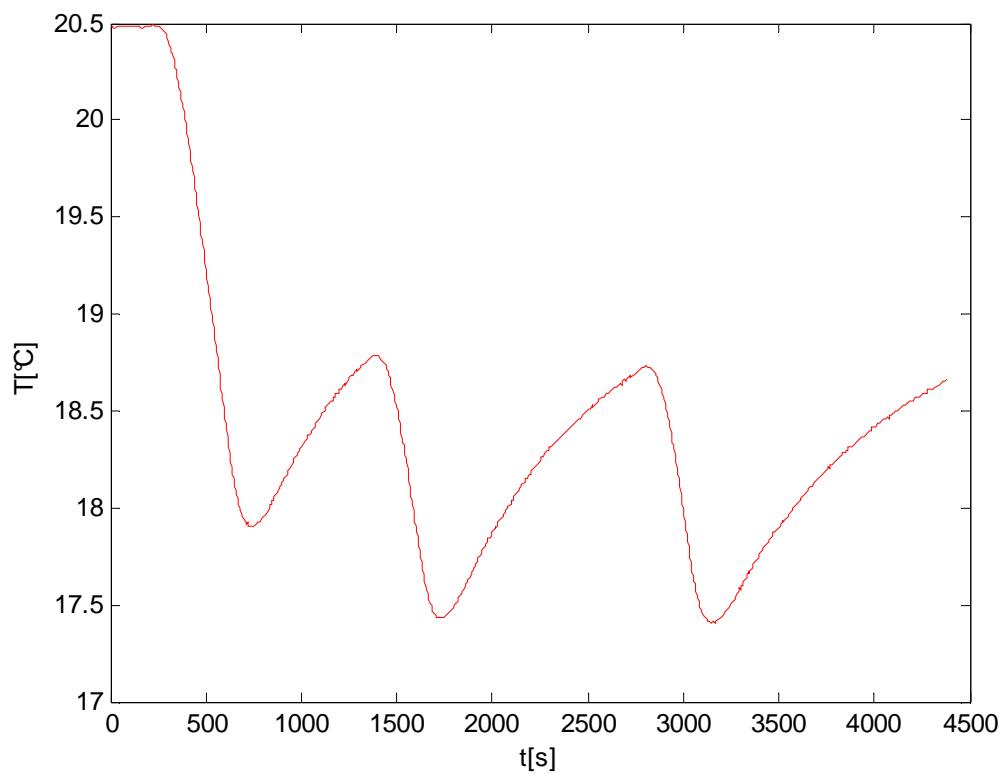
Před vlastní analýzou zkušebny automobilových hadic je nejprve potřeba se důkladně seznámit s jejími základními vlastnostmi. Základní vlastnosti modelu lze vyjádřit pomocí statických a dynamických charakteristik.

### 13.1 Statické vlastnosti zkušebny

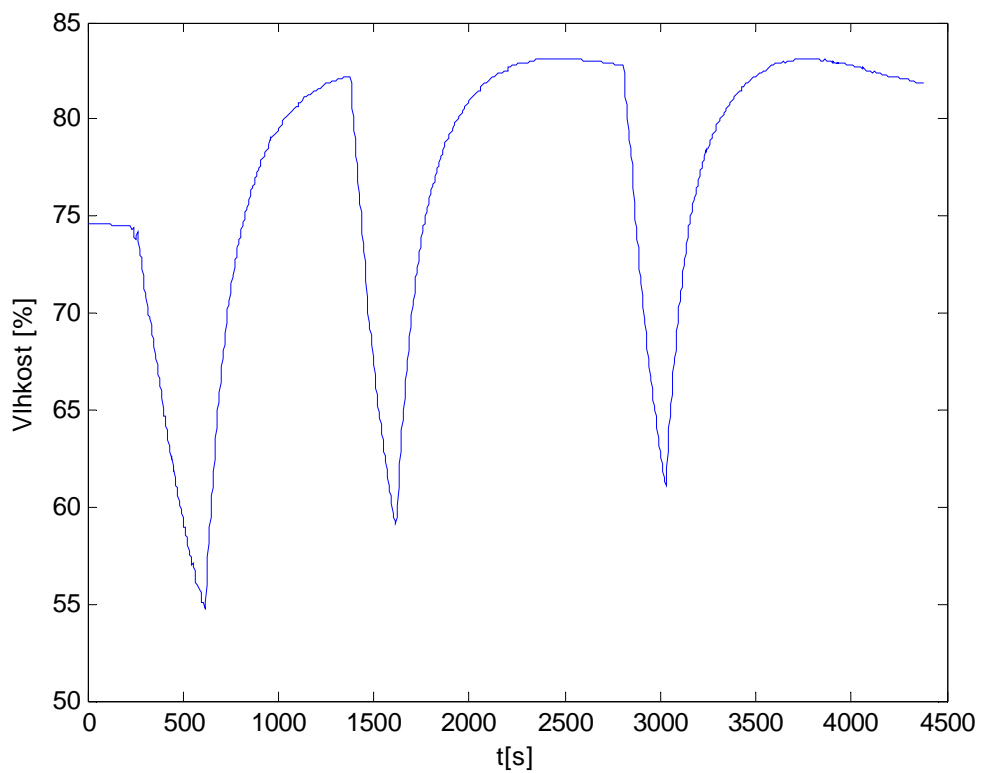
Základní statické vlastnosti se vyjadřují pomocí statické charakteristiky, která nám udává jaké hodnoty dosáhne soustava po ustálení přechodového jevu v závislosti na vstupu do soustavy. V našem případě není možno sestavit statickou charakteristiku protože ovládání akčních členů (klimatizační jednotka, vyvíječ páry) je dvoupolohové. Není tudíž možné přivádět na vstupy akční zásahy o určitých hodnotách.

### 13.2 Dynamické vlastnosti zkušebny

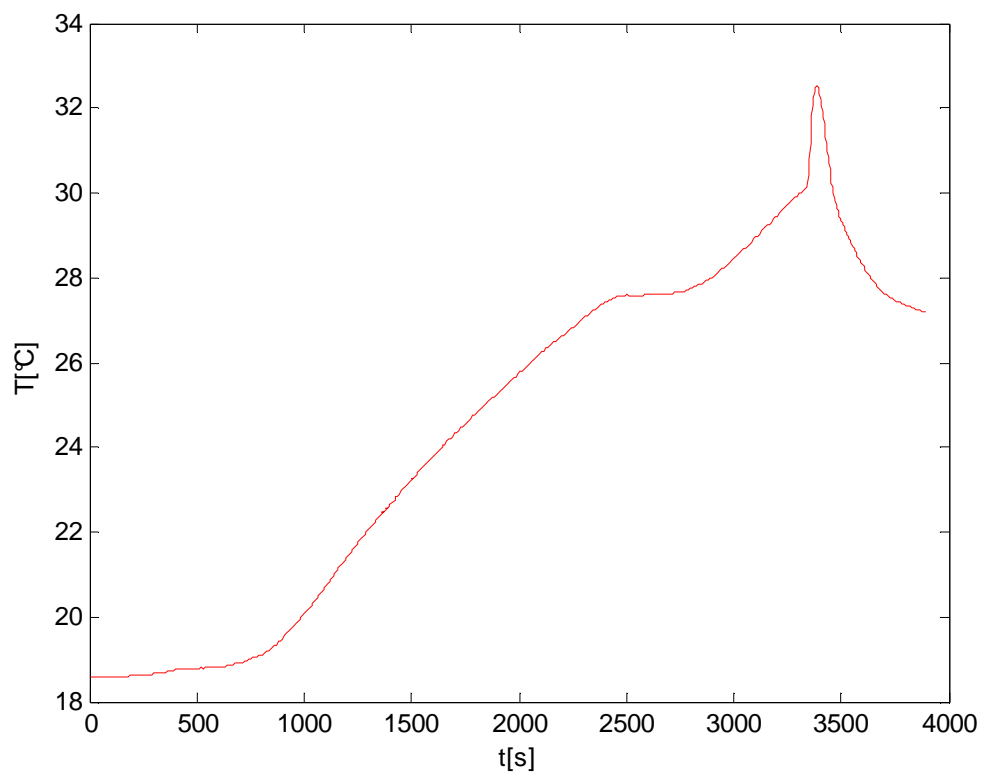
Základní dynamické vlastnosti můžeme popsat pomocí přechodových charakteristik, což jsou odezvy soustavy na změny vstupní veličiny. Zde se sleduje rychlost a tvar těchto charakteristik. V našem případě je to změna teploty a vlhkosti komoře v závislosti na změně vstupu na klimatizační jednotce a vyvíječi páry. Byli tedy naměřeny čtyři charakteristiky závislosti teploty a vlhkosti na vstupech akčních členů. V první dvou charakteristikách je zobrazen průběh teploty a vlhkosti při provozu klimatizační jednotky. V dalších dvou charakteristikách je pak zobrazen průběh teploty a vlhkosti při provozu vyvíječe páry.



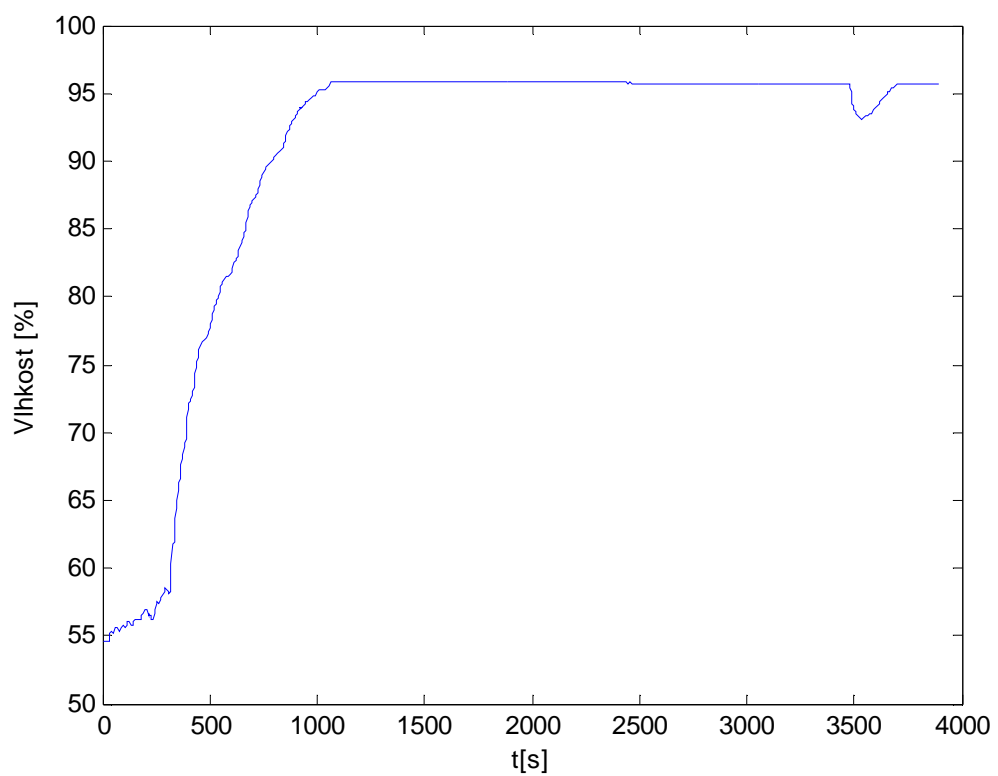
Obr. 49. Průběh teploty v komoře při zapnuté klimatizaci



Obr. 50. Průběh relativní vlhkosti v komoře při zapnuté klimatizaci



Obr. 51. Průběh teploty v komoře při zapnutém vyvíječi páry



Obr. 52. Průběh relativní vlhkosti v komoře při zapnutém vyvíječi páry



Z naměřených charakteristik je zřejmé že není systém možné identifikovat, a to z důvodu že se relativní vlhkost a teplota v komoře neustálí ale pořád kolísají kolem určitých hodnot. Z grafů je patrné že se tyto dvě veličiny ve velké míře ovlivňují. Ovlivňování vlhkosti při zapnuté klimatizaci je dáno tím, že průchod vzduchu přes chladicí výměník má za následek automatické vysoušení (nechtěné) vzduchu (kondenzací vlhkosti na studeném výměníku). Ovlivňování teploty při zapnutém vyvíječi páry je dáno tím že pára která vstupuje do komory má vysokou teplotu. Je rovněž patrné, že se jedná o systém nelineární.

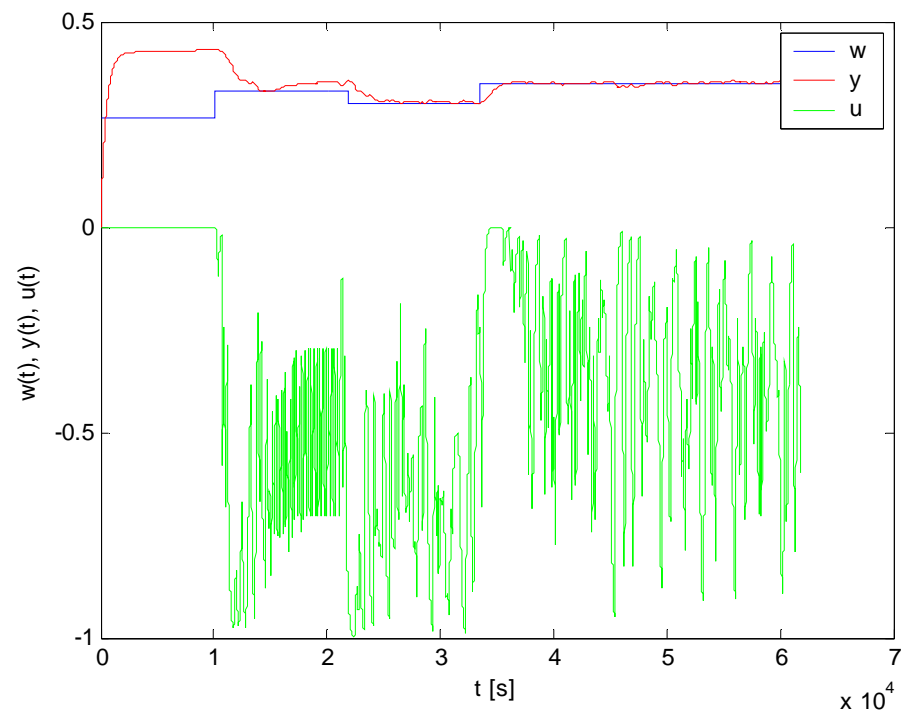
Z těchto důvodů byly použity samočinně se nastavující regulátory pro systémy se dvěma vstupy a dvěma výstupy.

## 14 NAMĚŘENÉ REGULAČNÍ POCHODY U KOMORY PRO VYZRÁVÁNÍ BETONOVÝCH VZORKŮ

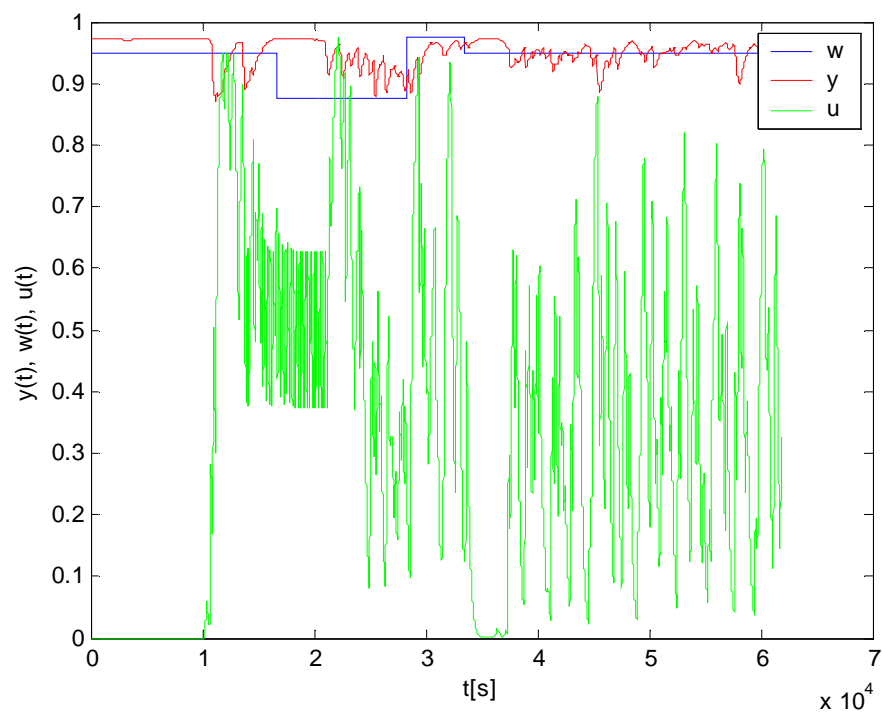
Kvůli přehlednosti regulačních pochodů budeme používat pro akční zásahy, teplotu a vlhkost bezrozměrných veličin. To znamená, že maximální hodnoty teploty a vlhkosti budeme označovat jako hodnotu 1 a naopak minimální hodnoty budeme označovat 0. Mezi těmito bezrozměrnými tvary a skutečnými hodnotami budou jednoduché převodní konstanty. Hodnota teploty se může pohybovat v rozmezí od 10°C do 40°C, do počítače jde pak signál s hodnotou 1,4545 – 5,81818. Stačí tedy aktuální hodnotu vynásobit konstantou 6,875. Hodnota relativní vlhkosti se může pohybovat v rozmezí od 50% do 100%, do počítače jde pak signál s hodnotou 8 – 16. Stačí tedy aktuální hodnotu vynásobit konstantou 6,25. Akční zásah klimatizace je omezen na rozsah -1 – 0 z důvodu že může klimatizace v našem případě pouze chladit. Akční zásah vyvíječe páry je omezen na rozsah 0 – 1 z důvodu že vyvíječ může vlhkost pouze zvyšovat. Jelikož je ovládání akčních zařízení pouze dvoustavové, bylo nutné přepočítat akčního zásahu provádět pomocí impulzování (viz. 13.3). Vzhledem k tvaru a doby ustálení přechodových charakteristik komory jsem použil periodu vzorkování  $T_V=130s$ .

### 14.1 Adaptivní regulátor se strukturou 1DOF

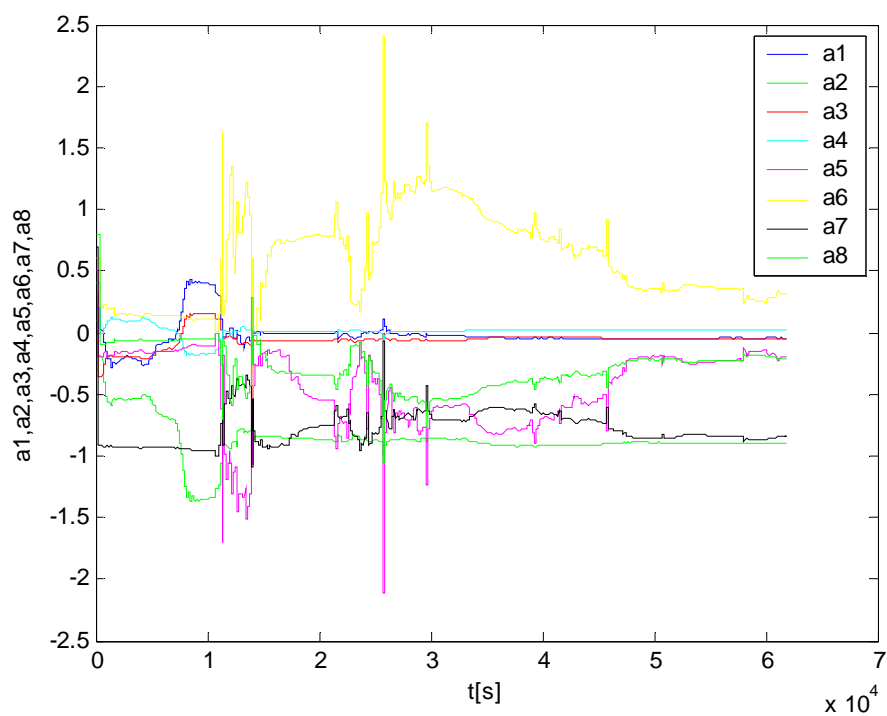
Prvky na hlavní diagonále kovarianční matice  $C$  byly nastaveny na hodnotu 1000000. Počáteční odhad parametrů soustavy  $\hat{\Theta}(0)$  :  $a_1=0,1$ ,  $a_2=0,2$ ,  $a_3=0,3$ ,  $a_4=0,4$ ,  $a_5=0,5$ ,  $a_6=0,6$ ,  $a_7=0,7$ ,  $a_8=0,8$ ,  $b_1=0,1$ ,  $b_2=0,2$ ,  $b_3=0,3$ ,  $b_4=0,4$ ,  $b_5=0,5$ ,  $b_6=0,6$ ,  $b_7=0,7$ ,  $b_8=0,8$ . Počáteční hodnota faktoru směrového zapomínání  $\varphi(0) = 1$ ,  $\lambda(0) = 0.001$ ,  $v(0) = 10^{-6}$ ,  $\rho = 0.99$ .



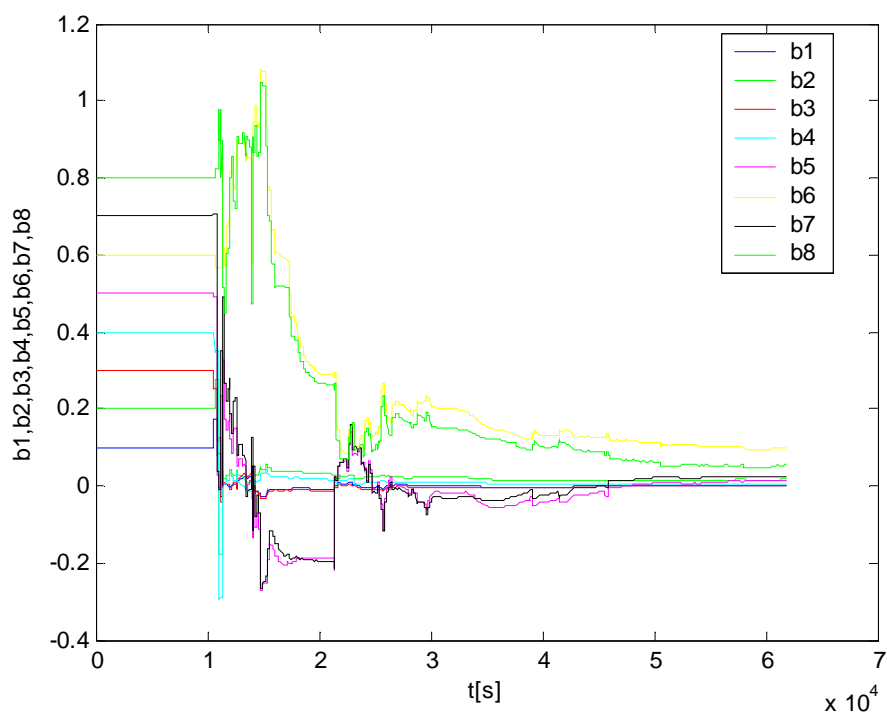
Obr. 53. Průběhy regulace teploty při použití adaptivního regulátoru se strukturou 1DOF



Obr. 54. Průběhy regulace vlhkosti při použití adaptivního regulátoru se strukturou 1DOF



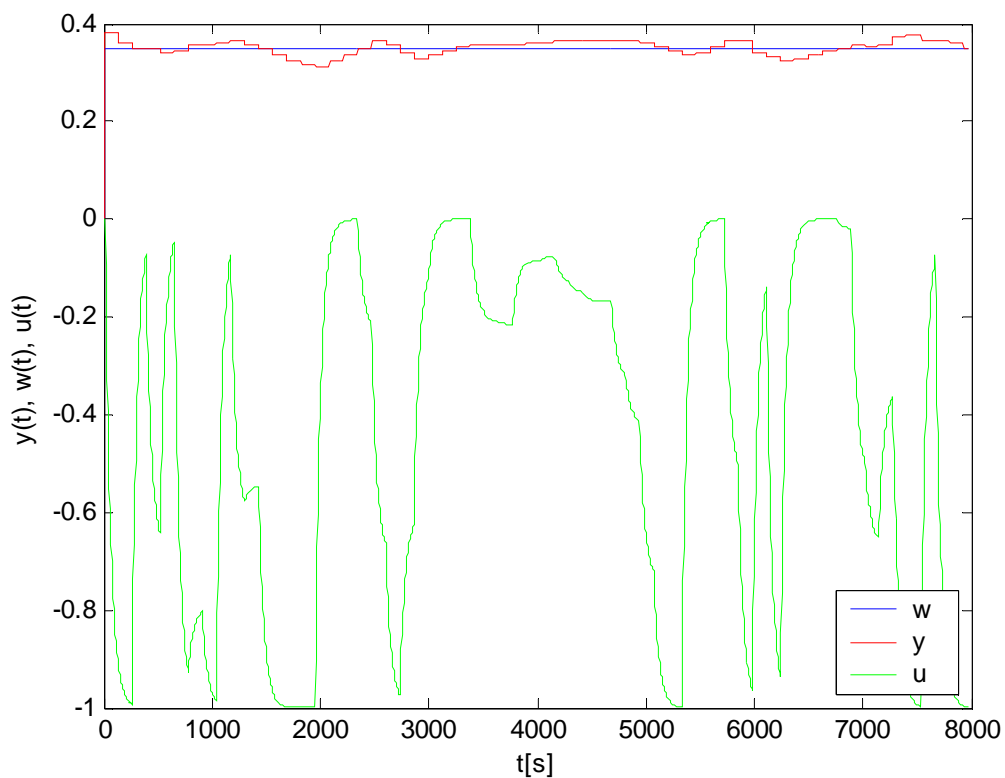
Obr. 55. Průběhy parametrů  $a_1 - a_8$  při použití adaptivního regulátoru se strukturou 1DOF



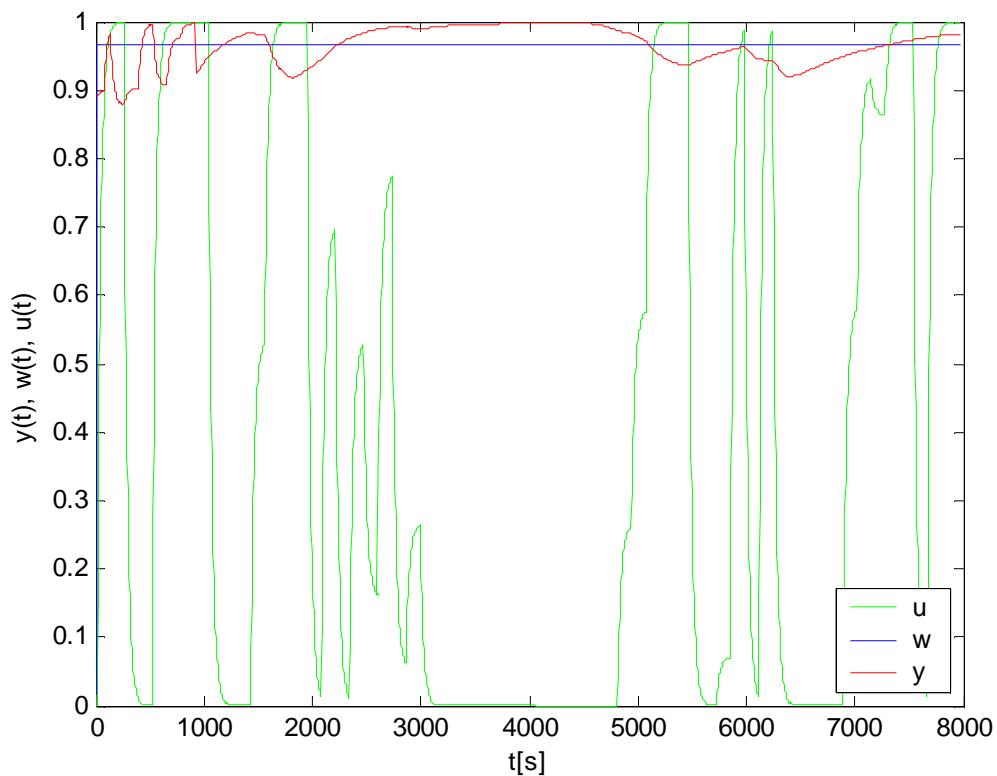
Obr. 56. Průběhy parametrů  $b_1 - b_8$  při použití adaptivního regulátoru se strukturou 1DOF

## Regulace s ustálenými parametry

Prvky na hlavní diagonále kovarianční matice  $C$  byly nastaveny na hodnotu 100. Počáteční odhad parametrů soustavy  $\hat{\Theta}(0)$  :  $a_1=-0,900537$ ,  $a_2=-0,044042$ ,  $a_3=-0,47129$ ,  $a_4=-0,022965$ ,  $a_5=-0,315767$ ,  $a_6=-0,8456$ ,  $a_7=-0,212759$ ,  $a_8=-0,001855$ ,  $b_1=0,016489$ ,  $b_2=-0,001207$ ,  $b_3=0,004991$ ,  $b_4=0,014620$ ,  $b_5=0,098285$ ,  $b_6=0,023093$ ,  $b_7=0,023093$ ,  $b_8=0,054367$ . Počáteční hodnota faktoru směrového zapomínání  $\varphi(0) = 1$ ,  $\lambda(0) = 0.001$ ,  $v(0) = 10^{-6}$ ,  $\rho = 0.99$ .



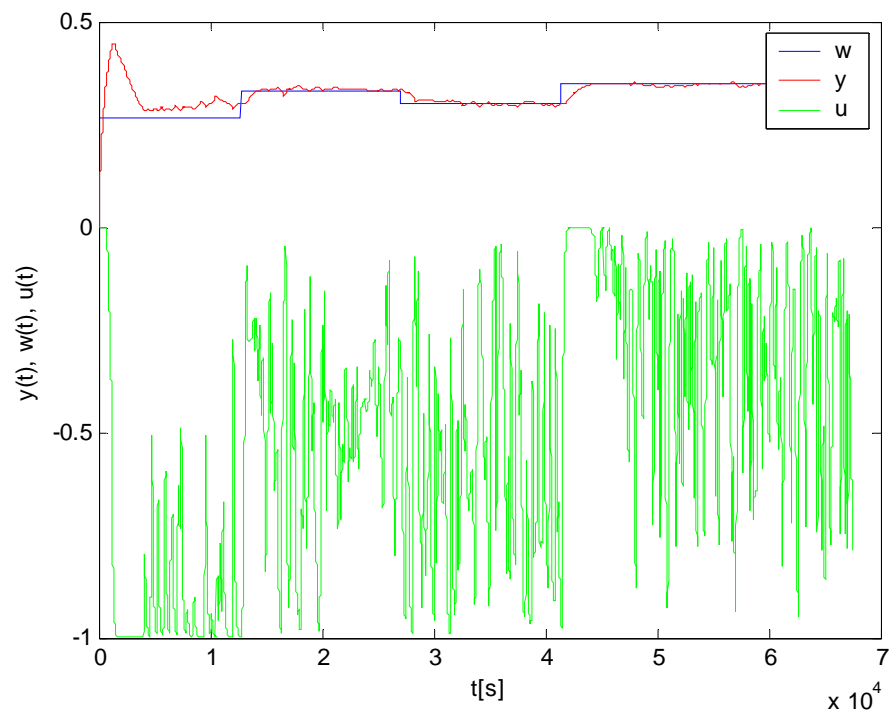
Obr. 57. Průběhy regulace teploty při použití adaptivního regulátoru se strukturou 1DOF s ustálenými parametry



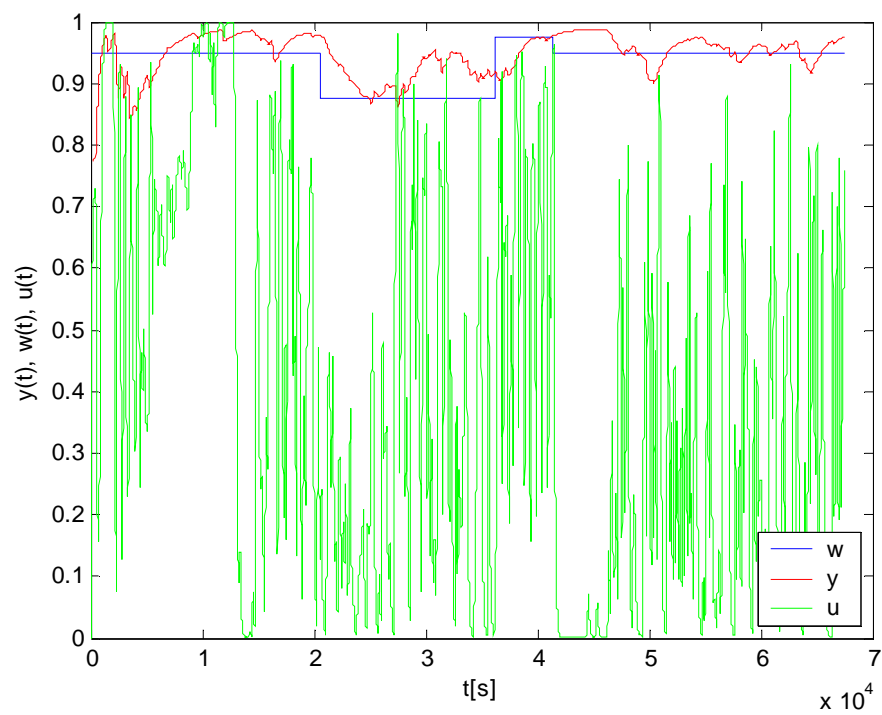
Obr. 58. Průběhy regulace vlhkosti při použití adaptivního regulátoru se strukturou 1DOF s ustálenými parametry

## 14.2 Adaptivní regulátor se strukturou 2DOF

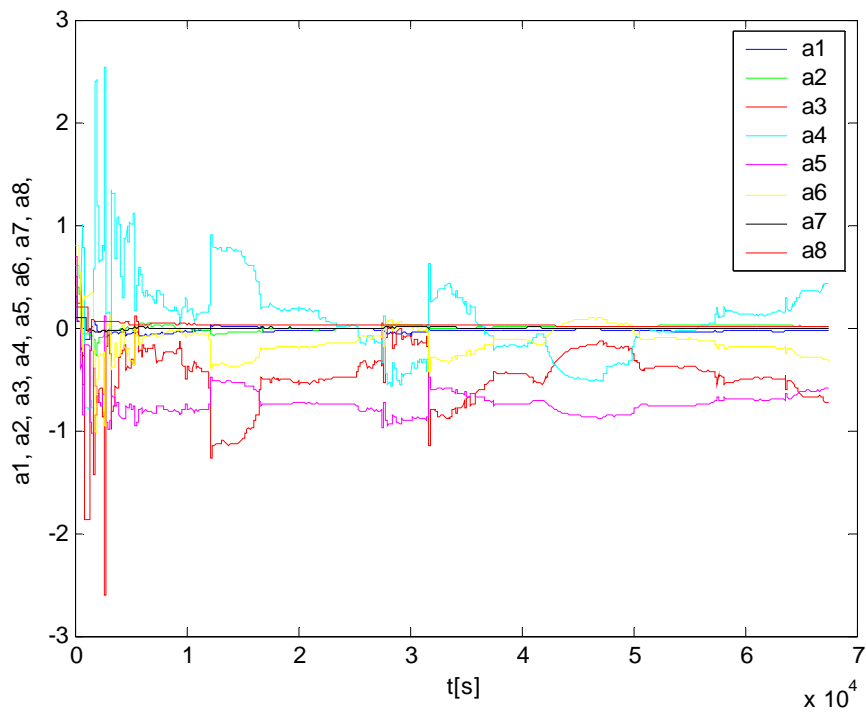
Prvky na hlavní diagonále kovarianční matice  $C$  byly nastaveny na hodnotu 1000000. Počáteční odhad parametrů soustavy  $\hat{\Theta}(0)$  :  $a_1=0,1$ ,  $a_2=0,2$ ,  $a_3=0,3$ ,  $a_4=0,4$ ,  $a_5=0,5$ ,  $a_6=0,6$ ,  $a_7=0,7$ ,  $a_8=0,8$ ,  $b_1=0,1$ ,  $b_2=0,2$ ,  $b_3=0,3$ ,  $b_4=0,4$ ,  $b_5=0,5$ ,  $b_6=0,6$ ,  $b_7=0,7$ ,  $b_8=0,8$ . Počáteční hodnota faktoru směrového zapomínání  $\varphi(0) = 1$ ,  $\lambda(0) = 0.001$ ,  $v(0) = 10^{-6}$ ,  $\rho = 0.99$ .



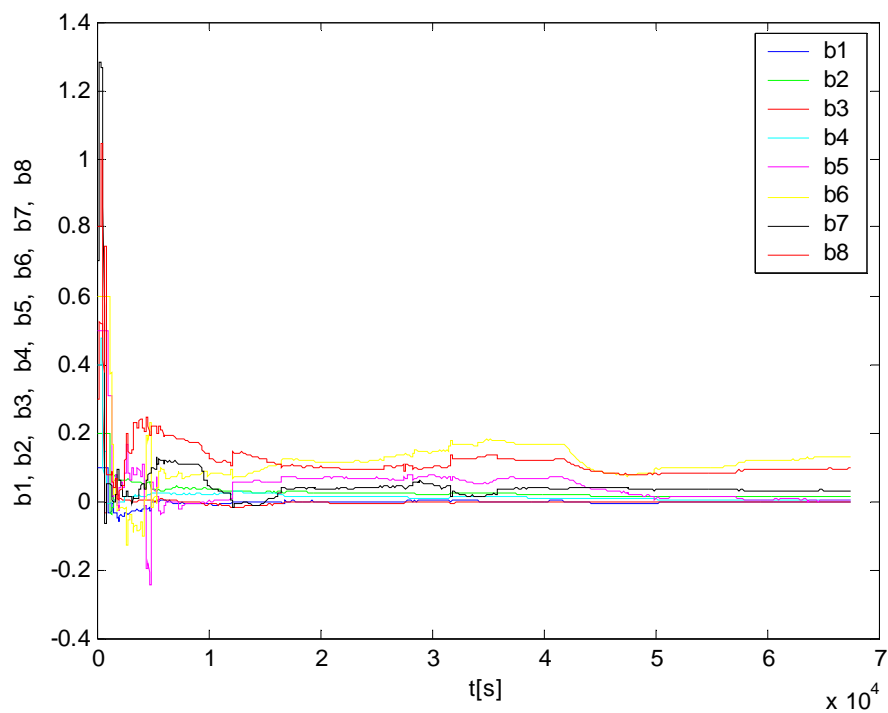
Obr. 59. Průběhy regulace teploty při použití adaptivního regulátoru se strukturou 2DOF



Obr. 60. Průběhy regulace vlhkosti při použití adaptivního regulátoru se strukturou 2DOF



Obr. 61. Průběhy parametrů  $a_1 - a_8$  při použití adaptivního regulátoru se strukturou 2DOF

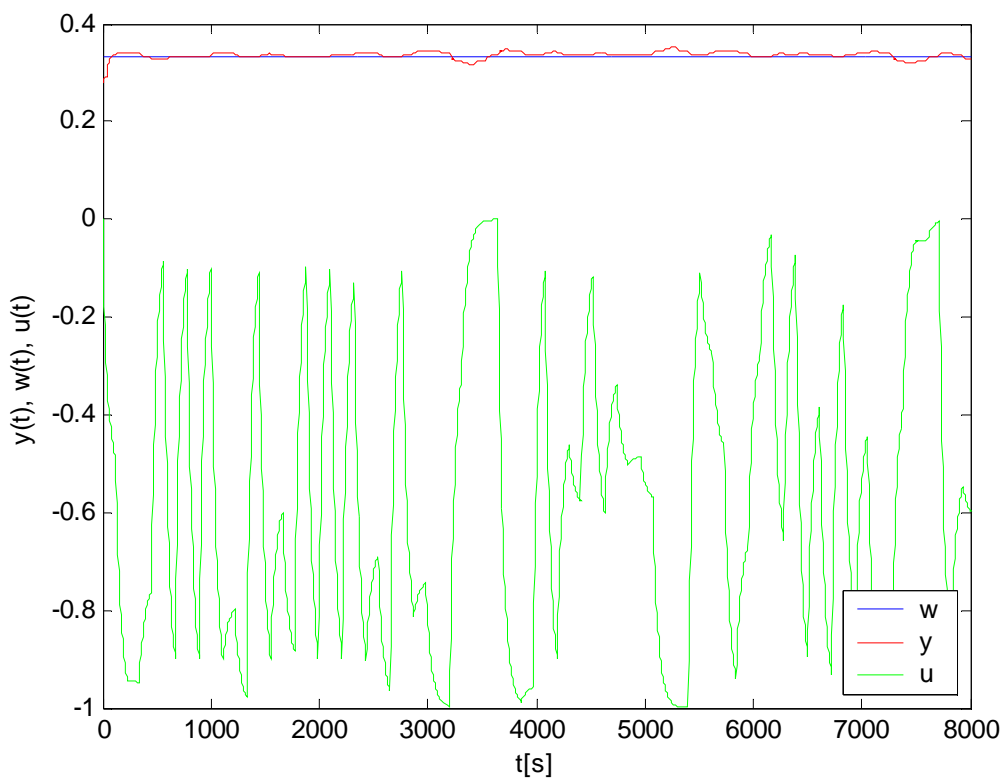


Obr. 62. Průběhy parametrů  $b_1 - b_8$  při použití adaptivního regulátoru se strukturou 2DOF

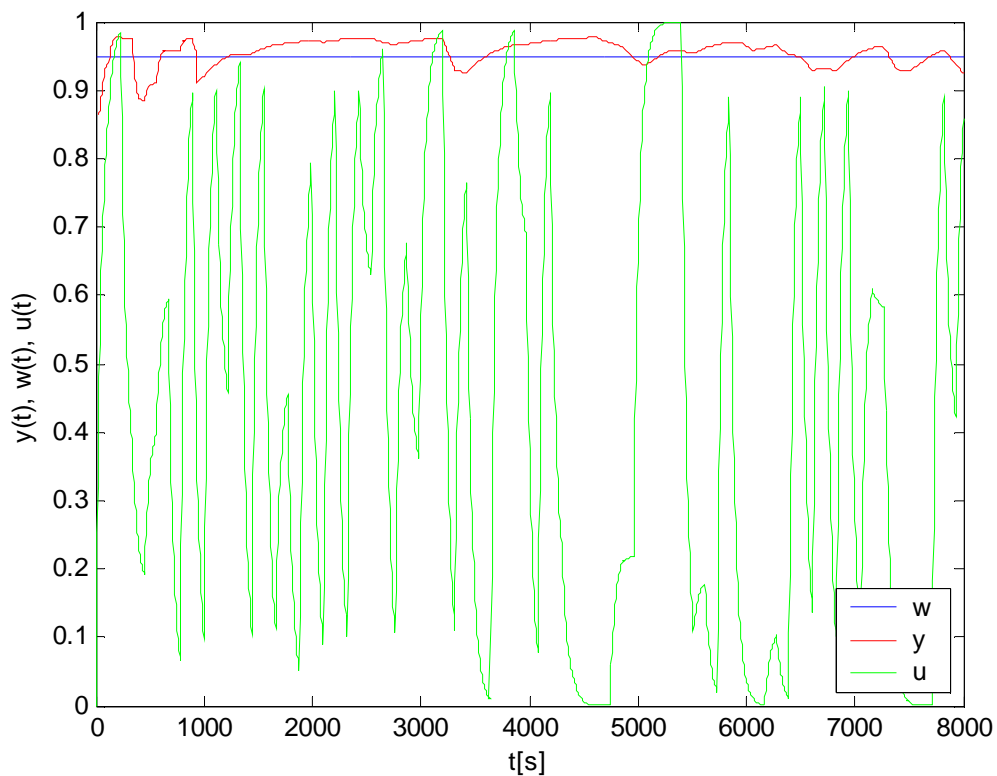


## Regulace s ustálenými parametry

Prvky na hlavní diagonále kovarianční matice  $C$  byly nastaveny na hodnotu 100. Počáteční odhad parametrů soustavy  $\hat{\Theta}(0)$  :  $a_1=-0,009226$ ,  $a_2=-0,9628$ ,  $a_3=-0,02745$ ,  $a_4=-0,0147$ ,  $a_5=-0,735886$ ,  $a_6=0,431675$ ,  $a_7=-0,590912$ ,  $a_8=-0,316563$ ,  $b_1=-0,002957$ ,  $b_2=-0,0112556$ ,  $b_3=-0,00226$ ,  $b_4=0,005019$ ,  $b_5=0,003744$ ,  $b_6=0,129972$ ,  $b_7=0,027543$ ,  $b_8=0,094985$ . Počáteční hodnota faktoru směrového zapomínání  $\varphi(0) = 1$ ,  $\lambda(0) = 0.001$ ,  $v(0) = 10^{-6}$ ,  $\rho = 0.99$ .



Obr. 63. Průběhy regulace teploty při použití adaptivního regulátoru se strukturou 2DOF s ustálenými parametry



Obr. 64. Průběhy regulace vlhkosti při použití adaptivního regulátoru se strukturou 2DOF s ustálenými parametry

Při porovnání kvality regulace (Tab. 6.) pro adaptivní regulátory se strukturami 1DOF a 2DOF podle kritéria založeného na sumaci kvadrátu regulační odchylky i podle sumace kvadrátu přírůstku akční veličiny bylo dosaženo lepších výsledků u regulátoru se strukturou 2DOF. Při porovnání grafických průběhů regulačních pochodů u obou regulátorů bylo dosaženo podobných výsledků. Oba typy regulátorů splnili požadavky regulace, tzn. teplota byla regulována bez větších překmitů na žádanou hodnotu a relativní vlhkost v komoře neklesla pod 95%. Překmity při regulaci vlhkosti jsou pravděpodobně zapříčiněny tím že ve stěnách komory je absorbována vlhkost, která způsobuje poruchy při regulaci.

Tab. 5. Tabulka kvality regulace pro regulátory 1DOF a 2DOF

Struktura regulátoru	Veličina	Su	Sy	Časový interval [s]
1DOF	Teplota	0,0108	0,0045	0 - 61810
	Vlhkost	0,0123	0,0042	0 - 61810
2DOF	Teplota	0,0076	0,0011	0 - 61810
	Vlhkost	0,0071	0,0037	0 - 61810
1DOF s ustálenými parametry	Teplota	0,0099	0,0002153	0 - 7965
	Vlhkost	0,0205	0,0032	0 - 7965
1DOF s ustálenými parametry	Teplota	0,0186	0,0000499	0 - 7965
	Vlhkost	0,0207	0,0018	0 - 7965

## ZÁVĚR

Cílem první části této diplomové práce bylo seznámení se zkušebními automobilovými hadicemi a její následnou identifikací a řízením v reálném čase. Řízení tlaku v primárním okruhu zkušebny v reálném čase bylo provedeno v programovém prostředí ControlWeb 2000. Byla vytvořena aplikace pro řízení a vizualizaci tlaku v primárním okruhu zkušebny. Na základě experimentálního měření přechodových charakteristik byla zvolena vhodná perioda vzorkování. Jako model systému byl zvolen ARX model druhého řádu. Pomocí jednorázové metody nejmenších čtverců byly z naměřených dat identifikovány parametry tohoto modelu. Pro řízení pak byl použit PID regulátor navržený s využitím metody přiřazení pólů se strukturou A-1. Dosažená kvalita regulace pomocí regulátoru s pevně nastavenými parametry nebyla dostačující pro požadavky zkoušky. Bylo to dáno skutečností, že proces v průběhu zkoušky měnil své parametry. Měnily se vlastnosti zkoušeného vzorku a teplota testovacího media. Regulátory s pevně nastavenými parametry se tedy ukázaly jako ne zcela vyhovující. Bylo nutno tedy použít samočinně se nastavující PID regulátor opět založený na přiřazení pólů a se strukturou A-1. Při regulaci tímto regulátorem bylo dosaženo velmi dobré kvality regulace plně vyhovující pro provádění zátěžových testů. Regulátor zvládl nejen skokové změny žádané veličiny, ale i průběhy žádané veličiny ve tvaru rampy nebo sinusového signálu. Tyto průběhy žádané veličiny jsou typické pro provádění zátěžových testů.

Cílem druhé části této diplomové práce bylo seznámení se s komorou pro vyzrávání betonových vzorků a následné řízení teploty a vlhkosti v komoře v reálném čase. Řízení teploty a vlhkosti v komoře bylo provedeno v prostředí ControlWeb 2000. Byla vytvořena aplikace pro řízení a vizualizaci teploty a vlhkosti v komoře. Na základě změřených přechodových charakteristik bylo zřejmé, že je systém nelineární. Ani v tomto případě tedy nebylo možno použít regulátorů s pevně nastavenými parametry. Systém dále vykazoval vnitřní interakce mezi vstupními a výstupními veličinami. Pro řízení byl tedy použit dvourozměrný samočinně se nastavující regulátor založený na metodě přiřazení pólů a to pro strukturu regulačního obvodu 1DOF tak i pro 2DOF.

Oba typy regulátorů splnily požadavky na kvalitu regulace pro potřeby provádění zkoušek, tzn. teplota byla regulována bez větších překmitů při asymptotickém sledování žádané hodnoty a relativní vlhkost v komoře neklesla pod 95%.

Při regulaci obou zařízení bylo dosaženo výrazně lepších výsledků než při stávajících řešeních. Ve stávajících řešeních bylo pro řízení fyzikálních veličin použito standardních regulátorů z prostředí ControlWeb s náhodně zvolenými parametry. Obě aplikace jsou používány při provádění zkoušek.

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] Balátě, J. 2003. Automatické řízení. BEN.
- [2] Bobál V., Bohm J., Prokop R., Fessl J.: Praktické aspekty samočinně se nastavujících regulátorů: algoritmy a implementace, VUT v Brně, 1999.
- [3] Bílý, R., P. Cagaš, R. Cagaš, D. Hladovka, M. Kolařík, J. Sobotík, M. Zálešák, Z. Zgarba (1999). Katalog CONTROL WEB 2000, Praha, 1. vydání, s. 382, ISBN 80-7226-258-0.
- [4] BOBÁL, V.: Identifikace systémů. VUT v Brně, 1990.
- [5] Internetová adresa <http://www.mii.cz/>
- [6] Bittanti, P. Bolzern and M. Campi, Convergence and Exponential Convergence of Identification Algorithms with Directional Forgetting Factor, Automatica, Vol. 26, No. 5, pp. ~929 – 932, 1990.
- [7] V. Kučera, Analysis and Design of Discrete Linear Control Systems, Academia, Prague, 1991.
- [8] Kubalčík M.: Mnohorozměrové adaptivní řízení, disertační práce, Vysoké učení technické v Brně, 2000.
- [9] Kubalčík, M. and Bobál, V., “Adaptive Control of Coupled Drives Apparatus Based on Polynomial Theory”, in *IEEE International Conference on Control Applications*, Glasgow, Scotland, 2002, pp. 594 - 599.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition - supervizí řízení a sběr dat
MMI	Man Machina Interface - rozhraní člověk – stroj
WWW	World Wide Web
HTML	Hypertext Markup Protocol
<i>deg</i>	Stupeň
<i>1DOF</i>	Regulační obvod s jedním stupněm volnosti
<i>2DOF</i>	Regulační obvod s dvěma stupni volnosti
<i>STC</i>	Self tuning control – samočinně se nastavující regulátor
<i>k</i>	Krok výpočtu
<i>S<sub>e</sub></i>	Suma regulačních odchylek
<i>S<sub>u</sub></i>	Suma akčních zásahů
<i>T<sub>v</sub></i>	Perioda vzorkování
<i>C</i>	Čtvercová kovarianční matice
$\hat{e}$	Chyba predikce
$\varphi$	Faktor směrového zapomínání
$\phi$	Vektor dat
$\hat{\Theta}$	Vektor odhadů parametrů
<i>w</i>	Žádaná veličina
<i>e</i>	Regulační odchylka
<i>u</i>	Akční veličina vstupující do soustavy
<i>y</i>	Výstupní regulovaná veličina
<i>F</i>	Matice integrátoru
<i>M</i>	Matice rozložení pólů

$W$	Vektor žádaných veličin
$Y$	Vektor regulovaných veličin
$U$	Vektor akční veličiny
$\xi$	Reálná část pólu
$\omega$	Imaginární část pólu
$A(z^{-1})$	Polynom jmenovatele Z-přenosu soustavy
$a_1..a_8$	Koeficienty jmenovatele Z-přenosu soustavy
$B(z^{-1})$	Polynom čitatele Z-přenosu soustavy
$b_1..b_8$	Koeficienty čitatele Z-přenosu soustavy
$D(z^{-1})$	Charakteristický polynom
$d$	Počet kroků dopravního zpoždění
$d_1,..d_4$	Koeficienty charakteristického polynomu
$E(z^{-1})$	Obraz odchytky
$G_R(z^{-1})$	Přenos regulátoru
$G_S(z^{-1})$	Přenos soustavy
$G_W(z^{-1})$	Přenos řízení
$P(z^{-1})$	Polynom jmenovatele regulátoru
$p_0...p_2$	Koeficienty jmenovatele regulátoru
$Q(z^{-1})$	Polynom čitatele zpětnovazební části regulátoru
$q_0...q_2$	Koeficienty čitatele zpětnovazební části regulátoru
$R(z^{-1})$	Polynom čitatele přímovazební části regulátoru
$m_1..m_8$	Koeficienty charakteristického polynomu regulátoru



**SEZNAM OBRÁZKŮ**

<i>Obr. 1. Zkušebna automobilových hadic .....</i>	13
<i>Obr. 2. Zkušební komora a upevňovací rošt .....</i>	14
<i>Obr. 3. Elektrický rozvaděč .....</i>	15
<i>Obr. 4. Tlakovací okruh .....</i>	17
<i>Obr. 5. Komora pro vyzrávání betonových vzorků .....</i>	18
<i>Obr. 6. Klimatizační jednotka .....</i>	19
<i>Obr. 7. Vytváječ páry .....</i>	20
<i>Obr. 8. Senzor vlhkosti a teploty Comet NH .....</i>	21
<i>Obr. 9 Projektové okno aplikace .....</i>	24
<i>Obr. 10. Záložky projektového okna .....</i>	24
<i>Obr. 11. Vložení přístroje na pracovní plochu .....</i>	25
<i>Obr. 12. Ukázka definice datových elementů .....</i>	26
<i>Obr. 13. Výsledek spuštěné aplikace .....</i>	26
<i>Obr. 14. ToolBar Control Webu .....</i>	27
<i>Obr. 15. Popis a vlastnosti nastavené přístroje .....</i>	28
<i>Obr. 16. Okno tabulkového procesoru InCalc .....</i>	29
<i>Obr. 17. Blokové schéma regulačního obvodu s regulátorem PID – A .....</i>	31
<i>Obr. 18. Schéma konfigurace IDOF .....</i>	34
<i>Obr. 19. Schéma konfigurace 2DOF - B .....</i>	37
<i>Obr. 20. Modulární jednotka DataLab IO/USB .....</i>	49
<i>Obr. 21. Hlavní panel aplikace .....</i>	51
<i>Obr. 22. Rolovací lišta pro nastavování proporcionálního ventilu .....</i>	52
<i>Obr. 23. Část panelu pro nastavování a spuštění regulace .....</i>	52
<i>Obr. 24. Editační pole pro nastavování žádaných hodnot .....</i>	53
<i>Obr. 25. Grafické zobrazení průběhu žádané hodnoty .....</i>	53
<i>Obr. 26. Ukazatel aktuálního počtu cyklů .....</i>	54
<i>Obr. 27. Vizualizační část panelu .....</i>	54
<i>Obr. 28. Panel 2 .....</i>	55
<i>Obr. 29. Panel 3 .....</i>	56
<i>Obr. 30. Přejímové charakteristiky zkušebny pro jednotlivé kladné akční zásahy .....</i>	59
<i>Obr. 31. Přejímové charakteristiky zkušebny pro jednotlivé záporné akční zásahy .....</i>	59

<i>Obr. 32. Průběhy budícího signálu a odezvy použité pro identifikaci.....</i>	<i>60</i>
<i>Obr. 33. Regulační průběhy pro PID A-1 s nastavením <math>\xi=1</math> a <math>\omega=1</math> .....</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 34. Regulační průběhy pro PID A-1 s nastavením <math>\xi=0,7</math> a <math>\omega=1</math> .....</i>	<i>64</i>
<i>Obr. 35. Regulační průběhy na zkušebně pro STC regulátor struktury PID A-1 při skokové změně žádané hodnoty .....</i>	<i>65</i>
<i>Obr. 36. Průběhy odhadů parametrů pro STC regulátor struktury PID A-1 při skokové změně žádané hodnoty .....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 37. Regulační průběhy na zkušebně pro STC regulátor struktury PID A-1 při více skokových změnách žádané hodnoty .....</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 38. Průběhy odhadů parametrů pro STC regulátor struktury PID A-1 při více skokových změnách žádané hodnoty .....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 39. Regulační průběhy na zkušebně pro STC regulátor struktury PID A-1 při průběhu žádané hodnoty ve tvaru rampy .....</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 40. Průběhy odhadů parametrů pro STC regulátor struktury PID A-1 při průběhu žádané hodnoty ve tvaru rampy .....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 41. Regulační průběhy na zkušebně pro STC regulátor struktury PID A-1 při průběhu žádané hodnoty ve tvaru sinusovky .....</i>	<i>68</i>
<i>Obr. 42. Průběhy odhadů parametrů pro STC regulátor struktury PID A-1 při průběhu žádané hodnoty ve tvaru sinusovky .....</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 43. Blokové schéma zapojení komory k PC .....</i>	<i>70</i>
<i>Obr. 44. Modul ADAM 4520 .....</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 45. Modul ADAM 4017 .....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 46. Modul ADAM 4050 .....</i>	<i>72</i>
<i>Obr. 47. Hlavní panel aplikace .....</i>	<i>74</i>
<i>Obr. 48. Panel 2 .....</i>	<i>75</i>
<i>Obr. 49. Průběh teploty v komoře při zapnuté klimatizaci .....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 50. Průběh relativní vlhkosti v komoře při zapnuté klimatizaci .....</i>	<i>79</i>
<i>Obr. 51. Průběh teploty v komoře při zapnutém vyvíječi páry .....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 52. Průběh relativní vlhkosti v komoře při zapnutém vyvíječi páry .....</i>	<i>80</i>
<i>Obr. 53. Průběhy regulace teploty při použití adaptivního regulátoru se strukturou 1DOF .....</i>	<i>83</i>
<i>Obr. 54. Průběhy regulace vlhkosti při použití adaptivního regulátoru se strukturou 1DOF .....</i>	<i>83</i>

<i>Obr. 55. Průběhy parametrů <math>a1 - a8</math> při použití adaptivního regulátoru se strukturou 1DOF .....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 56. Průběhy parametrů <math>b1 - b8</math> při použití adaptivního regulátoru se strukturou 1DOF .....</i>	<i>84</i>
<i>Obr. 57. Průběhy regulace teploty při použití adaptivního regulátoru se strukturou 1DOF s ustálenými parametry .....</i>	<i>85</i>
<i>Obr. 58. Průběhy regulace vlhkosti při použití adaptivního regulátoru se strukturou 1DOF s ustálenými parametry .....</i>	<i>86</i>
<i>Obr. 59. Průběhy regulace teploty při použití adaptivního regulátoru se strukturou 2DOF .....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 60. Průběhy regulace vlhkosti při použití adaptivního regulátoru se strukturou 2DOF .....</i>	<i>87</i>
<i>Obr. 61. Průběhy parametrů <math>a1 - a8</math> při použití adaptivního regulátoru se strukturou 2DOF .....</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 62. Průběhy parametrů <math>b1 - b8</math> při použití adaptivního regulátoru se strukturou 2DOF .....</i>	<i>88</i>
<i>Obr. 63. Průběhy regulace teploty při použití adaptivního regulátoru se strukturou 2DOF s ustálenými parametry .....</i>	<i>89</i>
<i>Obr. 64. Průběhy regulace vlhkosti při použití adaptivního regulátoru se strukturou 2DOF s ustálenými parametry .....</i>	<i>90</i>

**SEZNAM TABULEK**

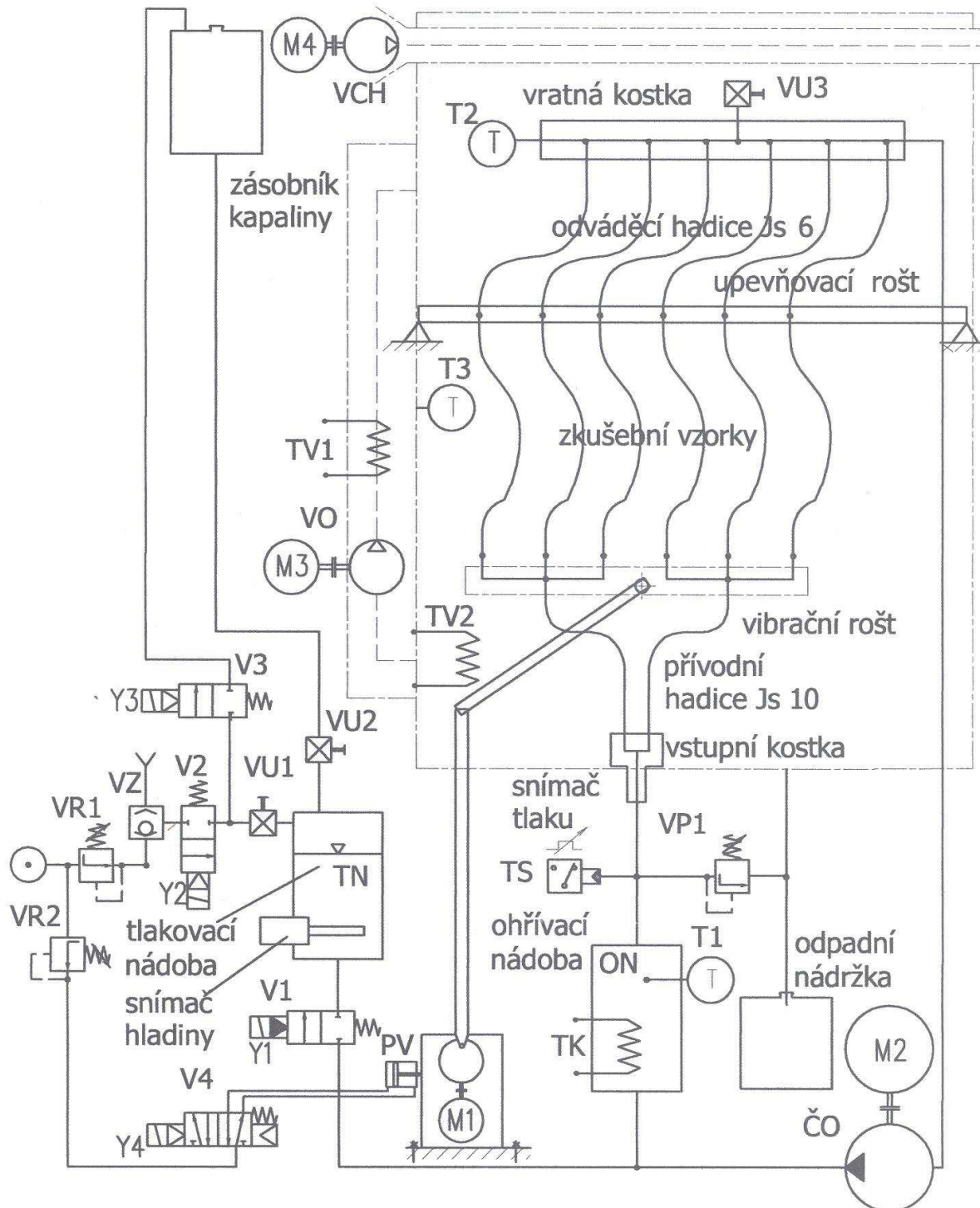
<i>Tab. 1. Zapojení vstupů a výstupů u jednotky Datalab.....</i>	<i>47</i>
<i>Tab. 2. Názvy a popis kanálů definovaných v aplikaci ControlWebu .....</i>	<i>50</i>
<i>Tab. 3. Tabulka kvality regulace .....</i>	<i>65</i>
<i>Tab. 4. Názvy a popis kanálů definovaných v aplikaci ControlWebu .....</i>	<i>73</i>
<i>Tab. 5. Tabulka kvality regulace pro regulátory 1DOF a 2DOF.....</i>	<i>91</i>

## SEZNAM PŘÍLOH

P1 : Schéma zkušebny automobilových hadic

P2: Schéma vibrační jednotky

# PŘÍLOHA P I: SCHEMA ZKUŠEBNY AUTOMOBILOVÝCH HADIC



## PŘÍLOHA P 2: SCHÉMA VIBRAČNÍ JEDNOTKY

