

**Realizace řízení a snímání teploty při zkoušce
systémů pro ochranu betonových konstrukcí**
Realization of temperature control and measurement at the test of
systems for concrete construction protection

Bc. Ondřej Sušina

Diplomová práce
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav řízení procesů
akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej SUŠINA, DiS.**
Studijní program: **N 2807 Chemické a procesní inženýrství**
Studijní obor: **Automatizace a řídicí technika**

Téma práce: **Realizace řízení a snímání teploty při zkoušce systémů pro ochranu betonových konstrukcí**

Zásady pro vypracování:

1. Analyzujte řízený systém z hlediska statických a dynamických vlastností.
2. Metodami experimentální identifikace získejte matematický model řízeného systému vhodný pro návrh číslicových regulátorů.
3. Na základě získaného matematického modelu proveďte návrh vybraných číslicových regulátorů jak s pevně nastavenými parametry tak jako samočinně se nastavujících.
4. Výsledky regulačních pochodů pro jednotlivé regulátory porovnejte.
5. Vytvořte aplikaci uživatelského rozhraní pro operátora zkoušky.
6. Realizujte v prostředí Control Web 5.

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., 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] 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.

[6] V. Kučera, Analysis and Design of Discrete Linear Control Systems, Academia, Prague, 1991.

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

Ústav řízení procesů

Datum zadání diplomové práce: **13. února 2007**

Termín odevzdání diplomové práce: **24. května 2007**

Ve Zlíně dne 13. února 2007

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



prof. Ing. Petr Dostál, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá vytvořením aplikace pro řízení, snímání, vizualizaci a archivaci teploty při provádění zátěžových zkoušek systémů pro ochranu betonových konstrukcí. Zkouška se provádí ve zkušební kabině, která je vybavena topným tělesem s povrchovým vyzařováním, skrápěcím zařízením a termoelektrickými snímači teploty umístěnými na povrchu betonového zkušebního tělesa. Zkušební kabina je k PC připojena přes rozhraní Ethernet a RS 485 pomocí modulů ADAM. Aplikace pro řízení zkušebny, archivaci a vizualizaci naměřených dat byla vytvořena pomocí vývojového prostředí ControlWeb 5. Výstupem aplikace je protokol o provedené zátěžové zkoušce. 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.

Klíčová slova: zátěžové zkoušky, regulace teploty, přiřazení pólů, metoda nejmenších čtverců, Control Web

ABSTRACT

This thesis deals with design of application for control, measurement, visualization and archiving of temperature data during endurance testing of systems for protection of concrete constructions. The test performs in a trial cab, which is equipped with heating units with surface emission, spraying device and thermoelectric temperature sensor placed on surface of trial concrete unit. The communication between the trial cab and PC is established by ADAM modules by Ethernet and RS-485 interface. The application was created with use of the development interface Control Web 5. The output of the application is a test certificate. The controlled process is described by a second order model. Controllers with fixed parameters and self-tuning controllers based on pole placement were used for the control.

Keywords: endurance testing, temperature control, pole assignment, recursive least squares method, Control Web

Na tomto místě 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.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 POPIS ZKUŠEBNÍ KABINY	10
1.1 POPIS MECHANICKÝCH ČÁSTÍ KABINY	11
1.1.1 Topné zařízení	11
1.1.2 Termoelektrický snímač teploty.....	11
1.1.3 Skrápěcí zařízení	12
1.1.4 Elektrický rozvaděč.....	13
2 CONTROL WEB 5	14
2.1 CO JE CONTROL WEB 5	14
2.2 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI.....	15
2.2.1 Podpora hardware.....	15
2.2.2 Podpora otevřených protokolů	15
2.2.3 Podpora otevřených standardů	15
2.2.4 Schopnost práce v distribuovaném prostředí	16
2.2.5 Podpora platforem.....	16
2.2.6 Trvalý provoz	17
2.2.7 Control Web a reálný čas	17
2.3 POPIS PROSTŘEDÍ PRO VÝVOJ APLIKACÍ V CONTROL WEBU	18
2.3.1 Grafický editor	19
2.3.2 Datové inspektory	21
2.3.3 Textový editor	22
2.4 POPIS FUNKCÍ TOOLBARU	23
2.5 INCALC	24
3 POPIS POUŽITÝCH REGULÁTORŮ	25
3.1 REGULÁTORY ZALOŽENÉ NA METODĚ PŘIŘAZENÍ PÓLŮ	25
3.1.1 Návrh regulátoru 1DOF	25
3.1.2 Návrh regulátoru 2DOF	29
4 IDENTIFIKACE	31
4.1 JEDNORÁZOVÁ METODA NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ	31
4.2 PRŮBĚŽNÁ IDENTIFIKACE REKURZIVNÍ METODOU NEJMENŠÍCH ČTVERCŮ	33
4.2.1 Modifikace pro použitý diskretní model	35
II PRAKTICKÁ ČÁST	36
5 PROPOJENÍ ZKUŠEBNÍ KABINY S PC	37
5.1 POPIS MODULŮ ADAM	38
5.2 SPOJENÍ PROSTŘEDÍ CONTROL WEB S MODULY ADAM.....	40
6 NÁVRH A POPIS APLIKACE V PROGRAMU CONTROL WEB	42

6.1	POPIS JEDNOTLIVÝCH PANELŮ APLIKACE	43
6.1.1	Panel <i>Nastavení</i>	43
6.1.2	Panel <i>Vizualizace</i>	44
6.1.3	Panel <i>Průběh zkoušky</i>	45
6.1.4	Panel <i>Test</i>	46
6.1.5	Panel <i>Protokol o zkoušce</i>	48
6.2	MINIMALIZACE APLIKACE	49
6.3	UKONČENÍ APLIKACE	50
6.4	ALGORITMUS REGULACE	50
7	ANALÝZA VLASTNOSTÍ ZKUŠEBNÍ KABINY	52
7.1	DYNAMICKÉ VLASTNOSTI ZKUŠEBNÍ KABINY	52
7.2	IDENTIFIKACE ZKUŠEBNY	53
8	NAMĚŘENÉ PRŮBĚHY REGULACE TEPLoty POVRCHU ZKUŠEBNÍHO TĚLESA	55
8.1	PRŮBĚHY REGULACÍ S POUŽITÍM REGULÁTORŮ S PEVNĚ NASTAVENÝMI PARAMETRY	55
8.1.1	Regulátor 1DOF – 1	55
8.1.2	Regulátor 2DOF – 1	56
8.2	PRŮBĚHY REGULACÍ S POUŽITÍM SAMOČINNĚ SE NASTAVUJÍCÍCH REGULÁTORŮ	56
8.2.1	Regulátor 1DOF – 1	57
8.2.2	Regulátor 2DOF – 1	58
8.3	POROVNÁNÍ KVALITY REGULACE	59
	ZÁVĚR.....	60
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	61
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	63
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	64
	SEZNAM OBRÁZKŮ	67
	SEZNAM TABULEK.....	69
	SEZNAM PŘÍLOH.....	70

ÚVOD

Náplní této diplomové práce je realizace řízení a snímání teploty při zkoušce systémů pro ochranu betonových konstrukcí. Jedná se o zařízení určené pro vystavování betonového zkušební tělesa cyklickým tepelným šokům. Úkolem řízení byla regulace teploty ve zkušební kabině podle nastaveného průběhu žádané hodnoty. Důležitou součástí práce je vytvoření aplikace uživatelského rozhraní pro operátora zkoušky. Tato aplikace je určená pro nastavování základních parametrů regulace, řízení systému, archivaci a vizualizaci měřených dat. Jako programové prostředí byl zvolen ControlWeb 5, pro komunikaci mezi PC a zkušebnou bylo použito rozhraní Ethernet. Převod signálu Ethernet/RS-485, snímání hodnot ze senzorů a ovládání akčních zařízení je pak provedeno pomocí modulů ADAM.

Zkušební kabina je vybavena výkonným topným tělesem s povrchovým vyzařováním, skrápěcím zařízením a termoelektrickými snímači teploty umístěnými na povrchu betonového zkušební tělesa. Spínání topného tělesa a čerpadla skrápěcího zařízení je prováděno za pomoci modulu ADAM-4056. Zkušební těleso je skrápěno vodou o teplotě $(12 \pm 3)^\circ\text{C}$. Snímání teploty se provádí pomocí termoelektrických snímačů připojených k modulu ADAM-4018. Oba moduly jsou připojeny k modulu ADAM-4571, který přenáší signály po rozhraní Ethernet mezi PC a zkušebnou.

Analýzou a následnou identifikací řízeného systému byl získán matematický model vhodný pro návrh číslicových regulátorů. Byly provedeny návrhy číslicových regulátorů jak s pevně nastavenými parametry tak i samočinně se nastavujících s průběžnou identifikací parametrů modelu procesu. Výsledky regulačních pochodů jednotlivých regulátorů byly porovnány.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POPIS ZKUŠEBNÍ KABINY

Kabina je umístěna v laboratoři s normálním laboratorním prostředím. Jedná se o vybavení pro simulaci náporového skrápění, kterým se podrobuje betonové zkušební těleso. Na zkušební těleso o daných rozměrech je nanesen zkoušený materiál pro ochranu betonových konstrukcí. Vybavení pro simulaci náporového skrápění se skládá z otevřené kabiny se skrápěcím zařízením, topnými tělesy s povrchovým vyzařováním a ověřování teploty povrchu zkušebního tělesa se provádí termoelektrickými snímači .

Teplota povrchu zkušebního tělesa se reguluje prostřednictvím spínání topného nebo skrápěcího zařízení.

Realizace řízení se provádí prostřednictvím PC s nainstalovaným vizualizačním a řídicím softwarem Control Web 5. Sběr dat je prováděn pomocí RS-485 s převodem na Ethernet. Měřící karta a binární výstupy jsou realizovány pomocí distribuovaných modulů ADAM-4018 a ADAM-4056 od firmy Advantech. Měřící termoelektrické snímače teploty mají napěťový výstup v milivoltech.



Obr. 1. Zkušební kabina

1.1 Popis mechanických částí kabiny

1.1.1 Topné zařízení

Zařízení je vyrobeno z nerezových plechů tak, aby mohly jednotlivé díly dilatovat podle rozdílů teploty a osazeno třemi topnými tělesy ve tvaru U vyzařujícími teplo na povrch zkušebního tělesa. Topné zařízení je umístěno uvnitř kabiny a je výškově nastavitelné. Spínání topných těles je prováděno pomocí řídicího triaku napětím 230V.



Obr. 2. Topné zařízení

1.1.2 Termoelektrický snímač teploty.

Termoelektrické snímače teploty patří mezi kontaktní snímače používané k dálkovému měření teploty a jejich čidlo (termoelektrický článek) převádí teplotní změnu prostředí na změnu elektrického napětí. V našem systému byly použity termočlánky "J" označené tak dle normy IEC 584. Termočlánek má napěťový výstup v milivoltech.

Technické parametry termočlánku "J" :

Původní označení:	Fe-CuNi
Rozsah měřené teploty:	-200°C – 760°C
Přesnost měření teploty:	±1,5 °C v rozsahu (-40 až 750) ° C



Obr. 3. Termoelektrické snímače teploty

1.1.3 Skrápěcí zařízení

Toto zařízení slouží ke skrápění rozehrátého povrchu zkušebního tělesa. Skrápěcím médiem je studená voda o teplotě $(12 \pm 3)^\circ\text{C}$, která je přiváděna od zdroje tekuté vody přes ovládací elektromagnetický ventil s označením EVPE 2015.01 od společnosti PEVAKO s.r.o.. Spínání elektromagnetického ventilu je prováděno pomocí řídicího triaku napětím 230V, bez napětí je ventil uzavřen. Skrápění se provádí přes děrovanou měděnou trubici, která je připojena přes gumovou hadici k ovládacímu ventilu.

Technické parametry elektromagnetického ventilu:

Provedení :	sedlový ventil s elastickým těsněním
Napájecí napětí :	230V/ 50Hz
Příkon:	26 VA
Krytí:	IP 54
Jmenovitá světlost DN:	15 mm
Max. teplota média:	80°C



Obr. 4. Elektromagnetický ventil



Obr. 5. Skrápěcí zařízení

1.1.4 Elektrický rozvaděč

Plastová montážní krabice s krytím IP 55, která obsahuje veškeré elektronické spínací a jisticí obvody. Na stěně krabice je umístěn hlavní vypínač přívodu elektrické energie o napětí 230V/50Hz. Součástí rozvaděče je i napájecí zdroj 230V/24V pro moduly ADAM, které jsou pomocí DIN lišt upevněny na stěně rozvaděče. DIN lišta je speciálně tvarovaná lišta o přesně zadaných rozměrech, která umožňuje unifikované a velmi snadné připevnění elektrických přístrojů na tuto lištu bez použití dalších spojovacích prvků.



Obr. 6. Elektrický rozvaděč

2 CONTROL WEB 5

Aplikace pro řízení systému, archivaci a vizualizaci měřených dat na zkušebním zařízení byla realizována v prostředí Control Web 5. Následující část práce se zabývá popisem tohoto prostředí a jeho vlastnostmi.

2.1 Co je CONTROL WEB 5

Program Control Web 5 (dále jen Control Web nebo CW5) vyvinutý firmou Moravské přístroje a.s, která sídlí ve Zlíně, patří k velice rozšířeným produktům určeným pro vývoj průmyslových SCADA/MMI aplikací. Control Web je univerzální nástroj pro vývoj a nasazování vizualizačních a řídicích aplikací, simulaci, aplikací sběru, ukládání a vyhodnocování dat, aplikací rozhraní člověk-stroj. Unikátní objektově-orientovaná komponentová architektura zajišťuje aplikacím systému Control Web nejširší rozsah nasazení od prostých časově nenáročných vizualizací až po řídicí aplikace reálného času. 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. Control Web koncepčně vychází z osvědčené architektury svých předchůdců Control Panel a Control Web 2000.

Lze v něm vytvářet aplikace pracující v reálném čase nebo datově řízené aplikace. U systémů řízených aplikací Control Web 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 [7].

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 [7].

2.2 Základní vlastnosti

2.2.1 Podpora hardware

ControlWeb je důsledně navrhován jako systém nezávislý na hardware a s patřičným ovladačem komunikuje s jakýmkoliv průmyslovým zařízením:

- PLC(Siemens, Mitsubishi, Omron, Teco, Allen-Bradley, ABB, Honeywell, . . .)
- I/O moduly (DataLab IO, ELSACO, ADAM, . . .)
- měřicí karty (Advantech, Axiom, Tedia, . . .)
- „virtuální“ zařízení, např. WWW server apod.

Architektura ovladačů je otevřená a pečlivě dokumentovaná, každý může implementovat vlastní ovladač.

2.2.2 Podpora otevřených protokolů

- ASCII komunikace po sériové lince – znakový protokol využívá velké množství jednoduchých zařízení . . .
- OPC Data Access – stále vzrůstající množství OPC serverů
- DDE / NetDDE, FastDDE – zachování zpětné kompatibility s DDE servery
- GSM modemy, SMS zprávy
- HTTP přístup k WWW serverům
- Modicon Modbus, Modbus/TCP
- . . .

2.2.3 Podpora otevřených standardů

Široká interoperabilita díky podpoře standardních protokolů a formátů dat:

- TCP/IP, HTTP, HTML (Ethernet, WiFi, dial-up, . . .)
- ODBC / SQL
- COM / ActiveX
- OPC (OLE for Process Control)
- GSM / GPRS
- DDE, NetDDE

2.2.4 Schopnost práce v distribuovaném prostředí

ControlWeb Runtime („tlustý klient“) - aplikace ControlWeb dokáží sdílet data po síti, volat vzdálené metody apod.. Lze tak libovolně kombinovat a tvořit aplikace client/server nebo peer-to-peer.

Přístup k aplikaci přes WWW browser („tenký klient“) - ControlWeb obsahuje zabudovaný HTTP server a dokáže vytvářet dynamické aplikace založené na WWW technologiích, zpřístupňované prostřednictvím standardních WWW prohlížečů. Je možné vytvářet serverové aplikace pro klienty na plnohodnotných PC i na mobilních telefonech.

2.2.5 Podpora platforem

ControlWeb podporuje všechny Win32 platformy:

- Windows 9x/Me (dožívající platforma)
- Windows XP Embedded (možnost práce z CF karty, bez HDD)
- Windows 2000 Advanced Server Clusters
- Windows CE na standardním x86 PC (CEPC) nebo RISC systémech (verze pro procesory ARM, MIPS, SH3/4)

2.2.6 Trvalý provoz

ControlWeb určen pro trvalý spolehlivý provoz 24 hodin, 7 dní v týdnu. Interní velmi přísné testy prověřují každou jednotlivou alokaci paměti a její párovou dealokaci. ControlWeb nasazen na kritických aplikacích ve Škoda Mladá Boleslav, JE Dukovany, . . .

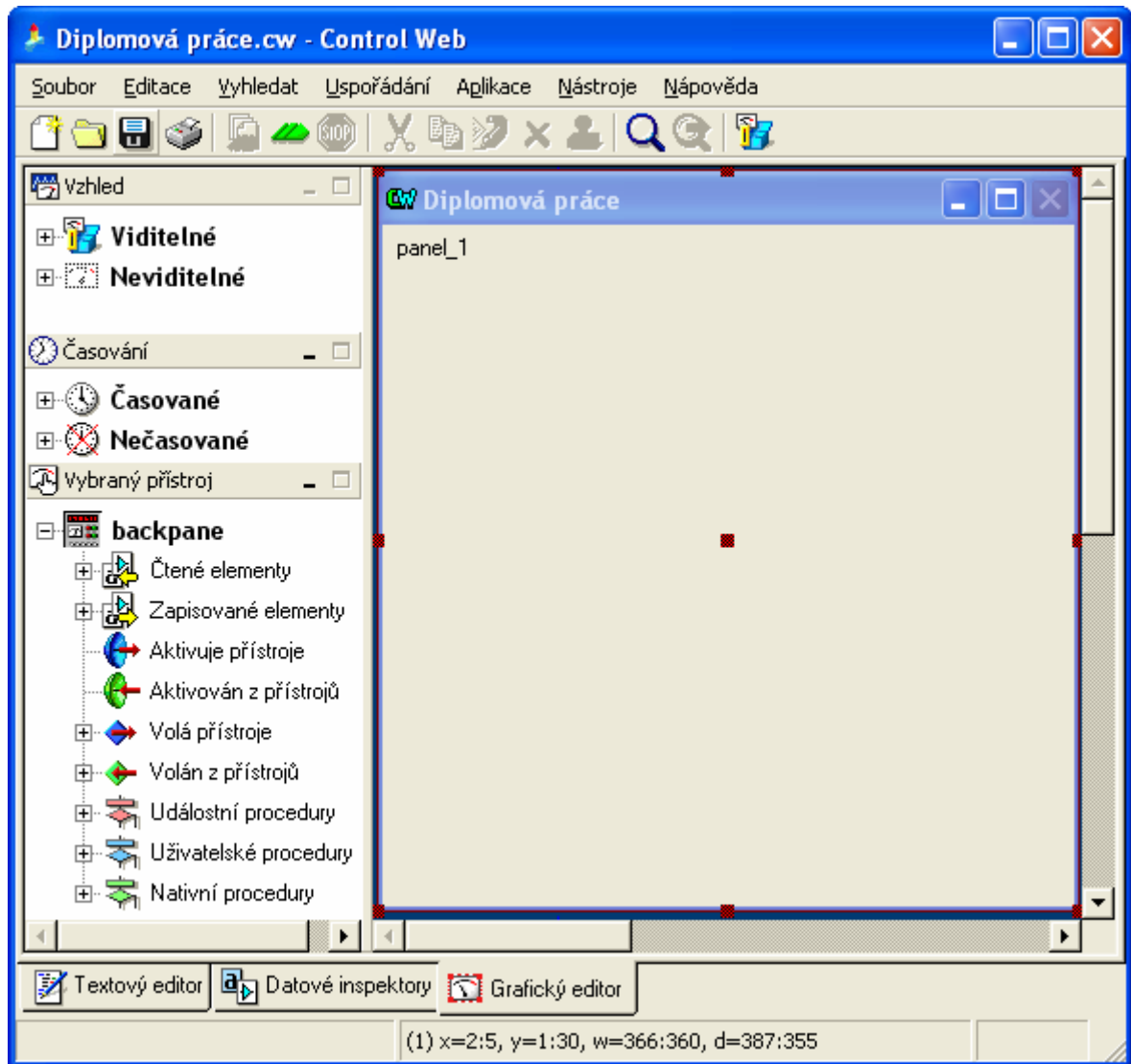
2.2.7 Control Web a reálný čas

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].

2.3 Popis prostředí pro vývoj aplikací v Control Webu

Po prvním spuštění programu Control Web je automaticky otevřen nový prázdný projekt, poté se již otvírá naposledy otevřený projekt. Vývojové prostředí programu (Obr. 9) slouží k návrhu vlastních aplikací a je rozděleno do 3 záložek, toolbaru a menu.



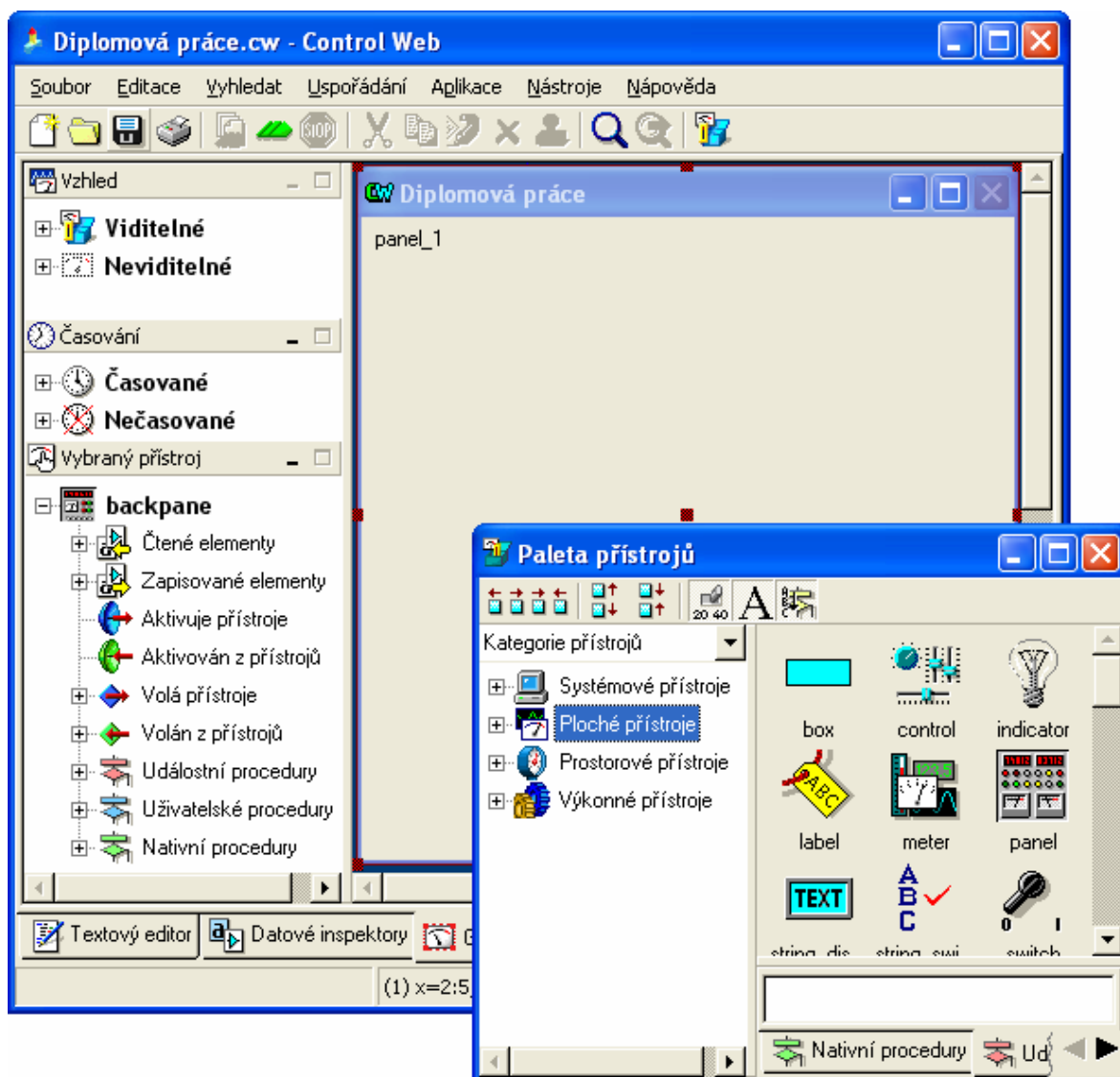
Obr. 7. Vývojové prostředí programu Control Web

2.3.1 Grafický editor

Celá aplikace je 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.

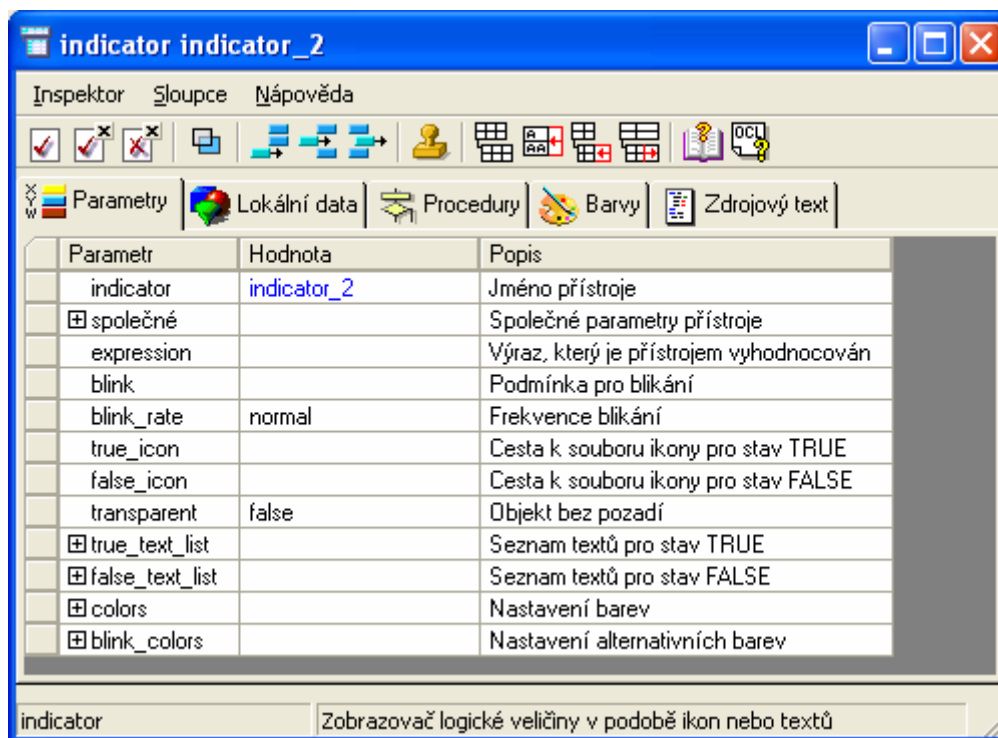
Editor je rozdělen na dvě hlavní části. V pravé části se nachází pracovní plocha, na kterou se umísťují virtuální přístroje.

Vložení přístroje do projektu spočívá tedy ve výběru bloku v paletě přístrojů a jeho přetáhnutí na pracovní plochu. Ve zvoleném místě bude vytvořen požadovaný objekt, který lze uchopením středového bodu pomocí myši libovolně přemísťovat.



Obr. 8. Vložení přístroje na pracovní plochu

V grafickém editoru se vytváří nejen grafická podoba celé aplikace, ale provádí se zde většina nastavení pro jednotlivé virtuální přístroje, programy a panely. Panel většinou tvoří skupinu přístrojů. Po vložení přístroje na pracovní plochu lze tento přístroj pomocí inspektoru přístroje nastavit dle požadavků. Inspektor přístroje se vyvolá dvojklikem na daný přístroj nebo docílíme kliknutím pravého tlačítka myši na přístroj a výběrem položky inspektor přístroje.



Obr. 9. Inspektor přístroje

Inspektor přístroje je opět rozdělen do několika záložek, kde se nastavují jednotlivé parametry, lokální proměnné a konstanty, procedury a barvy přístroje.

V levé části editoru se nachází 3 podokna, kde se zobrazují použité přístroje aplikace. Podokno *Vzhled* rozděluje přístroje na viditelné a neviditelné. Viditelné přístroje jsou umístěny i na pracovní ploše, kdež to neviditelné přístroje, jako výkonné přístroje nebo přístroj program, jsou vidět pouze v levé části editoru. Podokno *Časování* dělí přístroje na časované a nečasované. Časované přístroje jsou aktivovány dle nastaveného časovače bez ohledu na ostatní přístroje. Nečasované přístroje jsou aktivovány pomocí jiného přístroje daným příkazem. Posledním podoknem *Vybraný přístroj* jsou zobrazeny základní údaje o daném přístroji.

2.3.2 Datové inspektory

Umožňují nastavení aplikace (přístupová práva, časování, okna zpráv, atd.), veškerých globálních proměnných a konstant, ovladačů, kanálů, modulů, atd.



Obr. 10. Datové inspektory programu Control Web

Ovladače slouží pro obsluhu vstupně/výstupních zařízení. Každý ovladač musí mít definováno jméno, mapovací a parametrický soubor. Kanály slouží pro přenos dat mezi

aplikačním programem a vstupně/výstupním zařízením. Tento přenos je uskutečněn pomocí ovladače, který musí být definován pro každý kanál.

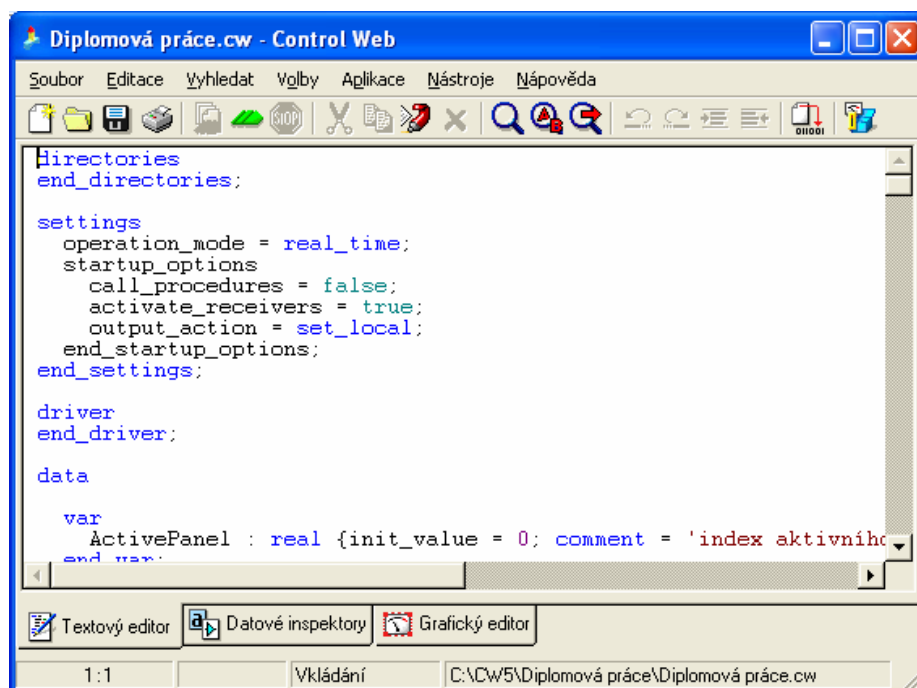
Datové elementy můžeme ještě rozdělit do dvou skupin. A to na:

- globální – jsou společné pro celý aplikační program.
- lokální – jsou určeny pouze jednomu virtuálnímu přístroji

2.3.3 Textový editor

Textový editor systému *Control Web* pracuje s libovolnými textovými soubory, tedy nejen se soubory aplikací (soubory s maskou '*.cw'). Kromě toho dokáže pracovat i s textovými soubory se znaky ve formátu UNICODE, ale tato schopnost je omezena pouze na systémy, které UNICODE podporují (v současné době Windows NT, Windows 2000 a Windows CE). Editor má rozšíření, která jsou šita na míru systému *Control Web*, nicméně jeho základní funkčnost je zcela obecná a umožňuje úpravy jakéhokoli textu. Základní principy ovládání dodržují konvence editorů grafického uživatelského rozhraní operačních systémů Windows.

Editor určený pro zápis aplikací tedy pro programátory a není proto vybaven žádnými formátovacími funkcemi. Dokonale poslouží při vývoji průmyslových systémů.




Obr. 11. Textový editor programu *Control Web*

2.4 Popis funkcí Toolbaru

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



Obr. 12. ToolBar Control Webu

 Spuštění vytvořené 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 vytvořené aplikace.



Paleta přístrojů.

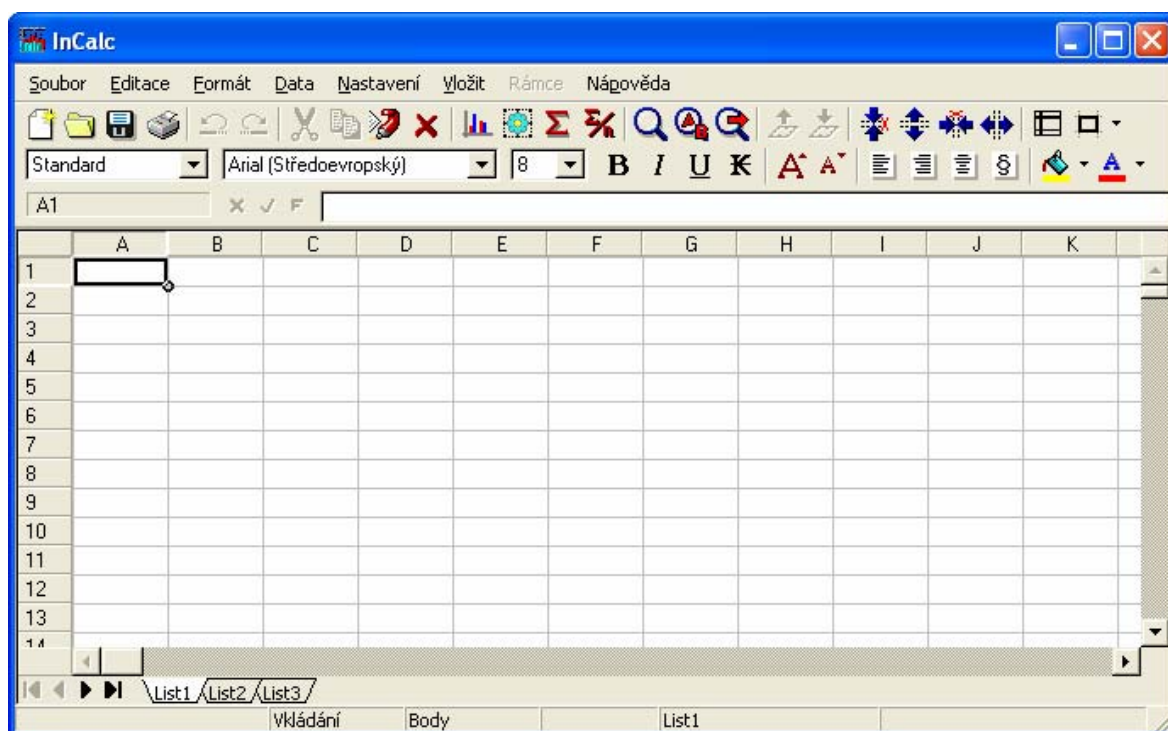
Ostatní ikony reprezentují známé funkce pro otevírání, ukládání, tisk, editaci nebo hledání.

2.5 InCalc

InCalc je tabulkový procesor 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 a až 64 vrstev. Každá vrstva má uživatelem přiřazeno jméno. Jméno vrstvy nesmí být shodné se jménem jiného objektu tabulky (buňky, konstanty, makra) a jméno nesmí být číslo ani začínat číslicí.

Na disku se data ukládají do souboru *.tbw.



Obr. 13. Okno tabulkového procesoru InCalc

3 POPIS POUŽITÝCH REGULÁTORŮ

Následující kapitola se zabývá popisem regulátorů aplikovaných pro řízení teploty povrchu betonových zkušebních těles. Při návrhu regulátorů byla použita polynomiální metoda syntézy systému řízení. Tato metoda určuje jak strukturu vhodného regulátoru, tak i vztahy pro výpočet jeho parametrů. Byly aplikovány regulátory založené jak na konfiguraci s jedním stupněm volnosti (1DOF), tak se dvěma stupni volnosti (2DOF). Zatímco regulační obvod konfigurace 1DOF obsahuje pouze jediný zpětnovazební regulátor, obvod konfigurace 2DOF má přímovazební i zpětnovazební část.

3.1 Regulátory založené na metodě přiřazení pólů

Regulátory založené na metodě přiřazení pólů jsou navrženy tak, aby stabilizovaly uzavřenou regulační smyčku, přičemž charakteristický polynom má předem zadané póly. Mimo požadavku na stabilitu je možno vhodným umístěním pólů splnit další požadavky na průběh regulačního pochodu, jako například maximální překmit, tlumení atd. Obecný přístup k této metodě na základě algebraické teorie je podrobně analyzován v [5].

3.1.1 Návrh regulátoru 1DOF

Návrh tohoto regulátoru vychází z obecného blokového schéma uzavřeného regulačního obvodu podle (Obr.14.), kde

$$G_P(z) = \frac{Y(z)}{U(z)} = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})} \quad (3.1)$$

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

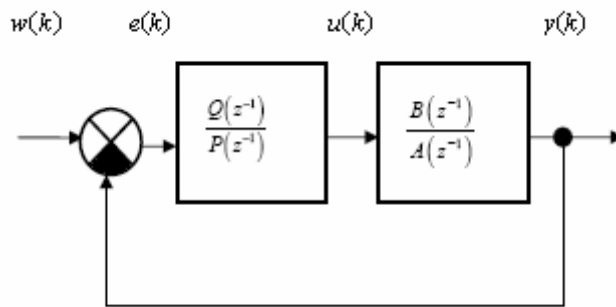
$$A(z^{-1}) = 1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}; \quad B(z^{-1}) = b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} \quad (3.2)$$

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

$$G_R(z) = \frac{U(z)}{E(z)} = \frac{Q(z^{-1})}{P(z^{-1})} \quad (3.3)$$

je přenos regulátoru s polynomy

$$P(z^{-1}) = (1 - z^{-1})(1 + \gamma z^{-1}); \quad Q(z^{-1}) = q_0 + q_1 z^{-1} + q_2 z^{-2} \quad (3.4)$$



Obr. 14. Blokové schéma regulačního obvodu s regulátorem IDOF

Z rovnice (3.4) určíme operátorovou rovnici regulátoru ve tvaru

$$U(z) = \frac{Q(z^{-1})}{P(z^{-1})} E(z) \quad (3.5)$$

a po dosazení polynomů (3.4) do rovnice (3.5) obdržíme vztah pro výpočet akčního zásahu

$$u(k) = q_0 e(k) + q_1 e(k-1) + q_2 e(k-2) + (1-\gamma)u(k-1) + \gamma u(k-2) \quad (3.6)$$

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

$$G_w(z) = \frac{Y(z)}{W(z)} = \frac{B(z^{-1})Q(z^{-1})}{A(z^{-1})P(z^{-1}) + B(z^{-1})Q(z^{-1})} \quad (3.7)$$

kde ve jmenovateli (3.4) je charakteristický polynom. Volbou určujícího charakteristického polynomu

$$D(z^{-1}) = 1 + \sum_{i=1}^{n_d} d_i z^{-i}, n_d \leq 4 \quad (3.8)$$

v podmínkové rovnici polynomiální rovnici

$$A(z^{-1})P(z^{-1}) + B(z^{-1})Q(z^{-1}) = D(z^{-1}) \quad (3.9)$$

je zadáno předepsané rozložení pólů přenosové funkce (3.4). Toho dosáhneme vhodnou volbou parametrů polynomů regulátoru (3.1), které jsou řešením polynomiální rovnice (3.9).

Regulátor IDOF - 1

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 ω_n a poměrného tlumení ξ v charakteristické rovnici spojitě soustavy 2. řádu. [2]

$$s^2 + 2\xi\omega_n s + \omega_n^2 = 0 \quad (3.10)$$

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

$$D(z^{-1}) = 1 + d_1 z^{-1} + d_2 z^{-2} \quad (3.11)$$

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

$$\begin{aligned} d_1 &= -2 \exp(-\xi\omega_n T_0) \cos(\omega_n T_0 \sqrt{1-\xi^2}); \quad \text{pro } \xi \leq 1 \\ d_1 &= -2 \exp(-\xi\omega_n T_0) \cosh(\omega_n T_0 \sqrt{1-\xi^2}); \quad \text{pro } \xi > 1 \\ d_2 &= \exp(-2\xi\omega_n T_0) \end{aligned} \quad (3.12)$$

Aby polynom (3.9) měl stabilní póly, musí platit $\xi > 0$, $\omega_n > 0$. Poměrný koeficient tlumení ξ můžeme volit podle toho, zda je požadován nekmitavý, případně kmitavý průběh regulačního pochodu. Doporučeno je 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 (3.9) polynom (3.10) s parametry (3.11), obdržíme soustavu čtyř algebraických lineárních rovnic o čtyř neznámých, které můžeme zapsat v maticovém tvaru

Tab. 1. Vztahy pro výpočet parametrů regulátoru IDOF

Parametry	1DOF - 1
q_0	$\frac{1}{b_1}(d_1 + 1 - a_1 - \gamma)$
q_1	$\frac{a_2}{b_2} - q_2 \left(\frac{b_1}{b_2} - \frac{a_1}{a_2} + 1 \right)$
q_2	$\frac{s_1}{r_1}$
γ	$q_2 \frac{b_2}{a_2}$

$$\begin{bmatrix} b_1 & 0 & 0 & 1 \\ b_2 & b_1 & 0 & a_1 - 1 \\ 0 & b_2 & b_1 & a_2 - a_1 \\ 0 & 0 & b_2 & -a_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_0 \\ q_1 \\ q_2 \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \quad (3.13)$$

První matice na levé straně systému (3.13) je závislá pouze na parametrech regulované soustavy, vedlejší vektor obsahuje neznámé parametry navrženého regulátoru, které jsou řešením systému (3.13) 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

$$x_1 = d_1 + 1 - a_1; x_2 = d_2 + a_1 - a_2; x_3 = a_2; x_4 = 0 \quad (3.14)$$

Potom získáme řešením systému rovnic (3.14) vztahy pro výpočet parametrů regulátoru (Tab. 1.), veličiny d_1 a d_2 se vypočítají podle vztahů (3.12).

3.1.2 Návrh regulátoru 2DOF

Blokové schéma struktura tohoto regulačního obvodu je znázorněno na (Obr.16.). V tomto případě má operátorová rovnice regulátoru tvar

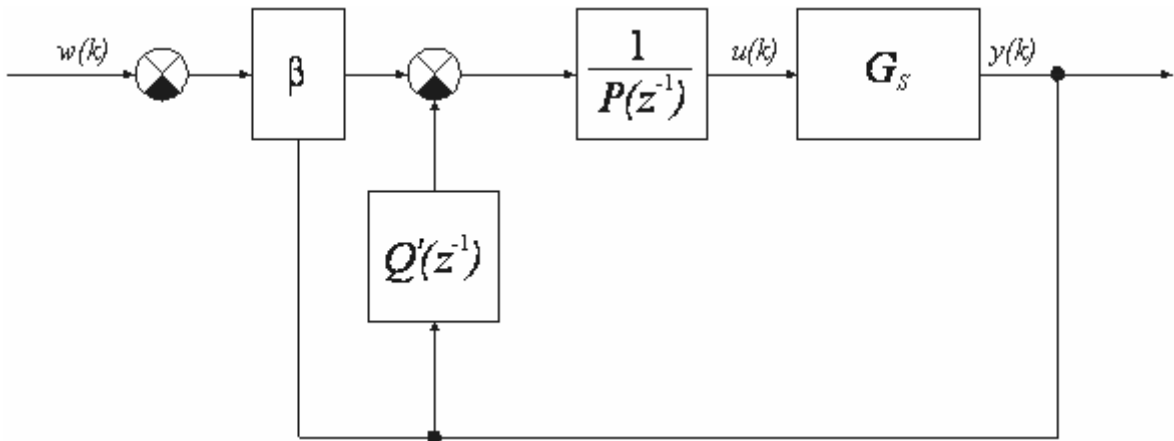
$$U(z) = [\beta E(z) - Q'(z^{-1})Y(z)] \frac{1}{P(z^{-1})} \quad (3.15)$$

přičemž polynom $P(z^{-1})$ má stejný tvar jako polynom (3.4) u regulátoru (3.5), druhý polynom $Q'(z^{-1})$ je ve tvaru

$$Q'(z^{-1}) = (1 - z^{-1})(q'_0 - q'_2 z^{-1}) \quad (3.16)$$

Po dosazení polynomů (3.4) a (3.16) do rovnice (3.5) obdržíme pro rovnici regulátoru vztah

$$u(k) = -[(q'_0 + \beta)y(k) - (q'_0 + q'_2)y(k-1) + q'_2 y(k-2)] - (\gamma - 1)u(k-1) + \gamma u(k-2) + \beta w(k) \quad (3.17)$$



Obr. 15. Blokové schéma regulačního obvodu s regulátorem 2DOF

Pro přenos řízení uzavřeného regulačního obvodu podle (Obr.16.) obdržíme vztah

$$G_w(z) = \frac{Y(z)}{W(z)} = \frac{\beta B(z^{-1})}{A(z^{-1})P(z^{-1}) + B(z^{-1})[Q'(z^{-1}) + \beta]} \quad (3.18)$$

takže podmínková rovnice má tvar

$$A(z^{-1})P(z^{-1}) + B(z^{-1})[Q'(z^{-1}) + \beta] = D(z^{-1}) \quad (3.19)$$

Podmínková rovnice (3.19) v případě polynomů regulované soustavy ve tvaru (3.2) definuje systém čtyř lineárních algebraických rovnic se čtyřmi neznámými parametry regulátoru q'_0 , q'_2 , β a γ

Tab. 2. Vztahy pro výpočet parametrů regulátoru 2DOF

Parametry	2DOF - 1
q'_0	$q'_2 \left(\frac{b_1}{b_2} - \frac{a_1}{a_2} \right) - \frac{a_2}{b_2}$
q'_2	$\frac{s_1}{r_1}$
γ	$q'_2 \frac{b_2}{a_2}$
β	$\frac{1}{b_1} (d_1 + 1 - a_1 - \gamma - b_1 q'_0)$

$$\begin{bmatrix} b_1 & 0 & b_1 & 1 \\ b_2 - b_1 & -b_1 & b_2 & a_1 - 1 \\ b_2 & b_2 - b_1 & 0 & a_1 - a_2 \\ 0 & b_2 & 0 & -a_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q'_0 \\ q'_2 \\ \beta \\ \gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Regulátor 2DOF - 1

Tento typ regulátoru obdržíme, jestliže do podmínkové rovnice (3.19) dosadíme za polynom $D(z^{-1})$ vztahy (3.11) a (3.12), přičemž složky vektoru pravé strany systému rovnic (3.20) jsou

$$x_1 = d_1 + 1 - a_1; \quad x_2 = d_2 + a_1 - a_2; \quad x_3 = -a_2; \quad x_4 = 0 \quad (3.21)$$

Potom získáme řešením systému rovnic (3.21) vztahy pro výpočet parametrů regulátoru (Tab. 2.), veličiny d_1 a d_2 se vypočítají podle vztahů (3.12).

4 IDENTIFIKACE

Regulátory aplikované pro řízení procesu teplotního cyklování s náporovým skrápěním byly realizovány jak s pevně nastavenými tak i s průběžnou identifikací parametrů modelu procesu. Řízené procesy vykazují lineární charakter. Pro řízení takového systému je možné použít obě varianty nastavení parametrů regulátoru, jejich porovnání je uvedeno v praktické části.

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. Identifikací získáme matematický model řízeného systému. Kvalitní a přesná identifikace je základem pro návrh regulátoru a regulačního obvodu.

Parametry regulátoru s pevně nastavenými parametry se získají na základě jednorázově identifikovaných parametrů modelu procesu.

Parametry samočinně se nastavujícího regulátoru se během regulace mění v závislosti na identifikovaných parametrech řízené soustavy. V každém kroku se rekurzivně aktualizují odhady parametrů řízené soustavy. Tyto regulátory se nazývají STC založené na principu explicitní (nepřímé) identifikace. Průběžná identifikace je prováděna rekurzivní metodou nejmenších čtverců.

4.1 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 popsáný modelem ARX, kde pro vektor parametrů a vektor dat předpokládáme $\deg a = \deg b = n$.

$$A(z^{-1})y = B(z^{-1})u + n_s \quad (4.1)$$

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

$$y(k) = \Theta^T(k)\phi(k-1) + n_s(k) \quad (4.2)$$

$$\text{Vektor parametrů: } \Theta^T(k) = [a_1, a_2, \dots, a_{na}, b_1, b_2, \dots, b_{nb}, d_1, d_2, \dots, d_{nd}] \quad (4.3)$$

Vektor dat:

$$\phi^T(k-1) = [-y(k-1), -y(k-2), \dots, -y(k-n), u(k-1), u(k-2), \dots, u(k-n)] \quad (4.4)$$

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

$$y = F\Theta + e \quad (4.5)$$

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

$$F = \begin{bmatrix} -y(n) & -y(n-1) & \dots & -y(1) & u(n) & u(n-1) & \dots & u(1) \\ -y(n+1) & -y(n) & \dots & -y(2) & u(n+1) & u(n) & \dots & u(2) \\ \vdots & & & & & & & \vdots \\ -y(N-1) & -y(N-2) & \dots & -y(N-n) & u(N-1) & u(N-2) & \dots & u(N-n) \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

a vektor y o rozměru $(N-n)$ má tvar

$$y^T = [y(n+1), y(n+2), \dots, y(N)] \quad (4.7)$$

kde N je počet souborů naměřených vstupních a výstupních dat.

Z rovnice (4.1) pak můžeme určit chybu:

$$\hat{e} = y - F\hat{\Theta} \quad (4.8)$$

a zavedeme kritérium:

$$J_R = \hat{e}^T \hat{e} \quad (4.9)$$

minimum získáme když první derivaci rovnice (4.5) podle vektoru parametrů položíme rovnu 0, tj.

$$\left. \frac{\partial J}{\partial \Theta} \right|_{\Theta = \hat{\Theta}} = 0 \quad (4.10)$$

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

$$\hat{\Theta} = (F^T F)^{-1} F^T y \quad (4.11)$$

vztah (4.7) pak slouží pro jednorázový výpočet odhadů parametrů modelu procesu s použitím N souborů naměřených dat.

4.2 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 Θ 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

$$J_k(\Theta) = \sum_{i=k_0}^k e_s^2(i) \quad (4.12)$$

kde

$$e_s(i) = y(i) - \Theta^T \phi(i) = \begin{bmatrix} 1 & -\Theta^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y(i) \\ \phi(i) \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

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

$$J_k(\Theta) = \sum_{i=k_0}^k \varphi^{2(k-i)} e_s^2(i) \quad (4.14)$$

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

V této práci je využit algoritmus směrového zapomínání [5], kdy se standardní exponenciální zapomínání aplikuje pouze na data přinášející novou informaci [4]. Vektor odhadu parametrů se aktualizuje podle rekurzivního vztahu

$$\hat{\Theta}(k) = \hat{\Theta}(k-1) + \frac{\mathbf{C}(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k-1)}{1 + \xi(k-1)} \hat{e}(k-1) \quad (4.15)$$

kde

$$\xi(k) = \boldsymbol{\varphi}^T(k-1)\mathbf{C}(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k-1) \quad (4.16)$$

je pomocný skalár a

$$\hat{e}(k) = y(k) - \hat{\Theta}^T(k)\boldsymbol{\varphi}(k-1) \quad (4.17)$$

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

$$\mathbf{C}(k) = \mathbf{C}(k-1) - \frac{\mathbf{C}(k-1)\boldsymbol{\varphi}(k-1)\boldsymbol{\varphi}^T(k-1)\mathbf{C}(k-1)}{\varepsilon^{-1}(k) + \xi(k-1)} \quad (4.18)$$

kde

$$\varepsilon(k) = \varphi(k) - \frac{1 - \varphi(k)}{\xi(k-1)} \quad (4.19)$$

Jestliže $\xi(k-1) = 0$, potom

$$\mathbf{C}(k) = \mathbf{C}(k-1) \quad (4.20)$$

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

$$\varphi(k) = \left\{ 1 + (1 + \rho)[\ln(1 + \xi(k-1))] + \left[\frac{(\nu(k-1) + 1)\eta(k-1)}{1 + \xi(k-1) + \eta(k-1)} - 1 \right] \frac{\xi(k-1)}{1 + \xi(k-1)} \right\}^{-1} \quad (4.21)$$

kde

$$\eta(k) = \frac{\hat{e}^2(k)}{\lambda(k)} \quad \nu(k) = \varphi(k)[(\nu(k-1) + 1)] \quad (4.22)$$

$$\lambda(k) = \varphi(k) \left[\lambda(k-1) + \frac{\hat{e}^2(k-1)}{1 + \xi(k-1)} \right] \quad (4.23)$$

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 $\varphi(0) = 1$, $\lambda(0) = 0.001$, $v(0) = 10^{-6}$, $\rho = 0.99$. Volba počátečních odhadů vektoru parametrů $\hat{\Theta}(0)$ byla u jednotlivých experimentů provedena buď s apriorní informací nebo bez ní.

4.2.1 Modifikace pro použitý diskretní model

V případě uvažovaného jednorozměrového modelu, popsaného vztahy (3.2), budou jednotlivé složky regresního modelu ARX ve tvaru:

Vektor parametrů vyšetřovaného modelu:

$$\Theta^T(k) = [a_1, a_2, b_1, b_2] \quad (4.24)$$

Vektor dat v tomto případě potom nabývá tvaru:

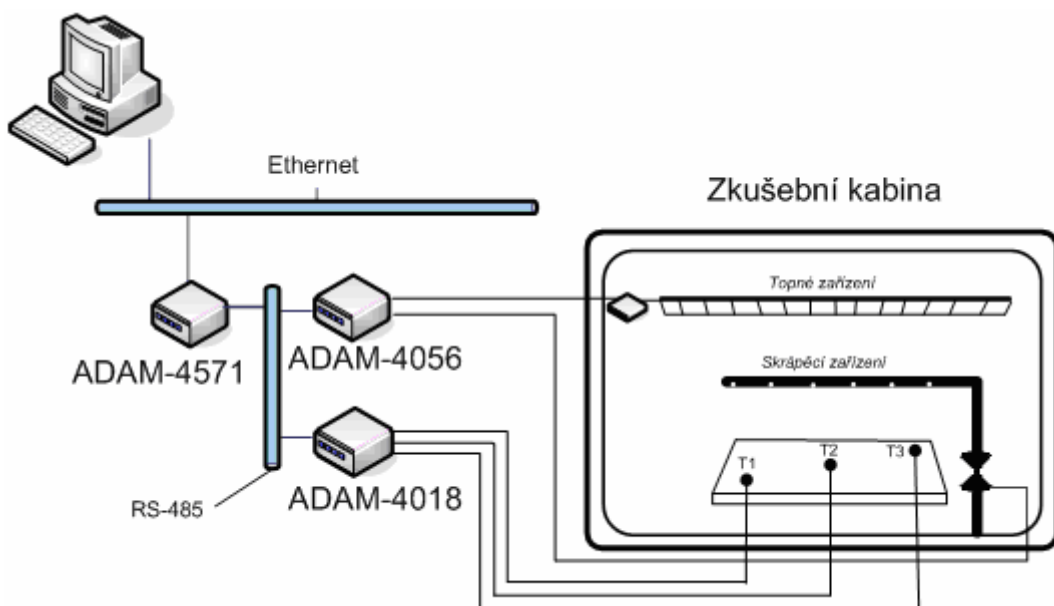
$$\phi^T(k-1) = [-y(k-1), -y(k-2), -y_2(k-1), u(k-1), u(k-2)] \quad (4.25)$$

Aktualizace odhadu vektoru parametrů potom probíhá na základě vztahů (4.15) - (4.23).

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 PROPOJENÍ ZKUŠEBNÍ KABINY S PC

Komunikace mezi PC a zkušebnou je zde zprostředkována pomocí modulu ADAM 4571, které je převodníkem mezi rozhraní Ethernet a RS-485. Zkušebna se nachází v jiné části budovy a proto bylo zvoleno rozhraní Ethernet, které je použitelné na větší vzdálenosti a využívá síť Ethernet a také splňuje nároky na rychlost přenosu dat a poruchovost při přenosu dat. Na vedení rozhraní RS-485 je pak připojen modul binárních výstupů ADAM 4056S určený pro spínání topného a skrápěcího zařízení. Na vedení RS 485 je pak ještě připojen modul analogových vstupů ADAM 4018 určený pro snímání hodnot teploty v komoře pomocí tří termoelektrických snímačů teploty $T1$, $T2$ a $T3$. Použité moduly ADAM jsou vyráběny firmou Advantech.



Obr. 16. Blokové schéma zapojení kabiny k PC

5.1 Popis modulů ADAM

ADAM 4571

Modul je určen k převodu signálu ve standardu RS 485 na Ethernet. Komunikace Ethernet je kompatibilní se standardy IEEE802.3 a IEEE802.3u a nabízí přenosovou rychlost 10/100 Mbps. Do sítě Ethernet je modul připojen kroucenou dvojlinkou přes konektor RJ-45. Sériová komunikace RS-232/422/485 nabízí přenosovou rychlost pohybující se v hodnotách 50 bps ~ 230 Kbps. Modul je napájen napětím 24 V a má spotřebu 4 W [8].



Obr. 17. Modul ADAM 4571

ADAM 4018

Jedná se 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-485 [8]. V našem systému máme zapojeny první tři kanály, a to signály ze tří termoelektrických snímačů teploty typu J, které v kombinaci s modulem umožňují měření teploty v rozsahu 0 – 750 °C.



Obr. 18. Modul ADAM 4018

ADAM 4056

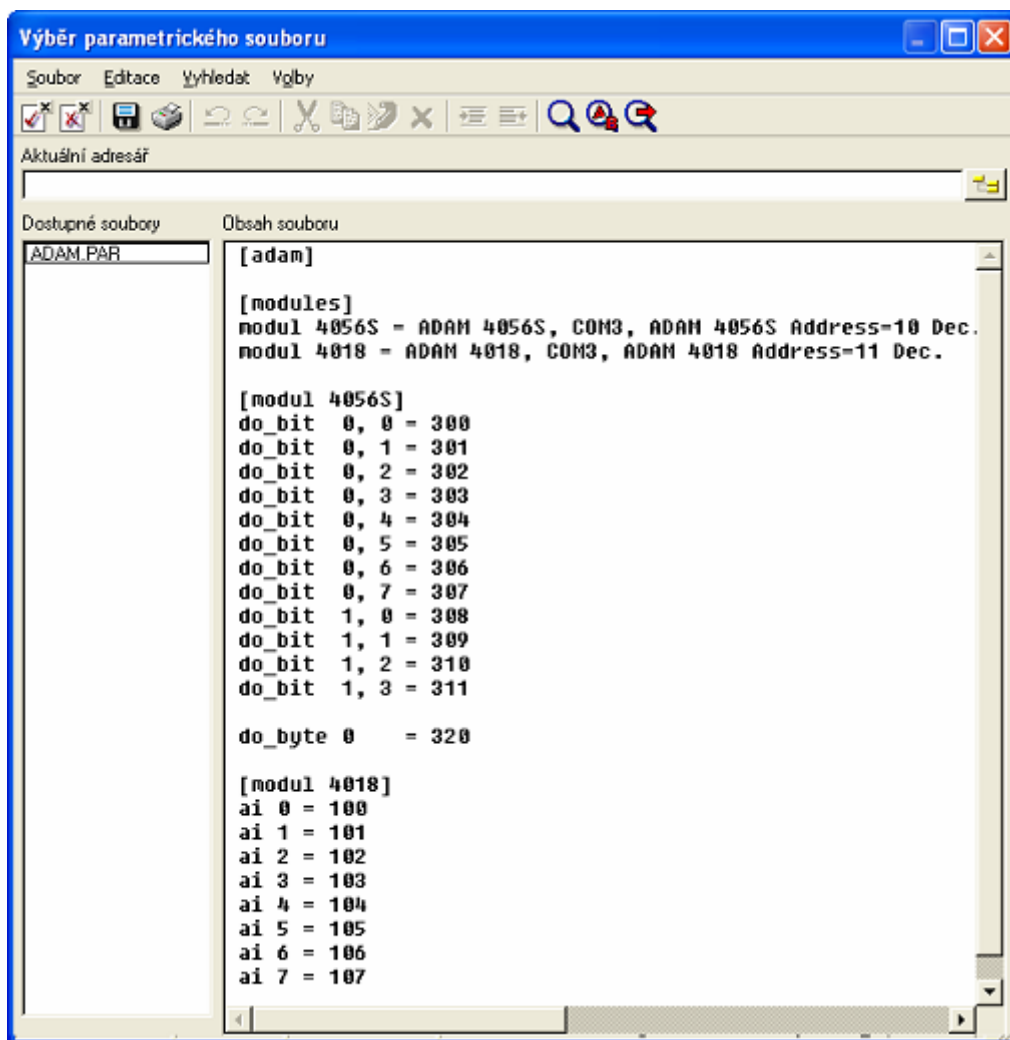
Modul nabízí 12 digitálních výstupních kanálů. Výstupy jsou spínány pomocí tranzistorů s otevřeným kolektorem. Modul je vybaven funkcí WatchDog, která zajišťuje aby nedošlo k chybě zacyklením. S nadřazeným zařízením komunikuje modul pomocí standardu RS-485 [8]. V našem systému máme zapojeny první dva digitální výstupní kanály. Topné a skrápěcí zařízení se spínají pomocí napětí o hodnotě 230V/50Hz a proto bylo nutné vřadit spínací triaky.



Obr. 19. Modul ADAM 4056

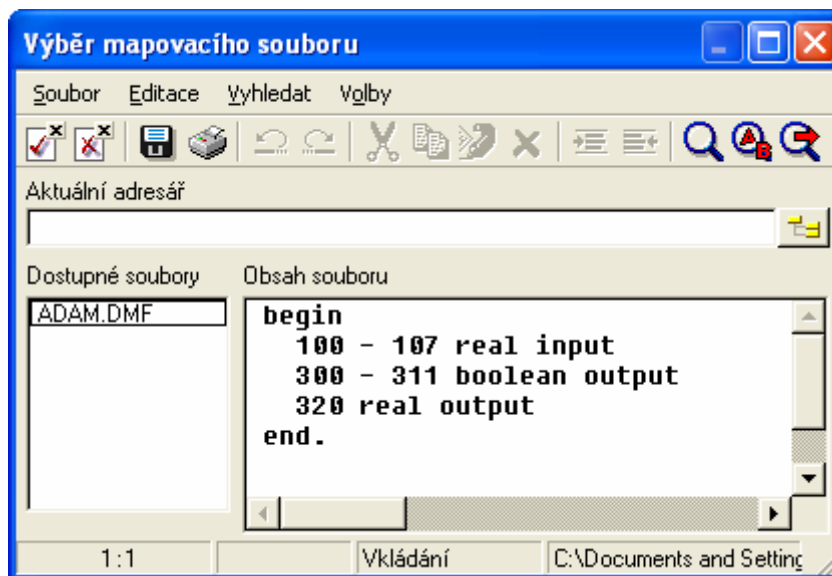
5.2 Spojení prostředí Control Web s moduly ADAM

V programovém prostředí Control Web 5 byly implementován ovladač pro moduly ADAM-4018 a ADAM-4056. 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 ovladače se vytvořily parametrické a mapovací soubory ovladače. V parametrickém souboru *ADAM.par* (Obr.21.) je nastavení komunikace s moduly a mapování kanálů do paměti modulů. V mapovacím souboru *ADAM.dmf* (Obr.22.) jsou uloženy informace o typu a směru všech kanálů spojených s ovladači.




Obr. 20. Ukázka parametrické souboru *ADAM.par*

Při výběru parametrického nebo mapovacího souboru pro ovladač lze tyto soubory upravit přímo v programu Control Web (Obr.21.) a (Obr.22.).



Obr. 21. Ukázka mapovacího souboru ADAM.dmf

Bylo nadefinováno 5 kanálů, které slouží jako vazba mezi aplikací a moduly ADAM. Kanály *T1*, *T2* a *T3* jsou vstupními kanály, které přenáší hodnotu naměřenou termoelektrickými snímači. Tato hodnota je již ve °C. Kanály *Water* a *Heat* jsou výstupními kanály, které ovládají elektromagnetický ventil skrápěcího zařízení a spínač topného zařízení. Výstup je v logických hodnotách 0(false) nebo 1(true).

Kanály						
 Kanál slouží jako vazba mezi aplikací a VV zařízením.						
name	type	init_value	driver	driver_index	direction	comment
T1	real		ADAM	100	input	'Vstup teploty T1'
T2	real		ADAM	101	input	'Vstup teploty T2'
T3	real		ADAM	102	input	'Vstup teploty T3'
Water	boolean	false	ADAM	300	output	'Výstup ventil'
Heat	boolean	false	ADAM	301	output	'Výstup topení'

Obr. 22. Nadefinované komunikační kanály v programu Control Web

6 NÁVRH A POPIS APLIKACE V PROGRAMU CONTROL WEB

Navržená aplikace bude spouštěna v operačním systému MS Windows 2000 a poběží i v operačních systémech MS Windows 98/NT/XP. Aplikace umožňuje řídit, vizualizovat a archivovat naměřená data. Výsledným produktem aplikace bude protokol o zkoušce, který bude obsahovat předepsané údaje a graficky znázorněný průběh zkoušky. Mezi předepsané údaje patří například zkušební zařízení, norma, popis betonového zkušební tělesa, počet vykonaných cyklů atd.. Při tvorbě návrhu aplikace bylo postupováno tak, aby byla aplikace přehledná, snadná na ovládání a aby při běhu aplikace byl počítač operátora zkoušky co nejméně zatěžován.

Aplikace je rozdělena do pěti částí tzv. panelů, kde každý z nich má určitou funkci pro správný průběh a výsledek zkoušky. Tyto panely jsou umístěny na hlavním panelu *PaMain* (Obr.24.), který obsahuje přístroj pro přepínání mezi jednotlivými panely a tlačítko na spouštění procesu zkoušky.

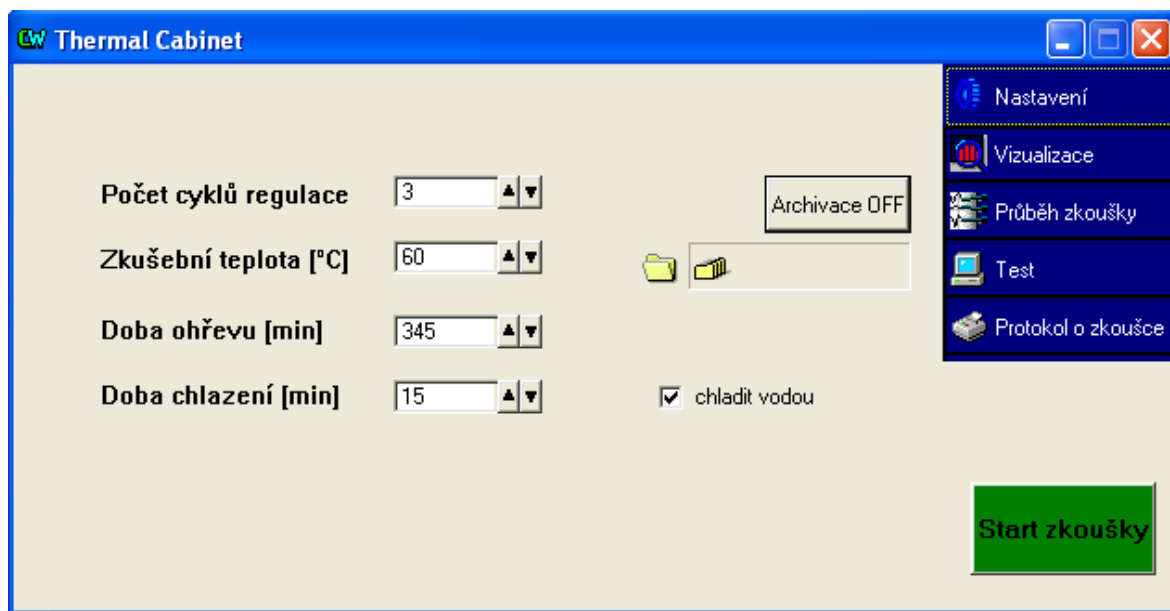


Obr. 23. Hlavní panel aplikace

6.1 Popis jednotlivých panelů aplikace

6.1.1 Panel *Nastavení*

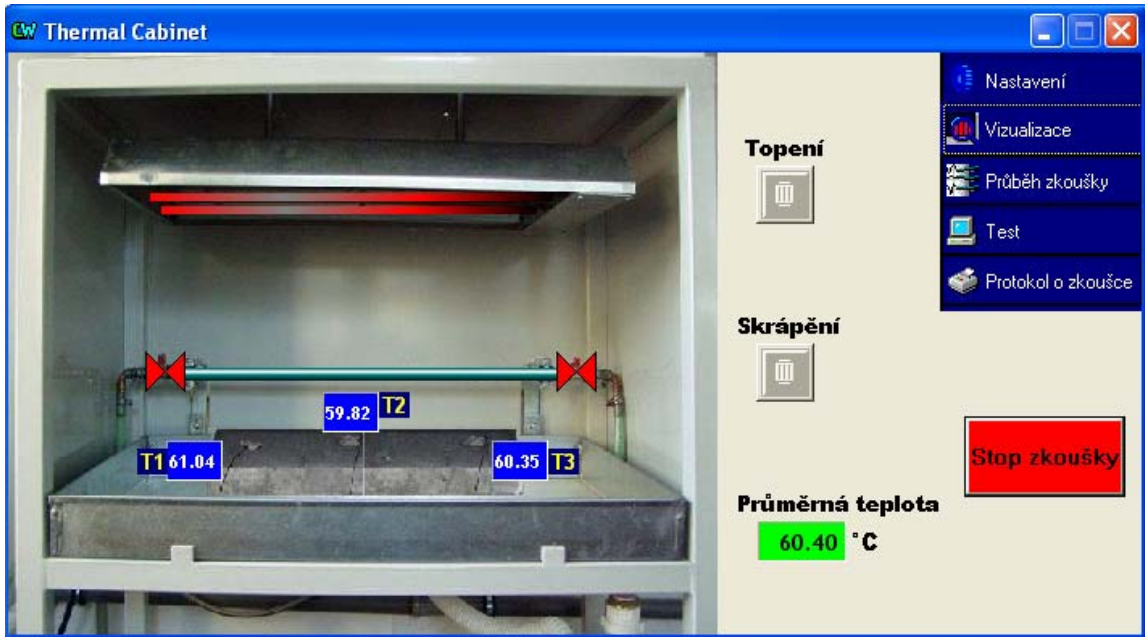
Při spuštění aplikace se jako první zobrazí panel *Nastavení* (Obr.25.), ve kterém se nastavuje celý průběh zkoušky. Cyklem regulace se rozumí ohřátí povrchu tělesa na zkušební teplotu a její udržení po nastavenou dobu a poté se zkušební těleso chladí náporovým skrápěním vodou dokud neuplyne nastavená doba a tím cyklus regulace končí. Pokud je hodnota počtu cyklů regulace nastavena na hodnotu větší jak 1, cyklus se znovu opakuje dokud nastavená hodnota neodpovídá počtu provedených cyklů. Dále v tomto panelu nastavuje jestli se má provádět archivace naměřených dat a pokud ano, tak zadáme jméno souboru, do kterého se budou data ukládat. Jako poslední možnost, kterou zde můžeme nastavit je volba chladicího média resp. jestli se bude provádět skrápění nebo chlazení bude samovolné. Explicitně je nastaveno skrápění. Po nastavení parametrů se zkušební proces spustí zeleným tlačítkem *Start zkoušky*, které se poté změní na červené tlačítko *Stop zkoušky*. Tím to tlačítkem je poté možné zkoušku zastavit.



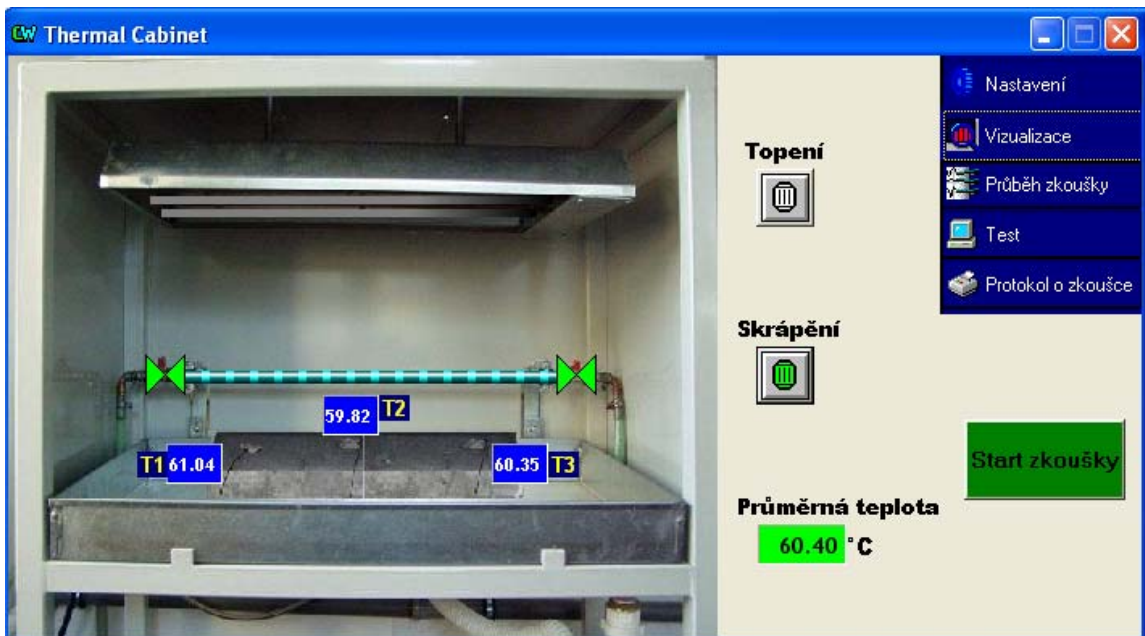
Obr. 24. Panel pro nastavení průběhu zkoušky

6.1.2 Panel *Vizualizace*

Tento panel zobrazuje reálný systém zkušební kabiny s vizualizačními prvky, které znázorňují aktuální stav jednotlivých zařízení umístěných ve zkušební kabině. Pokud neběží zkušební proces je možné pomocí tlačítek pod nápisy *Topení* a *Skrápění* ovládat tyto činnosti zkušební kabiny (Obr.26.) a (Obr.27.). Jestliže zkušební proces běží nelze tyto tlačítka použít (Obr.25.).

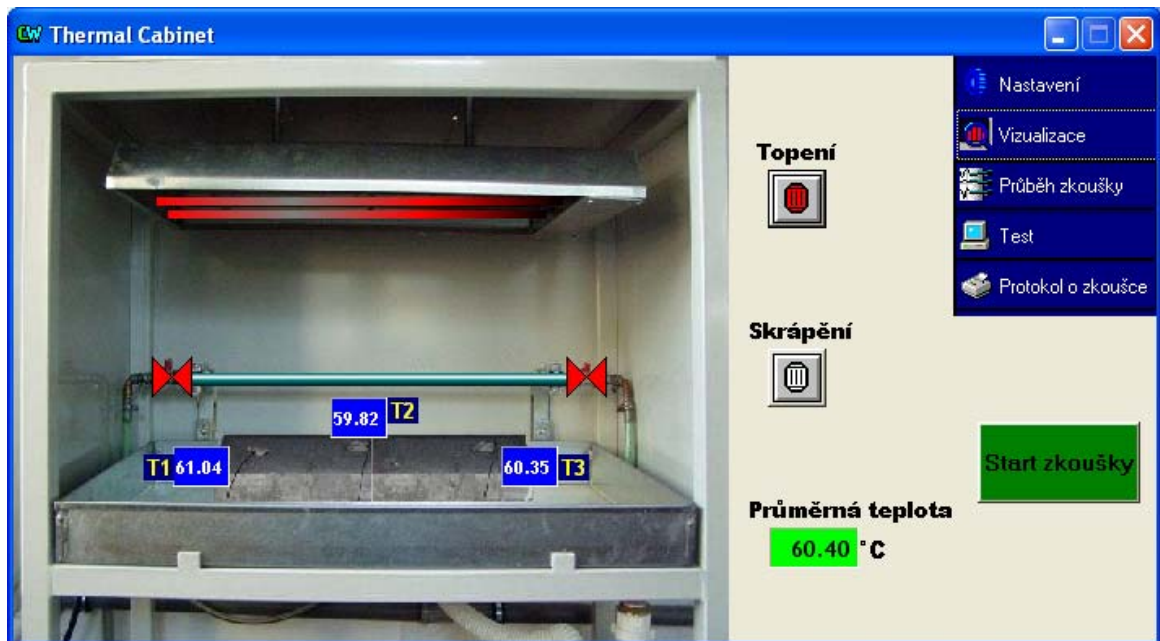


Obr. 25. Ukázka panelu *Vizualizace* – běžící proces



Obr. 26. Ukázka panelu *Vizualizace* – skrápění

Stejně tak nelze spustit obě činnosti naráz, může být zapnuta pouze jedna z nich (Obr.26.) a (Obr.27.).



Obr. 27. Ukázka panelu Vizualizace –topení

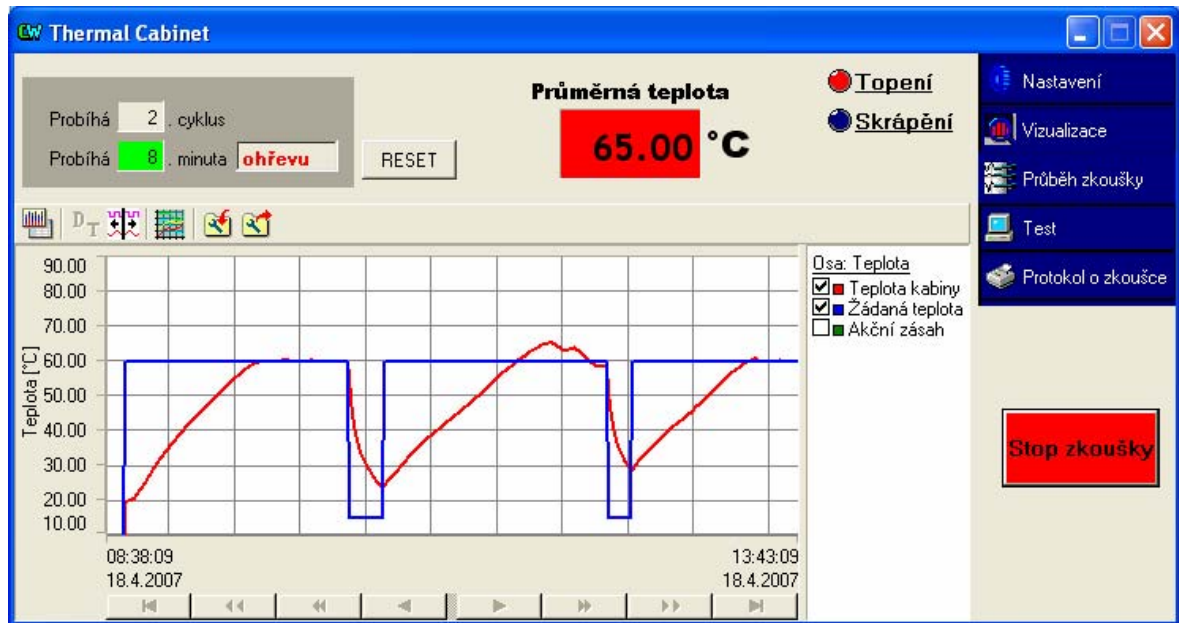
Jsou zde zobrazeny i hodnoty naměřené jednotlivými termoelektrickými snímači teploty a jejich průměrná teplota ve °C.

6.1.3 Panel Průběh zkoušky

Tímto panelem je zobrazován průběh zkoušky ve formě grafu, ve kterém se vykresluje žádaná hodnota a regulovaná hodnota. Lze zapínat a vypínat vykreslování jednotlivých hodnot. Jako regulovaná hodnota se uvažuje průměrná teplota, která i s žádanou hodnotou je vykreslována grafem v závislosti na čase v nastaveném časovém intervalu. Tento časový interval byl nastaven na 1 sekundu.

Důležitou součástí panelu je zobrazování pořadového čísla cyklu, který právě probíhá. Dále se zde zobrazuje časový údaj v minutách o probíhající fázi cyklu. Cyklus je rozdělen na dvě fáze a to ohřev a chlazení. Pro případné vynulování napočítaných cyklů a minut fáze je možno použít tlačítko *RESET*. Tlačítko *RESET* lze použít pouze v případě, když je probíhající zkušební proces zastaven.

Dále je na panelu zobrazená aktuální průměrná hodnota teploty povrchu betonového zkušební tělesa a indikátory aktuální činnosti zkušební kabiny.



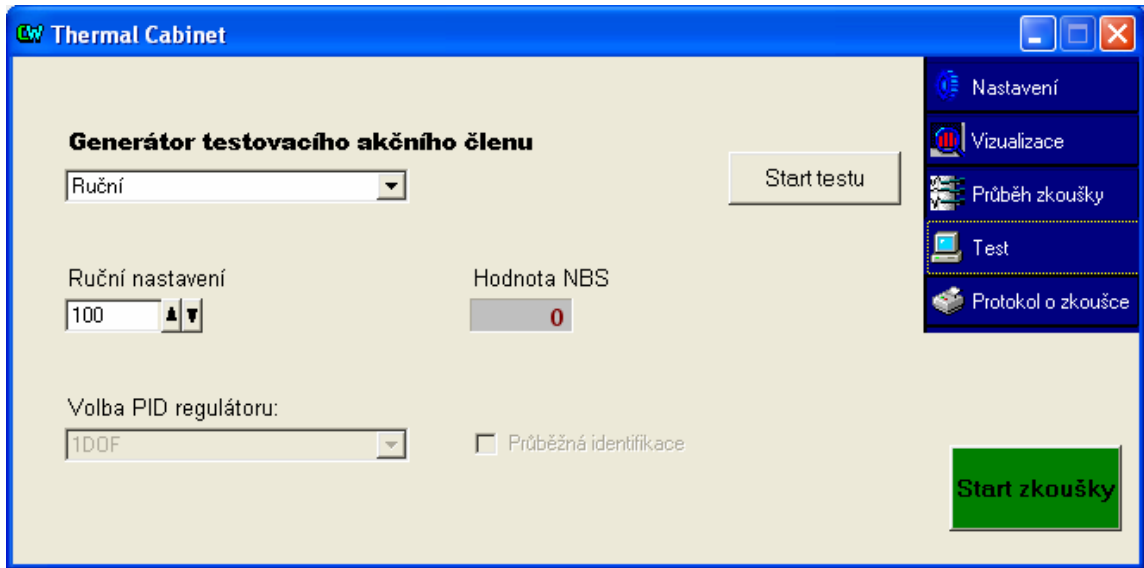
Obr. 28. Ukázka panelu Průběh zkoušky

6.1.4 Panel Test

Panel *Test* (Obr.29.) nijak neovlivňuje nastavení parametrů zkoušky ani její průběh, ale je určen pro případné další analyzování, kalibrování či testování zkušební kabiny. S pomocí tohoto panelu bylo provedeno měření charakteristik, odezva na náhodný budící signál, které byly využity pro analýzu zkušební kabiny a v neposlední řadě bylo provedeno měření průběhů regulačních cyklů s různými regulátory.

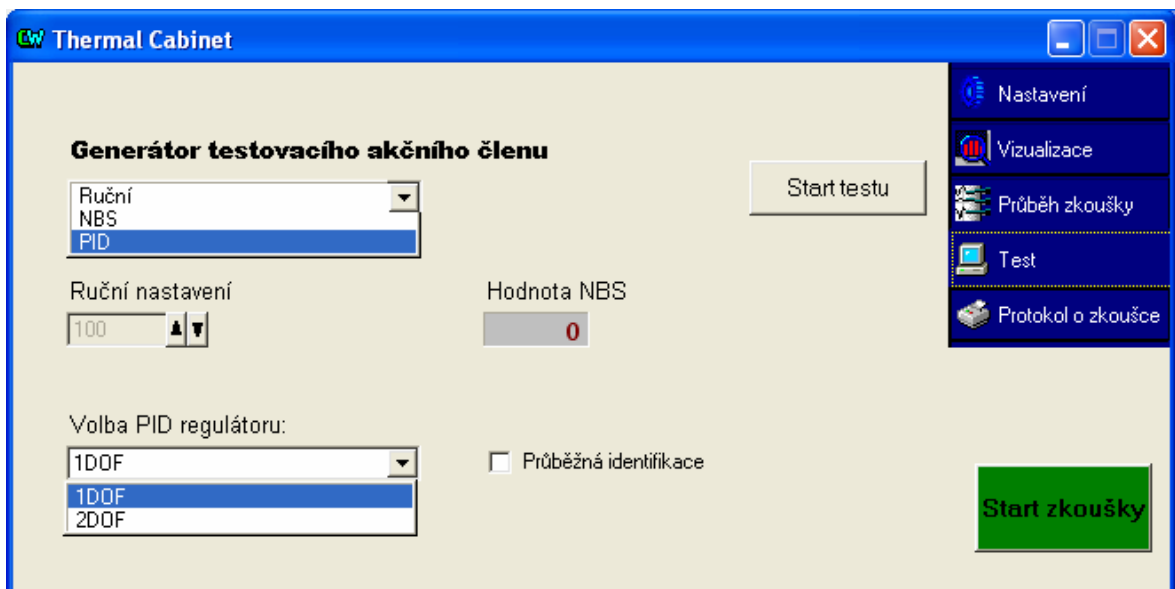
Můžeme zde volit ze tří generátorů akčního členu:

- *Ruční* - hodnota akčního členu je dána hodnotou, která je nastavena v editačním poli *Ruční nastavení*. Tato hodnota se může libovolně měnit v rozmezí hodnot 0 až 100.
- *NBS* – hodnota akčního členu je dána hodnotou, která je vygenerována generátorem náhodných čísel a upravena tak, aby mohla určit hodnotu akčního členu. Upravená hodnota se zobrazuje v poli pod nápisem *Hodnota NBS*. Hodnoty jsou generovány po časovém intervalu, který je určen vzorkovací periodou.



Obr. 29. Ukázka panelu Test

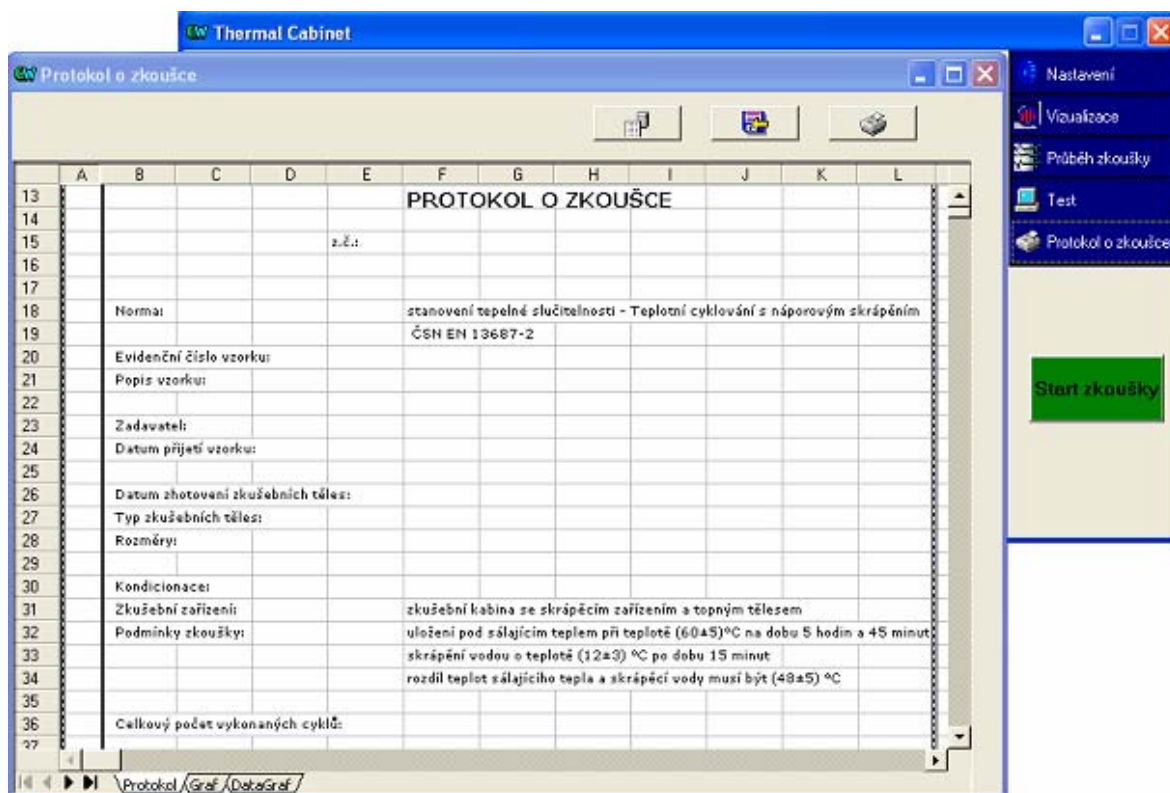
- *PID* - hodnota akčního členu je určena algoritmy regulátorů dle zadaných parametrů a předchozích naměřených a určených hodnot. Můžeme volit ze dvou typů PID regulátorů a to 1DOF nebo 2DOF a můžeme také zvolit jestli se bude provádět průběžná identifikace.



Obr. 30. Ukázka panelu Test – volba generátorů

6.1.5 Panel *Protokol o zkoušce*

Při volbě tohoto panelu se otevře nové okno (Obr.31), které obsahuje tři tlačítka a šablonu protokolu o zkoušce. Toto okno tedy slouží pro vytvoření, uložení a vytisknutí protokolu o zkoušce, který je důležitou součástí prováděné zkoušky.



Obr. 31. Ukázka panelu *Protokol o zkoušce*

Šablona je rozdělena do tří záložek (vrstev). Záložka *Protokol* obsahuje hlavičku s názvem, adresou a logem firmy provádějící zátěžovou zkoušku. Dále obsahuje náležité údaje o zadavateli, zkušebním tělese, zkušebním zařízení atd., které jsou předepsané náležitou normou. Některé údaje jsou součástí šablony, protože se nemění a jsou pro každou prováděnou zkoušku stejné např. *Norma*. Jsou zde i údaje, které se vyplňují automaticky aplikací např. *Celkový počet vykonaných cyklů*. Ostatní údaje vyplní operátor zkoušky, který danou zkoušku prováděl, popřípadě opraví chybné údaje. Záložka *Graf* obsahuje objekt *DataView* graf, který vykresluje hodnoty uložené v záložce *DataGraf*. Hodnoty se do záložky *DataGraf* ukládají během průběhu zkoušky. Ukázka protokolu je uvedena v příloze.

Popis funkce tlačítek:

vložení údajů souvisejících s průběhem zkoušky do protokolu, které byly uloženy v paměti PC.




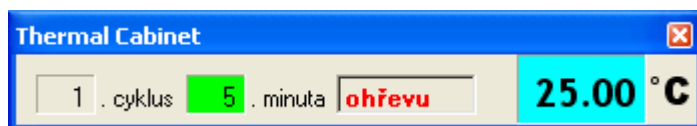
uložení protokolu s údaji a grafem do souboru na pevný disk. Soubor *.TBW, do kterého je protokol uložen, je možné prohlížet a editovat pomocí programu *InCalc*.



tisk protokolu na tiskárně, která je nastavená jako výchozí pro PC operátora zkoušky. Provede se tisk záložek *Protokol* a *Graf* a podle nastavení buď oboustranně na jeden list nebo na dva list zvlášť.


6.2 Minimalizace aplikace

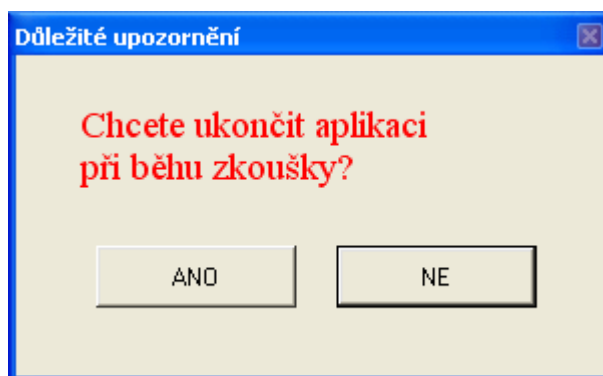
Jedna z požadovaných funkcí aplikace byla, aby se aplikace dala minimalizovat a při tom se dál zobrazovaly základní údaje o prováděné zkoušce. Byl proto vytvořen panel (Obr.32.) o malých rozměrech, který se zobrazí při minimalizování okna aplikace tlačítkem vpravo nahoře . Tento panel obsahuje údaje o pořadovém čísle probíhajícího cyklu a fáze, popis aktuálně prováděné fáze a údaj o aktuální průměrné teplotě povrchu zkušební tělesa.



Obr. 32. Ukázka minimalizovaného panelu

6.3 Ukončení aplikace

Ukončení aplikace se provádí standardním způsobem, který je praktikován u většiny operačních systémů při zavítání oken a to křížkem vpravo nahoře . Pokud není spuštěna zkouška nebo se neprovádí žádný test je aplikace ukončena bez možnosti návratu. Ale pokud běží nějaká funkce aplikace objeví se dialogové okno (Obr.33.), který operátora zkoušky upozorní na možnost přerušení běhu zkoušky. Při následné volbě *ANO* se aplikace ukončí a při volbě *NE* se pouze uzavře dialogové okna a nepřerušuje se žádná operace aplikace.



Obr. 33. Ukončovací okno aplikace

6.4 Algoritmus regulace

Algoritmus již samotné regulace teploty je prováděn programem *Cyklus*, který je spuštěn každou periodu vzorkování. Tento program počítá cykly a minuty probíhajících fází cyklu. Pokud je program ve fázi ohřevu je volán program *RgPID*, kde se prvními příkazy provede nanormování aktuální žádané a výstupní hodnoty na rozsah 0 – 1 pro potřebu správného výpočtu akčního zásahu. Akční zásah se vypočítá podle pevně stanovených parametrů a algoritmu regulátoru 2DOF-1. A protože akční zásah může dosáhnout jen určité hodnoty je následně omezen na rozsah 0 až 100. Jelikož vstup topného zařízení pracuje pouze dvoustavově (zapnuto / vypnuto), je potřeba vypočítaný akční zásah převést na vstup zařízení pomocí impulzování. Toto impulzování se provádí na konci programu *RgPID*. Dále se již vše opakuje na základě vzorkovací periody, která spouští program *Cyklus*.

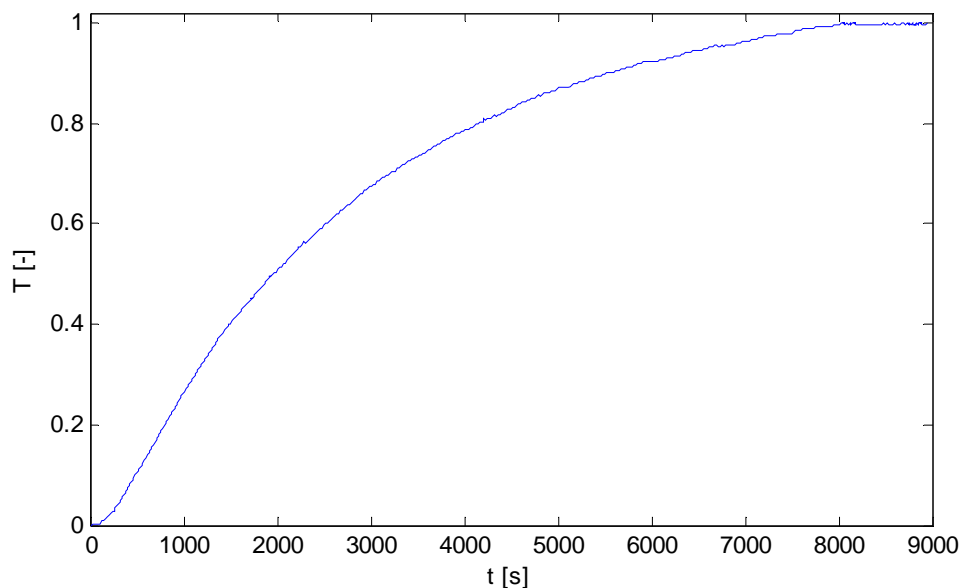
Impulzování akčního zásahu

Jedná se o způsob převodu analogové veličiny na binární vstup. Uvažujeme zde že x % akčního zásahu je pro nás x % času periody impulzování. Máme-li tedy např. 50% akčního zásahu bude topení zapnuto na dobu 50% z hodnoty periody impulzování. Hodnota periody impulzování je nastavena na 30s.

7 ANALÝZA VLASTNOSTÍ ZKUŠEBNÍ KABINY

7.1 Dynamické vlastnosti zkušební kabiny

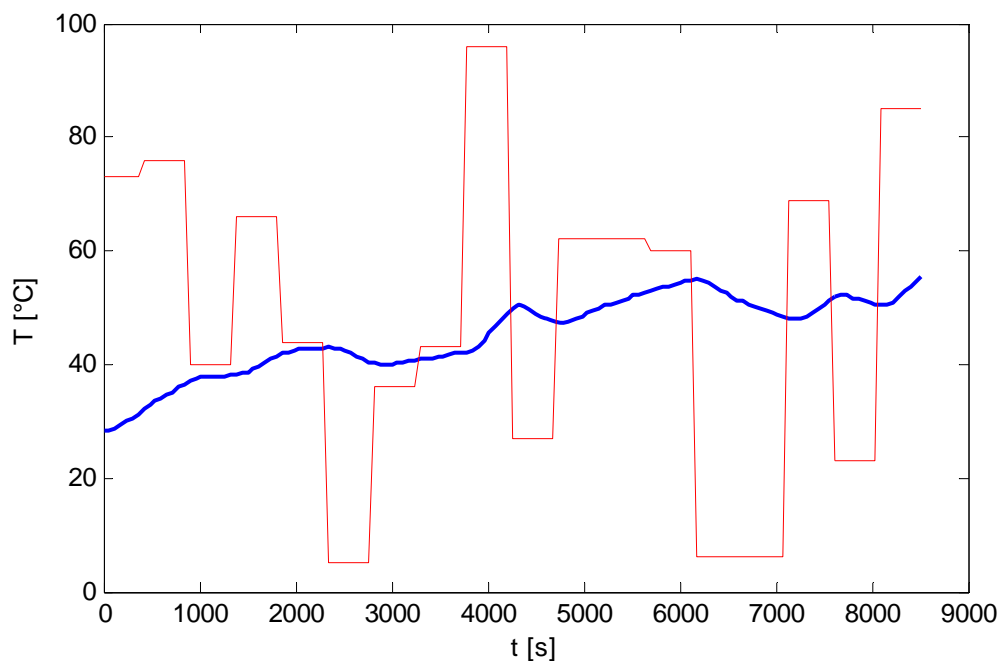
Dynamické vlastnosti řízeného systému jsou rozhodující při návrhu systému řízení. Základní dynamické vlastnosti systému lze popsat pomocí přechodových charakteristik, které v našem případě vyjadřují časovou závislost teploty jako odezvu soustavy na skokovou změnu vstupního signálu. Sledujeme zde rychlost a tvar těchto charakteristik. Byla naměřena charakteristika časové závislosti teploty při zapnutém topení (Obr.34.). Byla normována na rozsah 0 - 1. Podle předpokladů odpovídá tvar přechodové charakteristiky systému, který lze vhodně aproximovat soustavou druhého řádu s různými časovými konstantami. Podle rychlosti děje a předpokládaného rozsahu žádaných hodnot při regulaci je předpokládána vhodná perioda vzorkování kolem 60 sekund.



Obr. 34. Průběh teploty kabině při zapnutém topení

7.2 Identifikace zkušebny

Abychom získali parametry soustavy pro řízení regulátory s pevně nastavenými parametry byla soustava průběžně identifikována při odezvě na náhodný signál. Byl využit generátor náhodných čísel a na základě vygenerovaných náhodných čísel byl vytvořen signál ve tvaru skokových funkcí, kde jednotlivé amplitudy odpovídají náhodným číslům. Tímto signálem byla soustava vybudována a na základě takto získaných vstupních a výstupních dat byly jednorázovou metodou nejmenších čtverců získány parametry diskrétního modelu druhého řádu. Odezva na budicí signál byla potom hodnota teploty na povrchu zkušebního tělesa. Hodnoty vstupu a výstupu byly snímány každých 60 sekund, aby byl vytvořen diskrétní model pro periodu vzorkování použitou při následné regulaci. Průběhy budicího signálu o náhodné amplitudě a odezva na tento signál jsou zobrazeny na (Obr. 35.).



Obr. 35. Průběhy budicího signálu a odezvy použité pro identifikaci

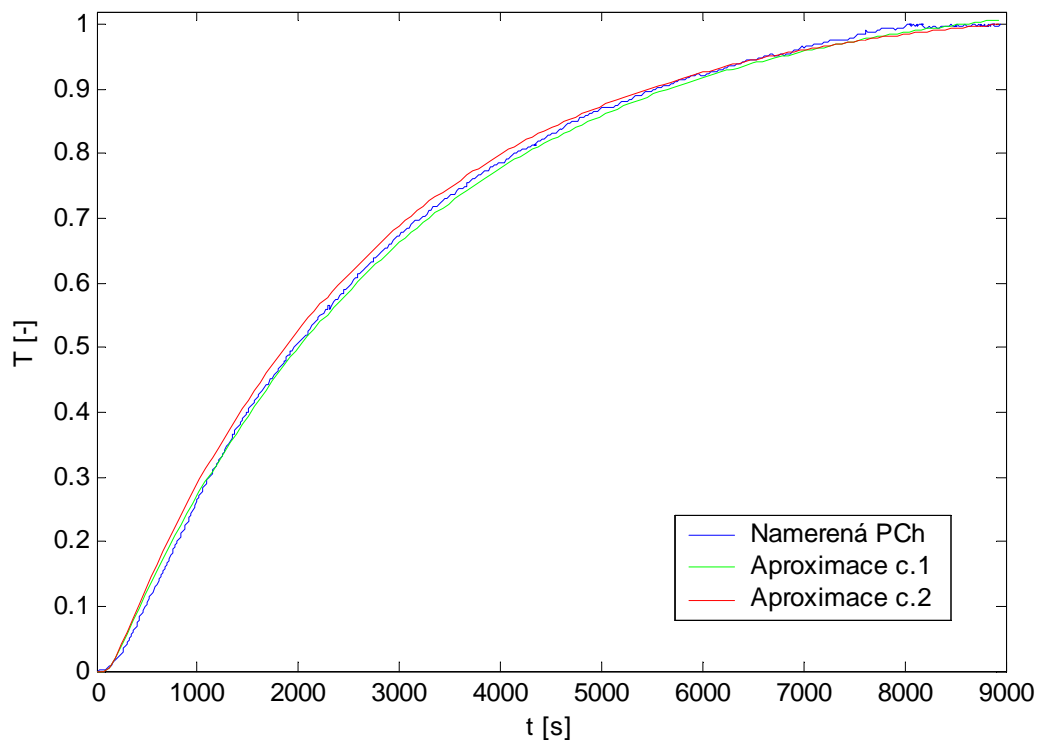
Výsledný přenos:

$$G_s(z^{-1}) = \frac{0,6666z^{-1} + 0,7091z^{-2}}{1 - 1,4468z^{-1} + 0,4588z^{-2}} \quad (7.1)$$

Pro získání parametrů diskrétního modelu procesu jednorázovou metodou nejmenších čtverců byla rovněž využita data získaná měřením přechodové charakteristiky, kdy byly opět uvažovány data s periodou 60 sekund. Byl získán následující přenos:

$$G_s(z^{-1}) = \frac{0,0042z^{-1} + 0,0089z^{-2}}{1 - 1,3687z^{-1} + 0,3811z^{-2}} \quad (7.2)$$

Čitatele přenosů (7.1) a (7.2) se liší, protože hodnoty přechodové charakteristiky byly normovány na rozsah 0 – 1. Byly naprogramovány diferenční rovnice pro výpočet hodnot přechodové charakteristiky soustavy druhého řádu, kde byly dosazeny parametry jednotlivých přenosů. Porovnání průběhů modelovaných přechodových charakteristik získaných na základě identifikovaných přenosů a naměřené přechodové charakteristiky jsou na Obr. 36. U hodnot získaných z přenosu identifikovaného na základě náhodného signálu bylo provedeno normování na rozsah 0 – 1. Aproximace na základě měření přechodové charakteristiky je v legendě obrázku označena jako Aproximace č.1, aproximace na základě buzení náhodným signálem potom jako Aproximace č.2 (Obr.32.).



Obr. 36. Porovnání aproximací přechodové charakteristiky s naměřenou

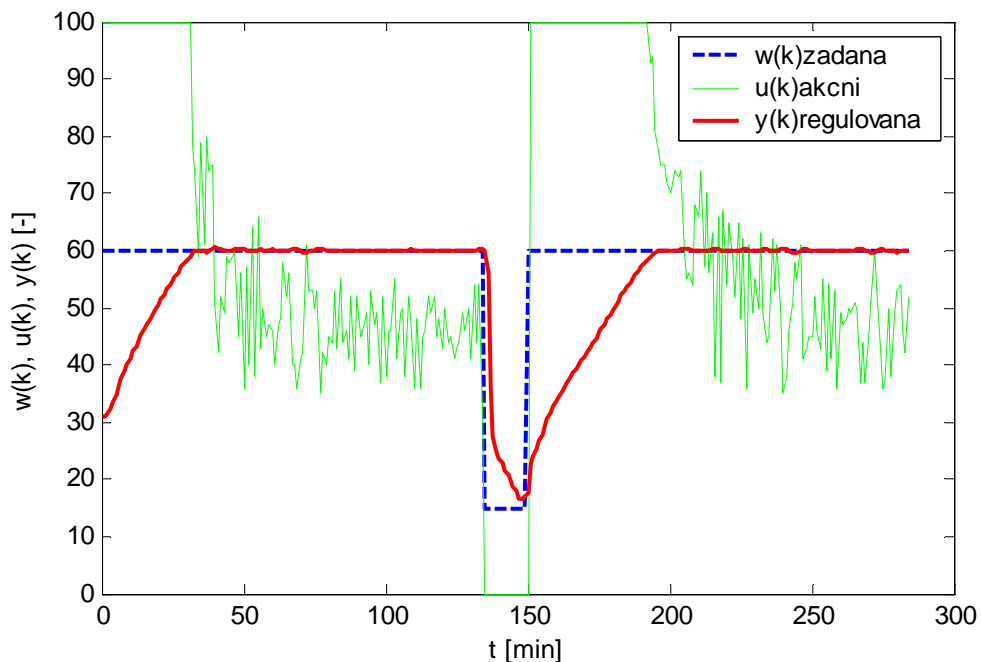
8 NAMĚŘENÉ PRŮBĚHY REGULACE TEPLoty POVRCHU ZKUŠEBNÍHO TĚLESA

V této části práce jsou zobrazeny průběhy regulačních pochodů dosažených při regulaci teploty povrchu zkušební tělesa pomocí regulátorů s konfiguracemi 1DOF a 2DOF a to jak s pevně nastavenými parametry, tak samočinně se nastavujícími. Jsou rovněž zobrazeny průběhy identifikovaných parametrů při adaptivní regulaci. Závěrem této části jsou formou tabulky porovnány kvality regulace pomocí kvadratických kritérií.

8.1 Průběhy regulací s použitím regulátorů s pevně nastavenými parametry

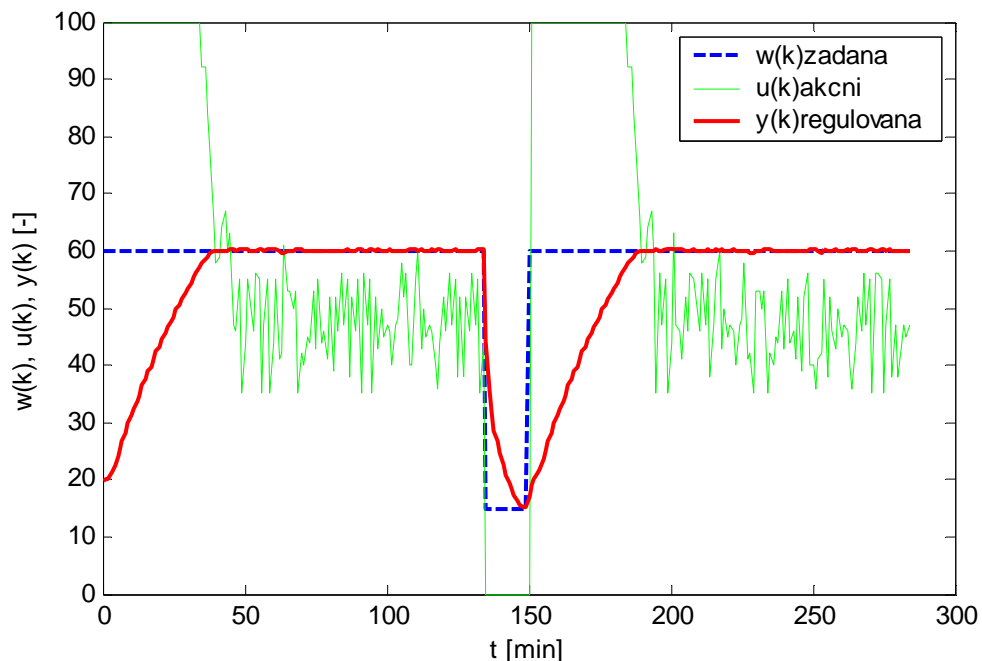
Pro požadované chování regulačního pochodu byla u obou regulátorů zvolena kruhová frekvence $\omega_n = 0,65/T_V$ a poměrné tlumení $\xi = 0,75$. Tyto parametry byly získány na základě experimentů.

8.1.1 Regulátor 1DOF – 1



Obr. 37. Průběh regulace teploty pro regulátor 1DOF-1 s pevně nastavenými parametry

8.1.2 Regulátor 2DOF – 1



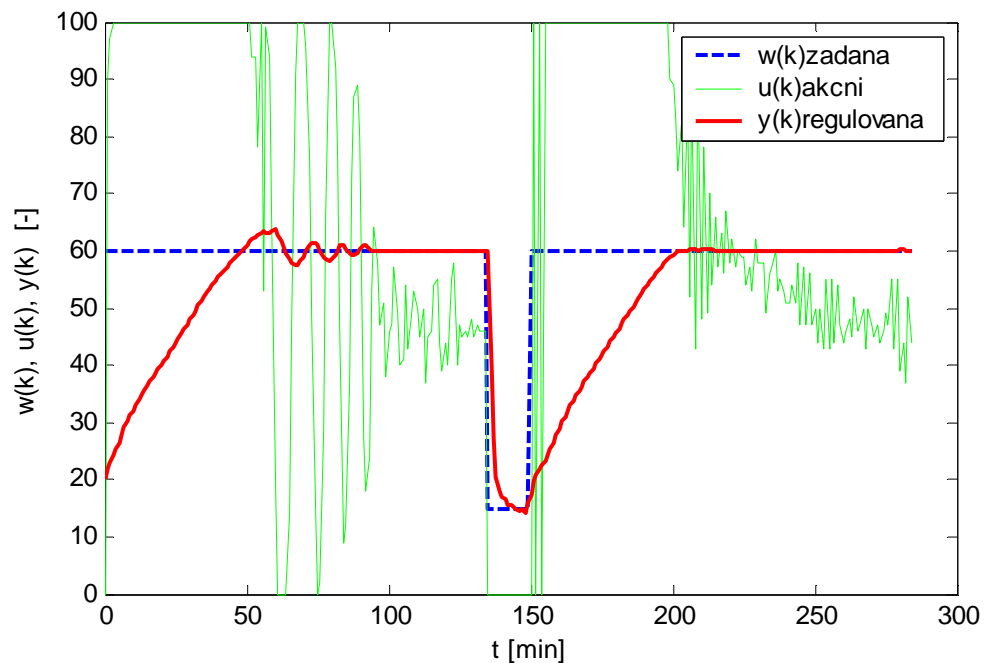
Obr. 38. Průběh regulace teploty pro regulátor 2DOF-1 s pevně nastavenými parametry

Průběhy regulace pro oba regulátory s pevně nastavenými parametry jsou srovnatelné. Bylo dosaženo asymptotického sledování referenčního signálu za poměrně krátkou dobu téměř bez překmitu regulované veličiny. Oba regulační pochody splňují požadavky pro řízení zkoušky. Jejich výhodou je menší náročnost při výpočtu akčního zásahu, protože se neprovádí algoritmus průběžné identifikace a výpočet parametrů regulátoru v každém kroku.

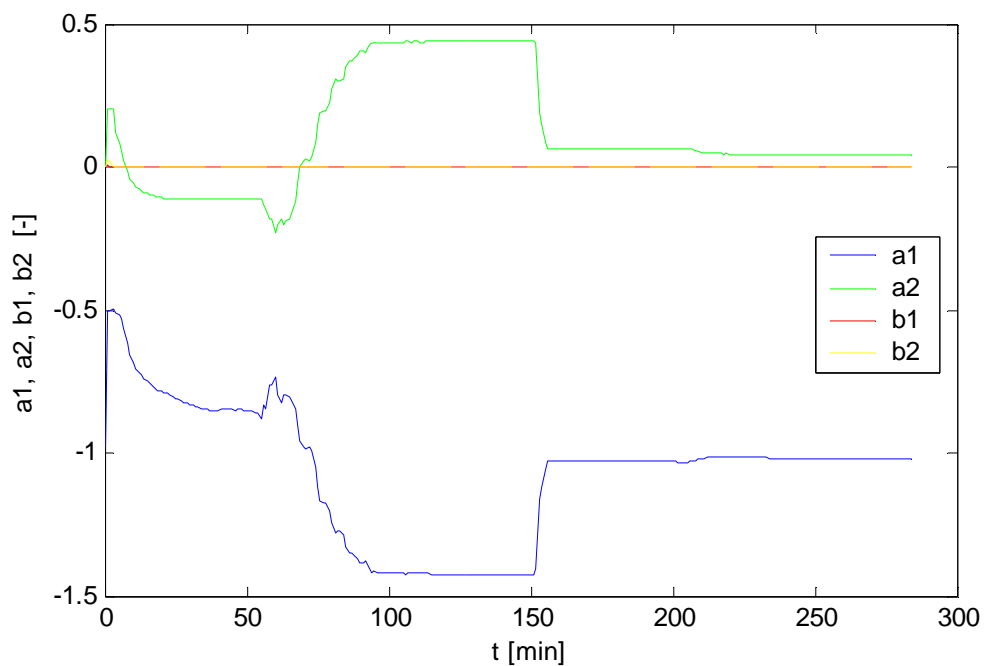
8.2 Průběhy regulací s použitím samočinně se nastavujících regulátorů

Prvky na hlavní diagonále kovarianční matice C byly nastaveny na hodnotu 1000. Počáteční odhad parametrů soustavy byly zvoleny bez apriorní informace $\hat{\Theta}(0)$: $a_1=0,1$, $a_2=0,2$, $b_1=0,3$, $b_2=0,4$.

8.2.1 Regulátor 1DOF – 1

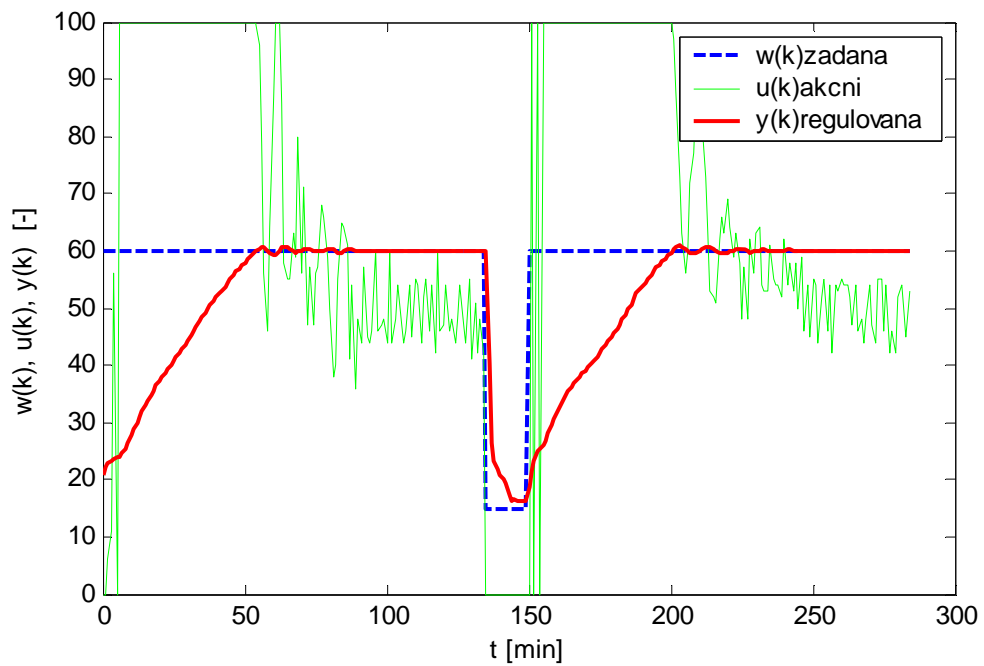


Obr. 39. Průběh regulace teploty pro adaptivní regulátor se strukturou 1DOF

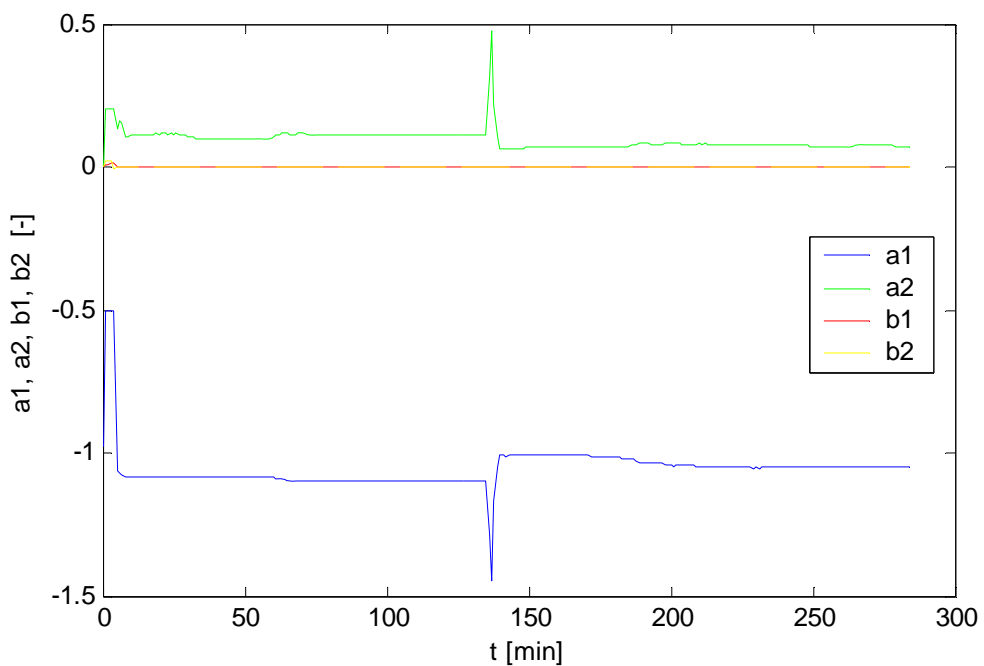


Obr. 40. Průběhy parametrů a_1 , a_2 , b_1 , b_2 při použití adaptivního regulátoru se strukturou 1DOF

8.2.2 Regulátor 2DOF – 1



Obr. 41. Průběh regulace teploty pro adaptivní regulátor se strukturou 2DOF



Obr. 42. Průběhy parametrů a_1 , a_2 , b_1 , b_2 při použití adaptivního regulátoru se strukturou 2DOF

8.3 Porovnání 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

$$S_e = \frac{1}{k_2 - k_1 + 1} \sum_{k=k_1}^{k_2} e^2(k) \quad S_u = \frac{1}{k_2 - k_1 + 1} \sum_{k=k_1}^{k_2} \Delta u^2(k) \quad (8.1)$$

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

Pro porovnání kvalit regulace byl zvolen interval $\langle 150, 284 \rangle$ minut.

Tab. 3. Tabulka kvality regulace pro regulátory 1DOF a 2DOF

Regulátory s pevně nastavenými parametry	S_e	S_u
1DOF-1	141,97	160,86
2DOF-1	153,65	147,24
Samočinně se nastavující regulátory		
1DOF-1	192,11	484,81
2DOF-1	168,14	403,07

Na základě provedených experimentů je možno konstatovat, že použití samočinně se nastavujících regulátorů v případě lineárního tepelného procesu, kdy se parametry systému v průběhu zkoušky příliš nemění, není příliš vhodné. Jako lepší varianta se jeví jednorázová identifikace procesu a následné řízení regulátory s pevně nastavenými parametry.

ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce bylo vytvoření aplikace pro operátora zkoušky systémů pro ochranu betonových konstrukcí. Hlavním úkolem vytvořené aplikace je realizace řízení a snímání teploty zkušební kabiny, ve které se zkouška provádí.

V teoretické části je uveden popis zkušební kabiny a způsob jejího připojení k PC pro ovládání a sběr naměřených dat pomocí modulů ADAM. Byl zde uveden popis základních vlastností a vývojového prostředí programu Control Web 5, ve kterém byla vytvořena aplikace pro operátora zkoušky. Dále je uveden popis regulátorů založených na metodě přiřazení pólů a to pro konfigurace regulačního obvodu 1DOF a 2DOF. Tyto regulátory byly aplikovány pro řízení teploty zkušební kabiny. Závěrem této části je popis identifikace systému metodou nejmenších čtverců.

V praktické části je uveden návrh a popis vytvořené aplikace s detailním popisem jednotlivých panelů a jejich funkcí. Je zde také popsán algoritmus regulace teploty. Byla provedena identifikace systému na základě dat získaných jednak naměřením přechodové charakteristiky a jednak odezvou systému na náhodný budící signál. Jejich zpracováním jednorázovou metodou nejmenších čtverců byly získány parametry pro návrh regulátorů. Navržené regulátory s pevně nastavenými parametry a samočinně se nastavující regulátory byly použity pro regulaci teploty povrchu zkušební tělesa. Průběhy jednotlivých regulací byly zobrazeny a porovnány pomocí kvadratických kritérií kvality regulace. Na základě provedených experimentů je možno konstatovat, že použití samočinně se nastavujících regulátorů v případě lineárního tepelného procesu, kdy se parametry systému v průběhu zkoušky příliš nemění, není příliš vhodné. Jako lepší varianta se jeví jednorázová identifikace procesu a následné řízení regulátory s pevně nastavenými parametry.

Vytvořená aplikace se využívá pro nastavení základních parametrů regulace teploty, řízení systému, vizualizaci a archivaci naměřených dat. Přímou v aplikaci se vyhotovuje protokol o zkoušce, který se ukládá na pevný disk počítače a může být vytisknut na tiskárně. Aplikace je využívána firmou ITC Zlín a.s., která se zabývá testováním a certifikací.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The main aim of this thesis was to design an application for control, measurement, visualization and archiving of temperature data during endurance testing of systems for protection of concrete constructions. Systems for protection of concrete constructions are tested. The tests perform in a trial cab. Realization of temperature control and measurement of the temperature in the trial cab was the main point of the designed application.

Description of the trial cab and way of connection between the cab and a PC with help of the modules ADAM is described in the theoretical part. The PC is used for control of the temperature in the cab and its measurement. Descriptions of the main properties of the development environment Control Web 5 are included. Controllers based on pole placement with 1DOF and 2DOF configuration of the closed loop are also described. These controllers are used for the control of temperature in the trail cab. At last this section describes methods which were used for the process identification.

Description of the designed application with detailed definition of individual panels and their functions is in practical section of the thesis. Description of the algorithms for the temperature control is also included. System identification based on obtained data partly measuring unit step response and partly system response onto random signals is performed. The parameters for proposal controllers are obtained their processing with the simple least square method. The proposed controllers with fixed parameters and the self-tuning controllers are used for surface temperature of the trail unit regulation. Individual regulation processes are displayed and compared per square criteria of regulation quality. Based on performed experiments it can be claimed that using of self-tuning controllers in case of linear thermal process, where in process of test the system parameters are changing insignificant, is not so applicable. As a better option looks to be one-way identification of process and consecutive control with fixed parameters

The created application is used for adjustment basic parameters of temperature regulation, system control, visualization and archiving measured data. The test certificate is created directly in the application. The created test certificate saves on the hard disk of computer and can be printed on the printer. The application is used by company ITC Zlín a.s., which deals with testing and certification.

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] 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.
- [6] V. Kučera, Analysis and Design of Discrete Linear Control Systems, Academia, Prague, 1991.
- [7] *Moravské přístroje a.s.* [online]. [2007] [cit. 2007-05-10]. Dostupný z WWW: <www.mii.cz>.
- [8] *Advantech* [online]. [2007] [cit. 2007-05-11]. Dostupný z WWW: <www.advantech.com>.
- [9] *Self-Tuning Controllers Simulink Library* [online]. 2002 , 18.4.2006 [cit. 2007-05-18]. Dostupný z WWW: <<http://www.utb.cz/stctool/>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

PLC	Programmable Logic Controller – programovatelný logický automat
I/O	Input / Output – vstupně-výstupní
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition - supervizí řízení a sběr dat
MMI	Man Machina Interface - rozhraní člověk – stroj
DDE	Dynamic Data Exchange – protokol pro výměnu dat
OLE	Object Linking and Embedding
OPC	OLE for Process Control
WWW	World Wide Web
HTML	Hypertext Markup Protocol
PC	Personal Computer – osobní počítač
<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_e</i>	Suma regulačních odchylek
<i>S_u</i>	Suma akčních zásahů
<i>T_V</i>	Perioda vzorkování
<i>C</i>	Čtvercová kovarianční matice
\hat{e}	Chyba predikce
φ	Faktor směrového zapomínání
ϕ	Vektor dat

$\hat{\Theta}$	Vektor odhadů parametrů
w	Žádaná veličina
e	Regulační odchylka
u	Akční veličina vstupující do soustavy
y	Výstupní regulovaná veličina
F	Matice integrátoru
W	Vektor žádaných veličin
Y	Vektor regulovaných veličin
U	Vektor akční veličiny
ζ	Reálná část pólu
ω	Imaginární část pólu
$A(z^{-1})$	Polynom jmenovatele Z-přenosu soustavy
$a_1..a_2$	Koeficienty jmenovatele Z-přenosu soustavy
$B(z^{-1})$	Polynom čitatele Z-přenosu soustavy
$b_1..b_2$	Koeficienty čitatele Z-přenosu soustavy
$D(z^{-1})$	Charakteristický polynom
d	Počet kroků dopravního zpoždění
$d_1,..d_2$	Koeficienty charakteristického polynomu
$E(z^{-1})$	Obraz odchylky
$G_R(z^{-1})$	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

- $q_0 \dots q_2$ Koeficienty čitatele zpětnovazební části regulátoru
- $R(z^{-1})$ Polynom čitatele přímovazební části regulátoru

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1. Zkušební kabina</i>	10
<i>Obr. 2. Topné zařízení</i>	11
<i>Obr. 3. Termoelektrické snímače teploty</i>	11
<i>Obr. 4. Elektromagnetický ventil</i>	12
<i>Obr. 5. Skrápěcí zařízení</i>	12
<i>Obr. 6. Elektrický rozvaděč</i>	13
<i>Obr. 7. Vývojové prostředí programu Control Web</i>	18
<i>Obr. 8. Vložení přístroje na pracovní plochu</i>	19
<i>Obr. 9. Inspektor přístroje</i>	20
<i>Obr. 10. Datové inspektory programu Control Web</i>	21
<i>Obr. 11. Textový editor programu Control Web</i>	22
<i>Obr. 12. ToolBar Control Webu</i>	23
<i>Obr. 13. Okno tabulkového procesoru InCalc</i>	24
<i>Obr. 14. Blokové schéma regulačního obvodu s regulátorem 1DOF</i>	26
<i>Obr. 15. Blokové schéma regulačního obvodu s regulátorem 2DOF</i>	29
<i>Obr. 16. Blokové schéma zapojení kabiny k PC</i>	37
<i>Obr. 17. Modul ADAM 4571</i>	38
<i>Obr. 18. Modul ADAM 4018</i>	38
<i>Obr. 19. Modul ADAM 4056</i>	39
<i>Obr. 20. Ukázka parametrického souboru ADAM.par</i>	40
<i>Obr. 21. Ukázka mapovacího souboru ADAM.dmf</i>	41
<i>Obr. 22. Nadeřinované komunikační kanály v programu Control Web</i>	41
<i>Obr. 23. Hlavní panel aplikace</i>	42
<i>Obr. 24. Panel pro nastavení průběhu zkoušky</i>	43
<i>Obr. 25. Ukázka panelu Vizualizace – běžící proces</i>	44
<i>Obr. 26. Ukázka panelu Vizualizace – skrápění</i>	44
<i>Obr. 27. Ukázka panelu Vizualizace –topení</i>	45
<i>Obr. 28. Ukázka panelu Průběh zkoušky</i>	46
<i>Obr. 29. Ukázka panelu Test</i>	47
<i>Obr. 30. Ukázka panelu Test – volba generátorů</i>	47
<i>Obr. 31. Ukázka panelu Protokol o zkoušce</i>	48

<i>Obr. 32. Ukázka minimalizovaného panelu.....</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 33. Ukončovací okno aplikace.....</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 34. Průběh teploty kabině při zapnutém topení.....</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 35. Průběhy budicího signálu a odezvy použité pro identifikaci.....</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 36. Porovnání aproximací přechodové charakteristiky s naměřenou.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 37. Průběh regulace teploty pro regulátor 1DOF-1 s pevně nastavenými parametry</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 38. Průběh regulace teploty pro regulátor 2DOF-1 s pevně nastavenými parametry</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 39. Průběh regulace teploty pro adaptivní regulátor se strukturou 1DOF</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 40. Průběhy parametrů a_1, a_2, b_1, b_2 při použití adaptivního regulátoru se strukturou 1DOF</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 41. Průběh regulace teploty pro adaptivní regulátor se strukturou 2DOF</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 42. Průběhy parametrů a_1, a_2, b_1, b_2 při použití adaptivního regulátoru se strukturou 2DOF</i>	<i>58</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Vztahy pro výpočet parametrů regulátoru 1DOF</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 2. Vztahy pro výpočet parametrů regulátoru 2DOF</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 3. Tabulka kvality regulace pro regulátory 1DOF a 2DOF</i>	<i>59</i>

SEZNAM PŘÍLOH

P I Protokol o zkoušce

PŘÍLOHA P I: PROTOKOL O ZKOUŠCE