České vysoké učení technické v Praze

Fakulta elektrotechnická

Diplomová práce

Vypracoval: Michal Kutil

Vedoucí práce: Ing. Jindřich Fuka

České vysoké učení technické v Praze - Fakulta elektrotechnická

Katedra řídicí techniky Školní rok: 2002/2003

Z A D Á N Í D I P L O M O V É P R Á C E

Student: Michal K u t i l

Obor: Technická kybernetika

Název tématu: Řízení modelu s využitím Internetu

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Vytvořte model vhodný pro monitorování přes Internet a realizujte jeho řízení pomocí automatu Allen-Bradley. Automat připojte k síti Internet jednak přímo přes ethernetové rozhraní, jednak přes osobní počítač, jenž zajistí vizualizaci pomocí webových stránek.
2. Vypracujte takové webové stránky, které umožní přístup k modelu více uživatelům. Ze stránek bude možné zadávat vstupní parametry a parametry regulátoru, výstupem bude naměřený průběh. Dále bude na stránkách umístěn pohled na model prostřednictvím webové kamery.
3. Popište možnosti řízení a monitorování některých programovatelných automatů Allen-Bradley s využitím Internetu a prostudujte softwarové řešení firmy Rockwell Automation – RSSql – pro spojení řídicích automatů s databázemi.

Seznam odborné literatury: Dodá vedoucí práce

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jindřich Fuka

Datum zadání diplomové práce: prosinec 2002

Termín odevzdání diplomové práce: květen 2004

L.S.

doc. Ing. Michael Šebek, DrSc.
vedoucí katedry

prof. Ing. Vladimír Kučera, DrSc.
děkan

V Praze dne 04.04.2003

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne ……. …….

Michal Kutil

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce ing. Jindřichu Fukovi, bez jehož pomoci, rad a odborných připomínek by tato práce nemohla vzniknout. Můj vděk patří také všem, kteří mě při práci podporovali.

Téma

Řízení modelu s využitím Internetu

Abstrakt

Práce popisuje návrh a konstrukci modelu vhodného pro internetové řízení a vizualizaci. Model se skládá z vertikálně orientované průhledné plastové trubky. Do trubky je zespodu vháněn proud vzduchu, který unáší těleso umístěné uvnitř. Celkový pohled snímá webová kamera. Řízení modelu je realizováno programovatelným logickým automatem nebo osobním počítačem s měřicí kartou. Byly vytvořeny dvě varianty vizualizace modelu přístupné přes internet, jedna v programovatelném automatu a druhá na osobním počítači. Webové stránky z procesoru automatu PLC-5 umožňují pouze monitorování. Pro úplné ovládání modelu je použit webový server na osobním počítači. Na jeho stránkách je i systém podporující přístup více uživatelů. Lokálně lze model řídit z Matlabu pomocí Real-Time toolboxu.

Theme

Control of model using Internet

Abstract

This work describes design and construction of a model controlled by Internet and its visualization. The main part of the model is vertically orientated plastic tube. A flow of air from a ventilator levitates a body placed inside. The view to the model from web camera is available. The model is controlled either by a programmable logical controller PLC-5 or a personal computer equipped by special measuring card. There were designed two types of visualization accessible through the Internet. The first visualization uses the programmable controller, the second one the personal computer. The web pages issued by processor of programmable controller are only for process monitoring. Full control possibility gives web server that runs on a personal computer. There is a multi-user system for model access. The local control from Matlab's Real-Time toolbox is available too.

Obsah

1 Úvod 1

2 Celková koncepce systému 2

3 Model vznášení 5

3.1 Popis modelu 5

3.1.1 Vzhled modelu 5

3.1.2 Ovládací prvky modelu 7

3.2 Realizace modelu 7

3.2.1 Akční člen 8

3.2.2 Měřicí čidla 8

3.2.2.1 Laserový senzor s dlouhým měřicím rozsahem 8

3.2.2.2 Reflexní světelný senzor 9

3.2.2.3 Snímač tlaku 9

3.2.2.4 Snímač otáček větráku 9

3.2.2.5 Kamera 12

3.2.3 Osvětlení modelu 12

3.2.4 Napájecí napětí 12

3.2.5 Napěťové úrovně pro komunikaci 12

3.2.6 Rozhraní pro připojení řídicího systému 13

3.2.6.1 Připojení modelu k PLC 13

3.2.6.2 Připojení modelu k PC 14

3.2.6.3 Připojení modelu pomocí Flex I/O modulů 15

3.2.7 Návrh řídicí a měřicí elektroniky 16

3.2.7.1 Řídicí jednotka 16

3.2.7.2 Zesilovač 21

3.2.7.3 Měření otáček větráku 23

3.2.8 Sestavení modelu 27

4 Řízení modelu 30

4.1 Programovatelný logický automat PLC-5 30

4.1.1 Řídicí program 33

4.2 Řízení pomocí PC a programu Matlab 36

5 Vizualizace 38

5.1 Vizualizace na www 38

5.2 Webové stránky z PLC 39

5.2.1 Diagnostické stránky 40

5.2.2 Tvorba vlastních stránek 43

5.2.2.1 Specifika html pro automat PLC-5 43

5.2.2.2 Vkládání aktivního obsahu do stránky 44

5.2.2.3 Nahrání stránek do automatu 47

5.2.3 Stránky pro vizualizaci modelu 48

5.2.4 Hodnocení webového serveru 53

5.3 Webové stránky z PC 53
5.3.1 Program pro sběr dat – RSSql 54
5.3.2 Databázový server MSSQL 58
5.3.3 Web server 59
5.3.4 Webová vizualizace 60

6 Identifikace modelu a návrh řízení 64
6.1 Identifikace modelu 64
6.2 Návrh regulátoru 67

7 Závěr 70

Literatura 72

Seznam softwaru 74

A Příloha - Dokumentace k elektronice přípravku 75
A.1 Řídicí jednotka 75
A.1.1 Seznam součástek 79
A.1.2 Program pro programovatelná logická pole 80
A.1.2.1 Hlavní program 80
A.1.2.2 Ochranný obvod světla 81
A.2 Zesilovač 82
A.2.1 Seznam součástek 83
A.3 Měření otáček větráku 84
A.3.1 Seznam součástek 85

B Příloha – Konstrukční plány částí modelu 86
B.1 Dřevěný držák 86
B.2 Desky usměrňovače vzduchu 86

C Příloha – Program pro PLC 87
C.1 Seznam programových souborů 87
C.2 Seznam datových souborů programu 88
C.3 Seznam konstant 88
C.4 Průběh http komunikace na automatu 89
C.5 DTD XML souboru se stavem automatu 90

D Příloha – Server na PC 91
D.1 Procedury databáze na MSSQL serveru 91
D.2 Konfigurace PHP 93
D.3 DTD XML dokumentu se stavy modelu 93

E Příloha – Dodatky k práci 94
E.1 Nejčastěji používané termíny a zkratky 94
E.2 Cenový rozpočet pro model s vizualizací 97
E.3 Přiložené CD 97

Seznam obrázků

Obr. 2.1 Základní princip modelu 3
Obr. 2.2 Celková koncepce systému 4
Obr. 3.1 Umístění modelu 5
Obr. 3.2 Fotografie modelu 6
Obr. 3.3 Ovládací panel modelu 7
Obr. 3.4 Průběh výstupu z Hallovy sondy 10
Obr. 3.5 Průběh výstupu z Hallovy sondy - detail 10
Obr. 3.6 Závislost vzdálenosti mezi pulsy a napětím na větráku 11
Obr. 3.7 Řídicí jednotka 16
Obr. 3.8 Schéma řídicí jednotky 16
Obr. 3.9 Schéma zapojení hlavní části řídicí jednotky 18
Obr. 3.10 Ochranný obvod světla 18
Obr. 3.11 Schéma zapojení ochranné jednotky 19
Obr. 3.12 Osazené plošné spoje řídicí jednotky 20
Obr. 3.13 Zesilovač 21
Obr. 3.14 Schéma zapojení zesilovače 21
Obr. 3.15 Jednotka pro měření otáček 23
Obr. 3.16 Schéma měřicí jednotky 23
Obr. 3.17 Charakteristika měřicí jednotky 25
Obr. 3.18 Závislost mezi otáčkami větráku a napětím na výstupu jednotky 26
Obr. 3.19 Spojení trubky a větráku 27
Obr. 3.20 Zapojení elektroniky modelu 28
Obr. 3.21 Propojení jednotek, snímačů a akčních členů modelu 29
Obr. 4.1 Programovatelý logický automat PLC-5 30
Obr. 4.2 Komuninikační modul Flex I/O 1794-ASB 31
Obr. 4.3 Flex I/O modul 32
Obr. 4.4 Blokový přenos dat 34
Obr. 4.5 Simulinkový subsystém zajišťující přístup k modelu 36
Obr. 4.6 Simulinkové schéma pro řízení modelu 37
Obr. 5.1 Úvodní stránka v automatu 40
Obr. 5.2 Stránka *Module Information* 40
Obr. 5.3 Stránka *Diagnostic Information* 41
Obr. 5.4 Stránka *Data Table Memory Map* 42
Obr. 5.5 Stránka *Data Table Monitor* 42
Obr. 5.6 Stránka *Custom Data Table Monitor* 46
Obr. 5.7 Konfigurace umístění stránek 47
Obr. 5.8 Vizualizace modelu 49
Obr. 5.9 Uživatelská stránka informující o PID řízení 52
Obr. 5.10 Stránka vizualizace s obrazem z webové kamery 52
Obr. 5.11 Úvodní obrazovka RSSql 54

Obr. 5.12 Configuration Checklist....55
Obr. 5.13 Strom projektu....56
Obr. 5.14 Přehled nadefinovaných transakcí....57
Obr. 5.15 Statistiky přenosu dat....58
Obr. 5.16 Fyzický model databáze....59
Obr. 5.17 Stránka s grafem polohy tělesa v čase....60
Obr. 5.18 Formulář s volbou řízení....61
Obr. 5.19 Nastavení PID regulátoru....62
Obr. 5.20 Nastavení logické regulace....62
Obr. 5.21 Rezervace modelu....63
Obr. 6.1 Odezvy na skokový signál....64
Obr. 6.2 Vstupní signál u pro identifikaci....65
Obr. 6.3 Odezva y na pseudonáhodný signál....65
Obr. 6.4 Ověření modelu....66
Obr. 6.5 Frekvenční charakteristika....67
Obr. 6.6 Regulace navržená nástrojem RSTune....68
Obr. 6.7 Nastavení vah W_1 a W_2....68
Obr. 6.8 Regulace robustně nastaveným regulátorem....69

Seznam tabulek

Tabulka 3.1 Závislost vzdálenosti mezi pulsy a napětím na větráku....11
Tabulka 3.2 Popis signálů přivedených na konektor pro komunikaci s PLC....13
Tabulka 3.3 Popis signálů přivedených na konektor pro komunikaci s PC....14
Tabulka 3.4 Zapojení signálů na Flex I/O moduly....15
Tabulka 3.5 Stavy indikace ochranné jednotky hodin....19
Tabulka 3.6 Popis svorkovnice řídicí jednotky....20
Tabulka 3.7 Popis svorkovnice zesilovače....22
Tabulka 3.8 Popis svorkovnice jednotky pro měření otáček....24
Tabulka 3.9 Charakteristika měřicí jednotky....25
Tabulka 4.1 Rozsahy analogového Flex I/O modulu 1794-IE4XOE2....32
Tabulka 4.2 Konfigurace Flex I/O modulů....33
Tabulka 4.3 Vztahy pro přepočet na inženýrské jednotky....34
Tabulka 4.4 Číslování kanálů v Simulinku pro měřicí kartu....36
Tabulka 5.1 Porovnání možností automatů z pohledu připojení na internet....39
Tabulka 5.2 Přehled ikon sloužících k přepnutí informací na pracovní ploše....57

Některé použité názvy v této práci mohou být registrovanými nebo obchodními značkami.

1 Úvod

V současné době se využití internetu dostává do mnoha oborů lidské činnosti a nejinak je tomu i v oblasti řízení procesů. Jednou ze služeb internetu, které postupně pronikají do této oblasti, jsou webové stránky. Cílem této diplomové práce je vytvoření modelu vhodného pro řízení (monitorování) přes internet, jeho připojení k řídicímu systému a realizace webových stránek pro vizualizaci.

První část práce popisuje návrh a tvorbu modelu určeného pro řízení pomocí internetu. Takový model by měl splňovat několik základních podmínek, například velké časové konstanty, viditelné pohybující se části, spolehlivost a v neposlední řadě bezpečnost. Hlavní a zároveň nejviditelnější částí modelu je vertikálně orientovaná průhledná plastová trubka. Do trubky je zespodu vháněn proud vzduchu, který unáší těleso umístěné uvnitř. Model obsahuje několik typů snímačů pro určení polohy tělesa. Celkový pohled snímá webová kamera.

Model lze ovládat ručně nebo pomocí řídicího systému popsaného v kapitole „Řízení modelu“. Řídicím systémem je jednak programovatelný logický automat, jednak osobní počítač. Řízení programovatelným logickým automatem je realizováno buď jako logické nebo pomocí PID algoritmu. Osobní počítač využívá pro řízení program Matlab s Real-Time toolboxem. Regulátor je zde popsán přenosovou funkcí.

Na kapitolu o řízení navazuje další část práce obsahující popis a tvorbu vizualizace pomocí webových stránek. Zde jsou shrnuty možnosti programovatelných automatů Allen-Bradley pro připojení k síti internet včetně implementace webového serveru. Webový server ve zvoleném automatu PLC-5 umožňuje pouze monitorování pomocí uživatelem definovaných stránek. Proto se další část zabývá vytvořením plnohodnotné vizualizace na osobním počítači. Sběr dat z automatu zajišťuje program RSSql. Použití databáze a skriptovacího jazyka PHP umožňuje, mimo jiné, vytvořit na stránkách archiv naměřených dat, který je prezentován také formou grafu. Přístup více uživatelů k modelu je autorizován implementovaným modulem učebnice SARI.

V závěru práce je rozebrána problematika vytvoření matematického popisu modelu a provedena základní identifikace. Její výsledky jsou využity pro návrh několika variant řízení.

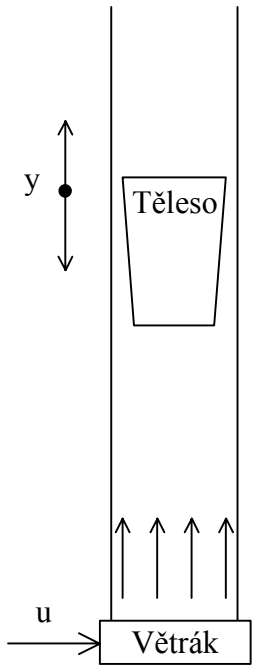
2 Celková koncepce systému

Pro účely výuky a testování algoritmů řízení s využitím internetu bylo potřeba vytvořit vhodný systém. Nejprve bylo nutné vyvinout zcela nový model, vhodný právě pro řízení (vizualizaci) pomocí internetu. Dále připojit model k řídicímu systému, kterým je programovatelný logický automat (PLC). Tento automat může být připojen k internetu přímo nebo s využitím osobního počítače (PC), který získaná data archivuje a upravuje pro vizualizaci. Samostatnou kapitolu vývoje tvoří použití vhodného softwaru. Jelikož vizualizace modelu bude realizována ve formě webových stránek, je nutné použít webový server a databázi pro ukládání dat. Pro přenos dat budeme potřebovat program, který zajistí spojení mezi PLC a databází na osobním počítači. Pro doplnění vizualizace je součástí modelu webová kamera.

Před samotným návrhem modelu jsme si stanovili několik základních požadavků, které vyplývají z jeho budoucího použití:

1. Model musí být dostatečně pomalý, aby dopravní zpoždění v síti internet bylo zanedbatelné oproti časovým konstantám modelu.
2. Pohyblivá část modelu musí být dostatečně veliká a kontrastní vzhledem k pozadí, aby byl model snadno pozorovatelný pomocí webové kamery.
3. Funkčnost modelu nesmí být podmíněna lidskou obsluhou a systém musí zvládnout práci v nepřetržitém provozu s minimální údržbou.
4. Model musí splňovat bezpečnostní kritéria pro provoz bez dohledu.

Základem modelu je plastová průhledná trubka, jejíž osa je orientována svisle (viz schéma Obr. 2.1). K její spodní části je připevněn větrák, kterým se vhání dovnitř proud vzduchu. Horní konec je otevřený, aby vzduch mohl volně proudit ven. Do trubky je možné vkládat různá tělesa, která jsou unášena proudem vzduchu. Změnou intenzity proudění je možné s tělesem pohybovat nahoru a dolu. Vstupem do modelu je tedy velikost napětí přivedeného na větrák, které způsobuje změnu intenzity tohoto proudění. Výstupem je poloha tělesa měřena laserovým senzorem umístěným nad horním koncem trubky. Další možnosti určení polohy jsou jednak pomocí tlaku měřeného uvnitř trubky u jejího spodního okraje a jednak diskrétně pomocí šesti reflexních senzorů umístěných podél trubky. Model je doplněn osvětlením pro práci v nočních hodinách.



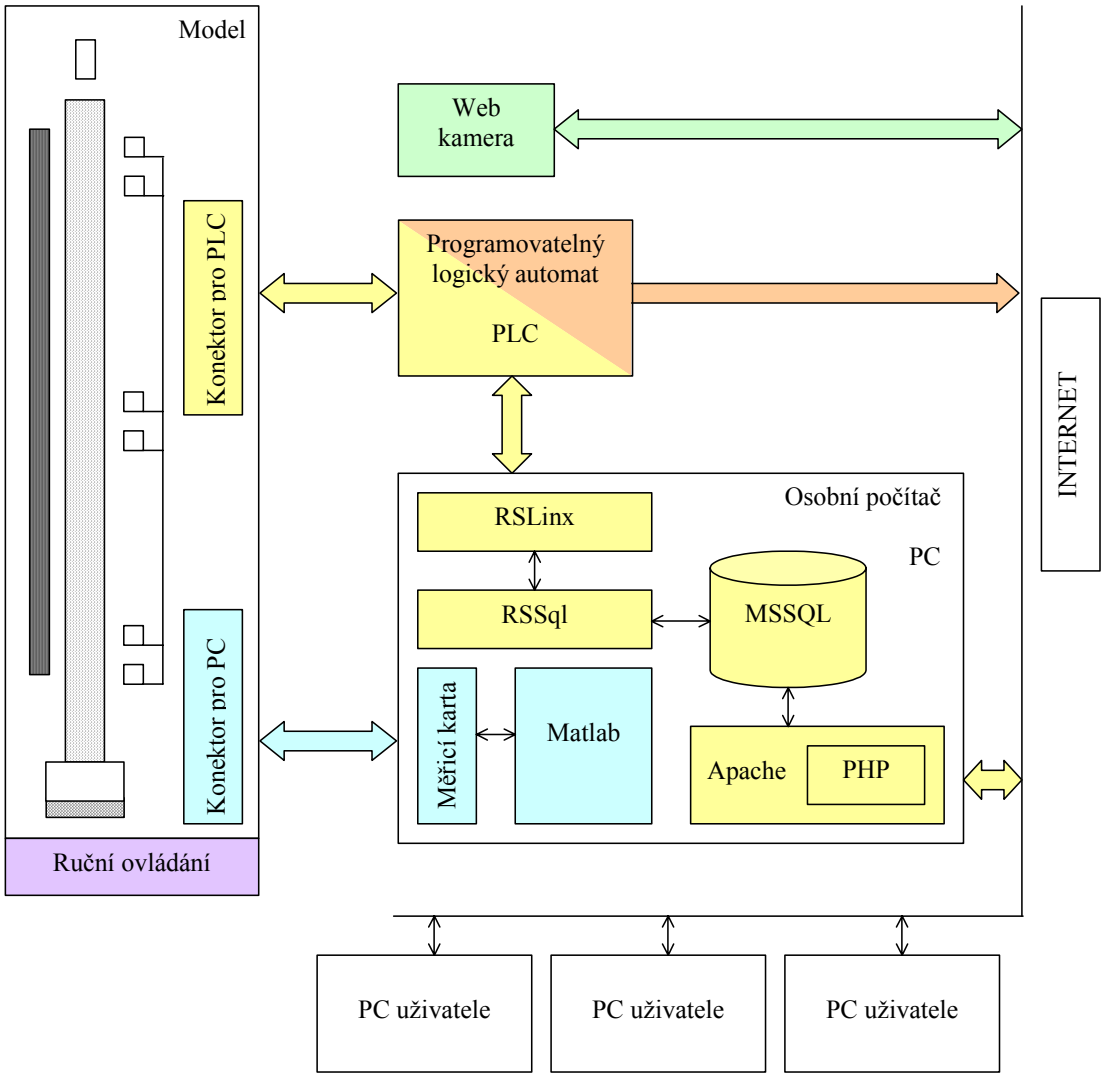
Obr. 2.1 Základní princip modelu

Ovládání (řízení) modelu může být realizováno jednak ručně pomocí ovládacího panelu, který je součástí modelu, jednak vzdáleně řídicím systémem připojeným na konektory modelu. Řídicím systémem je v našem případě programovatelný logický automat PLC-5 od firmy Allen-Bradley. Automat je naprogramován tak, aby řídil polohu tělesa jednak pomocí PID regulátoru a jednak pomocí logického řízení. Výhodou tohoto automatu je přímé připojení pomocí ethernetového rozhraní k síti internet a zároveň implementace webového serveru přímo v procesoru. Tento webový server je tedy použit pro vizualizaci stavu modelu. Druhým řídicím systémem připojeným k modelu je osobní počítač, který je vybaven měřicí kartou. Signály z karty jsou zpracovávány programem Matlab.

Osobní počítač se hlavně používá pro získávání dat z PLC, jejich archivaci a vizualizaci pomocí webových stránek. Komunikaci mezi PLC a osobním počítačem zajišťuje program RSSql (s použitím programu RSLinx). Tento program umožňuje přenos dat mezi automatem a databází. V našem případě je použita databáze MSSQL. Z databáze jsou získávána data pro vizualizaci programem PHP, který generuje pro webový server Apache celou vizualizaci. Ta se skládá z několika stránek a jejich společným prvkem je schéma modelu (Obr. 5.17), umístěné na všech stránkách vlevo. Toto schéma informuje o skutečném stavu modelu a jeho údaje jsou aktualizovány jednou za 500 ms. Dále je na stránkách základní popis modelu, graf polohy tělesa

v závislosti na čase a obraz z webové kamery na model. Pokud je zadáno uživatelské jméno a heslo, zobrazí se obrazovka, kde můžeme zvolit typ řízení a zadávat jeho konstanty, případně nastavovat další parametry pro systém. Aby byl zajištěn přístup pro více uživatelů, je k dispozici rezervační systém, který umožňuje vyhradit ovládání (řízení) modelu výhradně jednomu uživateli.

Následující schéma (Obr. 2.2) zobrazuje propojení celého systému a tok dat mezi modelem a sítí internet.



Obr. 2.2 Celková koncepce systému

3 Model vznášení

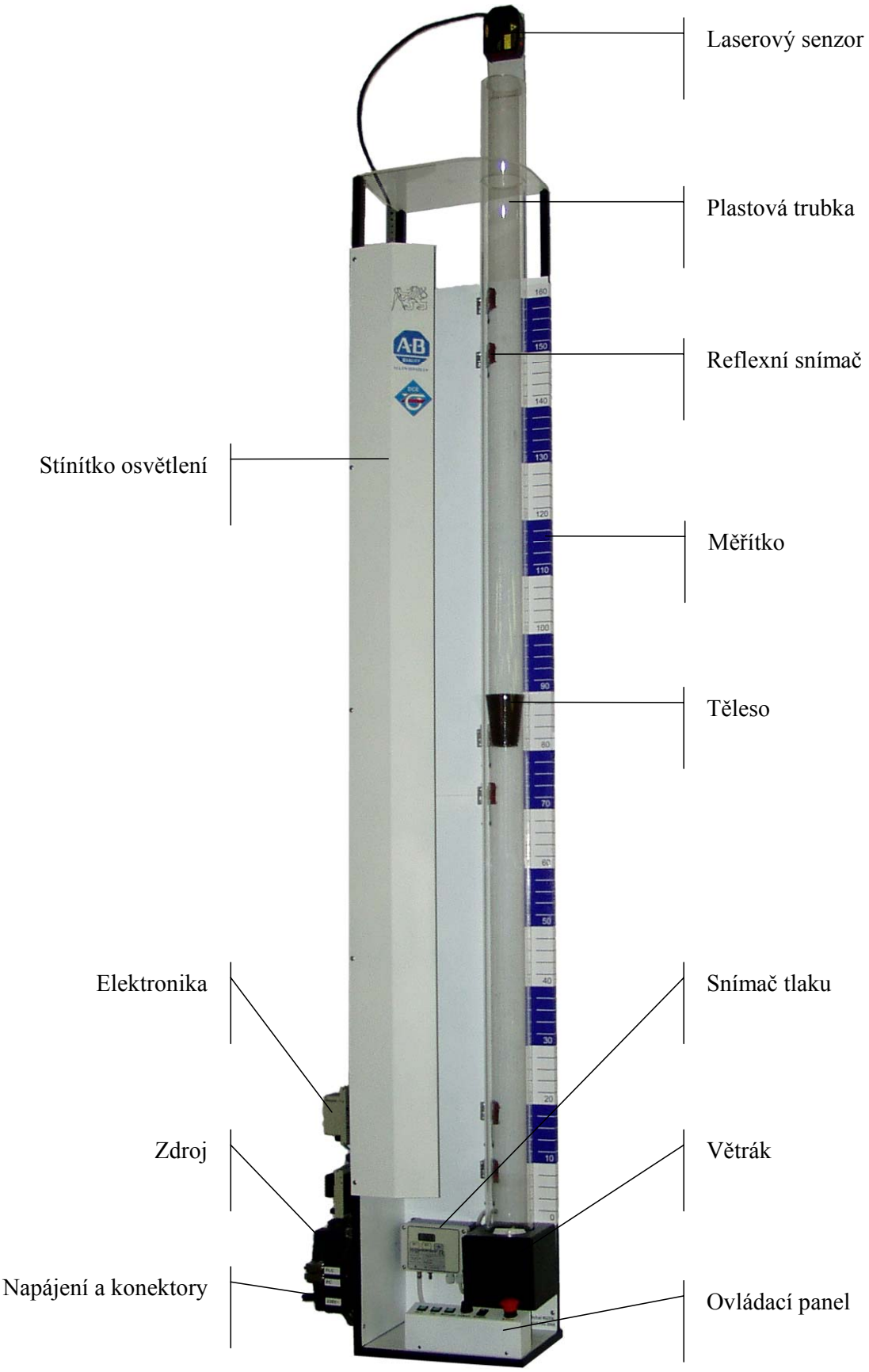
Kapitola popisuje vývoj modelu od jeho návrhu až po samotnou realizaci. Model jsme nazvali „Model vznášení“ a je umístěn v laboratoři K23 na Katedře řídicí techniky FEL ČVUT Praha (Obr. 3.1).

Obr. 3.1 Umístění modelu

3.1 Popis modelu

3.1.1 Vzhled modelu

Základem navrženého a vytvořeného systému (Obr. 3.2) je plastová průhledná trubka o délce 2000 mm s vnitřním průměrem 70 mm a vnějším průměrem 80 mm. Trubka je umístěna svisle. Ke spodní části je připevněn větrák jako zdroj proudu vzduchu. Do trubky se vkládají různá tělesa, kterými je pak možné pomocí proudu vzduchu pohybovat nahoru a dolů. Tato trubka i s větrákem je upevněna v kovovém rámu (300x200x2000 mm) s bílým pozadím. Na rám jsou v přední části umístěny ovládací prvky, osvětlení modelu a několik snímačů. Elektronické obvody pro ovládání modelu, zpracování signálů ze senzorů a komunikaci, jsou umístěny z boku na vnější straně modelu.



Obr. 3.2 Fotografie modelu

3.1.2 Ovládací prvky modelu

Model je možné, kromě vzdáleného řízení, ovládat také lokálně za pomoci ovládacích prvků. Tyto prvky jsou umístěny na panelu před modelem. První tři tlačítka zleva slouží k volbě řídicího systému (PLC, PC, Manuál). Součástí tlačítek jsou indikační LED diody, které informují o zvoleném řídicím systému. Dalším prvkem je potenciometr k ovládání otáček větráku. Vedle potenciometru je vypínač k zapnutí i vypnutí osvětlení, jeho součástí je oranžová LED dioda signalizující jeho stav. Posledním ovládacím prvkem je bezpečnostní „STOP“ tlačítko, sloužící k havarijnímu odpojení přívodu elektrické energie od modelu.

Obr. 3.3 Ovládací panel modelu

3.2 Realizace modelu

Při návrhu modelu jsem postupoval podle následujících bodů:

1. Výběr akčních členů a měřicích čidel
2. Volba osvětlení modelu
3. Volba napájecího napětí a napěťových úrovní pro komunikaci
4. Volba rozhraní pro připojení řídicího systému
5. Návrh řídicí a měřicí elektroniky
    a) Řídicí jednotka
    b) Zesilovač pro větrák
    c) Měření otáček větráku
6. Testování navržené elektroniky
7. Realizace celého zapojení
8. Oživení a testování

Postup návrhu a realizace důležitých bodů budou podrobněji popsány v následujících odstavcích.

3.2.1 Akční člen

Jediným akčním členem celého modelu je větrák, který vhání proud vzduchu do trubky. Po několika prvotních pokusech s různými typy a velikostmi jsem zvolil větrák KD1212PMBX-6A od firmy SUNON. Při volbě větráku bylo požadováno uložení rotoru v ložiscích z důvodu delší životnosti a větší spolehlivosti. V tomto případě jsou použita dvojitá kuličková ložiska. Tlak větráku je 0,34 Inch H_2O, (údaj výrobce), tj. 84,6 Pa. Otáčky se nastavují volbou napájecího napětí v rozsahu 0-12 V. Uvnitř je umístěna Hallova sonda pro snímání otáček. Velikost větráku je 120x120x38 mm.

3.2.2 Měřicí čidla

Měřicí čidla slouží ke zjišťování polohy tělesa uvnitř trubky. Poloha je měřena několika čidly pracujícími na různých fyzikálních principech. Použití více čidel umožňuje jejich vzájemné porovnání, využití různých metod řízení a analyzuje případné poruchy. Pro model jsou použita následující čidla:

- Laserový senzor s dlouhým měřicím rozsahem
- Reflexní světelný senzor
- Snímač tlaku
- Snímač otáček větráku (Hallova sonda)
- Webová kamera

Všechny čidla se vyrábějí sériově a jsou běžně dostupná na tuzemském trhu. Pouze pro snímač otáček jsem navrhl a vyrobil převodník (viz 3.2.7.3) k získání stejnosměrného signálu z pulsního výstupu Hallovy sondy. Výstupy senzorů jsou unifikovány, což zajistí snadný servis a případnou náhradu za čidla modernější, bez nutnosti většího zásahu do modelu.

3.2.2.1 Laserový senzor s dlouhým měřicím rozsahem

Laserový senzor měří spojitě polohu tělesa v trubce. K tomuto účelu byl vybrán model LT3PU od firmy BANNER, měřicí vzdálenost tělesa od snímače s maximálním měřicím rozsahem je od 0,3 do 5 m.

Senzor má dva typy výstupů:

- Analogový výstup v rozsahu 0 až 10 V. Elektronika senzoru umožňuje libovolné nastavení měřicího intervalu uvnitř maximálního rozsahu. Výstup senzoru je v plném rozsahu lineárně interpolován do zvoleného intervalu.
- Digitální výstup typu PNP. Na výstupu je logická jednička, pokud je měřené těleso v předem nastaveném intervalu vzdálenosti od senzoru.

Senzor je vybaven funkcí učení „TEACH“ pro snadné a rychlé nastavení (bez nutnosti nastavování potenciometrem). Funkce „TEACH“ zároveň umožňuje dálkové nastavení a blokování klávesnice umístěné na senzoru. Napájecí napětí senzoru je 12 až 24 V DC.

Senzor vysílá laserový paprsek třídy 2. Z bezpečnostního hlediska je senzor umístěn na modelu tak, aby nedošlo k zasažení očí.

3.2.2.2 Reflexní světelný senzor

Reflexní senzor detekuje přítomnost tělesa v trubce v místě, kde je umístěný. Je použit senzor WT170-N112 od firmy SICK. Jeho napájecí napětí je 10 až 30 V DC, výstup senzoru je typu NPN. Senzor využívá bezpečné červené světlo a jeho dosah je až 100 mm.

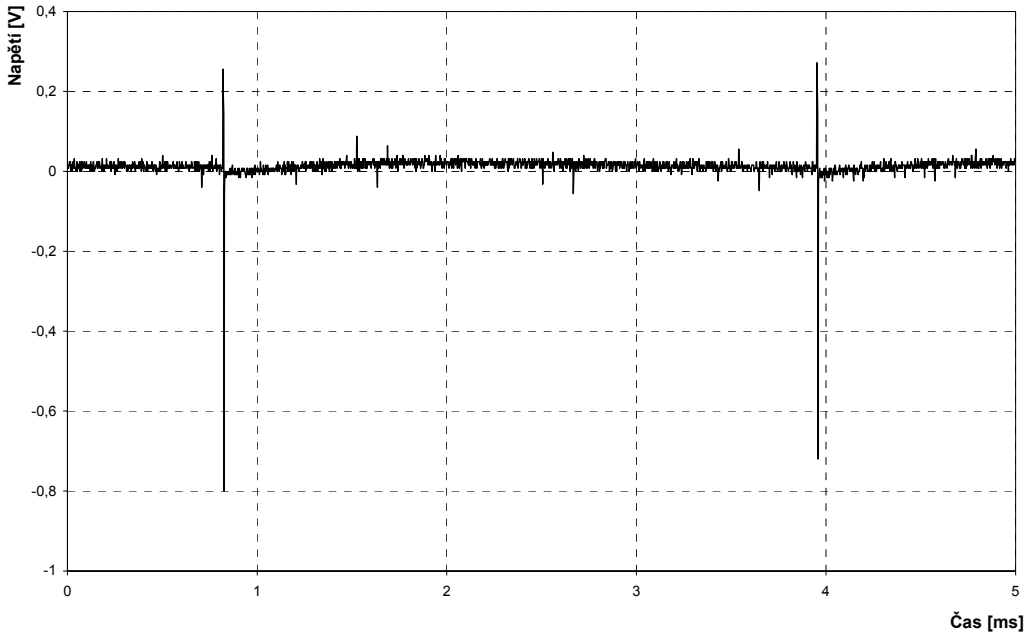
3.2.2.3 Snímač tlaku

Změnu polohy tělesa můžeme také měřit pomocí tlaku vzduchu v trubce pod tělesem. Protože jde o velmi malý tlak, použili jsme senzor typu DPS od firmy BD Sensors s.r.o. Tento senzor má snímací membránu vyrobenou z materiálu CuBe, jejíž citlivost je nastavena pro tlak v rozsahu do 100 Pa s přetížitelností do 500 Pa. Napájení senzoru je v rozsahu 19 až 31 V a výstup je napěťový v rozsahu 0 až 10 V. Změřený tlak je také zobrazen na displeji snímače.

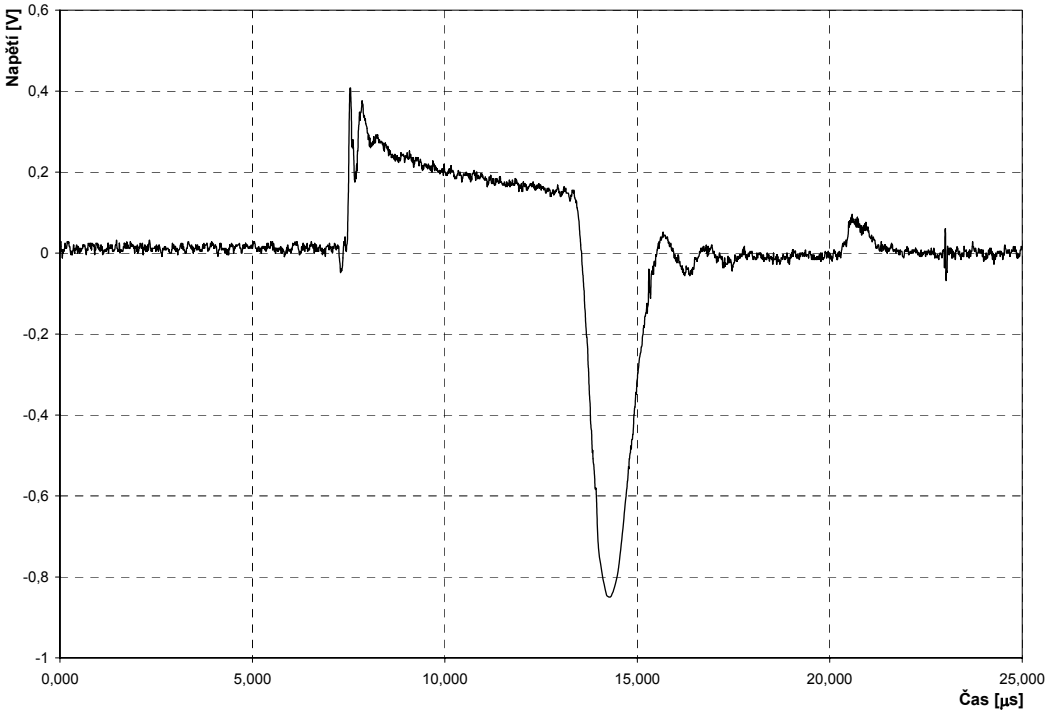
3.2.2.4 Snímač otáček větráku

Otáčky větráku měří Hallova sonda umístěná uvnitř větráku. Tato sonda je do větráku zabudována již od výrobce. Protože k této sondě není dostupná žádná dokumentace, bylo nutné provést její identifikaci a navrhnout vhodnou vyhodnocovací elektroniku.

Průběh výstupu z Hallovy sondy je na Obr. 3.4 a Obr. 3.5, tyto průběhy jsou naměřeny při napájení větráku 12 V.



Obr. 3.4 Průběh výstupu z Hallovy sondy

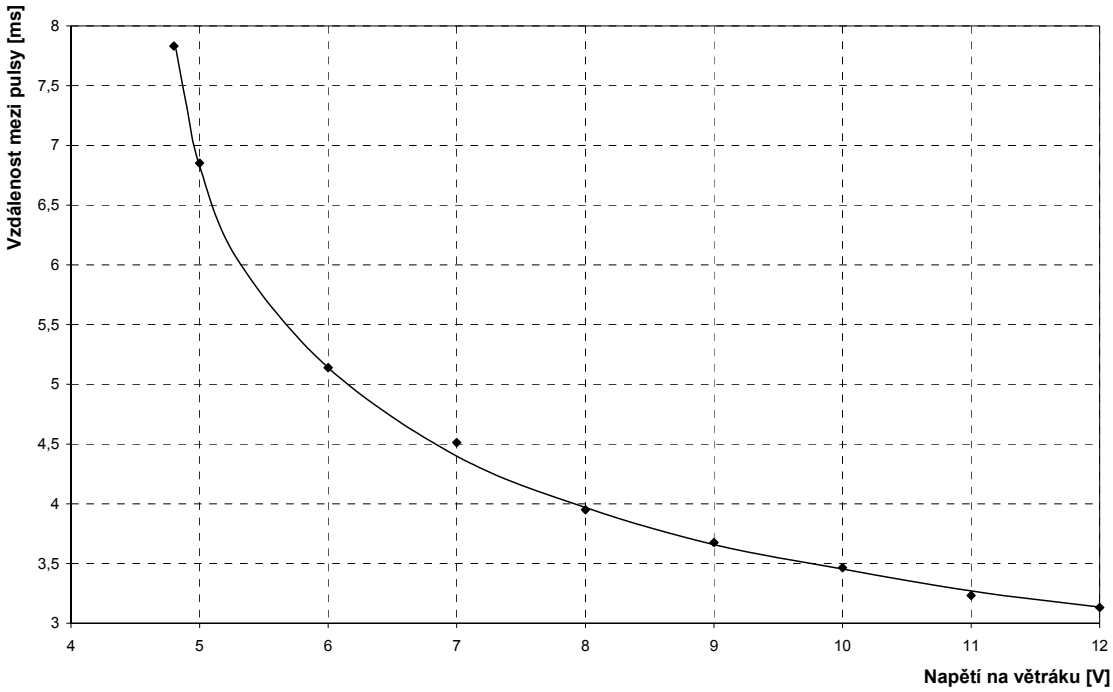


Obr. 3.5 Průběh výstupu z Hallovy sondy - detail

Otáčky větráku lze určit z měření frekvence výstupního signálu. Výsledná charakteristika je uvedena v následující tabulce (Tabulka 3.1) a na Obr. 3.6.

Napětí na větráku [V]	4,8	5	6	7	8	9	10	11	12
Vzdálenost mezi pulsy [ms]	7,83	6,85	5,14	4,51	3,95	3,67	3,46	3,23	3,13

Tabulka 3.1 Závislost vzdálenosti mezi pulsy a napětím na větráku



Obr. 3.6 Závislost vzdálenosti mezi pulsy a napětím na větráku

Pro výpočet otáček potřebujeme dále znát počet pulsů ze sondy na jednu otáčku větráku. Tento počet získáme pomocí následujícího měření. Nad lopatky větráku umístíme již výše zmiňovaný reflexní senzor (3.2.2.2) a změříme pulsní průběh na jeho výstupu při napájení větráku 12 V. Perioda tohoto signálu je $T_L=3,9$ ms a počet lopatek větráku l je pět. Perioda výstupního signálu Hallovy sondy, při stejném napájecím napětí, je $T_H=3,1$ ms. Pak ze vztahu

$$T_H \cdot p = T_L \cdot l \tag{3.1}$$

určíme počet pulsů p na jednu otáčku větráku. Ten je roven šesti.

3.2.2.5 Kamera

Celý model je snímán webovou kamerou AXIS 2100 od firmy Axis Communications. Signál z kamery není primárně určen pro strojové zpracování, ale pro obsluhu modelu. Kamera je připojena k internetu přímo bez nutnosti použití PC. V kameře je implementován webový server pro zobrazování stránek s obrazem. K zobrazení obrazu jsou použity dvě technologie: ActiveX a JAVA (respektive JAVA applet). Výhodou ActiveX je větší kvalita obrazu a vyšší spolehlivost. Nevýhodou je naopak nutnost instalace ActiveX programu do každého prohlížeče, ve kterém chceme obraz sledovat, na rozdíl od podpory JAVA appletů, která bývá standardní součástí většiny prohlížečů.

3.2.3 Osvětlení modelu

Model je navržen pro nepřetržitý provoz. K zajištění provozu i v nočních hodinách je nutné, aby byl model vybaven dostatečným a kvalitním osvětlením pro správnou funkci kamery. Nejvhodnější je umístit osvětlení modelu svisle podél celého pracovního rozsahu trubky. Takto zvolené osvětlení zajistí rovnoměrné nasvícení modelu bez vzniku stínů nebo přesvícených míst. Kvalitu osvětlení zlepšuje vhodně tvarované stínítko.

3.2.4 Napájecí napětí

Model je napájen napjetím 230 V AC. To je vstupem napěťového zdroje LWR 1601-6 firmy Power-One AG, který je součástí modelu. Výstupní napětí zdroje je 24 V DC a maximální výstupní proud 5 A. Toto rozsah je vhodné pro napájení všech použitých senzorů a elektroniky.

3.2.5 Napěťové úrovně pro komunikaci

Napěťové úrovně pro komunikaci jsou rozděleny na dvě části, pro komunikaci s PLC a pro komunikaci s měřicí kartou do PC. Napěťové úrovně pro komunikaci s PLC jsou dány nasazením automatů v průmyslovém prostředí. Diskrétní signál, který má být vyhodnocen jako logická nula, nesmí přesáhnout 5 V, logická jednička je reprezentována napětím v rozsahu 15-30 V. Použité analogové moduly v PLC pracují s unifikovaným signálem v rozsahu 0-10 V. Nasazení měřicích karet se předpokládá v laboratorním prostředí, kde nejsou výrazná rušení. Diskrétní signály tedy mají TTL úroveň a analogové signály jsou v rozsahu 0-10 V.

3.2.6 Rozhraní pro připojení řídicího systému

Pro připojení modelu k PLC a PC jsou použity konektory CANON 26, na které jsou přivedeny všechny potřebné signály. Signály, připojené na konektor pro PLC, jsou zároveň připojeny na moduly Flex I/O od firmy Allen-Bradley, které jsou rovněž součástí modelu. Moduly mají hlavici s komunikačním rozhraním pro síť RIO. Tato síť je také připojena na konektor pro komunikaci s PLC.

3.2.6.1 Připojení modelu k PLC

Signály přivedené na konektor jsou zapojeny následovně (viz Tabulka 3.2):

Pin	Popis	Signál	IN/OUT
1	Napětí ze zdroje modelu – 24 V		
2	Přepnutí řízení modelu na PLC	Digitální	OUT*
3	Ovládání světla	Digitální	OUT*
4	Nastavení otáček větráku	Analogový	OUT*
5	Napětí na větráku (0-10 V)	Analogový	IN
6	Stav osvětlení	Digitální	IN
7	Indikace řízení z PLC	Digitální	IN
8	Indikace řízení z PC	Digitální	IN
9	Indikace ručního řízení	Digitální	IN
10	Reflexní světelný senzor č.1	Digitální	IN
11	Reflexní světelný senzor č.2	Digitální	IN
12	Reflexní světelný senzor č.3	Digitální	IN
13	Reflexní světelný senzor č.4	Digitální	IN
14	Reflexní světelný senzor č.5	Digitální	IN
15	Reflexní světelný senzor č.6	Digitální	IN
16	Stop tlačítko		
17	Měření otáček větráku	Analogový	IN
18	Měření tlaku	Analogový	IN
19	Laser – měření vzdálenosti	Analogový	IN
20	Laser – dvouhodnotový výstup	Digitální	IN
21	Laser – TEACH	Digitální	OUT*
22			
23	RIO		
24	RIO		
25	RIO		
26	GND		

Tabulka 3.2 Popis signálů přivedených na konektor pro komunikaci s PLC

Rozlišení vstupního (IN) a výstupního (OUT) signálu v posledním sloupci tabulky je z pohledu řídicího automatu. Signály označené hvězdičkou (*) jsou na konektoru

pouze rezervovány. Jejich fyzické připojení k PLC je realizováno pouze přes Flex I/O moduly (3.2.6.3).

3.2.6.2 Připojení modelu k PC

Signály přivedené na konektor jsou zapojeny následovně (viz Tabulka 3.3):

Pin	Popis	Signál	IN/OUT
1	Napětí 5 V		
2	Přepnutí řízení modelu na PC	Digitální	OUT
3	Ovládání světla	Digitální	OUT
4	Nastavení otáček větráku	Analogový	OUT
5	Napětí na větráku (0-10 V)	Analogový	IN
6	Stav osvětlení	Digitální	IN
7	Indikace řízení z PLC	Digitální	IN
8	Indikace řízení z PC	Digitální	IN
9	Indikace ručního řízení	Digitální	IN
10	Reflexní světelný senzor č.1	Digitální	IN
11	Reflexní světelný senzor č.2	Digitální	IN
12	Reflexní světelný senzor č.3	Digitální	IN
13	Reflexní světelný senzor č.4	Digitální	IN
14	Reflexní světelný senzor č.5	Digitální	IN
15	Reflexní světelný senzor č.6	Digitální	IN
16			
17	Měření otáček větráku	Analogový	IN
18	Měření tlaku	Analogový	IN
19	Laser – měření vzdálenosti	Analogový	IN
20			
21			
22			
23			
24			
25			
26	GND		

Tabulka 3.3 Popis signálů přivedených na konektor pro komunikaci s PC

3.2.6.3 Připojení modelu pomocí Flex I/O modulů

Na modelu jsou Flex I/O moduly (4.1) od firmy Allen-Bradley. Jde o následující moduly, které jsou propojeny v tomto pořadí:

- Hlavice modulů
- Digitální výstupy
- Digitální vstupy
- Analogová jednotka

Spojení modulů Flex I/O s PLC provádí komunikační hlavice. Ta je vybavena rozhraním pro síť Remote I/O (RIO). Připojení signálů na jednotlivé moduly je následující (Tabulka 3.4):

Svorkovnice	**Popis**	**Modul**
0	Přepnutí řízení modelu na PLC	Digitální výstupy
1	Ovládání světla	
2	Laser – TEACH	
1	Reflexní světelný senzor č.1	Digitální vstupy
2	Reflexní světelný senzor č.2	
3	Reflexní světelný senzor č.3	
4	Reflexní světelný senzor č.4	
5	Reflexní světelný senzor č.5	
6	Reflexní světelný senzor č.6	
7	Laser – dvouhodnotový výstup	
8	Indikace řízení z PLC	
9	Indikace řízení z PC	
10	Indikace ručního řízení	
11	Stav osvětlení	
1	Laser – měření vzdálenosti	Analogová jednotka
3	Měření otáček větráku	
5	Měření tlaku	
7	Napětí na větráku (0-10 V)	
10	Nastavení otáček větráku	

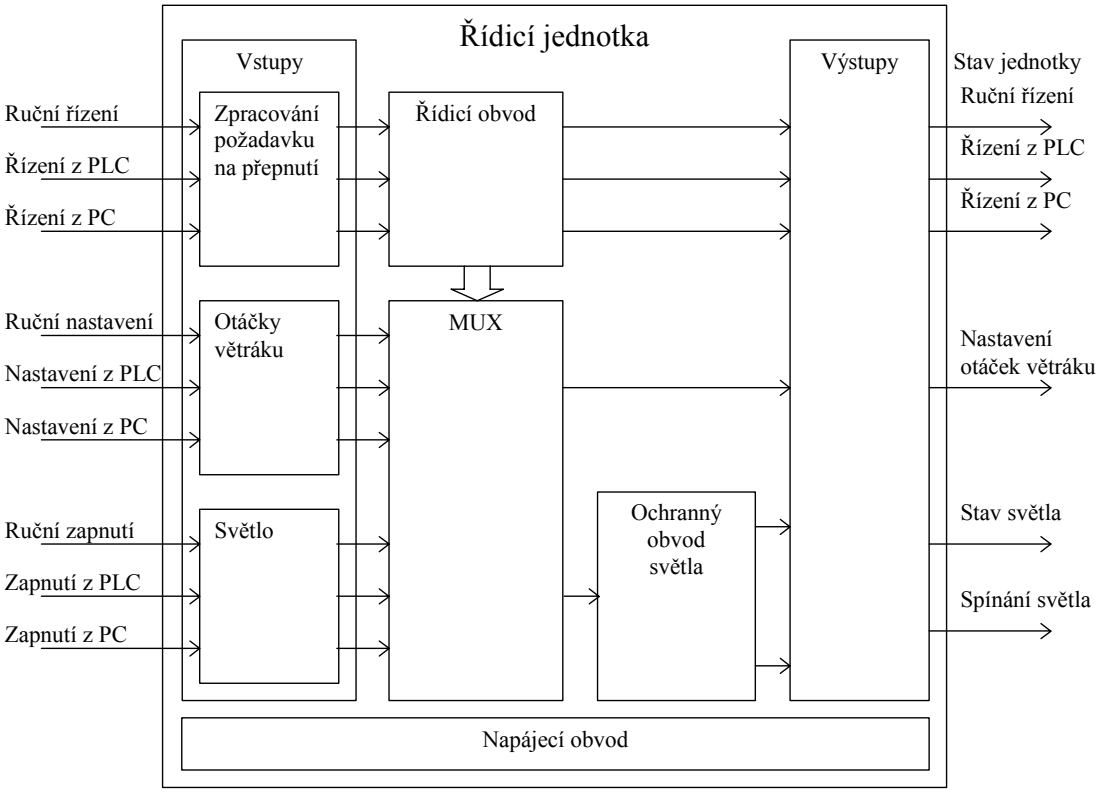
Tabulka 3.4 Zapojení signálů na Flex I/O moduly

3.2.7 Návrh řídicí a měřicí elektroniky

3.2.7.1 Řídicí jednotka

Řídicí jednotka slouží k základnímu ovládání modelu.

Obr. 3.7 Řídicí jednotka



Obr. 3.8 Schéma řídicí jednotky

Tuto jednotku můžeme rozdělit na několik částí:

- Vstupní obvody pro ruční řízení a komunikaci s PLC a PC
- Výstupní obvody pro akční členy a signalizaci stavu modelu
- Řídicí a přepínací obvod
- Obsluha osvětlení, jeho ochrana a indikace stavu
- Napájecí obvod

Propojení jednotlivých částí a jejich význam je na Obr. 3.8.

Otáčky větráku se v ručním režimu nastavují pomocí potenciometru. Ten je zapojen jako odporový dělič a spolu s napěťovým sledovačem vytváří analogový signál v rozsahu 0-10 V. Potenciometr není součástí řídicí jednotky a je umístěn na ovládacím panelu modelu.

Vstupní obvody jsou rozděleny na obvody zpracovávající diskrétní signály a analogové signály. Diskrétními signály jsou požadavky na přepnutí do jednoho z režimů řízení (Manuál, PLC a PC) a požadavky na zapnutí osvětlení. Při vyhodnocování požadavků na přepnutí režimů je potřeba reagovat na náběžnou hranu signálu. K tomu je použit RC článek s časovou konstantou 0,1 s. Vstupní obvod pro ovládání světla se skládá pouze z rezistoru, který je zapojen mezi signál a zem, a tím vytváří v případě odpojení vzdáleného řízení logickou nulu. Lokální řízení je realizováno pomocí tlačítek a vypínače, které spínají jako logickou jedničku 5 V. Jsou umístěny na ovládacím panelu. Řízení z PC má napěťovou úroveň TTL. Signál z PLC má pro logickou jedničku úroveň 24 V.

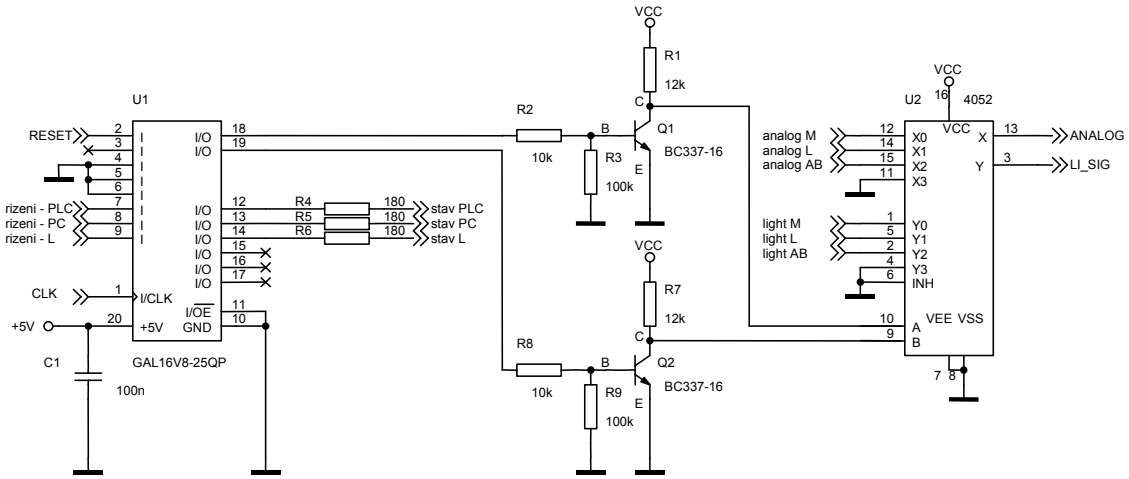
Analogový signál slouží pro nastavování otáček větráku. Tento signál ze vzdáleného řízení nabývá hodnot 0-10 V. Není tedy potřeba vytvářet žádné přizpůsobovací obvody. Pro oddělení je použit napěťový sledovač.

Výstup pro připojení větráku nabývá hodnoty 0-10 V a je připojen na multiplexer (viz následující odstavec). Tento výstup nemá nastavené žádné ochranné prvky a předpokládá se jeho připojení na zesilovač, popsaný v následující kapitole, určený pro ovládání větráku. Výstupy, na které jsou připojeny indikační LED diody, jsou ošetřeny rezistory, které pro napětí úrovně TTL nepropustí proud větší než 3 mA. Osvětlení spíná relé (není součástí jednotky). Toto relé má spínací cívku na napětí 24 V, která je spínána pomocí tranzistoru.

Řídicí a přepínací obvod jednotky slouží k volbě řídicího systému. Skládá se z programovatelného hradla GAL16V8 (A.1.2.1) a multiplexeru 4052 (2x 1 ze 4). Logické hradlo na základě požadavku na přepnutí volí řídicí systém nastavením

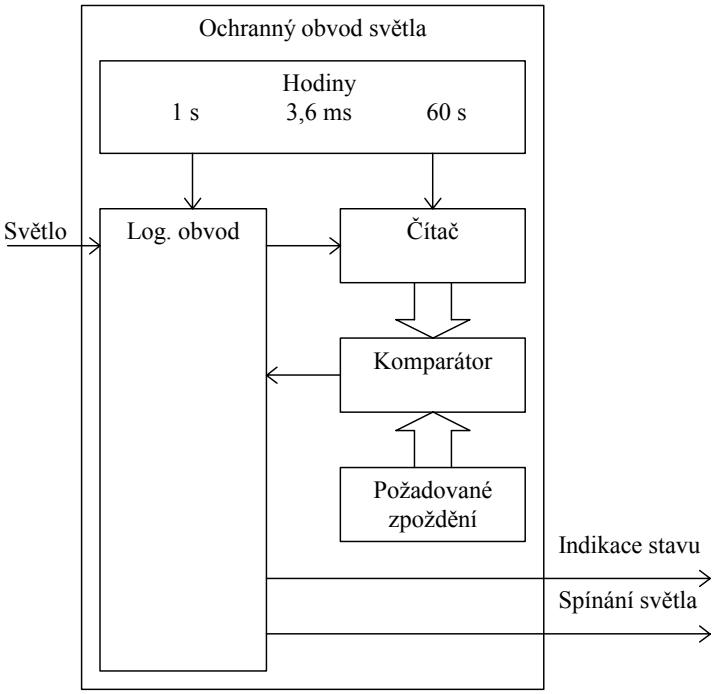
multiplexeru a indikuje tento stav na LED diodách. Multiplexer konkrétně přepíná následující dva signály z řídicího systému:

- Požadované otáčky větráku
- Osvětlení modelu



Obr. 3.9 Schéma zapojení hlavní části řídicí jednotky

Spínání osvětlení provádí část jednotky zajišťující ochranu světelného zdroje. Blokové schéma této části je na Obr. 3.10.

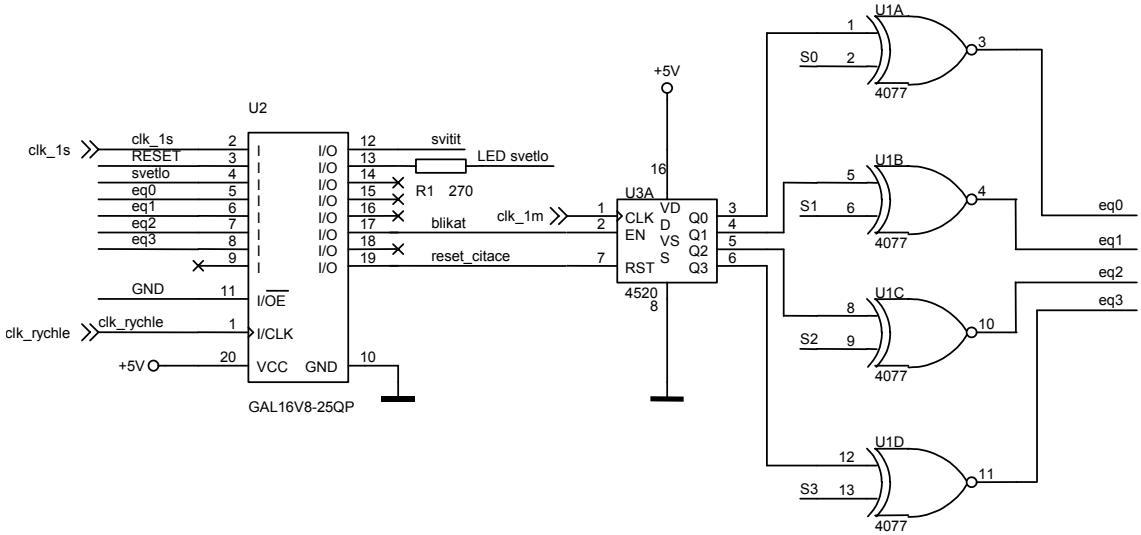


Obr. 3.10 Ochranný obvod světla

Časování této části jednotky je zajištěno hodinami se třemi hodinovými výstupy, s periodami 3,6 ms, 1 s a 60 s. Hodiny jsou realizovány pomocí děličky 4060 a RC článku. Systém ochrany spočívá v oddálení vypnutí osvětlení. Při pokusu o vypnutí osvětlení se spustí časovač, s přednastavenou dobu. Doba oddálení může být nastavena v rozsahu 0 až 15 minut. Spouštění časovače a ovládání výstupu je zajištěno dalším programovatelným logickým hradlem GAL16V8 (A.1.2.2). Hradlo dále obsluhuje výstup pro indikační LED diodu informující o stavu osvětlení (viz Tabulka 3.5). Blikání indikační diody je s periodou 1 s, k čemuž je použit druhý hodinový výstup časovače. Signál s periodou 3,6 ms je použit jako hodinový signál pro synchronní integrované logické obvody.

Stav osvětlení	**Indikace**
Vypnuto	Vypnutá
Svítí - ochrana (čeká se na časovač)	Bliká
Svítí	Zapnutá

Tabulka 3.5 Stavy indikace ochranné jednotky hodin



Obr. 3.11 Schéma zapojení ochranné jednotky

Napájecí napětí řídicí jednotky je 24 V, které je dále upraveno na 12 V a 5 V pomocí stabilizátorů 7812 a 7805. Takto upravené napětí je použito pro napájení integrovaných obvodů.

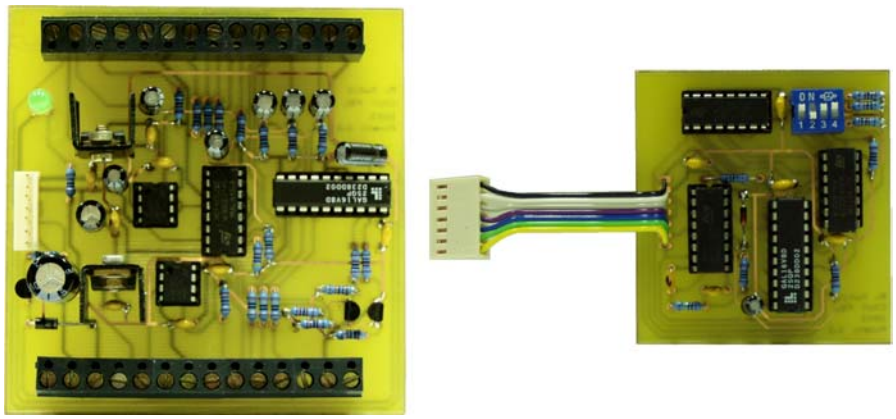
Při připojení jednotky na napájení jsou všechny potřebné obvody resetovány pomocí pulsu generovaného z RC článku.

Jednotka je připojena pomocí svorkovnice, která je rozdělena na dvě části, horní a dolní. Signály na svorkovnici jsou popsány v následující tabulce (Tabulka 3.6):

Horní	**Číslo**	**Dolní**
Ovládání světla z PC	1	Napájení 24 V
Přepnutí řízení na ovládání z PC	2	Napájení GND
Ovládání otáček větráku z PC	3	Připojení relé k ovládání světla
GND	4	Připojení relé k ovládání světla
GND	6	Napětí 24 V pro potenciometr
Ovládání otáček větráku z PLC	7	Připojení jezdce potenciometru
Ovládání světla z PLC	8	GND pro potenciometr
Přepnutí řízení na ovládání z PC	9	GND
GND	10	Indikace stavu světla
Ovládání světla z lokálního řízení	11	Indikace lokálního řízení
Přepnutí na lokální řízení z ovládacího panelu	12	Indikace řízení z PC
Přepnutí na řízení z PC z ovládacího panelu	13	Indikace řízení z PLC
Přepnutí na řízení z PLC z ovládacího panelu	14	GND
Napětí 5 V pro napájení ovládacího panelu	15	Výstup na větrák

Tabulka 3.6 Popis svorkovnice řídicí jednotky

Řídicí jednotka je rozdělena na dva plošné spoje. Na jednom je realizována obsluha osvětlení a na druhém jsou umístěny prvky vykonávající zbývající funkce jednotky. Propojení plošných spojů je pomocí sedmižilového kabelu s rozebíratelným konektorem. Umístěny jsou v plastové krabičce WEB-B8 o rozměrech 93x93 mm připevněné na DIN lištu.

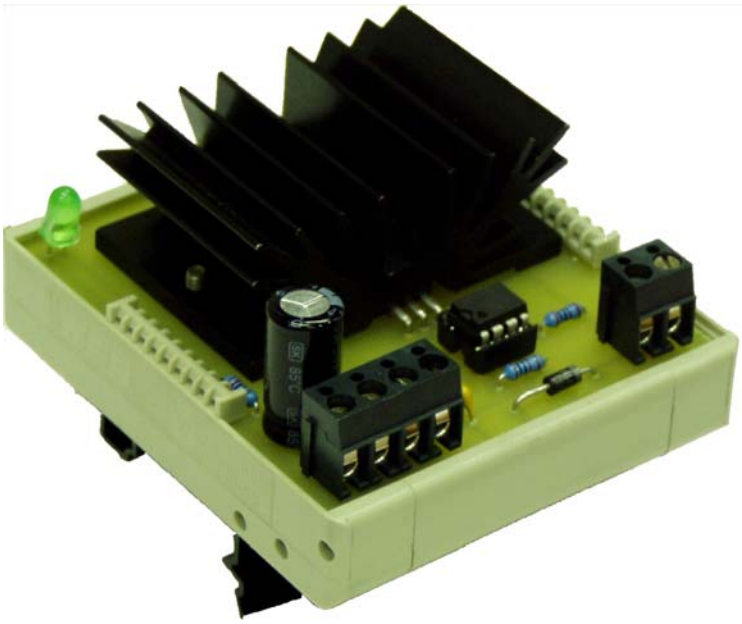


Obr. 3.12 Osazené plošné spoje řídicí jednotky

Kompletní dokumentace k zapojení řídicí jednotky, včetně návrhu plošných spojů, seznamu materiálu a programů, je uvedena v příloze A.1.

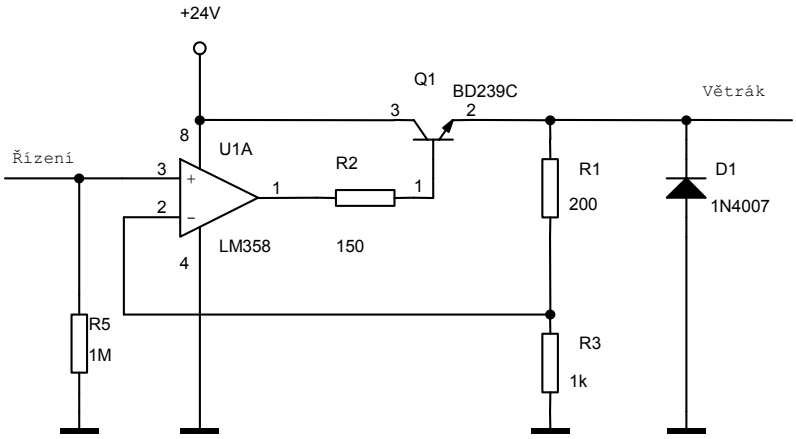
3.2.7.2 Zesilovač

Zesilovač upravuje analogový signál z řídicí jednotky pro ovládání větráku.



Obr. 3.13 Zesilovač

Signál z řídicí jednotky má rozsah 0 až 10 V. Výstup pro napájení větráku musí být v rozsahu 0 až 12 V a maximální odebíraný proud je 650 mA. K napájení zesilovače slouží zdroj 24 V, který je na modelu k dispozici.



Obr. 3.14 Schéma zapojení zesilovače

Popis svorkovnice zesilovače je následující (Tabulka 3.7):

Číslo	**Vstupní**	**Číslo**	**Výstupní**
1	Napájení 24 V	5	Výstup pro napájení větráku
2	GND	6	GND
3	GND		
4	Vstupní signál 0-10 V		

Tabulka 3.7 Popis svorkovnice zesilovače

Jelikož tranzistor spínající napájení větráku pracuje ve třídě A, je ho potřeba dostatečně chladit. Maximální výkon zahřívající tranzistor je dán součinem maximálního napětí a maximálního proudu, který teče do větráku. Tepelný výkon, který je tedy potřeba z tranzistoru odvést, je v nejhorším případě:

$$P = 24 \cdot 0{,}65 = 15{,}6 \text{ W} . \tag{3.2}$$

Teplota přechodu tranzistoru nesmí podle katalogu přesáhnout hodnotu ϑ_j = 150°C, teplota okolí chladiče se dá předpokládat okolo ϑ_a = 50°C. Potřebný tepelný odpor chladiče vypočteme podle [11] z následujícího vztahu:

$$R_{th} = \frac{\vartheta_j - \vartheta_a}{P} = \frac{150 - 50}{15{,}6} = 6{,}4 \text{ KW}^{-1} . \tag{3.3}$$

Tepelný odpor chladiče by neměl přesáhnout tepelný odpor vypočtený, a tak byl z pro chlazení tranzistoru z [10] vybrán chladič V5224C, který má tepelný odpor 3,5 KW^{-1} a bude dostatečný pro chlazení v rámci výše uvedených parametrů. Pro lepší proudění vzduchu kolem chladiče je zesilovač umístěn v nekryté modulární krabičce složené ze tří částí WEB1002-B2 2x a WEB1002-B4 a připevněné na DIN liště.

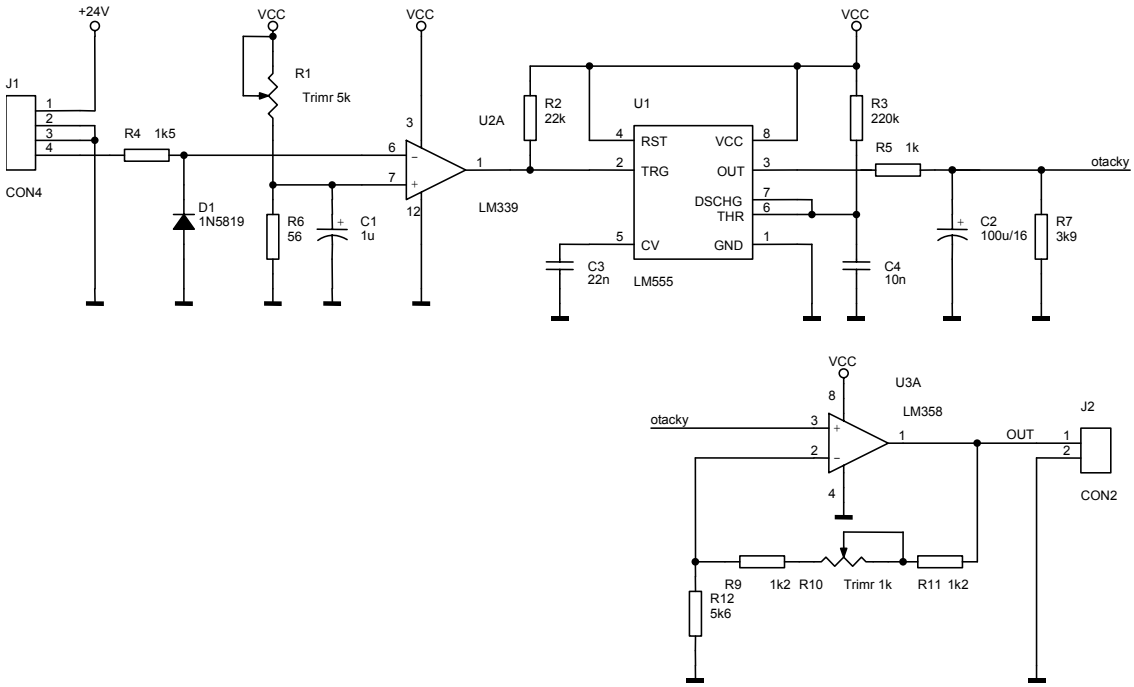
Kompletní dokumentace k zapojení zesilovače, včetně návrhu plošných spojů a seznamu materiálu, je uvedena v příloze A.2.

3.2.7.3 Měření otáček větráku

Otáčky větráku jsou měřeny pomocí vestavěné Hallovy sondy. Výstupem této sondy je pulsní průběh (Obr. 3.4), který se zpracovává převodníkem „frekvence – napětí“.

Obr. 3.15 Jednotka pro měření otáček

Na výstupu převodníku je unifikované napětí 0 až 10 V.



Obr. 3.16 Schéma měřicí jednotky

Převodník nejprve pomocí komparátoru a nastaveného referenčního napětí upraví signál ze sondy na obdélníkový průběh. Volbou referenčního napětí je možné nastavit citlivost převodníku na pulsy z Hallovy sondy. Doba trvání výstupního pulsu z komparátoru je prodloužena pomocí obvodu NE555. Tyto pulsy jsou následně přivedeny na filtr, který z nich vytvoří střední hodnotu. Zesilovač na výstupu normuje toto napětí na 0 až 10 V a zároveň odděluje výstup od filtru tak, aby filtr nebyl zatížen.

Převodník je umístěn v krabičce WEB-B3 o rozměrech 93x44mm připevněné na DIN liště. Napájení 24 V je přivedeno na vstupní svorku. Význam svorkovnic převodníku je v následující tabulce (Tabulka 3.8):

Číslo	**Vstupní**	**Číslo**	**Výstupní**
1	Napájení 24 V	5	Změřené otáčky (0-10 V)
2	GND	6	GND
3	GND		
4	Signál z Hallovy sondy		

Tabulka 3.8 Popis svorkovnice jednotky pro měření otáček

Kompletní dokumentace k měřicí jednotce, včetně návrhu plošných spojů a seznamu materiálu, je uvedena v příloze A.3.

Při prvním spuštění bylo nutné jednotku nastavit tak, aby její výstup byl v rozsahu 0 – 10 V. Výstup při napětí 10 V bude odpovídat otáčkám nezatíženého větráku napájeného z 12 V. Postup při nastavení je následující:

1. Jednotku připojit na Hallovu sondu větráku
2. Výstup jednotky připojit k voltmetru
3. Na větrák přivést napětí 12 V
4. Pomocí trimru R10 (Obr. 3.16) nastavit 10 V na výstupu jednotky

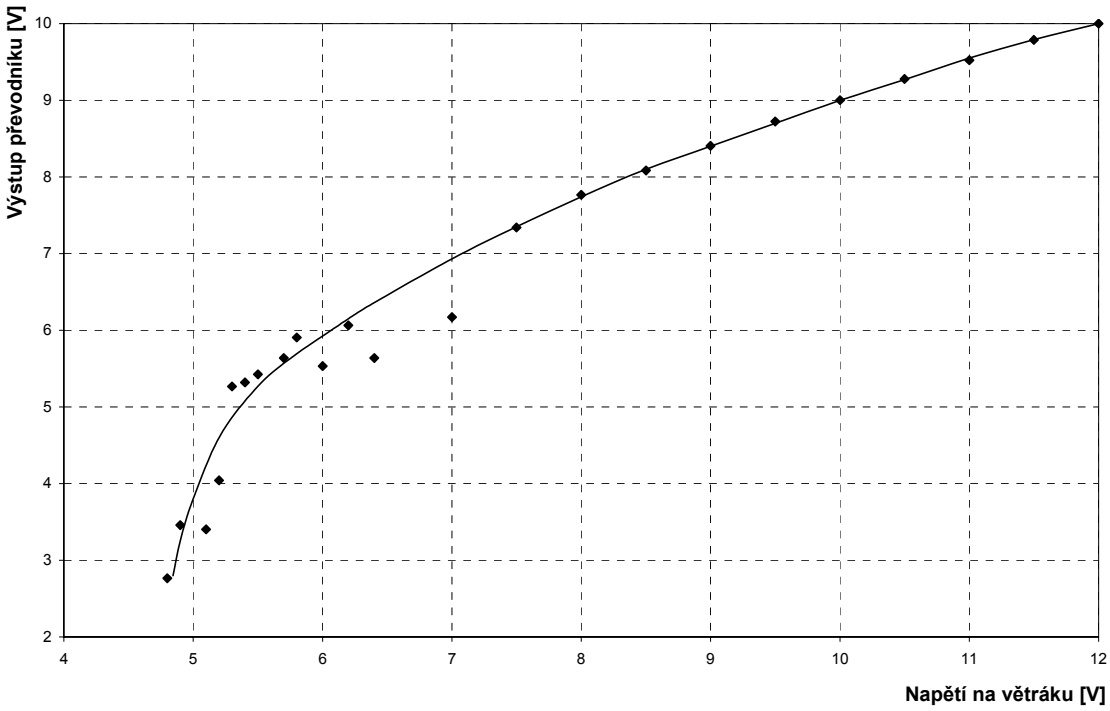
Převodní charakteristika napájení větráku a výstupu měřicí jednotky je v následující tabulce (Tabulka 3.9) a na grafu (Obr. 3.17):

Napětí na větráku [V]	4,8	4,9	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,7	5,8	6,0
Výstup převodníku [V]	2,8	3,5	1,9	3,4	4,0	5,3	5,3	5,4	5,6	5,9	5,5

Napětí na větráku [V]	6,1	5,6	6,2	7,3	7,8	8,1	8,4	8,7	9,0	9,3	9,5
Výstup převodníku [V]	6,2	6,4	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0

Napětí na větráku [V]	11,5	12,0
Výstup převodníku [V]	9,8	10,0

Tabulka 3.9 Charakteristika měřicí jednotky

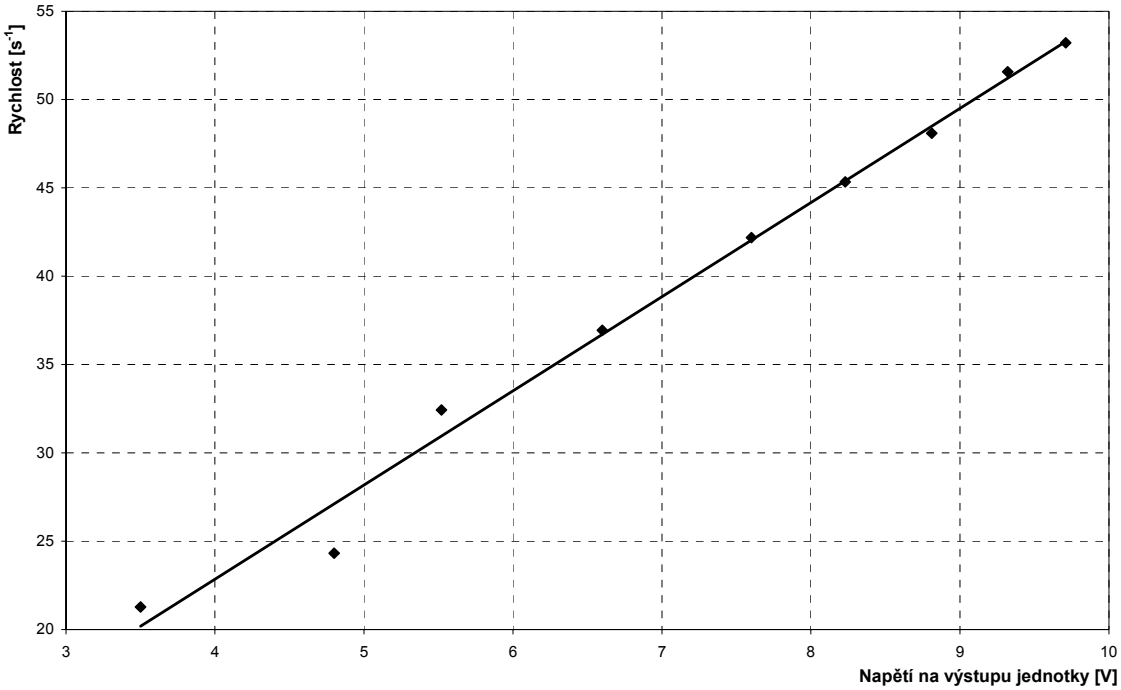


Obr. 3.17 Charakteristika měřicí jednotky

Na závěr nalezneme vztah mezi výstupním napětím převodníku a skutečnými otáčkami větráku. Složením tabulek Tabulka 3.1 a Tabulka 3.9 dostanu závislost mezi napětím na výstupu jednotky a vzdáleností mezi pulsy z Hallovy sondy. Z měření na konci kapitoly (3.2.2.4) víme, že na jednu otáčku větráku připadá šest pulsů, tedy

$$v = \frac{1}{6 \cdot \Delta}, \tag{3.4}$$

kde v je rychlost otáčení větráku v [s^{-1}] a Δ je časová vzdálenost mezi pulsy v [s]. Pomocí tohoto vztahu a dvou výše uvedených tabulek dostaneme charakteristiku mezi rychlostí větráku v a napětím u na výstupu jednotky (Obr. 3.18).



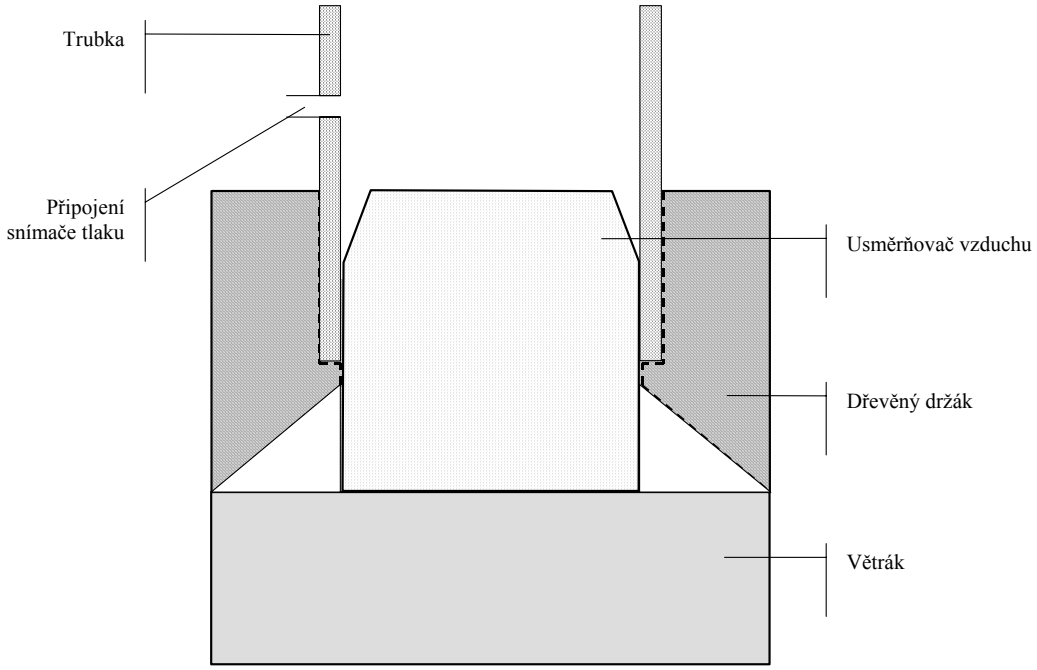
Obr. 3.18 Závislost mezi otáčkami větráku a napětím na výstupu jednotky

Tuto charakteristiku proložím pomocí metody nejmenších čtverců lineárním vztahem

$$v = 5{,}33u + 1{,}53\,. \tag{3.5}$$

3.2.8 Sestavení modelu

Spojení větráku a trubky (Obr. 3.19) je provedeno pomocí dřevěného držáku (Příloha B.1). Větrák je k držáku připevněn ve spodní části. Trubka je do držáku pouze vložena a lze ji tedy lehce vkládat a vyjímat, což je důležité pro snadnou výměnu těles v modelu. Držák je k rámu upevněn ve spodní části. Uvnitř držáku je na větráku postaven sedm centimetrů vysoký usměrňovač proudu vzduchu, který je složen ze dvou stejných plastových desek (Příloha B.2) do tvaru kříže.

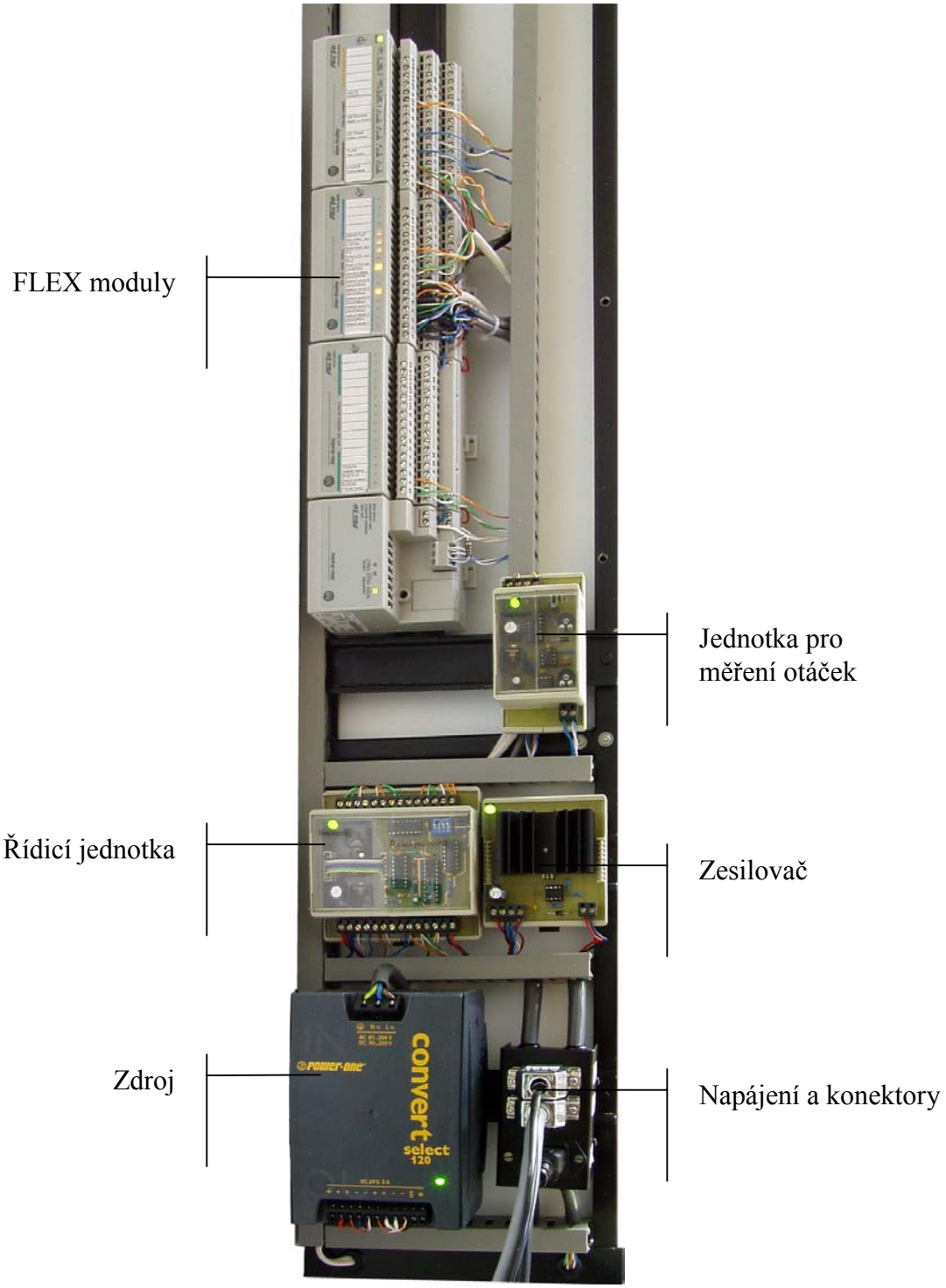


Obr. 3.19 Spojení trubky a větráku

Odběr tlaku je proveden pomocí plastové hadičky o průměru 6 mm, zaústěné do trubky dva centimetry nad držákem. Šest reflexních světelných senzorů je na model připevněno po dvojicích. První pár je umístěn nad snímačem tlaku. Další dva páry jsou umístěny na modelu uprostřed a v horní části. Nahoře je na trubku připevněn laserový senzor.

Signály ze senzorů jsou vyvedeny na vnější bok modelu, kde jsou propojeny s řídicí a komunikační elektronikou (Obr. 3.20). Pro připojení na moduly Flex I/O a na konektor pro připojení PLC není potřeba provádět žádnou korekci. Před přivedením diskrétních signálů na konektor pro PC je nutné převést tyto signály na napěťovou úroveň pro obvody typu TTL. K tomu postačí odporový dělič o hodnotách rezistorů R_1=18 kΩ a R_2=4,7 kΩ. Aby bylo možné sledovat stav řídicí jednotky i v PLC a pomocí Flex I/O

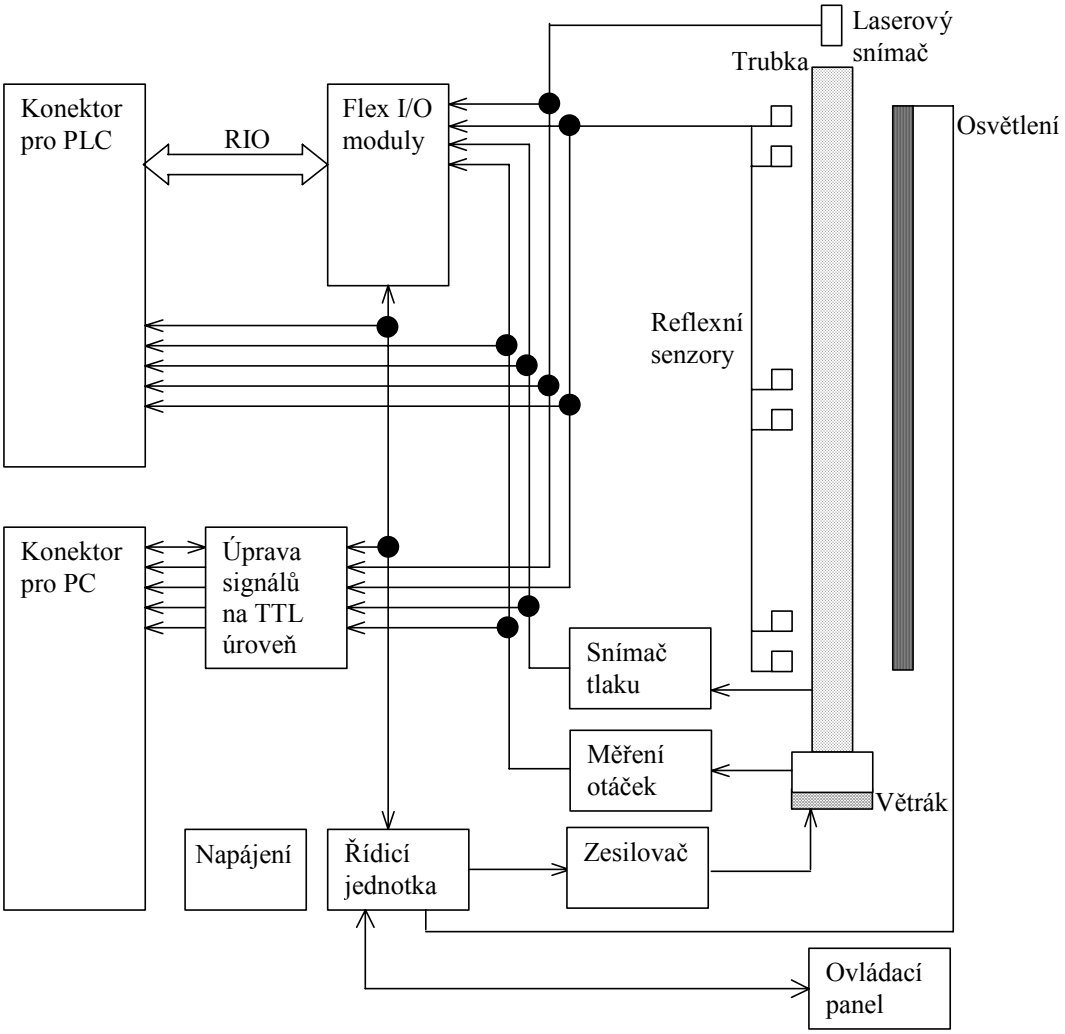
modulů, je naopak nutné jeho stavy převést pomocí tranzistoru (ve spínacím režimu) na 24 V. Tyto obvody pro úpravu signálů jsou umístěny v krabičce s konektory.



Obr. 3.20 Zapojení elektroniky modelu

Osvětlení je zavěšeno vlevo od trubky. Je spínáno pomocí relé umístěného na levém boku nahoře, aby byl zmenšen vliv rušení při jeho spínání na zbývající elektroniku.

Schéma celého propojení modelu je na Obr. 3.21.



Obr. 3.21 Propojení jednotek, snímačů a akčních členů modelu

4 Řízení modelu

Polohu tělesa uvnitř trubky je možné řídit ručně pomocí ovládacího panelu nebo externím zařízením (průmyslovým programovatelným automatem, osobním počítačem s měřicí kartou) připojeným k modelu. Řízení pomocí těchto zařízení je popsáno v této kapitole.

4.1 Programovatelný logický automat PLC-5

Jako řídicí automat zvolíme programovatelný automat PLC-5 [6] s procesorem PLC-5/40E [12]. Procesory PLC-5 jsou velmi rychlé centrální jednotky, které jsou využívány pro řízení a sběr dat v distribuovaných řídicích systémech. Jsou velmi vhodné pro SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) aplikace. Procesory jsou určeny pro řízení stavebnice 1771 a musí být umístěny v první pozici rámu.

Obr. 4.1 Programovatelý logický automat PLC-5

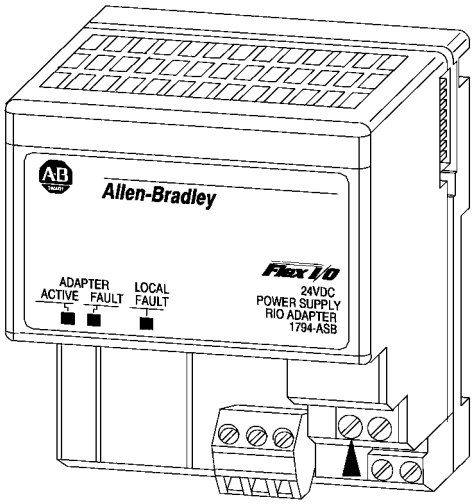
Kromě lokálních I/O modulů je možné připojit další vstupy/výstupy pomocí sériové firemní sběrnice RIO. Tímto kanálem jsou standardně vybaveny všechny procesory PLC-5. Dále jsou všechny typy vybaveny firemní linkou DH+, kterou lze využít pro programování a vizualizaci, případně pro přenos dat mezi dalšími automaty. Nové procesory jsou též vybavovány komunikační linkou Ethernet (procesory s příponou E) nebo ControlNet verze 1.5 (procesory s příponou C15).

Hlavním důvodem, proč použijeme tento automat, je jeho možnost připojení k síti internet s podporou http protokolu, který je využit při vizualizaci (5.2).

Propojení automatu s modelem je realizováno pomocí komunikační linky RIO. Na modelu jsou na tuto linku připojeny moduly Flex I/O. Flex I/O je malý modulární systém pro aplikace s distribuovanými vstupy a výstupy. Pro model využíváme následující moduly:

1794-ASB

Komunikační modul umožňující připojit I/O moduly přes sběrnici RIO k programovatelnému automatu. Obsahuje konektor pro připojení sběrnice RIO, konektor pro připojení napájení a konektor s interní sběrnicí pro připojení dalších modulů. Dále je na něm umístěna série konfiguračních přepínačů, jejichž podrobný popis je v [14], a které umožňují například nastavení komunikační rychlosti sítě, konfiguraci rámu pro vzdálené vstupy a výstupy v automatu. Na čelní straně modulu jsou tři indikační LED diody informující o stavu modulu.



Obr. 4.2 Komuninikační modul Flex I/O 1794-ASB

1794-IB16, 1794-OB16

Vstupní a výstupní moduly obsahující 16 vstupů, respektive výstupů. Vstupy jsou typu „sink“, to znamená, že měří logickou jedničku na napěťové úrovni 24 V. Výstupy jsou typu „source“ s výstupním napětím 24 V pro logickou jedničku.

1794-IE4XOE2

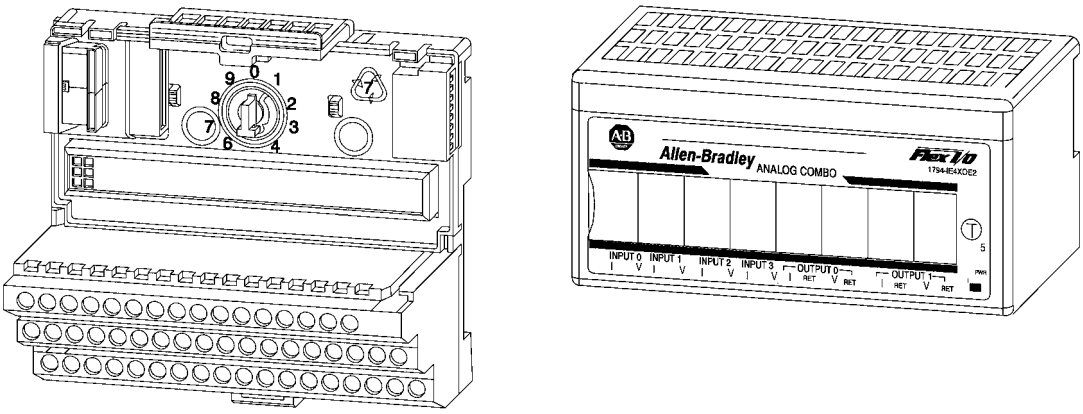
Analogový vstupně výstupní modul obsahující čtyři vstupy a dva výstupy. Vstupy i výstupy mohou být napěťové nebo proudové a měřicí rozsahy je možné nastavit podle následující tabulky (Tabulka 4.1):

Napěťový rozsah	**Proudový rozsah**
0 – 10 V	0 – 20 mA
–10 – 10 V	4 – 20 mA

Tabulka 4.1 Rozsahy analogového Flex I/O modulu 1794-IE4XOE2

Na modelu jsou používány pouze napěťové úrovně v rozsahu 0 až 10 V.

Vstupní a výstupní moduly se skládají ze svorkovnice a samotného modulu (Obr. 4.3).



a) Svorkovnice modulů **b) Flex I/O modul 1794-IE4XOE2**

Obr. 4.3 Flex I/O modul

4.1.1 Řídicí program

Programovatelný automat PLC-5 se programuje pomocí nástroje RSLogix 5.

Samotný program pro obsluhu modelu se skládá z několika částí:

- Komunikace s modelem a úprava dat pro komunikaci
- Řízení PID regulátorem
- Logické řízení
- Příprava dat pro vizualizaci

Před spuštěním komunikace musíme nejprve nastavit RIO scanner a hardwarovou konfiguraci Flex I/O modulů. Konfigurace se provádí na kartách **Edit Channel Configuration** a **IO Configuration**, které se nacházejí ve stromu projektu pod stejnojmennými názvy pod položkou Controller. Jednotlivé položky vyplníme následovně:

Konfigurace komunikace **Channel 1B – Scanner:**

- Baud Rate 230,4 kBaud
- Chassis Scan List:
  - Position: 0
  - Rack Address: 1
  - Starting Group: 0
  - Rack Size: 1/2 Rack

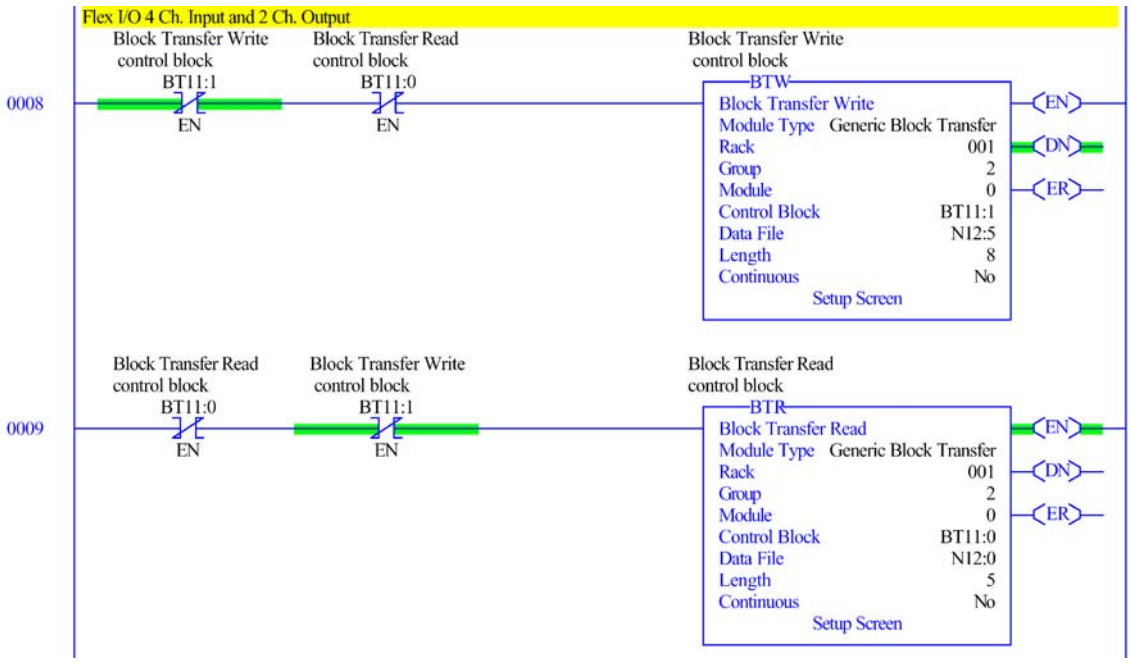
Hardwarová konfigurace **Chassis 2:**

- Rack: 1
- Size: 3 Slot Chassis
- Addressing Mode: 1 Slot

Slot	Module Type	Module Description
0	1794–OB16	16-point 24VDC Output Module
1	1794–IB16	16-point 24VDC Input Module
2	1794–IE4XOE2	Flex I/O 4 Ch. Input and 2 Ch. Output

Tabulka 4.2 Konfigurace Flex I/O modulů

Diskrétní vstupy a výstupy se automaticky mapují do datových souborů I1 a O0 na adresy I1:11 a O0:10. Analogové signály je nutné přenášet pomocí instrukcí blokových přenosů *block transfer write* (BTW) a *block transfer read* (BTR) (Obr. 4.4) tak, aby nedocházelo k současném přenosu vstupních a výstupních dat.



Obr. 4.4 Blokový přenos dat

Přenášená data jsou typu *integer* a jsou ukládána a čtena blokovými instrukcemi do datového souboru N12. Přepočet dat na inženýrské jednotky se provede podle následujících vztahů (Tabulka 4.3):

Fyzikální veličina	**Matematická operace**	**Paměť pro BTW, BTR**
Poloha tělesa	F13:0 = N12:0 / 16,38(F8:0)	N12:0
Tlak	F13:1 = N12:1 / 327,67(F8:1)	N12:1
Otáčky větráku	F13:2 = 5,33(F8:4) · N12:2 / 3276,7(F8:4) + 1,53(F8:3)	N12:2
Napětí na větráku	F13:3 = N12:3 / 3276,7(F8:4)	N12:3
Napětí na větrák	N12:5 = F13:4 · 3276,7(F8:4)	N12:5

Tabulka 4.3 Vztahy pro přepočet na inženýrské jednotky

Poslední řádek tabulky obsahuje rovnici pro opačný výpočet. Z požadovaného napětí v inženýrských jednotkách na větráku do čísla celočíselného typu *integer*.

V datovém souboru F8 jsou nastaveny konstanty pro přepočet. Jejich přesné umístění v paměti je uvedeno v závorkách. Datový soubor F13 slouží k ukládání stavu modelu.

Pro řízení modelu jsem použil jednak PID regulátor a jednak logické řízení. Regulátor je v automatu vytvořen pomocí instrukce PID, která umožňuje kromě jiného nastavit proporcionální, integrační a derivační konstantu a žádanou hodnotu. Regulovanou veličinou je poloha tělesa v trubce měřená laserovým čidlem. Akčním zásahem je napětí na větráku. PID instrukce požaduje aby vstup (žádaná hodnota) i výstup (akční zásah) byla čísla typu *integer* v rozsahu 0 až 4095. Výpočet PID instrukce je spouštěn každých 10 ms. K regulátoru je dále napsán program zajišťující beznárazové přepnutí z ručního řízení do automatického. Konfigurace PID regulátoru je v datovém souboru PD20. Řízení modelu pomocí PID regulátoru z pohledu teorie řízení popisuje kapitola 6.2.

Logické řízení jsem vytvořil tak, že na větrák modelu nastavuji napětí v závislosti na poloze tělesa v trubce. Poloha tělesa je v tomto případě měřena pomocí světelných senzorů. Velikost napětí, které se na větrák nastavuje při sepnutí jednotlivých světelných senzorů, je v souboru F15. Ne každý senzor musí provádět změnu napětí na větráku, a tak se volba senzorů, na které se bude reagovat, provádí nastavením logické jedničky v datovém souboru B16.

Poslední část programu v automatu provádí úpravu dat pro vizualizaci pomocí www stránek. Problematika přípravy dat a tvorby vizualizace je popsána v kapitole 5.2.

Další detaily o programu jsou v příloze C, celý program je na přiloženém CD.

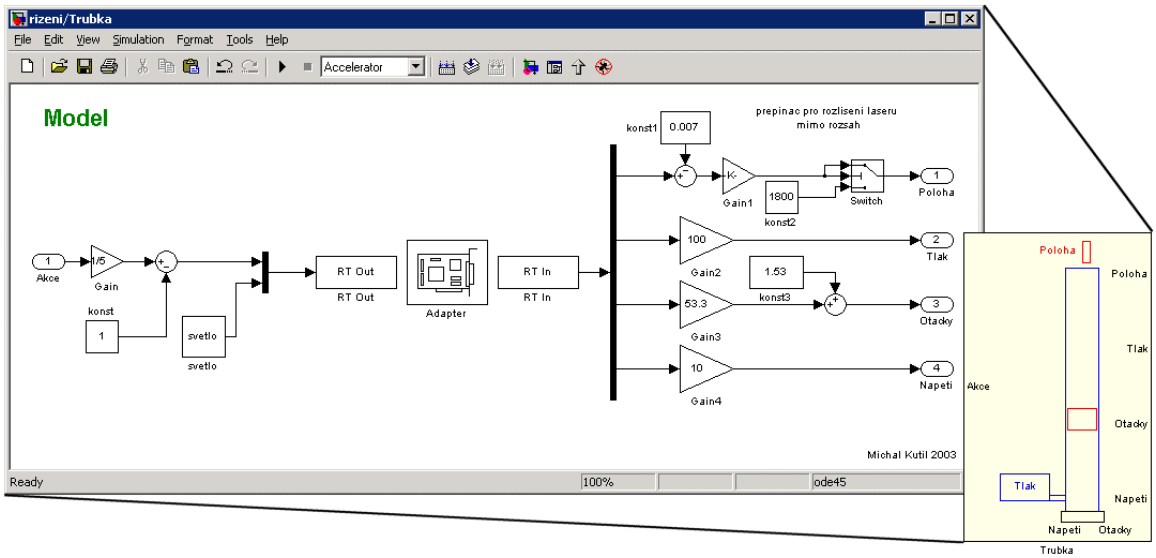
4.2 Řízení pomocí PC a programu Matlab

Model je také připojen k počítači přes měřicí kartu PCI-1711 [17] od firmy Advantech. Tato karta obsahuje 16 analogových vstupů (AI), 2 analogové výstupy (AO) a 16 digitálních vstupů (DI) a 16 výstupů (DO). Pro ovládání karty a přístup k modelu je využíván program Matlab (Simulink) a Real-Time toolbox. V Simulinku jsou jednotlivé signály z modelu připojeny na kanály s čísly uvedenými v tabulce (Tabulka 4.4):

Popis signálu	**Číslo kanálu v Simulinku**	**Označení svorkovnice měřicí karty**
Přepnutí řízení modelu na PC	3	DO 0
Ovládání světla	4	DO 1
Nastavení otáček větráku	1	AO 0
Reflexní světelný senzor č.1	18	DI 1
Reflexní světelný senzor č.2	19	DI 2
Reflexní světelný senzor č.3	20	DI 3
Reflexní světelný senzor č.4	21	DI 4
Reflexní světelný senzor č.5	22	DI 5
Reflexní světelný senzor č.6	23	DI 6
Laser – měření vzdálenosti	11	AI 10
Měření tlaku	12	AI 11
Měření otáček větráku	13	AI 12
Napětí na větráku (0-10 V)	14	AI 13

Tabulka 4.4 Číslování kanálů v Simulinku pro měřicí kartu

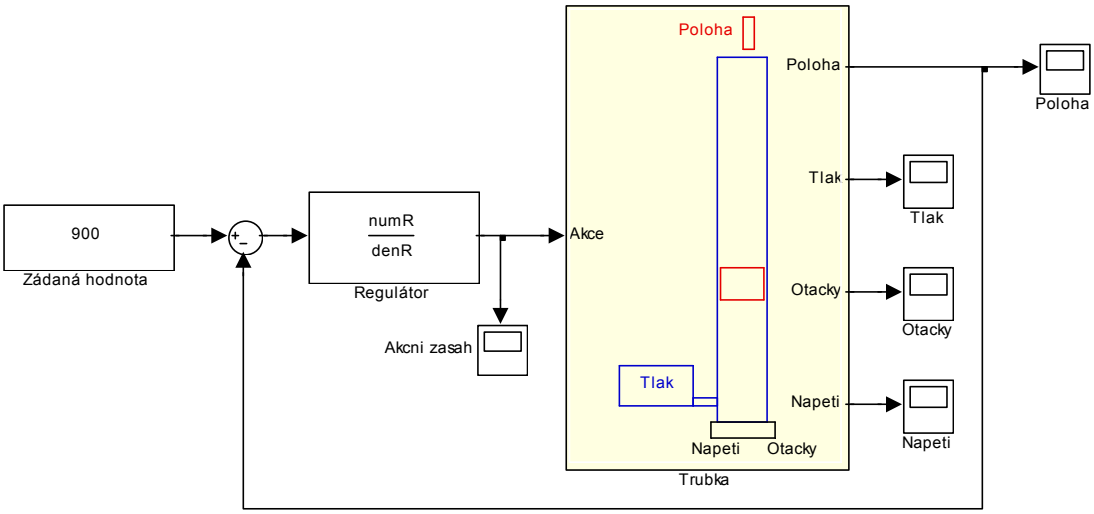
Pro pohodlnější přístup k modelu je obsluha karty a úprava signálu zapouzdřena do subsystému, jehož obsah je na (Obr. 4.5):



Obr. 4.5 Simulinkový subsystém zajišťující přístup k modelu

Vstupem do subsystému je signál v rozsahu 0 až 10, který odpovídá napětí nastavovanému na větráku modelu. Výstupem jsou čtyři signály: poloha, tlak, otáčky a napětí na větráku. Parametrem subsystému je jednak nastavení osvětlení modelu, jednak nastavení vzorkovacích frekvenci, s jakými se čtou a zapisují vstupy a výstupy. Pro přehlednost nejsou zobrazovány stavy reflexních senzorů. K dispozici je vytvořen také subsystém v bezrozměrném stavu.

Uzavřený regulační obvod má následující simulinkové schéma (Obr. 4.6):



Obr. 4.6 Simulinkové schéma pro řízení modelu

Model je navržen k řízení přes internet, a proto by bylo velmi snadno realizovatelné propojení modelu s Matlab Web Serverem, což je nástroj pro přístup k objektům a proměnným v Matlabu přes protokol http z internetu. Nicméně tato problematika je již mimo rozsah této práce. Další podrobnosti o Matlab Web Serveru lze nalézt v [8], [9].

K řízení modelu je použit jednak programovatelný logický automat a jednak osobní počítač. Programovatelný automat řídí model PID algoritmem nebo logickým řízením. Při řízení pomocí PC se používá program Simulink, v němž je možné realizovat široké spektrum různých typů řízení, jejichž návrhu je věnována kapitola „Návrh regulátoru“ (6.2).

5 Vizualizace

Nedílnou součástí řízení systému je jeho vizualizace. Ve většině případů je vizualizace umístěna v bezprostřední blízkosti systému (tatáž místnost, budova). Zde bychom se zaměřili na vytvoření vzdálené vizualizace. Vzdálenou vizualizací rozumíme vizualizaci, která k danému systému přistupuje přes počítačovou síť internet. Jelikož je tato problematika značně rozsáhlá, zaměříme se speciálně na vizualizaci pomocí webových stránek. Použití webových stránek jako grafické uživatelské rozhraní (GUI) aplikací je trend poslední doby [20] a přináší značné úspory při vývoji aplikací a hlavně při následné údržbě.

5.1 Vizualizace na www

Nepsaným cílem práce bylo i vytvoření kvalitních webových stránek tak, aby splňovaly nejen normy konsorcia W3C [21], ale i méně známé, ale o to náročnější předpisy na kvalitu webových stránek, jako „W4 Dogma“ [24] a „Blind friendly“ [26], které se zaměřují na přístupnost webových stránek.

Přístupnost webových stránek znamená, že jedny a ty samé stránky je možné bez změny kódu prohlížet na různých typech zařízení od osobních počítačů, přes mobilní počítače typu PDA až po mobilní telefony s implementací www prohlížeče. A to se všemi typy prohlížečů (Internet Explorer, Mozila, Opera, ale i v textových prohlížečích typu Lynx a Links). Samostatnou kapitolou, která spadá pod problematiku přístupnosti, je přístup k www zdravotně postižených včetně zrakově postižených. Přístupnost webových stránek není při řešení vizualizace samoúčelná. Přístup přes mobilní zařízení dnes začínají používat hlavně technici spravující daný systém, kdy zásah do systému mohou provést okamžitě a odkudkoli. Podle [22] je návratnost investic do vytvoření přístupného rozhraní velmi reálná.

5.2 Webové stránky z PLC

Před samotným popisem tvorby webových stránek pro automat si shrňme (Tabulka 5.1) možnosti automatů Allen-Bradley pro připojení k ethernetu [23]. V přehledu jsou uvedeny procesory a další zařízení včetně jejich popisu funkcí a implementace webového serveru.

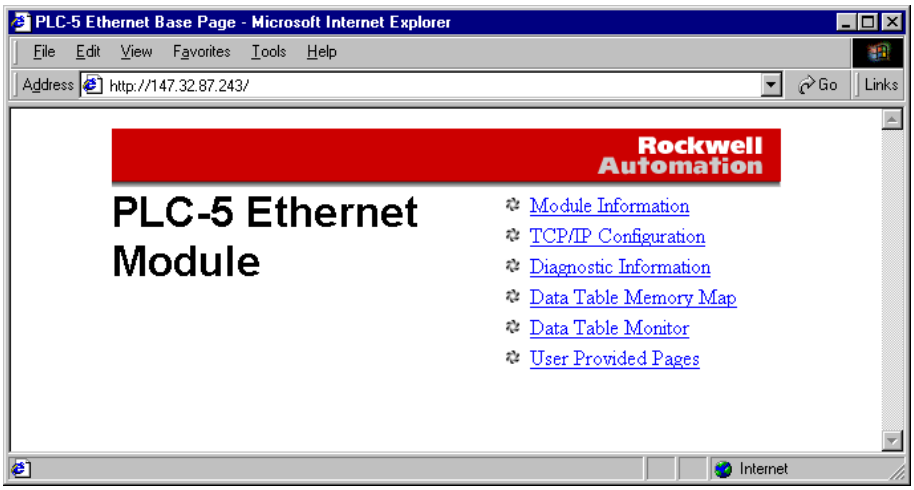
Procesor / Rozšiřující zařízení	**Web server**	**Popis**
Automat PLC-5		
Procesor EtherNet/IP PLC-5 *1785-L20E, -L40E, -L80E*	Ano	Podrobnosti jsou popsány v kapitolách 4.1 a 5.2.
Komunikační modul PLC-5 EtherNet/IP *1785-ENET*	Ano	Rozšiřující modul procesoru přidávající ethernetové rozhraní.
Automat SLC 500		
Procesor SLC 5/05 *1747-L551, -L552, -L553*	Ne	Umožňuje on-line programování a komunikaci přes ethernetové rozhraní.
Komunikační modul EtherNet/IP to RS-232 *1761-NET-ENI serie B*	Ano	Umožňuje propojit komunikaci mezi linkou RS-232 a ethernetem. Vhodný pro použití také s automatem MicroLogix a CompactLogix
ControlLogix		
Modul ControlLogix EtherNet/IP *1756 -ENBT*	Ano	Karta do automatu umožnující realtime výměnu data mezi automaty a přenos dat pro vizualizaci. Diagnostické webové stránky jsou podobné stránkám PLC-5 (0).

Tabulka 5.1 Porovnání možností automatů z pohledu připojení na internet

Všechny hlavní automaty Allen-Bradley obsahují stejné nebo velmi podobné vlastnosti jako webový server automatu PLC-5, který budu dále popisovat. Tento server obsahuje jednak stránky s diagnostickými informacemi o automatu, které jsou v automatu vytvářeny automaticky a jednak zpracovává uživatelské stránky, které lze libovolně vytvářet podle dále popsaného návodu.

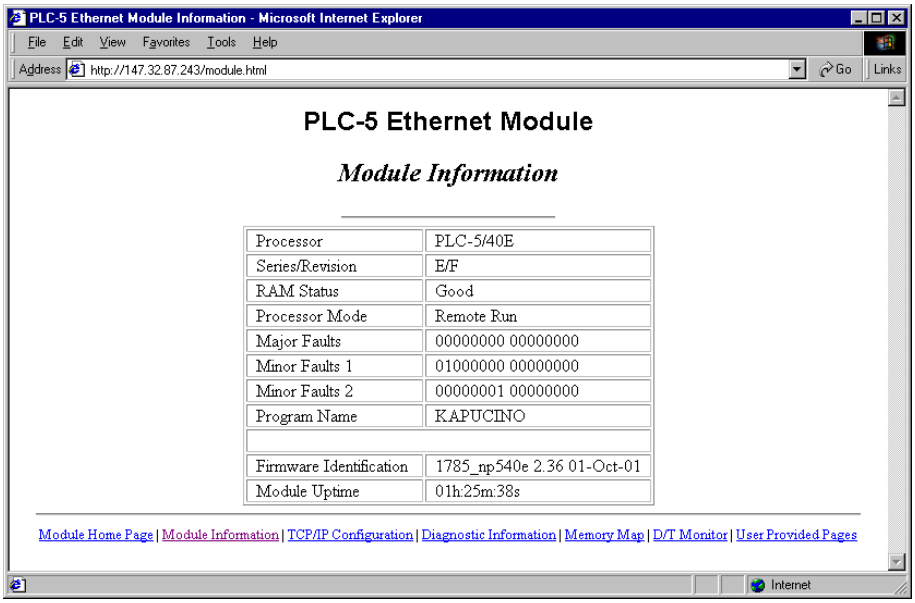
5.2.1 Diagnostické stránky

K přístupu na stránky stačí do internetového prohlížeče zadat IP adresu automatu, případně slovní adresu z DNS, která je k této IP adrese přiřazena. Jako první se zobrazí úvodní stránka automatu s odkazovým menu na další stránky (Obr. 5.1).



Obr. 5.1 Úvodní stránka v automatu

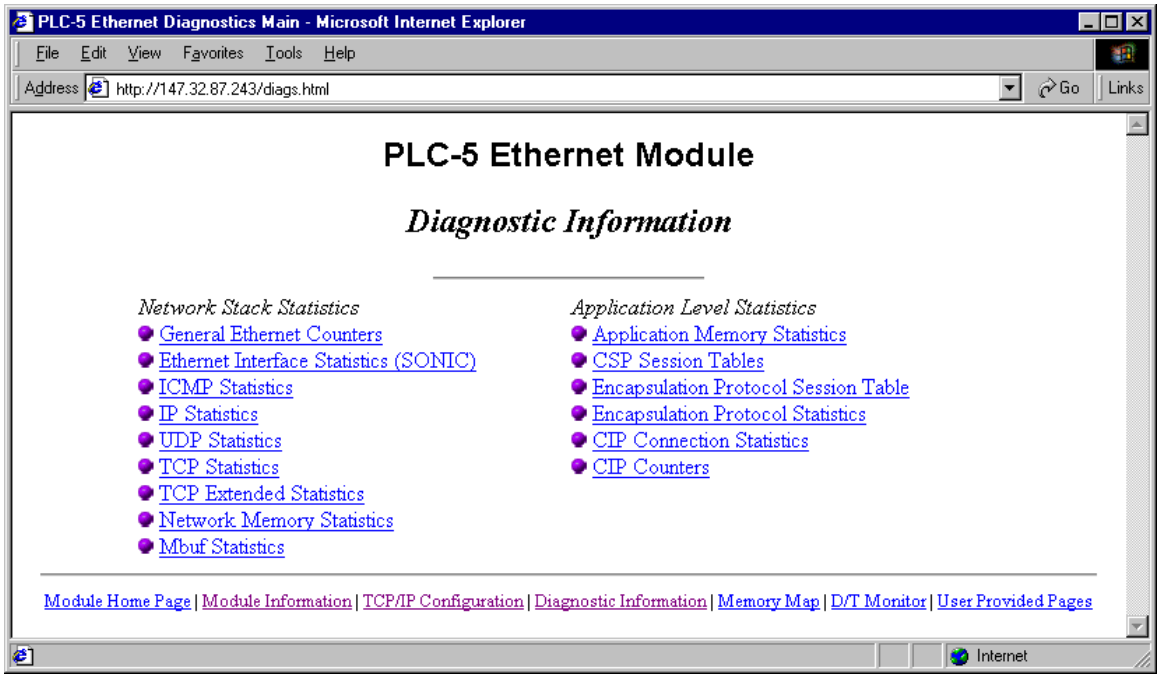
První položky menu odkazují na diagnostické stránky, poslední položka je vyhrazena pro uživatelské stránky. Diagnostika začíná stránkou *Module Information* (Obr. 5.2). Tato stránka se zabývá samotným procesorem a obsahuje typ procesoru, jeho sérii a číslo revize, kontrolu paměti, stav procesoru a jeho případné chyby. Dále jméno nahraného programu, identifikaci firmwaru a dobu, po kterou je automat spuštěný.



Obr. 5.2 Stránka *Module Information*

Stránka *TCP/IP Configuration* zobrazuje informace o konfiguraci sítě. Tato stránka obsahuje IP adresu, masku podsítě, adresu brány, nameserveru, druhého nameserveru, přednastavené doménové jméno, informace o stavu BOOTP a hardwarovou adresu. Stránka je graficky zpracována stejně jako stránka *Module Information*.

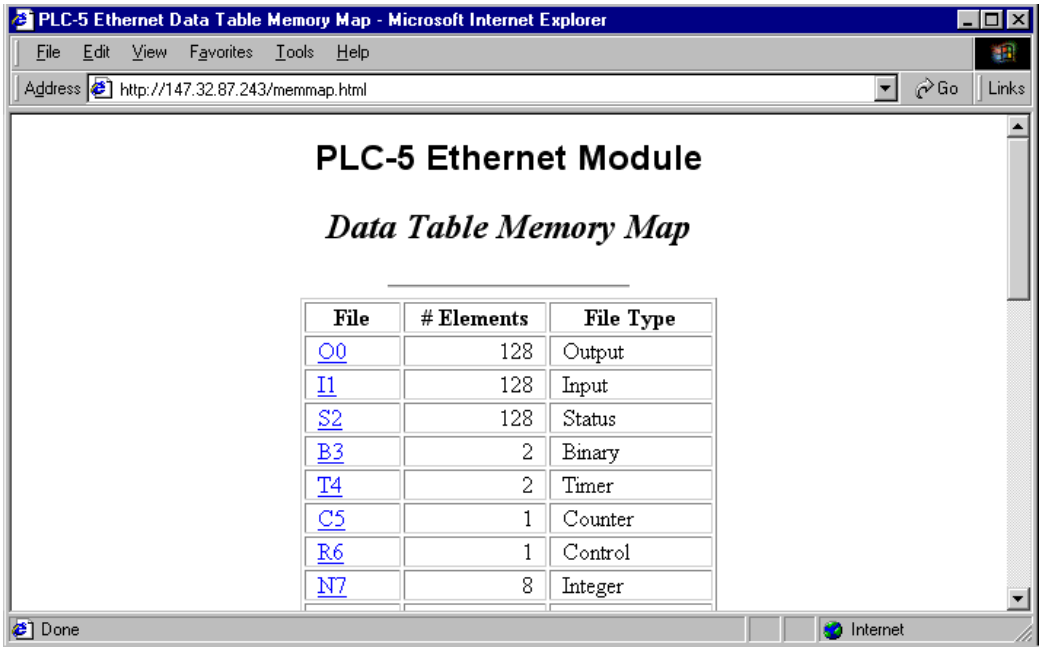
Hlavní diagnostické informace se nacházejí na další stránce *Diagnostic Information* (Obr. 5.3).



Obr. 5.3 Stránka *Diagnostic Information*

Diagnostické informace jsou rozděleny na dvě části. První část obsahuje statistické informace o TCP/IP spojení. Na jednotlivých podstránkách je možné nalézt detailní informace o počtu přijatých a odeslaných síťových paketů, počet chyb, počet a čas poslední kolize, atd. Druhý seznam obsahuje informace o aplikaci nahrané v automatu, například využití paměti. Detailnější popis diagnostických informací je v [13] včetně kompletního popisu ethernetového rozšíření automatu PLC-5.

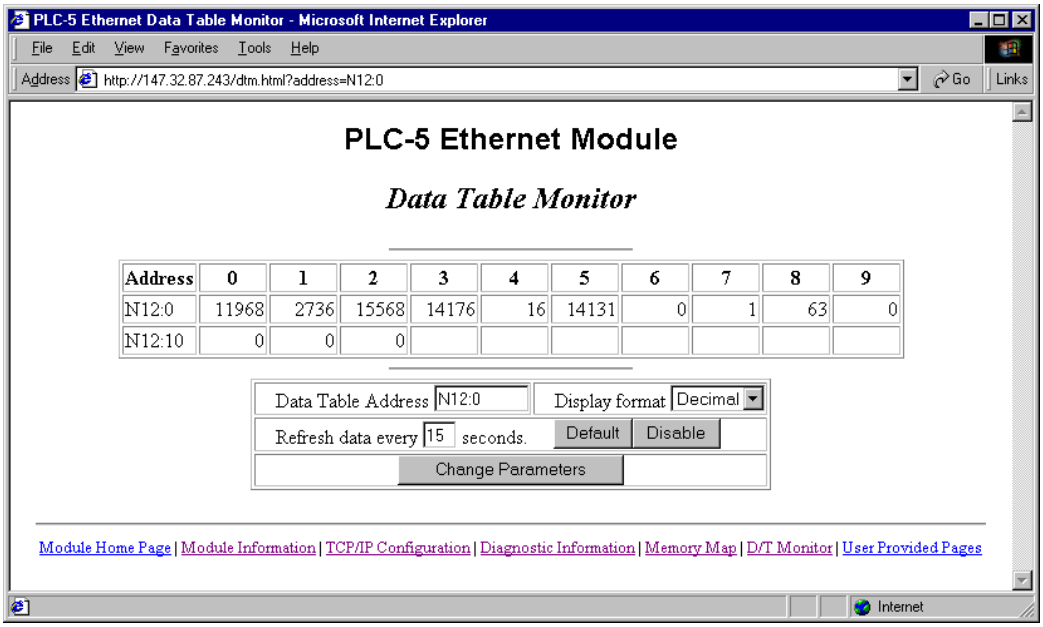
Stránka *Data Table Memory Map* (Obr. 5.4) obsahuje přehled datových souborů použitých v programu včetně jejich velikostí a typů. Po kliknutí na označení souboru (O0, I1, S2, …) se zobrazí stránka *Data Table Monitor* s navoleným datovým souborem.



File	# Elements	File Type
O0	128	Output
I1	128	Input
S2	128	Status
B3	2	Binary
T4	2	Timer
C5	1	Counter
R6	1	Control
N7	8	Integer

Obr. 5.4 Stránka *Data Table Memory Map*

Data Table Monitor je stránka, na které je možné prohlížet si obsah libovolného datového souboru. Stránka obsahuje tabulku s obsahem paměti a formulář pro nastavení parametrů zobrazení.



Address	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N12:0	11968	2736	15568	14176	16	14131	0	1	63	0
N12:10	0	0	0							

Obr. 5.5 Stránka *Data Table Monitor*

Formulář obsahuje kolonku *Data table address* pro změnu datového souboru. Formát zobrazení souboru se vybírá v *Display format*, na výběr jsou následující formáty: *Binary*, *Octal*, *Decimal* a *Hex*. Pokud jde o strukturovaný datový soubor jako časovač, čítač, PID regulátor a další, není změna formátu možná. Druhý řádek formuláře slouží k nastavení automatické obnovy tabulky případně k úplnému vypnutí obnovování. Všechny nastavené změny je potřeba odeslat pomocí tlačítka *Change Parameters*. Při změně parametrů formuláře je potřeba dát si pozor na automatické obnovování, neboť při novém načtení dat se nastaví i původní hodnoty ve formuláři. Je proto vhodné si před změnou parametrů vypnout tlačítkem *Disable* automatické obnovování a poté měnit ostatní parametry.

5.2.2 Tvorba vlastních stránek

Stránka je textový soubor ve formátu html, který se nahraje do automatu. Soubory lze vytvářet v libovolném textovém editoru, například v Poznámkovém bloku. Oproti definici html souboru, tak jak jej normuje konsorcium W3C, jsou zde drobné rozdíly, na které jsem během práce narazil a které bych rád popsal.

5.2.2.1 Specifika html pro automat PLC-5

První rozdíl je v hlavičce. Tvůrci firmwaru pro automat chtěli pravděpodobně ušetřit programátorům místo v paměti automatu, a tak hlavičku do html stránky vkládá procesor automaticky. Na této skutečnosti není na první pohled nic špatného, kdyby automaticky vkládaná hlavička byla připravena s větší pečlivostí. Formát hlavičky je následující:

```
<html><head><title>User Page #1</title></head><body> ,
```

kde číslo za znakem # se automaticky mění podle čísla stránky. Největším nedostatkem je vynechání deklarace typu dokumentu html. Bez této deklarace není možné, aby výsledná stránka odpovídala jakékoli definici typu dokumentu (DTD) od konsorcia W3C pro html soubory. Pro doplnění uvedu příklad deklarace dokumentu html verze 4.01 varianta *Strict*:

```
<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01//EN"
"http://www.w3.org/TR/html4/strict.dtd">
```

Další nepřesností je pevně stanovené pojmenování stránky jako *User Page* bez ohledu na její obsah, což je v rozporu s normou W3C. Nehledě na praktické důsledky,

kdy může dojít k přepsání souborů. Některé prohlížeče používají tento název pro jméno soboru při ukládání stránek na lokální disk nebo do záložek mezi oblíbené stránky.

Posledním nedostatkem hlavičky je uzavření tagu *</head>*, takže se do této části nedají dopisovat další informace o stránce jako meta data, kaskádové styly nebo java scriptové kódy. Nemožnost vložení meta dat je dosti velký nedostatek, neboť se nedá nastavit kódování stránky, a tak se stránky mohou zobrazovat v různých prohlížečích různě. Kódování neposílá, bohužel, ani automat v samotné hlavičce odpovědi podle http protokolu, jak vyplývá ze zaznamenaného průběhu komunikace mezi automatem a prohlížečem, který je v Příloze C.4.

Pokud se na automatické vkládání hlavičky podíváme v širších souvislostech, znemožňuje tato vlastnost využít uživatelsky definované stránky také třeba k umístění externích kaskádových stylů nebo kódů javascriptu.

Rozdíl oproti normě pro html soubory je i v samotném „těle“ stránky, a to při vkládání obsahu paměti automatu do stránky. Podrobný popis vkládání je popsán v následující kapitole (5.2.2.2). Nyní bych pouze upozornil, že značka pro vložení začíná znaky <!. Výsledný kód se tak snaží být uzavřen v komentáři, což je správně. Nicméně komentář se správně uvozuje čtyřmi znaky, a to <!--, což může v některých prohlížečích způsobovat chyby.

5.2.2.2 Vkládání aktivního obsahu do stránky

Jak jsem zmínil v předchozím odstavci, stránka nemusí obsahovat pouze statický obsah, ale naopak je velmi žádoucí, aby se obsah dynamicky přizpůsoboval stavu automatu a zobrazoval data z řízeného procesu. Do stránky mohou být vkládány obsahy paměti automatu pomocí tzv. reference na tuto paměť. Reference na paměť v automatu má následující syntaxi:

```
<!ABDTR-file_type{file_number}:{file_element}
[,#elements][%format]>
```

Položky uzavřené ve složených závorkách {}, jsou v některých případech povinné. Položky v hranatých závorkách [] jsou nepovinné. Význam jednotlivých položek je následující:

file_type

Označení datového souboru (I, O, N, F, …).

file_number

Číslo datového souboru; v případě odkazu na I, O nebo S není nutné *file_number* vyplňovat.

file_element

Element v datovém souboru; u typů I, O nebo S je povinný, u ostatních je nepovinný. Bez uvedení je uvažován nultý element.

elements

Počet odkazovaných elementů; pokud není počet vyplněn, je odkazován jeden element.

format

Formát výstupních dat:

%d – dekadický,
%x – šestnáctkový,
%g – s plovoucí desetinnou čárkou na šest desetinných míst.

Pokud není formát definován, jsou výstupy formátovány následovně podle typu datového souboru:

Input, Output – osmičkově
Status, BCD – šestnáctkově s předponou 0x
Složené datové soubory (Timer, Counter, MSG, …) – tabulky

Zajímavou skutečností je rozdíl při formátování datového souboru typu Integer, kde při neuvedení formátovacího znaku %d do reference je za vložené číslo ještě umístěn znak mezery. Při uvedení %d se mezera nevkládá.

Pro zjednodušení tvorby vlastních stránek může automat vytvářet stránky s názvem *Custom Data Table Monitor*, která se generuje z šablony uložené ve firmwaru automatu. Taková stránka musí jako první element obsahovat:

```
<!ABCDM-xx>
```

kde **xx** je počet vteřin z rozsahu 01-99, po jejichž uplynutí dojde k automatické obnově stránky. Tato doba se dá na výsledné stránce změnit pomocí formuláře. Další elementy definují jednotlivé položky v monitoru a mají následující formát:

```
<!ABDTR-file_type{file_number}:{file_element}
[,#elements][%format][#expand][!comment]>
```

format

Formát výstupních dat:

%d – dekadický,

%x – šestnáctkový,

%g – s plovoucí desetinnou čárkou, na šest desetinných míst,

%b – binární,

%o – osmičkové.

expand

Možné hodnoty #c a #e definují, zda jsou složené datové soubory standardně zobrazovány v „zabaleném“ (*compacted*) nebo „rozbaleném“ (*expanded*) tvaru.

!comment

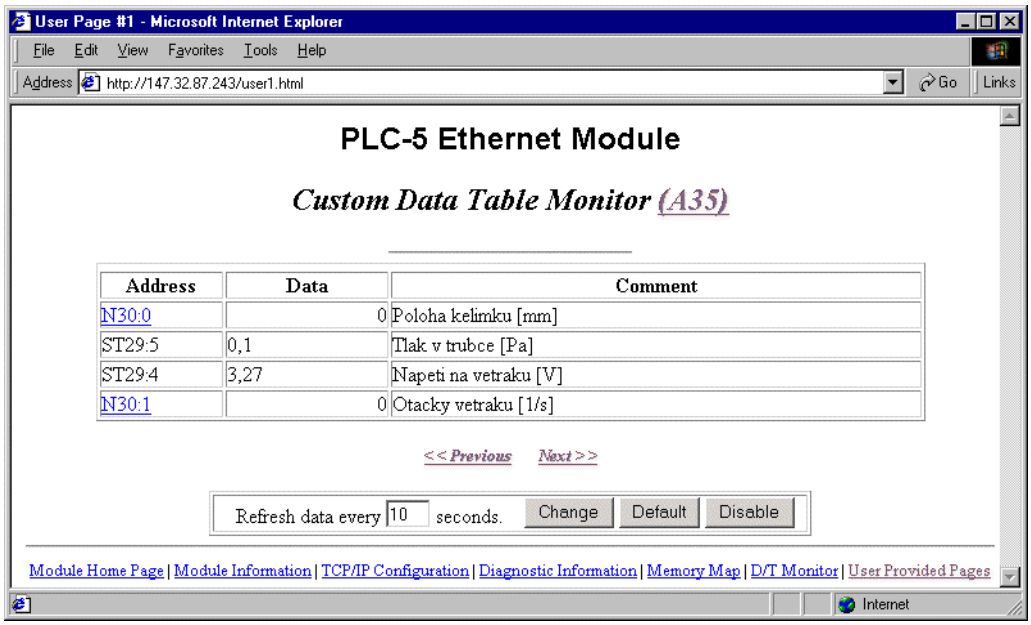
Popis zobrazených dat.

Ostatní parametry mají stejný význam jako v předchozím popisu reference.

Pro lepší představu jsem vytvořil následující jednoduchý příklad, který zobrazuje stav modelu v *Custom Data Table Monitor*. Kód stránky je následující (Příklad 5.1):

```
<!ABCDM-10>
<!ABDTR-N30:0%d!Poloha kelimku [mm]>
<!ABDTR-ST29:5!Tlak v trubce [Pa]>
<!ABDTR-ST29:4!Napeti na vetraku [V]>
<!ABDTR-N30:1%d!Otacky vetraku [1/s]>
```

Příklad 5.1 Příklad kódu stránky s ukázkou použití *Custom Data Table Monitor*

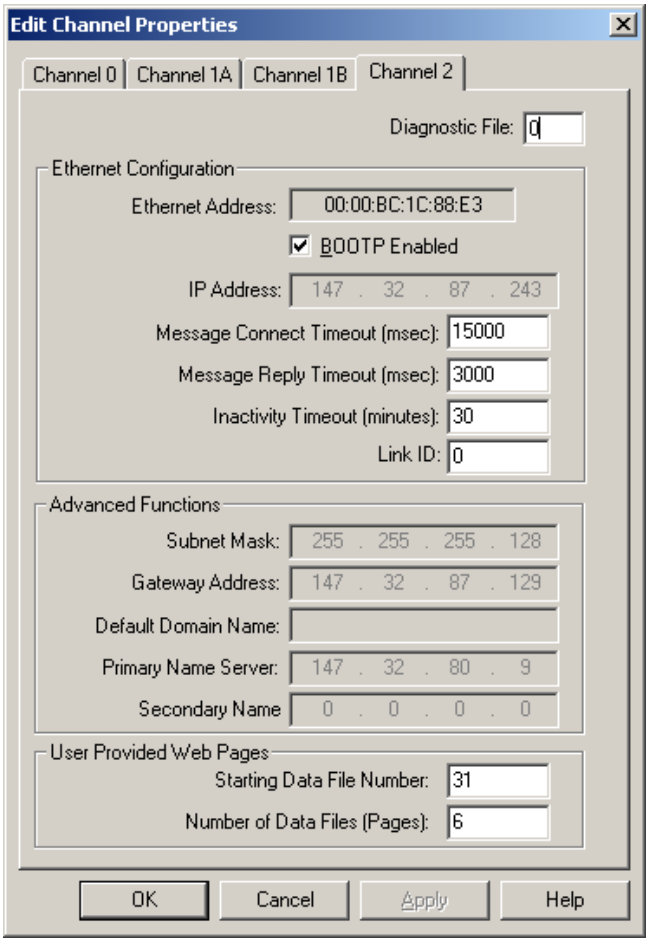


Obr. 5.6 Stránka *Custom Data Table Monitor*

5.2.2.3 Nahrání stránek do automatu

Nahrání do automatu umožňuje programu RSLogix 5 od revize 5.20. Postup pro nahrání je následující:

1. Konfigurace umístění stránek v paměti automatu.
    a. Na konfigurační kartě **Edit Channel Properties** zvolíme záložku s definicí ethernetového připojení - **Channel 2.**
    b. U spodního okraje, v části *User Provided Web Pages*, nastavíme číslo datového souboru pro první stránku (*Starting Data File Number*) a dále počet stránek (*Number Data Files (Pages)*), tj. počet následujících datových souborů (Obr. 5.7). Stránky musí být v paměti automatu umístěny za sebou. Je proto vhodné na to pamatovat při návrhu a nechat si za poslední stránkou rezervu.



Obr. 5.7 Konfigurace umístění stránek

2. Po potvrzení změn se automaticky vytvoří datové soubory typu ASCII na požadovaných pozicích.

3. Import stránek do programu.
    a. Ve stromu projektu otevřeme (pravým tlačítkem z lokální nabídky) kartu vlastností (*Properties*) datového ASCII souboru, do něhož chceme stránky nahrát.
    b. Na této kartě kliknutím na tlačítko *Import HTML* otevřeme dialogové okno pro výběr souboru s předem vytvořenou stránkou, kterou chceme importovat do programu.
    c. Po potvrzení se stránka importuje do ASCII datového souboru. Pokud je velikost nahrávané stránky větší než velikost datového souboru, bude zvětšen na potřebnou velikost až do 2000 slov. V opačném případě se nevyužitá velikost datového souboru vyplní znakem s ASCII hodnotou nula.
    d. Postupně importujeme všechny stránky do datových souborů.
4. Projekt s naplněnými datovými soubory a konfiguraci komunikace nahrajeme do automatu. V případě provádění oprav stačí nahrát pouze opravenou část projektu „Partial Download“. Automat přepneme do režimu „RUN“.

Nahrané stránky se zobrazují na adresách http://*adresaautomatu*/user1.html až user16.html, kde *adresaautomatu* je URL adresa automatu. Aktuálně je mu přiřazenu adresa http://147.32.87.234. Seznam všech uživatelských stránek je na adrese http://*adresaautomatu*/user.html, na kterou vede odkaz z menu na úvodní stránce automatu.

Maximální počet stránek v automatu je 16. Velikost každé stránky nesmí překročit 4kB (v automatu 2000 slov).

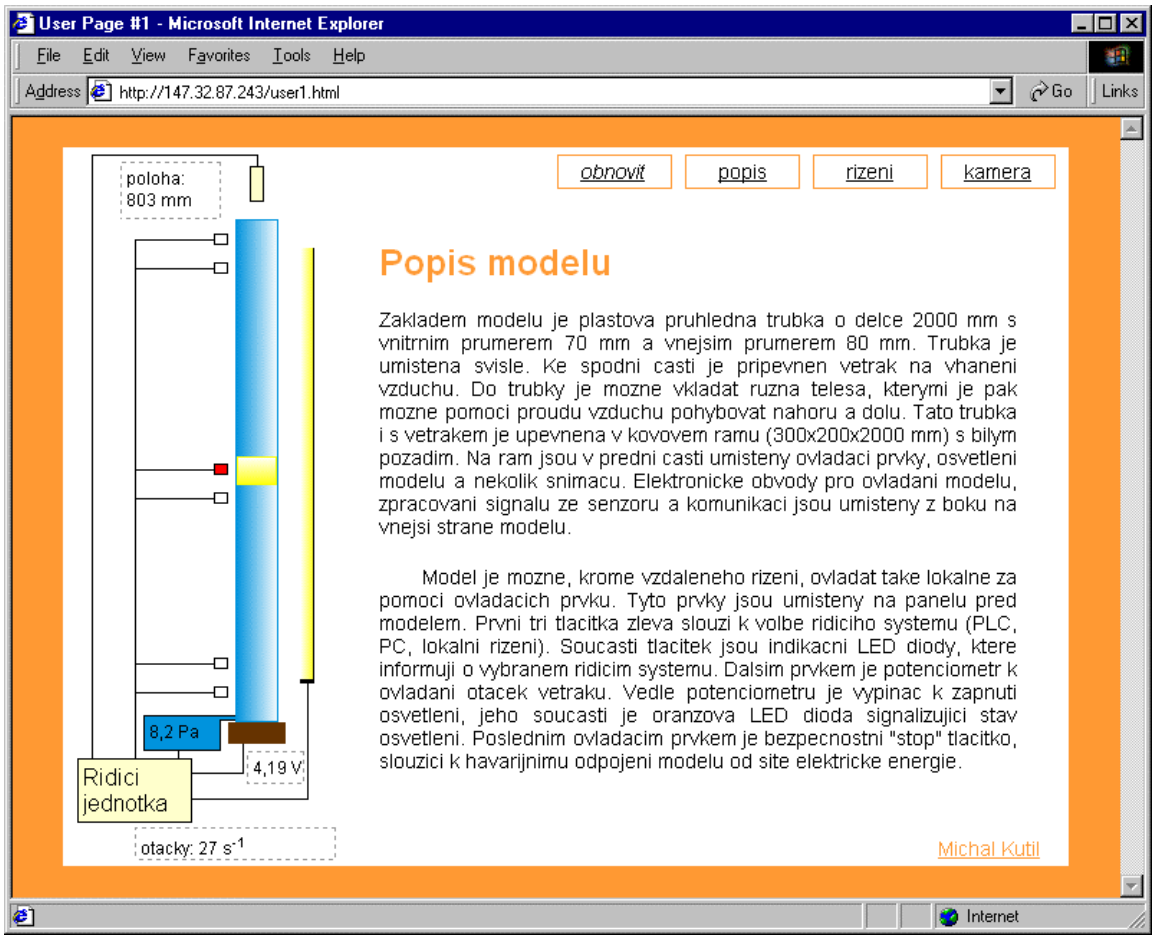
5.2.3 Stránky pro vizualizaci modelu

Vizualizace je umístěna na adrese http://*adresaautomatu*/user1.html, tato stránka vytváří základní kostru vzhledu (Obr. 5.8). Celá vizualizace se skládá z následujících prvků:

- Schéma modelu s údaji o stavu systému
- Textový popis modelu
- Informace o řízení
- Pohled na model pomocí webové kamery

Vpravo nahoře je umístěno menu, pomocí něhož se přepíná mezi popisem modelu, stavem řízení a webovou kamerou. Technicky je toto přepínání řešeno nahráváním příslušných stránek do vloženého rámu, který je umístěn vpravo pod menu.

Použití rámu není zcela nejvhodnější [25], ale omezení na velikost stránky nám brání použít jiné, vhodnější řešení.



Obr. 5.8 Vizualizace modelu

Schéma modelu je ústředním prvkem a jako takový je zobrazen v celé vizualizaci. Schéma je vytvořeno tak, aby odpovídalo skutečnému rozložení prvků na modelu. Základem je trubka, která je nakreslena pomocí bleděmodrého obdélníku, u jehož spodní hrany je hnědou barvou vykreslen větrák. Těleso pohybující se uvnitř trubky je symbolicky znázorněno žlutým obdélníkem. Žlutým obdélníkem podél trubky je také znázorněno zapnutí osvětlení. Na schématu jsou dále zobrazeny snímací prvky včetně jejich výstupních hodnot. Laserový senzor je umístěn nad trubkou a je vykreslen světle žlutým obdélníkem, výstup senzoru je zobrazován v poli ohraničeném čárkovanou světle šedou čarou. V případě, že laserový senzor detekuje těleso mimo měřicí rozsah, je mezi ním a trubkou vykresleno červené přeškrtnutí ve tvaru písmene „X“. Snímač tlaku modré barvy je umístěn u spodního okraje trubky. Hodnota tlaku je zobrazována uvnitř tohoto obdélníku. Stav větráku je vizualizován ve dvou polích. V prvním, které je bezprostředně

pod větrákem, je uvedeno napětí na větráku. Otáčky větráku jsou v druhém poli umístěném pod celým modelem. Reflexní senzory jsou rozmístěny podél trubky, jejich aktivace je signalizována změnou barvy obdélníčku z bílé na červenou. Do schématu je dále dokreslena řídicí jednotka. Jednotlivé prvky jsou symbolicky propojeny tenkou černou čárou.

Do automatu není možné nahrát obrázek, a tak je schéma nakresleno pomocí několika blokových prvků *div* zformátovaných pomocí kaskádových stylů. Podrobnosti o tvorbě této grafiky lze nalézt například v [18].

Stav systému zobrazovaný na schématu se periodicky obnovuje každých 500 ms. Obnovovací doba je dána možností webového serveru implementovaného v automatu, zkrácení obnovovací periody již vede k zatížení automatu natolik, že přestane na několik vteřin komunikovat. Programově je obnovování dat řešeno na straně prohlížeče pomocí javascriptu, který každých 500 ms načte aktualizovaný stav modelu ze serveru a opraví hodnoty ve schématu [19]. Data se ze serveru načítají z uživatelské stránky (konkrétně user3.html), která je zformátována v XML [2] tak, aby podávala informaci o všech potřebných stavech modelu. DTD tohoto dokumentu je v Příloze C.5, popis jednotlivých elementu vysvětlím na následujícím příkladu (Příklad 5.2):

```
<html><head><title>User Page #3</title></head><body>
<poloha>poloha:&lt;br&gt; 791  mm</poloha>
<teleso>143</teleso>
<tlak>8,4 Pa</tlak>
<napeti>4,28 V</napeti>
<otacky>otacky: 28  s&lt;sup&gt;-1&lt;/sup&gt;</otacky>
<z1>0</z1>
<z2>0</z2>
<z3>0</z3>
<z4>1</z4>
<z5>0</z5>
<z6>0</z6>
<laser>0</laser>
<svetlo>0</svetlo>
</body></html>
```

Příklad 5.2 Ukázka XML dokumentu se stavem modelu

Elementy mají následující význam:

poloha

Obsahuje informaci o poloze tělesa v trubce upravenou pro přímý zápis do schématu.

teleso

Číslo vyjadřující polohu tělesa v trubce, tento údaj slouží k pozicování symbolu tělesa ve schématu.

tlak

Tlak v trubce upravený pro přímý zápis do schématu.

napeti

Napětí na větráku upravené pro přímý zápis do schématu.

otacky

Otáčky větráku upravené pro přímý zápis do schématu.

z1, z2, z3, z4, z5, z6

Obsahují číslice 0 nebo 1 podle stavu senzoru.

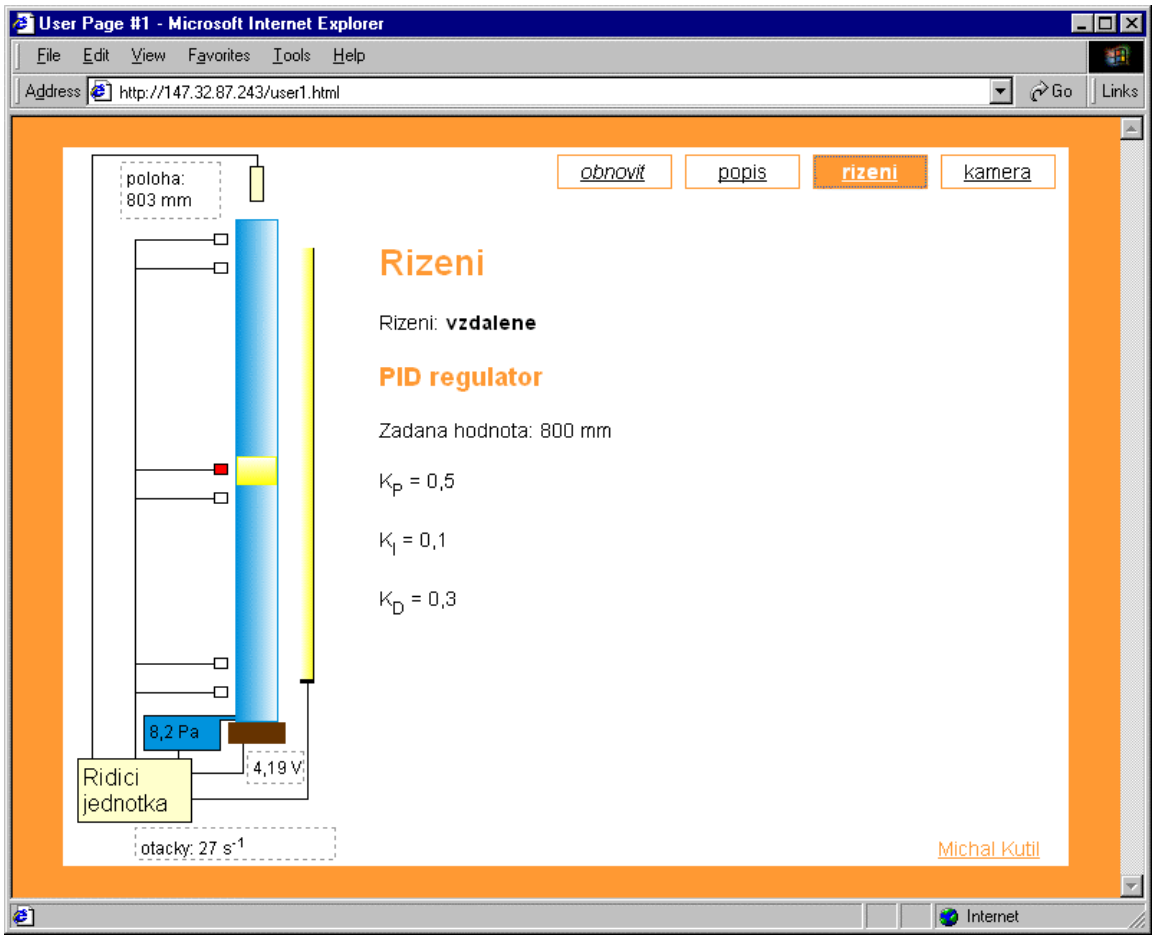
laser

Obsahuje číslici 1, pokud je těleso mimo rozsah měření laserového čidla, v opačném případě obsahuje 0.

svetlo

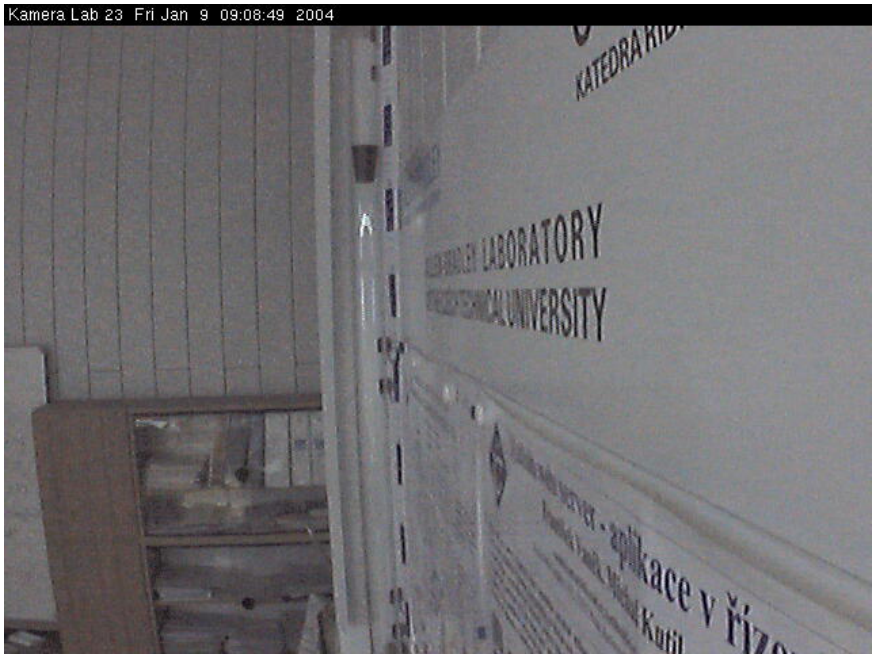
Digitální informace o zapnutí / vypnutí osvětlení (1 / 0).

Odkaz z menu pod položkou „rizeni“ směřuje na uživatelskou stránku číslo pět (user5.html). Tato stránka zobrazuje informace o řízení systému. Program v automatu však při změně typu řízení přepisuje obsah této stránky z datových souborů A37 až A39, a tak uživatelská stránka může nabývat tří variant. První varianta je pro řízení pomocí PID regulátoru (Obr. 5.9) a obsahuje nastavení jeho konstant, druhá varianta zobrazuje nastavení logického řízení. Třetí varianta informuje o přepnutí na lokální ovládání.



Obr. 5.9 Uživatelská stránka informující o PID řízení

Poslední stránka obsahuje vložený obraz z webové kamery (Obr. 5.10).



Obr. 5.10 Stránka vizualizace s obrazem z webové kamery

5.2.4 Hodnocení webového serveru

Na základě práce s webovým serverem implementovaným v programovatelném logickém automatu PLC-5 si dovolím tvrdit, že v současné době je pro většinu aplikací nepoužitelný. Server má zaprvé nedostatky v množství http požadavků, které zvládne zpracovat v krátkém časovém intervalu. Pokud přicházejí požadavky s periodou kratší než 500 ms, dojde k výpadku serveru přibližně na 5 s. Tento nedostatek nezpůsobuje problém pouze na stránkách, které by bylo potřeba obnovovat častěji, ale i na stránkách s vyšší návštěvností.

Pokud zůstanu u měření času, tak také generování stránky, obsahující velké množství referencí do paměti nebo na velké bloky paměti, trvá neúměrně dlouho. Při různých pokusech se serverem, kde jsem do jedné uživatelské stránky zkoušel vkládal několik celých ASCII datových souborů, jsem naměřil dobu zpracování požadavku v řádu sekund.

Poslední větší problém snižující použitelnost serveru je již zmiňovaná vlastnost automatického vkládání hlavičky html stránky. To sice šetří velikost paměti, nicméně nemožnost ovlivnit hlavičku způsobuje, dle mého názoru, daleko větší problémy. Vložená hlavička tak zabraňuje použít stránky pro externí kaskádové styly nebo javascriptové kódy. Dále neumožňuje vytvářet validní dokumenty, ať jde o html či XML dokumenty. A dokonce bych si dovedl představit, že by se některé stránky daly použít pro uložení loga či ikon použitelných na stránkách.

Existují však také aplikace, pro které je webový server plně dostačující. Takovou aplikací by mohlo být například řízení klimatizace. Přes webové rozhraní by se daly z automatu získávat data pro další zpracování. Nicméně už nejde o proces, v němž figuruje kromě řízeného systému pouze PLC, ale je použit i osobní počítač pro zpracování a úpravu dat, který snižuje spolehlivost celého procesu.

5.3 Webové stránky z PC

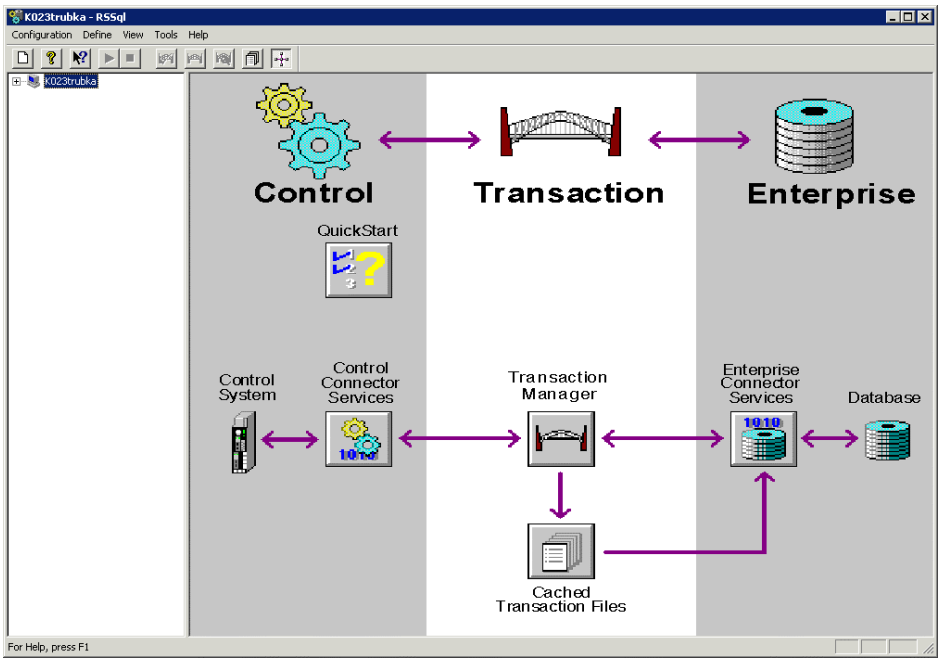
Generování webových stránek ze serveru Apache na osobním počítači přináší lepší možnosti při jejich tvorbě. Mezi hlavní přednosti lze zařadit kvalitativně lepší kód z pohledu použitelnosti. Možnost archivace dat zase umožňuje přehledné zobrazení časového průběhu stavu veličin na modelu. Nicméně i zde bylo potřeba vyřešit několik problémů. Hlavním z nich byl přenos dat mezi automatem a osobním počítačem, který zajistí program RSSql. Dále způsob uchování dat na serveru, k čemuž je použita databáze

MSSQL, která je nutná pro příjem dat z programu RSSql. Poslední volbou byl výběr a konfigurace webového serveru. Teprve po nastavení celého serveru je možné vytvořit samotnou vizualizaci.

5.3.1 Program pro sběr dat – RSSql

Přenos dat mezi automatem a osobním počítačem zajistí software RSSql od firmy Rockwell Automation. RSSql je nástroj, jenž zajišťuje přenos dat mezi řídicími systémy a aplikacemi pro další zpracování či využití dat.

Popis všech možností a funkčních vlastností RSSql by značně přesahoval rozsah této práce, a proto se zaměřím na popis postupu použitého v mé práci. Nejprve si vytvoříme spojení s programovatelným automatem PLC-5 a spojení s databázovým serverem MSSQL. Dále se budeme zabývat vytvořením pravidel pro přenos dat.



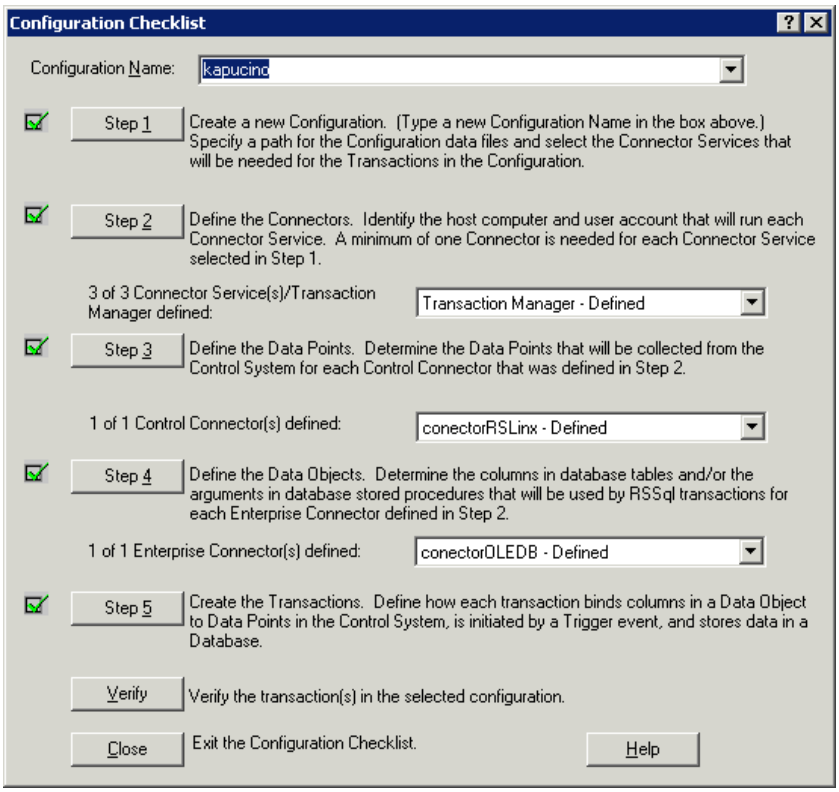
Obr. 5.11 Úvodní obrazovka RSSql

Po spuštění[1] programu RSSql se zobrazí obrazovka (Obr. 5.11), která graficky znázorňuje tok dat z automatu do databáze. Kliknutím na tuto grafiku se spustí nápověda pro příslušnou část řetězce. Program dále zobrazuje menu, sadu ikon, konfigurační strom projektu a stavový řádek.

[1] Program pro konfiguraci parametrů lze spustit pouze z uživatelského účtu, jenž má administrátorská oprávnění. Program lze také nastavit tak, aby se spouštěl jako služba, v tomto případě bude docházet pouze k přenosu dat bez možnosti konfigurace parametrů.

Nový projekt se nejlépe vytvoří pomocí průvodce nazvaného *Configuration Checklist*. Průvodce se spustí volbou položky v menu **Configuration > Checklist** a pomocí pěti kroků nás provede základním nastavením.

1. První krok se nazývá *Create new configuration*, slouží k pojmenování projektu a nastavení adresářů, kam se budou ukládat soubory.



Obr. 5.12 Configuration Checklist

Program je možné rozdělit na tři funkční části:

i. Komunikace s automatem
ii. Komunikace s databází
iii. Přenos dat

Každou z uvedených částí je možné spustit na samostatném počítači, a tak navýšit kapacitu v množství zpracovaných dat a zlepšit přehlednost celého projektu.

2. Druhý krok nazvaný *Define connectors* tedy slouží k volbě počítačů, na nichž běží jednotlivé části.

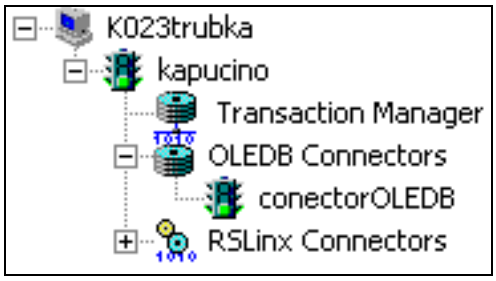
3. Krok číslo tři *Define data points* nastavuje část komunikující s automatem. Přesněji řečeno, komunikace probíhá přes OPC s programem RSLinx, který

následně zajistí komunikaci s automatem. Při této konfiguraci se volí konkrétní automat i adresy přístupu do jeho paměti. Konfiguraci přístupu k paměti je možné zjednodušit pomocí importu databáze tágů z vytvořeného projektu pro automat.

4. Konfigurace přístupu k databázi se provádí v kroku čtyři *Define data objects*. Nejprve se definuje přístup k databázi, její adresa a podle potřeby uživatelské jméno a heslo. Dále se vytváří přístupové body k jednotlivým tabulkám databáze. Tyto body mohou buď data do tabulky zapisovat, nebo je z tabulky číst. Zápis do tabulky může probíhat ve dvou módech, jednak se mohou nové řádky do tabulky přidávat (*mode insert*), jednak se mohou modifikovat (*mode update*). Pokud chceme data z tabulky číst, je nutné v databázi vytvořit vloženou proceduru, která bude vracet potřebná data. RSSql obsahuje průvodce k vytvoření jednoduchých procedur pro databáze.

5. Poslední krok *Create transactions* vytváří transakce přenášející data. Jedna transakce obsahuje propojení mezi proměnnými přístupového bodu databáze a vybranými adresami v automatu. Jednotlivým transakcím je možné nastavit různou periodu spouštění a mnoho dalších parametrů, jako použití vyrovnávací paměti nebo nastavení doby platnosti dat.

Po dokončení projektu a ověření správnosti celého nastavení se v konfiguračním stromu projektu (Obr. 5.13) vytvoří všechny přístupové body jak k databázi, tak k automatu. Přes tyto položky je možné dodatečně upravovat veškeré nastavení. Dále se ve stromu zobrazuje malý semafor informující o stavu probíhajícího přenosu: červená barva – přenos vypnut, žlutá – spuštěné pouze části přenosu, zelená – zapnut kompletní přenos dat.



Obr. 5.13 Strom projektu

Vytvořený projekt obsahuje tři transakce:

stav

Transakce přenášející stav modelu z automatu do databáze.

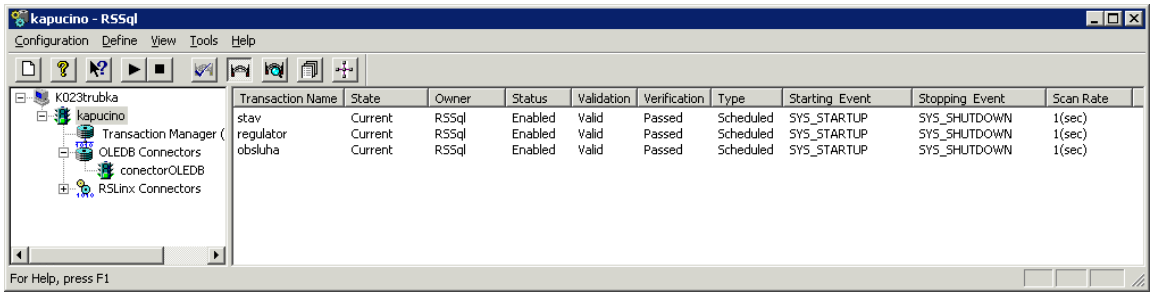
regulátor

Přenos volby a nastavení parametrů řízení z databáze do automatu.

obsluha

Doplňkové informace pro model přenášené z databáze do automatu jako sepnutí osvětlení, vypnutí modelu a přepnutí na lokální řízení.

Všechny nadefinované transakce se zobrazují na pracovní ploše i s jejich parametry (Obr. 5.14). Jak je vidět, transakce mají nastaveno spouštění jednou za sekundu, což je nejkratší možný interval.

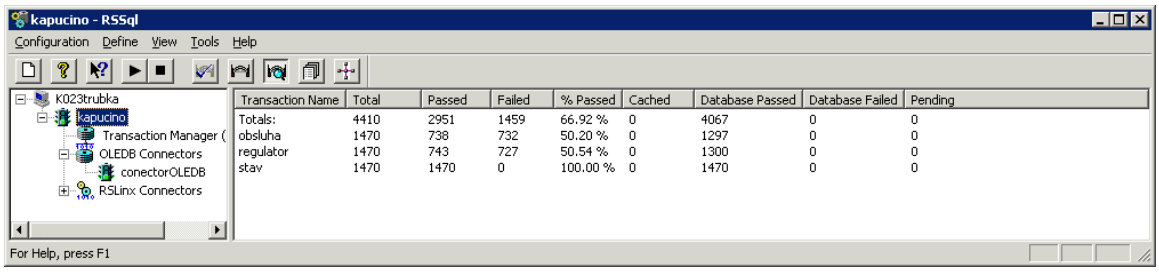


Obr. 5.14 Přehled nadefinovaných transakcí

Na ploše programu se mohou zobrazovat také další informace. Jejich přepnutí se může provést například pomocí ikon umístěných v nástrojové liště. Význam ikon je uveden v následující tabulce (Tabulka 5.2):

Ikona	Význam
	Přepne na zobrazení seznamu všech nadefinovaných transakcí (Obr. 5.14).
	Spouští zobrazení obrazovky s podrobnými diagnostickými informacemi o přenosu dat v jednotlivých transakcích (Obr. 5.15).
	Vypisuje obsah souboru *error.log*, který obsahuje popis problémů v jednotlivých objektech vybraných vlevo ve stromu projektu.
	Zobrazí úvodní obrazovku RSSql (Obr. 5.11).

Tabulka 5.2 Přehled ikon sloužících k přepnutí informací na pracovní ploše



Obr. 5.15 Statistiky přenosu dat

Po nastavení všech transakcí a jejich parametrů můžeme pomocí položky v menu **Configuration > Start** nebo příslušné ikony spustit přenos dat. Podrobnosti o celém programu RSSql a jeho konfiguraci lze nalézt v [15].

5.3.2 Databázový server MSSQL

Databázový server MSSQL je relační databáze od firmy Microsoft. Tento server je nainstalovaný na počítači, k němuž je připojen model.

Databáze pro model se nazývá *Kapucino* a obsahuje šest tabulek, z toho první čtyři jsou využívány k ukládání stavu automatu. Fyzický model databáze je na diagramu (Obr. 5.16).

Do tabulky **stav** jsou ukládána pomocí RSSql data informující o stavu modelu, a to pomocí procedury *insert_stav* (Příloha D.1). Procedura k datům doplní aktuální čas a přidá je jako nový řádek do tabulky. Před skončením jsou odstraněny řádky, které jsou starší než 15 minut. Tato tabulka tedy slouží zároveň k uchovávání stavu modelu v čase.

Tabulky **PID** a **LOG** obsahují pouze jeden řádek s nastavením regulátoru a logického řízení. První sloupec každé tabulky obsahuje logickou jedničku nebo nulu informující o volbě řízení. Hodnoty z těchto dvou tabulek jsou pomocí procedury *regulátor* (Příloha D.1) předávány do RSSql.

Stejně jako tabulky **PID** a **LOG** je i tabulka **obsluha** tvořena jedním řádkem. V tomto řádku jsou doplňkové informace pro řízení modelu. Sloupec *posledni* je specifický, neboť obsahuje čas posledního přístupu k modelu z webových stránek. Tuto hodnotu využívá procedura *obsluha_modelu* (Příloha D.1), která v případě, že se k modelu nepřistupuje po dobu pěti minut, automaticky vypne model nastavením jedničky do sloupce *vypnout*. Procedura *obsluha_modelu* se automaticky spouští každou jednu sekundu při předávání dat do RSSql.

stav	
Cas	datetime
Laser	int
Laserd	int
Tlak	float
Napeti	float
Otacky	float
Z1	int
Z2	int
Z3	int
Z4	int
Z5	int
Z6	int
PLC	int
PC	int
Rucni	int
Svetlo	int
Ridi_PID	int
Ridi_LOG	int
Zadana_PID	int

PID	
pid	int
zadana	int
P	float
I	float
D	float

obsluha	
local_control	int
svetlo	int
vypnout	int
posledni	datetime

LOG	
log	int
en0	int
en1	int
en2	int
en3	int
en4	int
en5	int
en6	int
en7	int
a0	float
a1	float
a2	float
a3	float
a4	float
a5	float
a6	float
a7	float

rezervace	
id_user	int
cas	datetime

1 ← N

uzivatel	
id	int
usrname	varchar(50)
jmeno	varchar(255)

Obr. 5.16 Fyzický model databáze

Poslední dvě tabulky nemají s modelem přímo nic společného, slouží k rezervaci modelu v různých časech různými uživateli (5.3.4). Tabulka **rezervace** obsahuje řádek *id_user* a *cas*. Sloupec *cas* informuje o časovém údaji rezervace a *id_user* je klíčem do tabulky **uzivatel.** Tabulka **uzivatel** doplňuje rezervaci o jméno uživatele a jeho uživatelské jméno, pod kterým k modelu přistupuje.

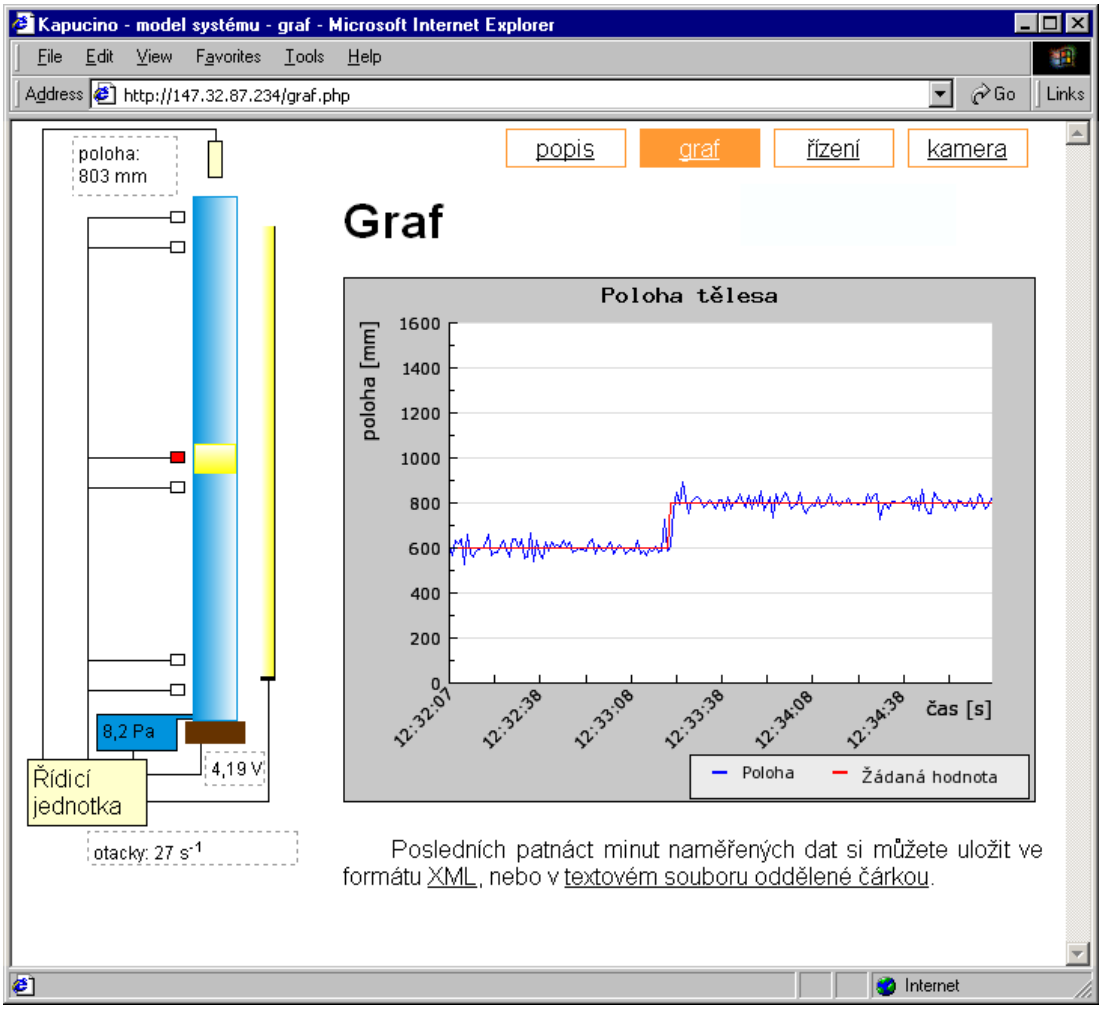
5.3.3 Web server

Posledním softwarem potřebným pro zobrazování vizualizace je webový server. Je používán server Apache. S podporu PHP skriptovacího jazyka a nastaveným GD modulem. GD modul je modul pro zpracování obrázků a je nutný pro zobrazování výstupu knihovny jpgraph určené pro zpracování naměřeného stavu modelu do grafu.

5.3.4 Webová vizualizace

Úvodní stránka vizualizace je umístěna na adrese http://vznaseni.felk.cvut.cz . Obsahuje schéma modelu s jeho popisem. Jak schéma, tak popis je totožný s vizualizací z automatu, ale zdrojový kód daleko lépe odpovídá pravidlům přístupnosti. Schéma modelu se obnovuje na stejném principu jako na stránkách z automatu. A to jednou za 500 ms, celkové zpoždění mezi automatem a webem je tedy maximálně 1,5 s (1 s mezi PLC a PC; 0,5 s mezi PC a webem). XML soubor s aktuálními daty je na relativní adrese /data.xml.

Novou částí vizualizace je stránka s grafem polohy tělesa v trubce v závislosti na čase (Obr. 5.17). Graf obsahuje dva průběhy. Modrý zobrazuje polohu tělesa měřenou pomocí laserového snímače. Červený průběh zobrazuje žádanou hodnotu, na kterou reguluje polohu tělesa PID regulátor. Tento druhý průběh nemusí být zobrazen, pokud je PID řízení vypnuto.

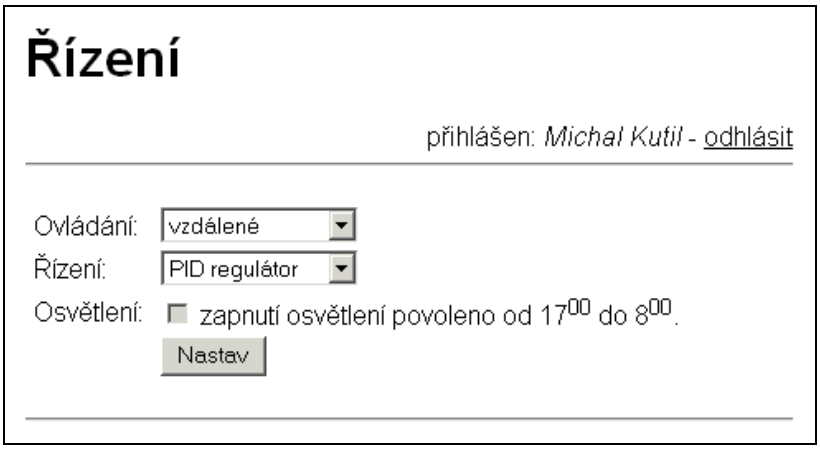


Obr. 5.17 Stránka s grafem polohy tělesa v čase

Graf je obrázek dynamicky generovaný v PHP pomocí knihovny jpgraph. Obnovování grafu probíhá každé čtyři sekundy pomocí javascriptu a data pro vykreslení grafu jsou vzorkována s periodou jedné sekundy. Aby nedocházelo k přílišnému přetěžování serveru, při generování je graf na serveru ukládán. Nový graf se generuje teprve tehdy, pokud je uložený graf starší než čtyři sekundy.

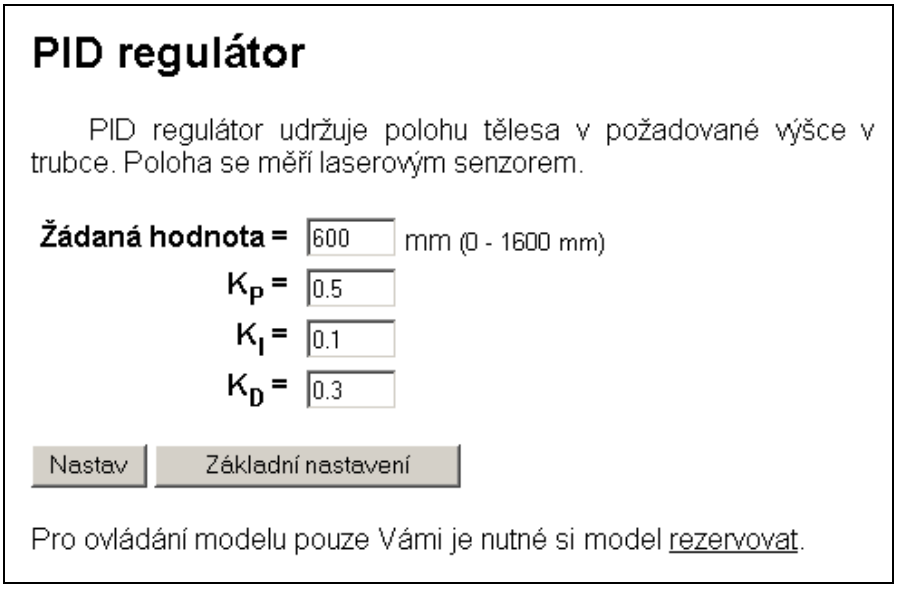
Pod grafem jsou odkazy na dva soubory, které obsahují všechna naměřená data za posledních patnáct minut. První soubor na relativní adrese /data15.xml je dokument typu XML a jeho DTD je v Příloze D.3. Druhý soubor na relativní adrese /data15.php je textový soubor s hodnotami oddělenými čárkou. Tento soubor je vhodný například pro zpracování dat v programu MS Excel.

Další novinkou oproti vizualizaci z automatu je rozšíření části informující o stavu „řízení“. První stránka je stejná, informuje o zvoleném řízení a jeho parametrech, ve spodní části je však odkaz na formulář pro zadání uživatelského jména a hesla, které je nutné zadat pro přístup k řízení. Uživatelské jméno a heslo jsou stejné jako v e-learningovém modulu elektronické učebnice SARI (http://dce.felk.cvut.cz/sari). Pro přístup k modelu musí mít uživatel přiřazenu výukovou skupinu „model“, podrobné informace o učebnici jsou uvedeny v [1]. Po úspěšné autorizaci se na stránce řízení dají nastavovat parametry v několika formulářích. První formulář slouží pro volbu typu řízení, zde je možné si zvolit mezi vzdáleným a lokálním řízením. Při volbě vzdáleného řízení se dá dále nastavit typ řízení: PID regulátor nebo logické řízení. Poslední položkou prvního formuláře je volba sepnutí osvětlení.



Obr. 5.18 Formulář s volbou řízení

Druhý formulář se mění podle zvoleného typu řízení. Pokud je zvolena PID regulace, nastavují se do formuláře konstanty K_P, K_I, K_D regulátoru a žádaná hodnota (Obr. 5.19).

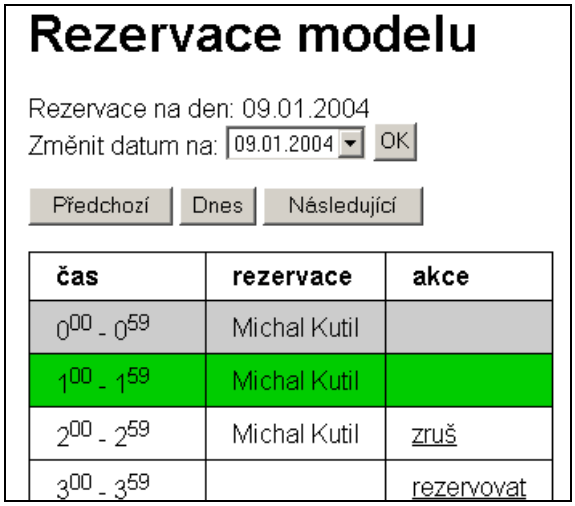


Obr. 5.19 Nastavení PID regulátoru

Při nastavení logického řízení (Obr. 5.20) se nastavují parametry algoritmu popsaného v kapitole 4.1.1.

Obr. 5.20 Nastavení logické regulace

Aby k modelu mohlo přistupovat více uživatelů, je pod formuláři umístěn odkaz na stránku s rezervačním systémem. Zde si může každý uživatel rezervovat model vždy na celou hodinu. Pokud je tedy model v daný čas rezervován, může ho ovládat pouze uživatel, který provedl rezervaci, v opačném případě mohou parametry řízení nastavovat všichni, kdo se k modelu přihlásí. Maximální počet hodin, které si uživatel může rezervovat, se dá nastavit v konfiguračním souboru vizualizace.



Obr. 5.21 Rezervace modelu

V tomto souboru se dá také uvést uživatelské jméno osoby (administrátora), která může bez omezení zrušit rezervace jiných uživatelů. Nastavení konfiguračního souboru jsou následující:

- Rozsah dnů, v kterých je možné provádět rezervaci modelu.
- Čas, kdy je povoleno zapínat osvětlení.
- Výchozí nastavení PID regulátoru.
- Nastavení maximálního počtu hodin pro rezervaci modelu na jednoho uživatele.
- Nastavení administrátora rezervace.

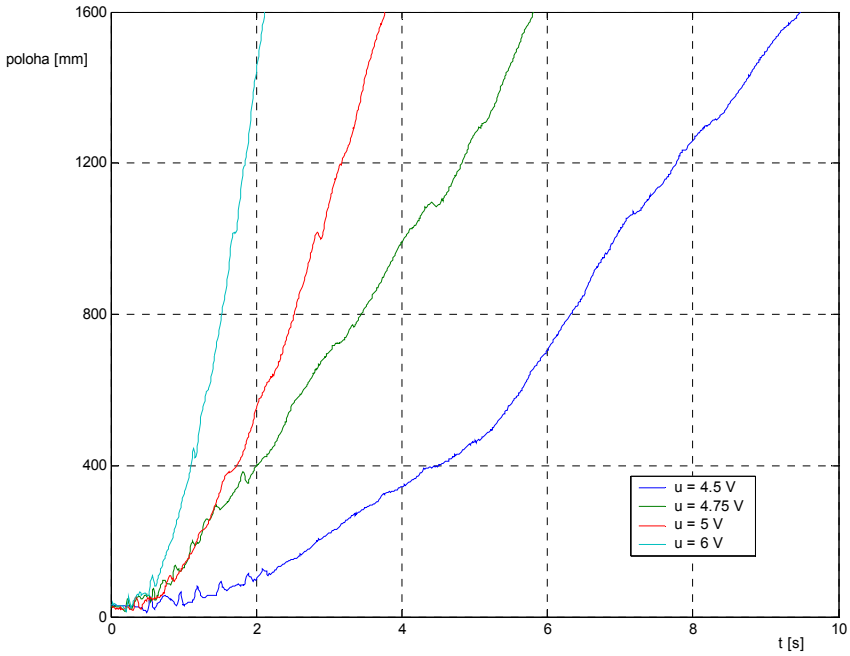
Pro sledování modelu jsem vytvořil dvě webové vizualizace. První jsou stránky z PLC, které mají spíše informativní význam, neboť z nich nelze zasahovat do systému. Jejich výhodou je jednoduchost, kdy se procesor automatu připojí přímo k síti internet. Stránky z PC naproti tomu umožňují nastavovat parametry řízení modelu a udržovat správu uživatelů přistupujících k modelu. Nevýhodou jsou jednak náklady na pořízení PC a softwaru a dále několikrát složitější nastavení tohoto PC.

6 Identifikace modelu a návrh řízení

6.1 Identifikace modelu

Abychom mohli pro model navrhnout kvalitní řízení, potřebujeme znát jeho matematický popis. Soustava má jeden vstup a několik výstupů. Pro identifikaci a matematický popis budeme uvažovat soustavu SISO, kde výstupem je poloha tělesa měřená laserovým čidlem. Vstupem je napětí nastavované na větráku.

Pro první seznámení s dynamikou systému změříme nejprve několik odezev na různě velké skoky napětí vstupního signálu *u* na ventilátor (Obr. 6.1).

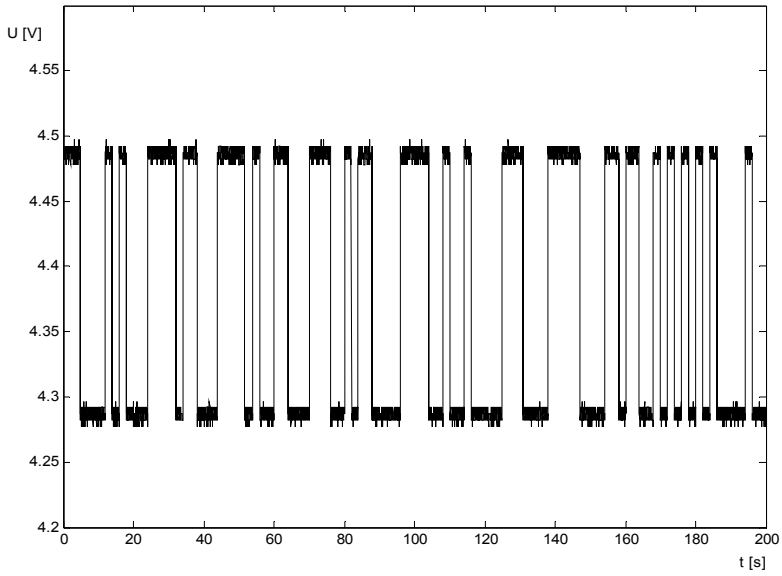


Obr. 6.1 Odezvy na skokový signál

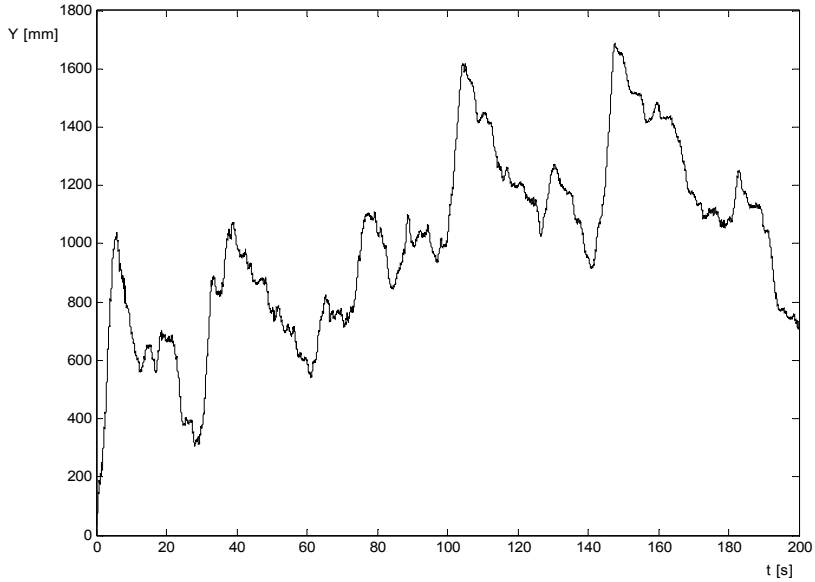
Systém je nestabilní a nelineární. Nestabilita je vidět z naměřených odezev. Nelinearita je dána větrákem (Obr. 3.17), respektive jeho klidovým a suchým třením. To můžeme pozorovat například při řízení modelu, kdy se pro udržení tělesa v žádané poloze mění velikost akčního zásahu s polohou tělesa.

Poté, co jsme se seznámili s dynamikou systému, nalezneme jeho matematický model. Je důležité si uvědomit, že model obsahuje nelinearity, které jsou při následující identifikaci zanedbány. Identifikaci provedeme experimentálně [5]. na vstup soustavy přivedeme signál s charakteristikou bílého šumu (Obr. 6.2) a měříme výstup soustavy

(Obr. 6.3). Doba měření byla 1000 s (na obrázku je prvních 200 s měření). Vzorkovací perioda je $T_S = 0{,}01$ s.



Obr. 6.2 Vstupní signál u pro identifikaci



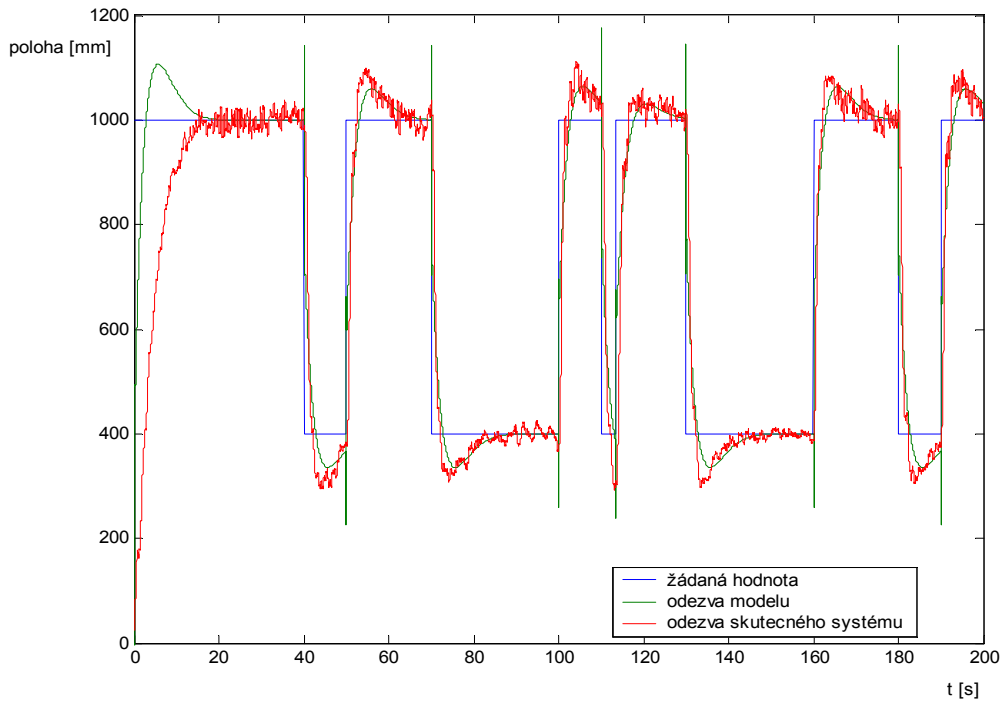
Obr. 6.3 Odezva y na pseudonáhodný signál

Pro identifikaci jsem použil Identifikační toolbox Matlabu s jeho grafickou nadstavbou *ident*. Použil jsem matematický model se strukturou ARX, pro nějž jsem

z načtených průběhů zanedbal prvních deset sekund měření (obsahuje nelinearitu při rozběhu větráku) a odstranil střední hodnotu. Vyzkoušel jsem několik nastavení počtu nul a pólů a vypočtený model jsem porovnal se skutečným systémem. Nejlepší výsledky jsem dosáhl s modelem čtvrtého řádu, z kterého jsem poté odstranil dvě nuly, neboť byly do modelu zaneseny ze vzorkováním při diskrétním měření. Výsledný přenos systému je tedy

$$G = \frac{-8{,}8 \cdot 10^6 s + 5{,}1 \cdot 10^8}{s^4 + 132{,}8 s^3 + 5{,}7 \cdot 10^4 s^2 + 2{,}6 \cdot 10^6 s - 2{,}2 \cdot 10^4}. \tag{6.1}$$

Ověření, zda model odpovídá identifikovanému systému, jsem provedl porovnáním odezvy skutečného systému a modelu v regulační smyčce (Obr. 6.4). Podrobnosti o regulaci nejsou v této části důležité a jsou popsány v kapitole 6.2.

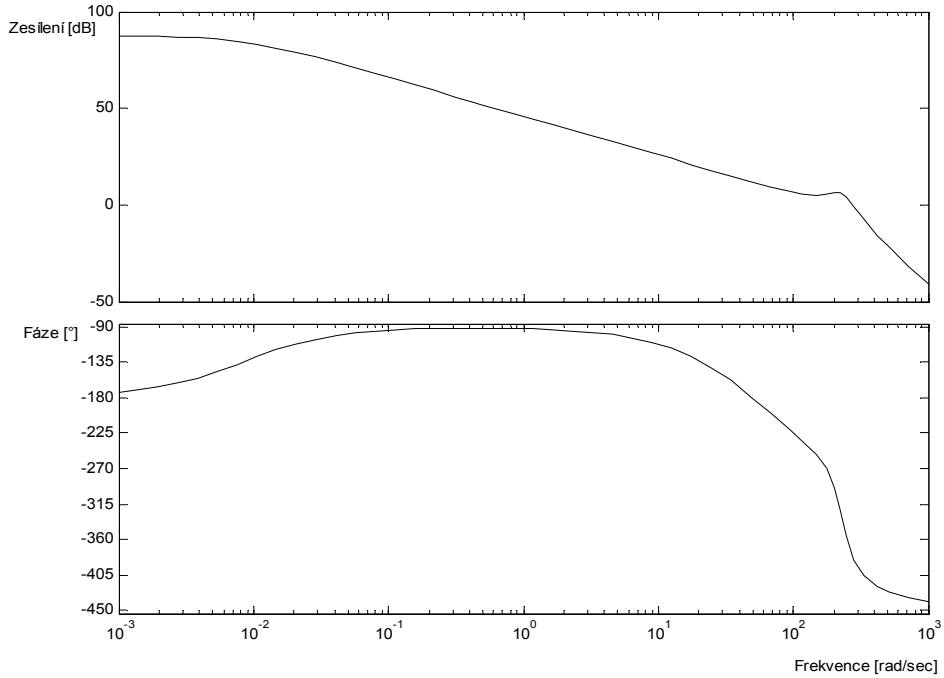


Obr. 6.4 Ověření modelu

Odchylka v prvních 20 sekundách měření je dána nelinearitou při rozběhu větráku ze zastaveného stavu. Model je nestabilní s následujícím rozmístěním nul a pólů:

$$\begin{aligned} p_{1,2} &= -41{,}6 \pm 225{,}4i \qquad & z_1 &= 58{,}6 \\ p_3 &= -49{,}5 \qquad & & . \\ p_4 &= 0{,}0084 \qquad & & \end{aligned} \tag{6.2}$$

Frekvenční charakteristika modelu je:



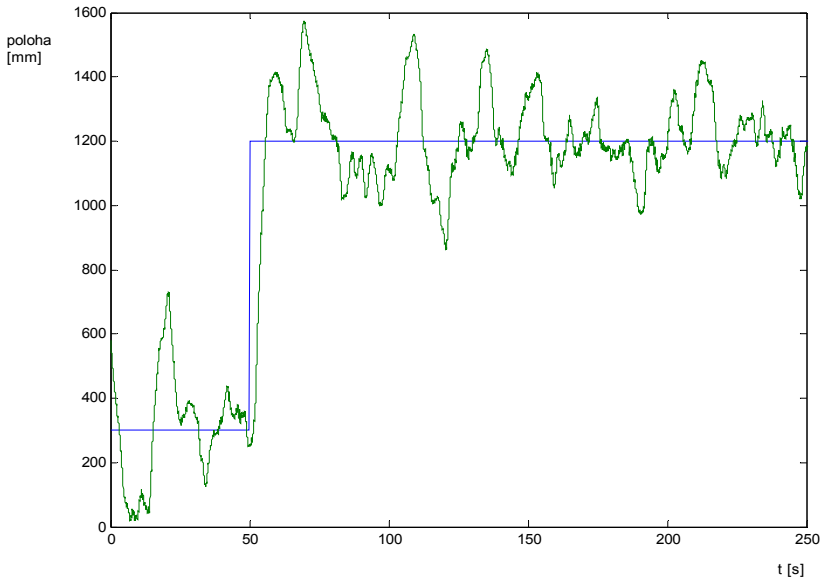
Obr. 6.5 Frekvenční charakteristika

6.2 Návrh regulátoru

Pro návrh regulátoru jsem použil několik metod z teorie řízení. Nejprve jsem chtěl použít PID regulátor a jeho parametry nastavit pomocí metody Ziegler-Nichols [4]. Vzhledem k tomu, že systém obsahuje příliš mnoho nelinearit, nedává tato metoda použitelný výsledek. Použití frekvenčních metod syntézy, stejně jako metoda geometrického místa kořenů, nejsou pro tento systém vhodné, neboť regulátor navržený těmito metodami nastavuje v regulační smyčce akční zásah několikanásobně větší než je fyzikálně možné.

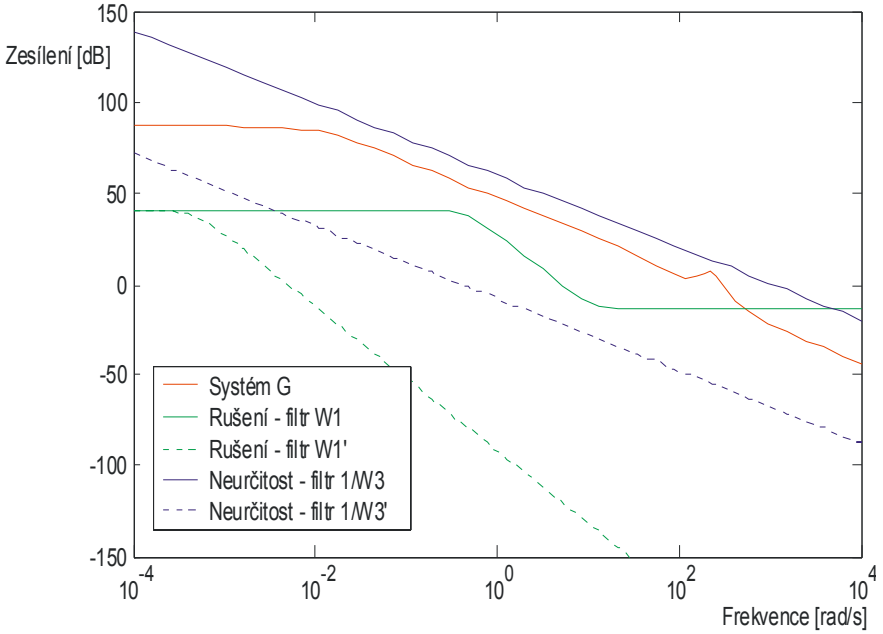
Jelikož je model připojen k PLC, je možné pro návrh konstant regulátoru použít software RSTune určený pro analýzu systému a následný návrh regulátoru [7], [16]. Regulátor se navrhuje z frekvenčních charakteristik ve spojení s expertním systémem. Navržený PID regulátor má konstanty $K_P = 0{,}06$; $K_I = 0{,}0084$ a $K_D = 0{,}023$.

Příklad řízení takto nastaveným regulátorem je na obrázku (Obr. 6.6):



Obr. 6.6 Regulace navržená nástrojem RSTune

Poslední metoda, kterou jsem navrhoval regulátor pro model, vychází z teorie robustního řízení [3]. Metoda hledá pomocí normy H_∞ a zadaných vah W_1 a W_2 optimální regulátor. Váhy W_1 a W_2 jsem volil tak, jak je uvedeno na následující frekvenční charakteristice (Obr. 6.7):

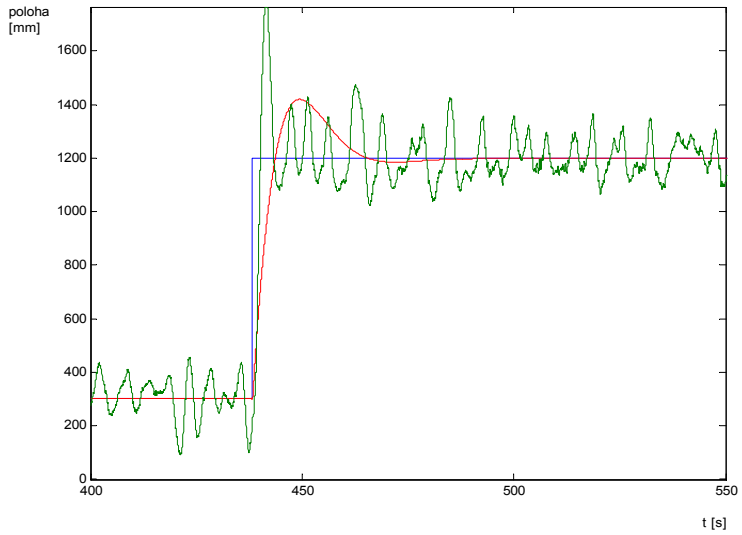


Obr. 6.7 Nastavení vah W_1 a W_2

Váha W_1 je zelenou barvou, inverze váhy W_2 je barvou modrou. Takto navržený regulátor je sice rychlý, ale nebere v úvahu fyzikální omezení akční veličiny. Proto jsem musel změnou vah na W_1' a W_2' (na grafu vyznačeny čárkovaně) výslednou regulaci zpomalit. Regulátor má přenos

$$G_R = \frac{3{,}1s^5 + 378{,}7s^4 + 1{,}7\cdot 10^3 s^3 + 6{,}6\cdot 10^6 s^2 + 1\cdot 10^6 s + 1\cdot 10^4}{s^6 + 1197s^5 + 4{,}8\cdot 10^5 s^4 + 7{,}3\cdot 10^7 s^3 + 4{,}1\cdot 10^9 s^2 + 2{,}9\cdot 10^6 s + 1018}. \quad (6.3)$$

Průběh regulace takto zpomaleným regulátorem je na (Obr. 6.8). Modrá barva zobrazuje žádanou hodnotu, zelená je skutečná poloha tělesa a červená je simulace na matematickém modelu:



Obr. 6.8 Regulace robustně nastaveným regulátorem

Žádná z probraných metod nenalezla kvalitní regulátor, a tak se jako nejlepší řízení jeví PID regulátor nastavený metodou „ruční optimalizace“, který jsem použil pro první seznámení s modelem a také například při ověřování matematického modelu systému. Přenos tohoto regulátoru je

$$G_R = \frac{0{,}3s^2 + 0{,}5s + 0{,}1}{s^2 + 100s} \quad (6.4)$$

a příklad jeho řízení je na obrázku (Obr. 6.4) na straně 66.

7 Závěr

Práce popisuje návrh a vývoj modelu použitelného pro realizaci a testování algoritmů a postupů použitelných při internetovém řízení. Vytvořený model splňuje všechny podmínky, které byly stanoveny před jeho návrhem. Je relativně pomalý a jeho stav lze tedy pohodlně sledovat pomocí webové vizualizace. Pohyblivá část je dostatečně veliká pro sledování pomocí webové kamery. Veškeré ovládání modelu je navrženo tak, že není potřeba lidská obsluha, a to ani pro přepínání mezi řídicími systémy. Velkou výhodou je, vzhledem k jeho umístění v laboratoři, i tichý chod, který neruší probíhající výuku. Pro dosažení vysoké spolehlivosti jsou na modelu použity průmyslové snímače, které jsou odolné proti rušení a jiným neočekávaným jevům, které mohou během vzdáleného řízení vzniknout. Protože používají unifikované výstupy, nebude v budoucnosti v případě poruchy problém s opravou modelu. Použití programovatelného logického pole v řídicí jednotce nám umožňuje, pouze změnou programu, rozšířit funkci modelu, bez nutnosti zásahu do elektroniky. Také by bylo vhodné v budoucnu sledovat vývoj firmware pro webovou kameru. Pokud by byla implementována možnost vysílat pouze výřezu obrazu, doporučuji tento firmwaru použít. Kleslo by množství přenášených dat bez ztráty informační hodnoty obrazu. Kamera je pro aktualizaci firmwaru připravena.

Model je připojen ke dvěma řídicím systémům – k programovatelnému logickému automatu PLC-5 a k osobnímu počítači. Oba systémy mohou současně sledovat stav modelu, ale akční zásahy do soustavy jsou povoleny pouze jednomu z nich. Programovatelný logický automat obsahuje program zajišťující komunikaci s modelem, jeho řízení a přípravu dat pro vizualizaci. Řízení modelu může probíhat ve dvou režimech, jednak použitím PID regulace, jednak čistě logickým řízením. Procesor programovatelného automatu obsahuje webový server s podporou http protokolu, což umožňuje vytvářet webové stránky přímo v automatu. Tento webový server je teprve v rané fázi vývoje, jeho verze je podle hlavičky http protokolu 0.1. Ačkoliv obsahuje nedostatky, například v implementaci normy html nebo v množství zpracovávaných požadavků, jde jistě o produkt, který v budoucnu nalezne široké využití. Dle mého názoru by se budoucí vývoj serveru měl spíše zaměřit na lepší implementaci http protokolu, s možností konfigurace některých parametrů, než na implementaci html, která serveru nepřísluší. Porovnání různých automatů Allen-Bradley z pohledu připojení k internetu a implementace webového serveru je uvedeno v úvodu kapitoly „Webové stránky z PLC“.

Osobní počítač je použit jednak jako řídicí systém a jednak zajišťuje plnohodnotnou vizualizaci pro programovatelný logický automat. Při řízení je ke komunikaci s modelem použita měřicí karta ovládaná z programu Matlab. V Matlabu je pro přístupu ke kartě použit Real-Time toolbox. Pro monitorování stavu modelu a výpočet akčního zásahu je použito grafické rozhraní Simulink, pro které jsem vytvořil subsystém zapouzdřující v přístup k modelu.

Komunikace mezi programovatelným logickým automatem a osobním počítačem je realizována programem RSSql. Tento program umožňuje synchronizovat data mezi automatem a databází na počítači. Na základě dat z databáze se vytváří vizualizace pro model. Tato vizualizace je složena z několika webových stránek generovaných skriptovacím jazykem PHP. Použití PHP umožňuje, mimo jiné, zpracovávat data z databáze, například do formátu XML nebo do grafické podoby formou grafu. Rezervační systém umožňuje přístup k ovládání modelu více uživatelům. Pro jejich autorizaci je použit modul učebnice SARI. Přístup k vizualizaci, běžící na osobním počítači a v programovatelném logickém automatu, může probíhat současně.

Na závěr jsem provedl základní identifikaci modelu, při které jsem získal přenos čtvrtého řádu. Identifikace zanedbává nelinearity modelu, ale pro vytvoření prvotní představy o modelu bude postačovat. Podle získané identifikace jsem prováděl návrh regulátorů. Základní metody teorie řízení pro návrh regulátorů (Ziegler-Nichols, frekvenční charakteristiky, geometrické místo kořenu) nenalezly vhodný regulátor, což je pravděpodobně dáno zanedbanými nelinearitami. Použitelný regulátor nalezl program RSTune. Také pomocí teorie robustního řízení se mi podařilo navrhnout použitelný regulátor. Nejlepší regulátor jsem však nalezl pomocí „ruční optimalizace“.

Pokračováním této práce by mohla být identifikace modelu jako systému s jedním vstupem a více výstupy, založená na složitějších matematických postupech, jako identifikace v uzavřené smyčce nebo identifikace s přídavným signálem. Také návrh regulátoru podle metod moderní teorie řízení je vhodným námětem pro další práci.

Literatura

[1] FUKA, J. – KUTIL, M. – VANĚK, F. SARI-Interntet Textbook for Basic Control Education. In: *Proceedings of Process Control '03*. 1. vyd. Bratislava: Slovak University of Technology, 2003. p. ISBN 80-227-1902-1.

[2] HAROLD, R.E. – MEANS.S.W *XML v kostce: Pohotová referenční příručka.* 1. vyd. Praha: Computer Press, 2002. 439 s. ISBN 80-7226-712-4.

[3] JOHN, D. – FRANCIS, B. – TANNENBAUM, A. *Feedback Control Theory*. New York: Macmillan, 1992. 227 s. ISBN 0-02330011-6.

[4] JOHN, J. *Systémy a řízení.* 1.vyd. Praha: ČVUT, 1996. 109 s. ISBN 80-01-01474-6.

[5] NOSKIEVIČ, P. *Modelování a identifikace systémů*. 1.vyd. Ostrava: Montanex, 1999. 276 s. ISBN 80-7225-030-2.

[6] MAREŠ, I. *Příprava projektově orientované výuky.* Praha, 2002. 67s. Diplomová práce na Elektrotechnické fakultě ČVUT na Katedře řídicí techniky. Vedoucí diplomové práce Ing. Jindřich Fuka.

[7] NEKVINDA, J. *Příprava projektově orientované výuky řídicích systémů.* Praha, 2004. Diplomová práce na Elektrotechnické fakultě ČVUT na Katedře řídicí techniky. Vedoucí diplomové práce Ing. Jindřich Fuka. (obhajoba: únor 2004).

[8] PEKAŘ, J. *Matlab web Server a okolní svět*. Praha, 2002. Diplomová práce na Elektrotechnické fakultě ČVUT na Katedře řídicí techniky. Vedoucí diplomové práce Ing. František Vaněk.

[9] VANEK, F. – KUTIL, M. Matlab web server - application in Control. In: *Proceedings of the 5th International Scientific - Technical Conference Process Control 2002.* Krejčí, L. 1. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2002. p. 172. ISBN 80-7149-452-1.

[10] *Součástky pro elektrotechniku*. Praha: GM electronic, 2002.

[11] *Katalog elektronických součástek, konstrukčních dílů, bloků a přístrojů.* 1. vyd. Praha: Tesla Eltos, 1987. s. 5/31.

[12] *Enhanced and Ethernet PLC-5 Programmable Controlers: User Manual*. USA: Rockwell Automation Inc., 1998. 1785-6.5.12.

[13] *Ethernet PLC-5 Programmable Controlers: Product Release Notes.* USA: Rockwell Automation Inc., 2002. 1785-RN003E-EN-P.

[14] *Remote I/O Adapter Module: User Manual.* USA: Rockwell Automation Inc., 1996. 1794-6.5.3.

[15] *RSSql: User's Manual*. USA: Rockwell Automation Inc., 2003. Doc ID RSSQL-UM001C-EN-E.

[16] *RSTune: User's Guide*. USA: Rockwell Automation Inc., 1999.

[17] *PCI-1710 Series: User's Manual.* 1. vyd. Taiwan: Advantech Co., Ltd., 2001. Part No. 2003171600.

[18] BIEN, J. *CSS Lampa* [online]. 4.11.2003, [cit. 12.1.2004] <http://www.mraveniste.org/weblog/css-lampa/>.

[19] HAVEL, J. XML a Javascript poprvé. *XML pro web aneb od teorie k praxi* [seriál online]. 14.2.2003, [cit. 12.1.2004]. <http://www.zive.cz/h/Programovani/Ar.asp?ARI=109401&CAI=2094>. ISSN 1212-8554.

[20] KOPTA, M. *Web ovládnou aplikace* [online]. 19.11.2002, [cit. 12.1.2004]. <http://www.lupa.cz/clanek.php3?show=2591>. ISSN 1213-0702.

[21] LACOURBA, V. *World Wide Web Consortium* [online]. c1994, Last modified 8.1.2004 [cit.: 12.1.2004]. <http://www.w3.org/>.

[22] PROKOP, M. *Jak počítat návratnost investic do přístupnosti* [online]. 26.11.2003, [cit. 12.1.2004]. <http://www.sovavsiti.cz/weblog/2003/11/26.html#bp20031126_pristupnost>. ISSN 1213-9076.

[23] Rockwell Automation Inc. *EtherNet/IP Network.* [online]. 22.3.1999, [cit. 14.1.2004]. <http://www.ab.com/catalogs/b113/comm/ethernet.html>.

[24] STANÍČEK, P. *Dogma W4* [online]. 26.2.2003, [cit. 12.1.2004]. <http://www.pixy.cz/dogma/dogmaw41/>.

[25] *Archiv konference o SEO (Search Engine Optimization)* [online]. 2002, [cit. 12.1.2004]. <http://seo.nawebu.cz>.

[26] *Blind Friendly Web* [online]. c2001, [cit. 12.1.2004]. <http://www.blindfriendly.cz/>.

Seznam softwaru

Adobe Acrobat [počítačový program]. Ver. 5.0 CE. Adobe systems, Inc., 2001.

Apache2 [počítačový program]. Ver. 2.0.48. The Apache Software Foundation., 2003. [cit. 21.1.2004]. <http://www.apache.org/>.

MATLAB [počítačový program]. Ver. 6.5.1.199709. The MathWorks, Inc., 2003.

Microsoft Office 2000 [počítačový program]. Ver. 9.0.3821. Microsoft Corporation, 2000.

Microsoft SQL Server 2000 [počítačový program]. Ver. 8.00.760. Microsoft Corporation, 2002.

Microsoft Management Console 2.0 [počítačový program]. Ver. 5.1. Microsoft Corporation, 2001.

Orcad Family [počítačový program]. Ver. 9.2. Cadence Design Systems, Inc., 2000.

PERSSON, J. *JpGraph* [knihovna jazyka PHP]. Ver. 1.14. 2003 [cit. 21.1.2004]. <http://www.aditus.nu/jpgraph/>.

PHP [počítačový program]. Ver. 4.3.4. The PHP Group, 2003. [cit. 21.1.2004]. <http://www.php.net/>.

RSLinx [počítačový program]. Ver. 2.41.00. Rockwell Software Inc., 2003.

RSLogix 5 [počítačový program]. Ver. 6.00.00. Rockwell Software Inc., 2002.

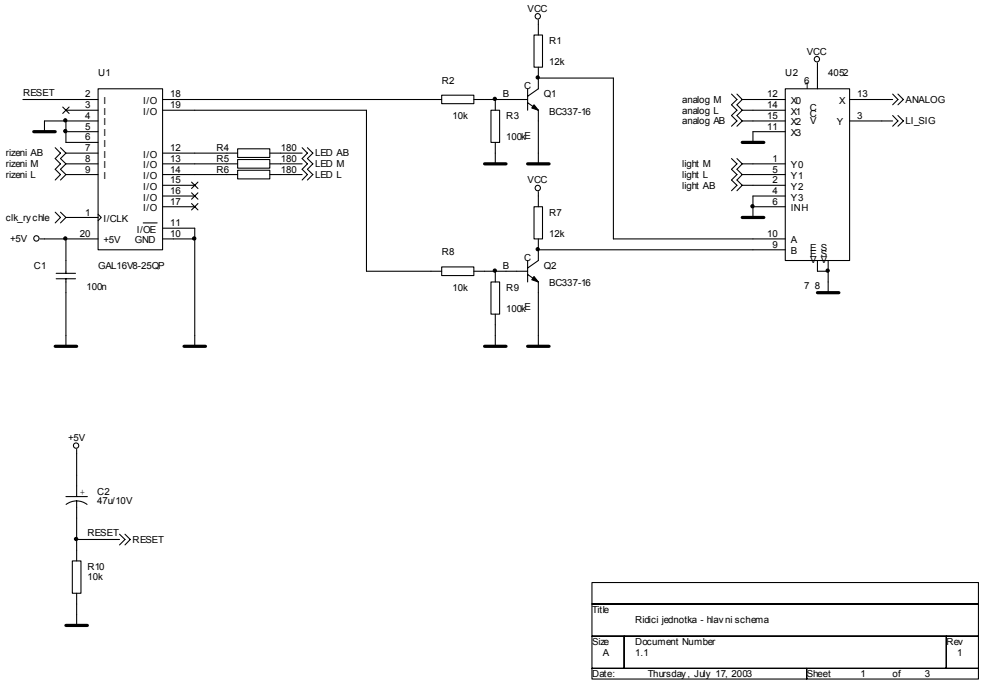
RSSql [počítačový program]. Ver. 6.00.02. Rockwell Software Inc., 2003.

RSTune [počítačový program]. Ver. 9.06.24. Rockwell Software Inc., 1999.

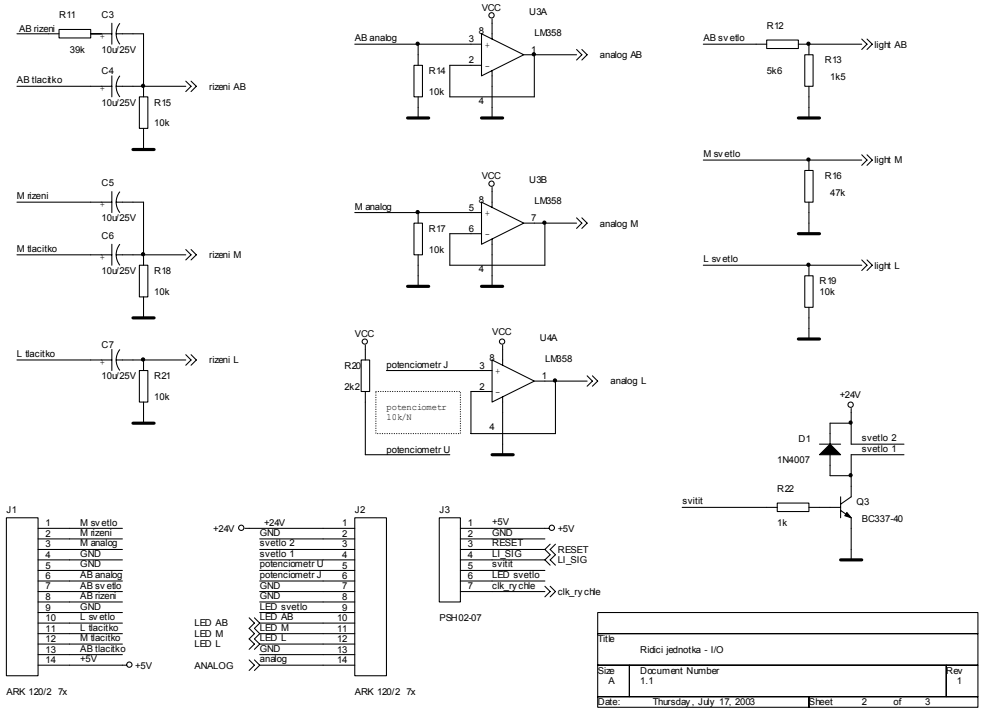
Simulink [počítačový program]. Ver. 5.1. The MathWorks, Inc., 2003.

A Příloha - Dokumentace k elektronice přípravku

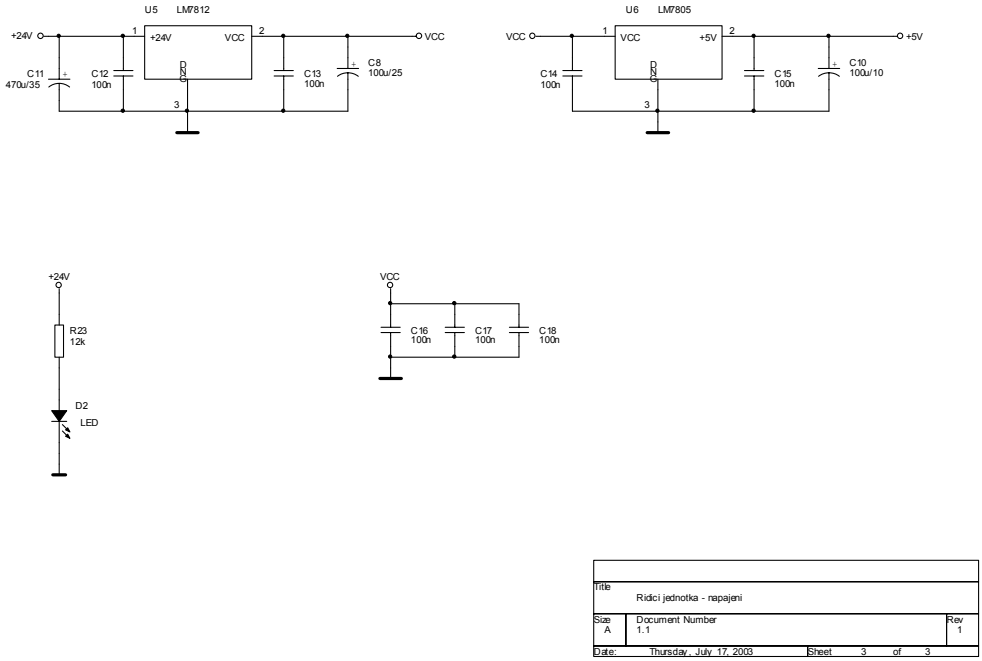
A.1 Řídicí jednotka



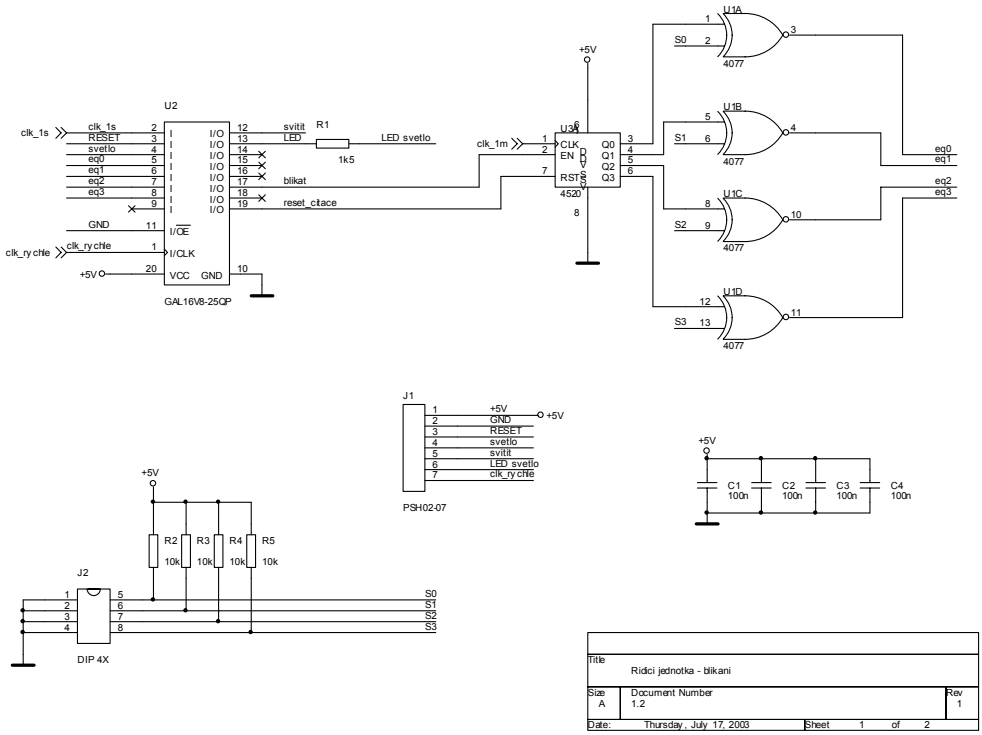
Obr. A.1 Schéma zapojení řídicí jednotky - hlavní část



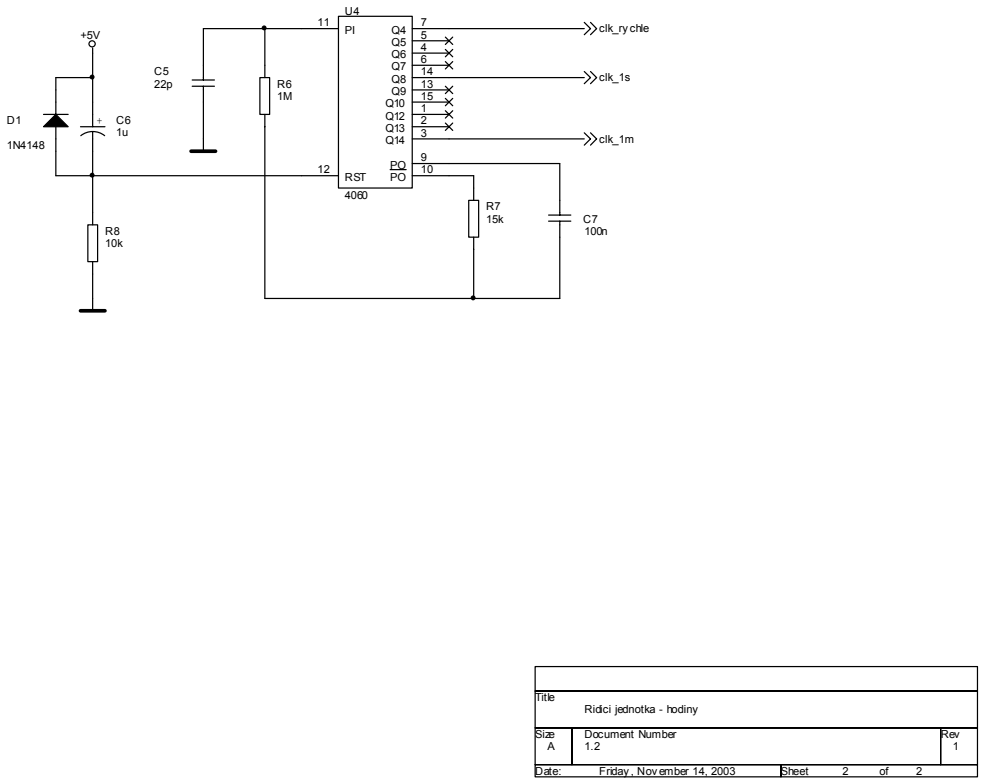
Obr. A.2 Schéma zapojení řídicí jednotky – ošetření vstupů a výstupů



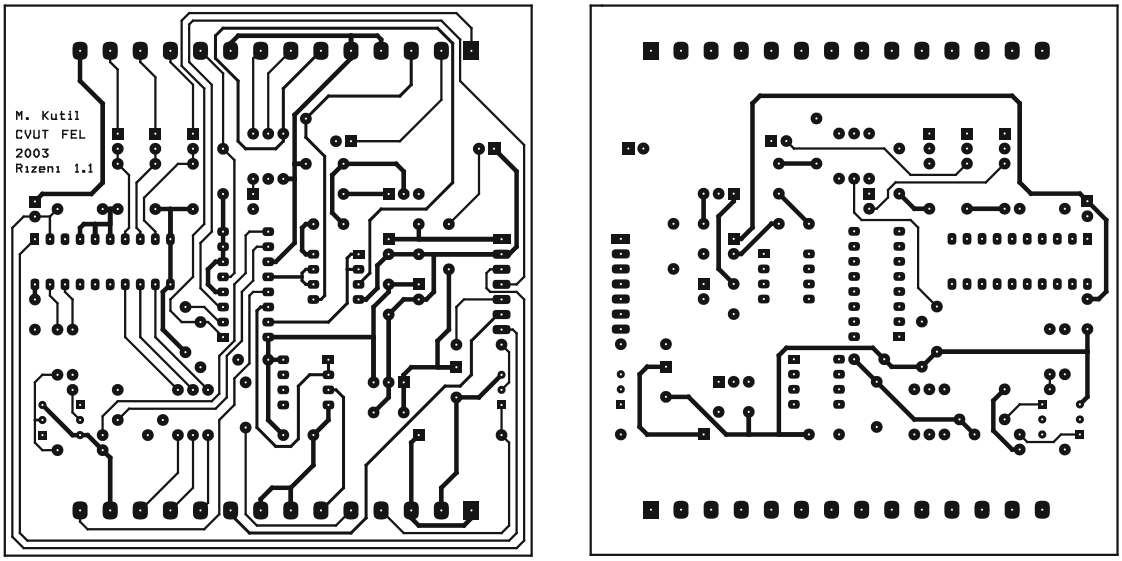
Obr. A.3 Schéma zapojení řídicí jednotky – napájení



Obr. A.4 Schéma zapojení řídicí jednotky – ochranný obvod světla

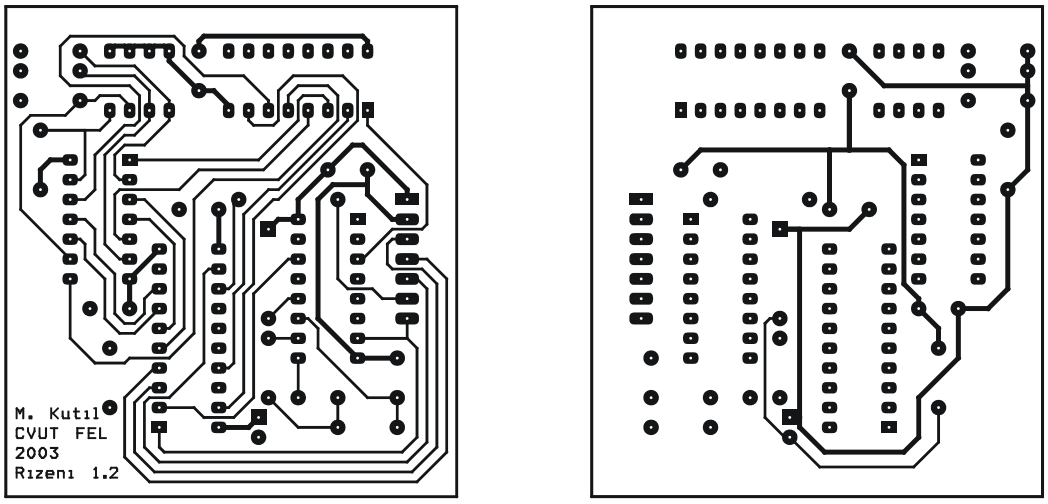


Obr. A.5 Schéma zapojení řídicí jednotky – hodiny



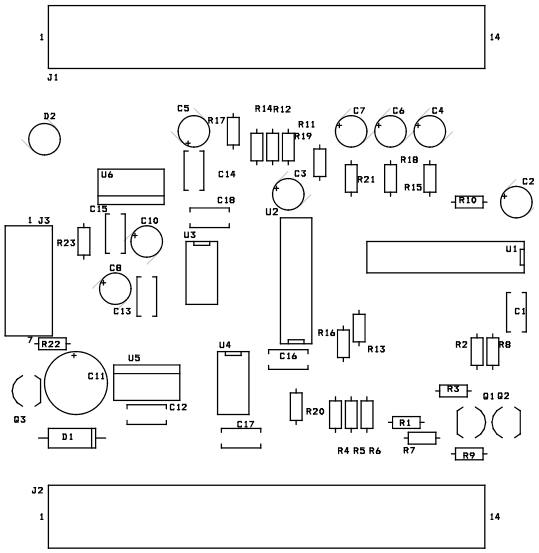
a) strana spojů **b) strana součástek**

Obr. A.6 Deska plošného spoje řídicí jednotky – hlavní část

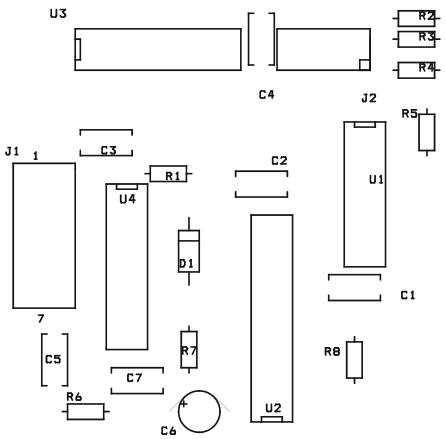


a) strana spojů **b) strana součástek**

Obr. A.7 Deska plošného spoje řídicí jednotky – ochranný obvod světla



Obr. A.8 Servisní potisk řídicí jednotky – hlavní část



Obr. A.9 Servisní potisk řídicí jednotky – ochranný obvod světla

A.1.1 Seznam součástek

Číslo	Počet	Reference	Hodnota
1	8	C1,C12,C13,C14,C15,C16,C17,C18	100n
2	1	C2	47μ/10V
3	5	C3,C4,C5,C6,C7	10μ/25V
4	1	C8	100μ/25V
5	1	C10	100μ/10V
6	1	C11	470μ/35V
7	1	D1	1N4007
8	1	D2	LED
9	2	J1,J2	ARK 120/2 7x
10	1	J3	PSH02-07
11	2	Q2,Q1	BC337-16
12	1	Q3	BC337-40
13	3	R1,R7,R23	12k
14	9	R2,R8,R10,R14,R15,R17,R18,R19,R21	10k
15	2	R9,R3	100k
16	3	R4,R5,R6	180
17	1	R11	39k
18	1	R12	5k6
19	1	R13	1k5
20	1	R16	47k
21	1	R20	2k2
22	1	R22	1k
23	1	U1	GAL16V8-25QP
24	1	U2	4052
25	2	U4,U3	LM358
26	1	U5	7812
27	1	U6	7805

Tabulka A.1 Seznam součástek pro hlavní část řídicí jednotky

Číslo	Počet	Reference	Hodnota
1	5	C1,C2,C3,C4,C7	100n
2	1	C5	22p
3	1	C6	1μ
4	1	D1	1N4148
5	1	J1	PSH02-07
6	1	J2	DIP 4X
7	1	R1	270
8	5	R2,R3,R4,R5,R8	10k
9	1	R6	1M
10	1	R7	15k
11	1	U1	4077
12	1	U2	GAL16V8-25QP
13	1	U3	4520
14	1	U4	4060

Tabulka A.2 Seznam součástek pro ochranný obvod řídicí jednotky

A.1.2 Program pro programovatelná logická pole

A.1.2.1 Hlavní program

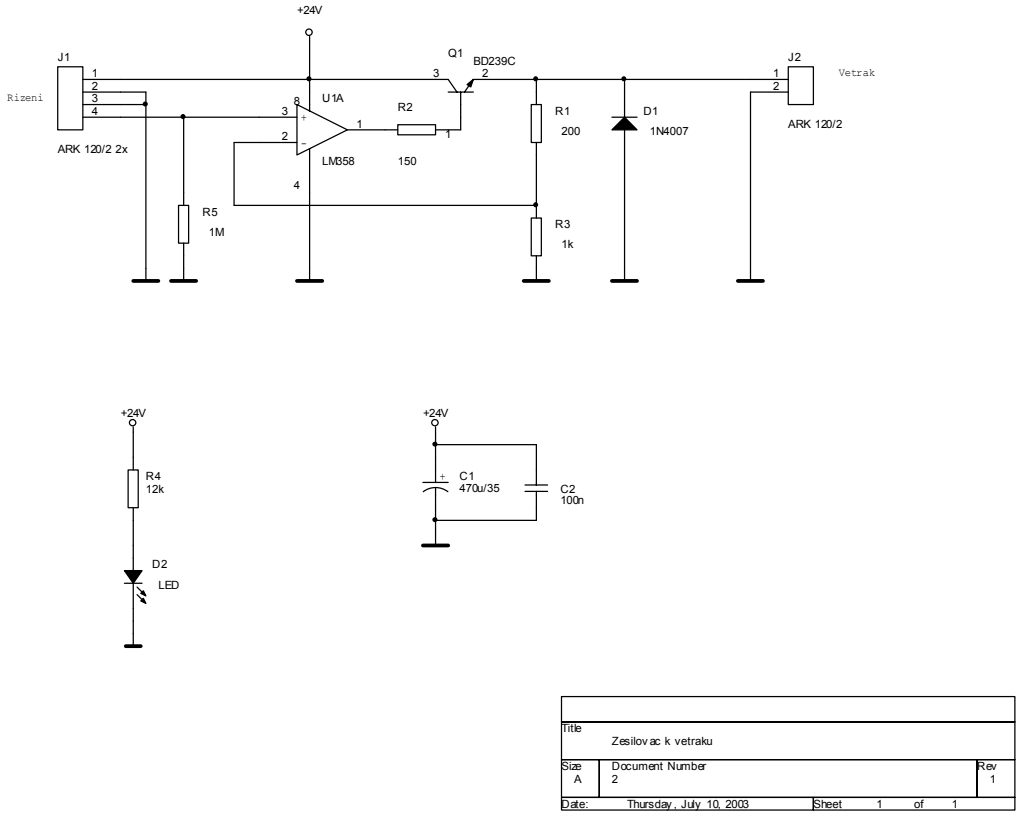
```
MODULE prepinani
TITLE 'Automat prepinani analogovych spinacu'
  clk, reset        PIN 1,2;
  tl3, tl2, tl1     PIN 4,5,6;
  tlacitka = [tl3, tl2, tl1];
  sig2,sig3,sig1    PIN 7,8,9;
  signaly  = [sig3,sig2,sig1];
  led2, led3, led1  PIN 14,13,12;
  leds = [led3,led2,led1];
  q1_tl, q0_tl      PIN 17,16 istype 'reg_d, buffer';
  !q1, !q0            pin 19,18; //negovane signaly
  sreg_tl = [q1_tl,q0_tl];
  q = [q1,q0];
  s0 = [1,1]; s1 = [0,1]; s2 = [1,0]; s3 = [0,0];
  C = .C.;
  P = .P.;
EQUATIONS
 sreg_tl.clk = clk;
STATE_DIAGRAM sreg_tl
 STATE s0: q = s0;
  IF reset THEN s0 with leds = 0 ELSE s1 with leds = 1;
 STATE s1: q = s1;
           IF reset THEN s0
           ELSE IF (tl2 # sig2) THEN s2 with leds = 2
           ELSE IF (tl3 # sig3) THEN s3 with leds = 4
           ELSE s1  with leds = 1;
 STATE s2: q = s2;
           IF reset THEN s0
           ELSE IF (tl1 # sig1) THEN s1 with leds = 1
           ELSE IF (tl3 # sig3) THEN s3 with leds = 4
           ELSE s2 with leds = 2;
 STATE s3: q = s3;
           IF reset THEN s0
           ELSE IF (tl1 # sig1) THEN s1  with leds = 1
           ELSE IF (tl2 # sig2) THEN s2  with leds = 2
           ELSE s3 with leds = 4;
END
```

A.1.2.2 Ochranný obvod světla

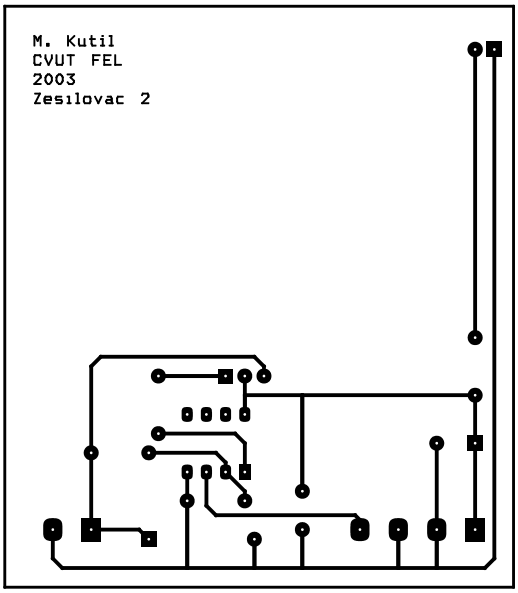
```
MODULE svetlo
TITLE 'Ovladani svetla - prodleva & blikani LED'
svetlo     PIN 4; //vstup od spinacu sviceni
svitit     PIN 12 istype 'com'; //vys. pro spin. svetla
LED        PIN 13 istype 'com'; //vystup na LED
clk_rychle PIN 1;
clk_1s     PIN 2;
reset      PIN
blikat     PIN 17 istype 'buffer';
q0,q1      node 16,15 istype 'reg_d, buffer';
sregq=[q0,q1];
eq0,eq1,eq2,eq3    pin 5,6,7,8;
docekano   node;
reset_citace       pin 19 istype 'buffer';

C = .C.;
   S0=0; S1=1; S2=2; S3=3;
EQUATIONS
  sregq.clk = clk_rychle;
  when (svitit & !blikat) then LED = 1 else
  when (svitit & blikat) then LED = clk_1s else
  LED = 0;
  docekano = (eq0 & eq1 & eq2 & eq3);
STATE_DIAGRAM sregq
  state S0: svitit=0; blikat=0; reset_citace=1;
            if reset then S0
            else if svetlo then S1;
  state S1: svitit=1; blikat=0; reset_citace=1;
            if reset then S0
            else if !svetlo then S2 // vypnout = blikat
            else S1;
  state S2: svitit=1; blikat=1; reset_citace=0;
            if reset then S0
            else if svetlo then S1
            else if docekano then S3
            else S2;
  state S3: svitit=0; blikat=0; reset_citace=1;
            goto S0;
END
```

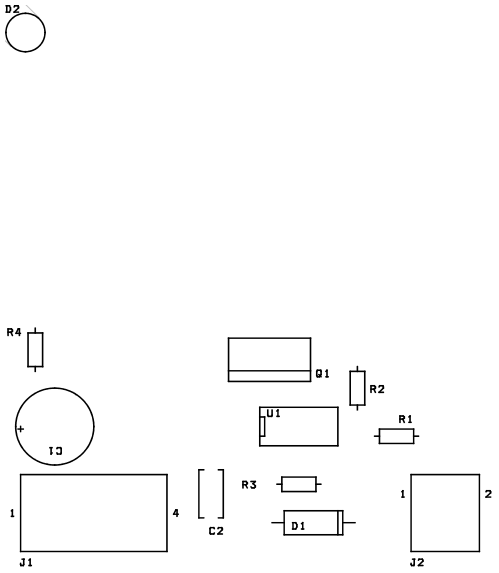
A.2 Zesilovač



Obr. A.10 Schéma zapojení zesilovače



Obr. A.11 Deska plošného spoje zesilovače



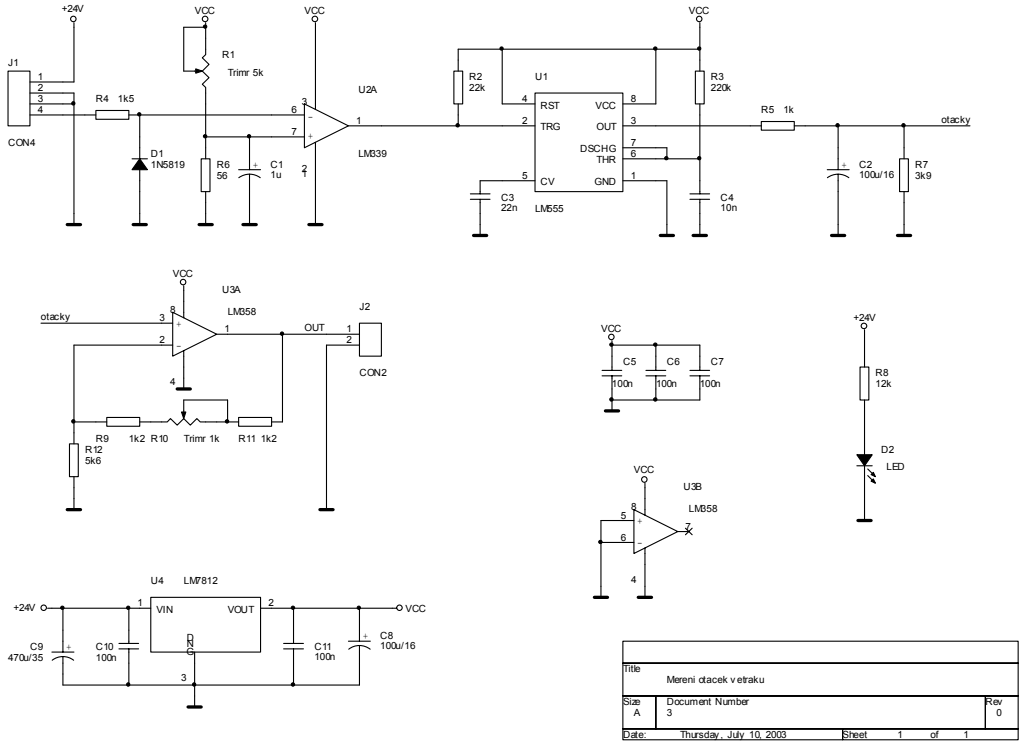
Obr. A.12 Servisní potisk zesilovače

A.2.1 Seznam součástek

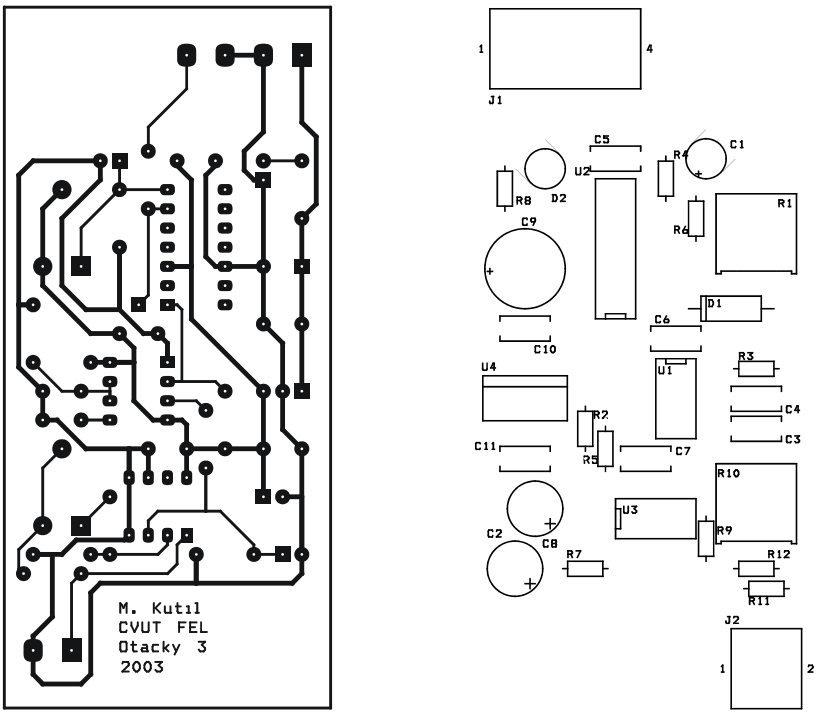
Číslo	Počet	Reference	Hodnota
1	1	C1	470µ/35V
2	1	C2	100n
3	1	D1	1N4007
4	1	D2	LED
5	1	J1	ARK 120/2 2x
6	1	J2	ARK 120/2
7	1	Q1	BD239C
8	1	R1	200
9	1	R2	150
10	1	R3	1k
11	1	R4	12k
12	1	R5	1M
13	1	U1	LM358

Tabulka A.3 Seznam součástek pro zesilovač

A.3 Měření otáček větráku



Obr. A.13 Schéma zapojení převodníku pro měření otáček



Obr. A.14 Deska plošného spoje převodníku pro měření otáček a servisní potisk

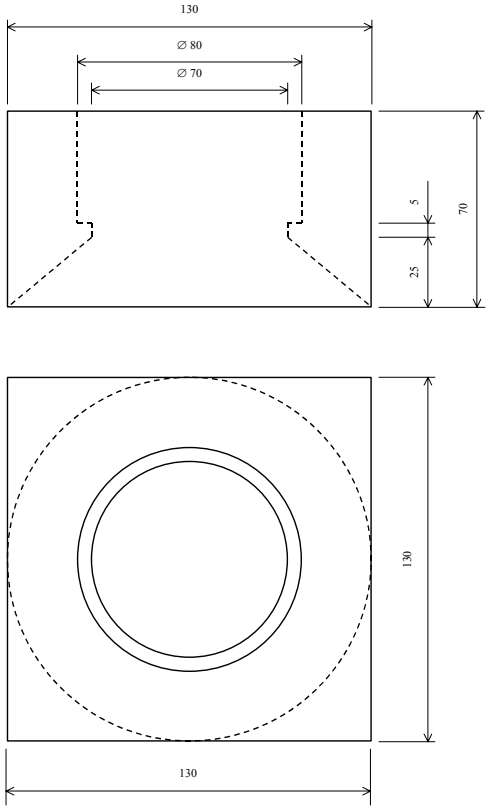
A.3.1 Seznam součástek

Číslo	Počet	Reference	Hodnota
1	1	C1	1µ
2	2	C2,C8	100µ/16
3	1	C3	22n
4	1	C4	10n
5	5	C5,C6,C7,C10,C11	100n
6	1	C9	470µ/35V
7	1	D1	1N5819
8	1	D2	LED
9	1	J1	CON4
10	1	J2	CON2
11	1	R1	Trimr 5k
12	1	R2	22k
13	1	R3	220k
14	1	R4	1k5
15	1	R5	1k
16	1	R6	56
17	1	R7	3k9
18	1	R8	12k
19	2	R9,R11	1k2
20	1	R10	Trimr 1k
21	1	R12	5k6
22	1	U1	LM555
23	1	U2	LM339
24	1	U3	LM358
25	1	U4	7812

Tabulka A.4 Seznam součástek pro převodník pro měření otáček

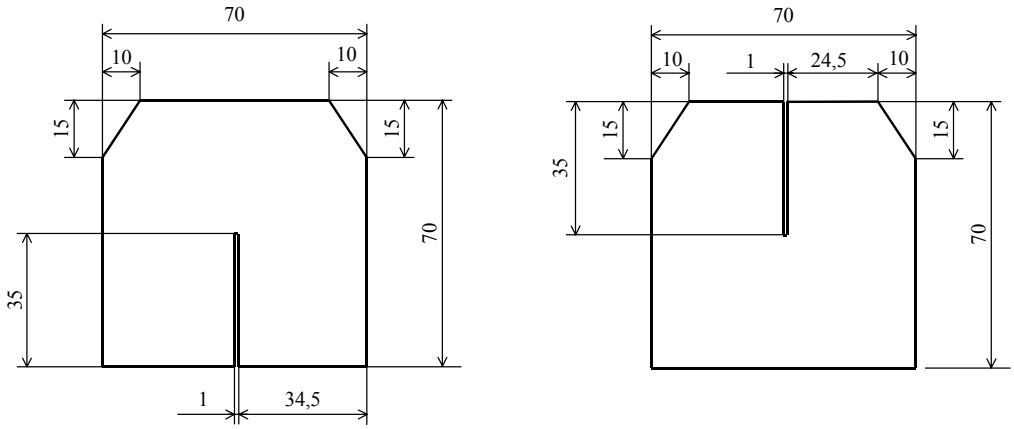
B Příloha – Konstrukční plány částí modelu

B.1 Dřevěný držák



Obr. B.1 Držák trubky a větráku

B.2 Desky usměrňovače vzduchu



Obr. B.2 Desky usměrňovače vzduch

C Příloha – Program pro PLC

C.1 Seznam programových souborů

Program pro PLC obsahuje následující programové soubory:

2 MAIN

Hlavní struktura programu volající další podprogramy

3 IO

Načítání analogových vstupů a výstupů z Flex I/O modulů a přepočet dat na fyzikální interpretace

4 PID RIZENI

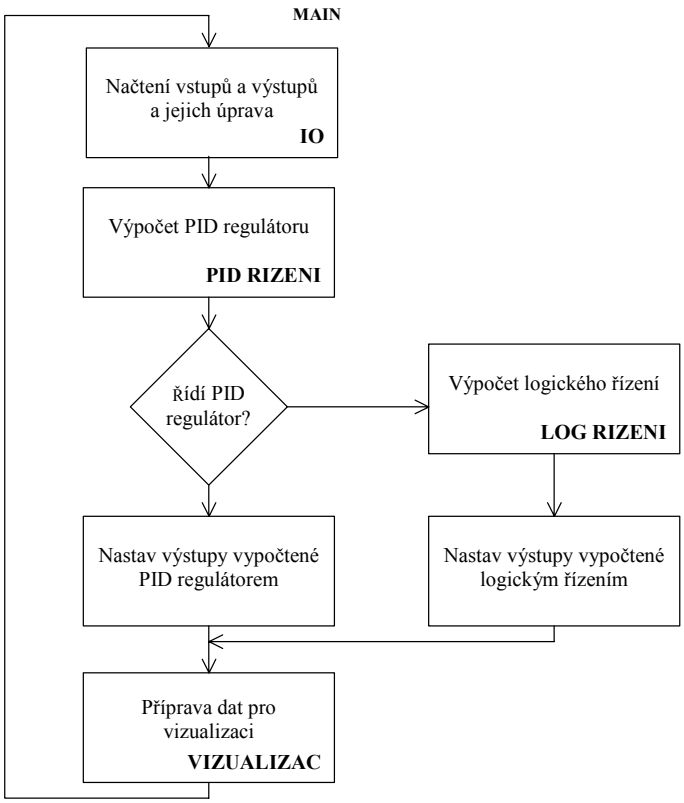
Výpočet konstant PID regulátoru. Program je nutné spouštět i v době, kdy PID regulátor neřídí, a to pro beznárazové přepnutí

5 LOG RIZENI

Výpočet akčního zásahu pomocí logického řízení

6 VIZUALIZAC

Příprava dat pro vizualizaci pomocí www stránek z PLC



Obr. C.1 Vývojový diagram hlavního programu

C.2 Seznam datových souborů programu

Název	Označení	Popis
OUTPUT	O0	Výstupy
INPUT	I1	Vstupy
STATUS	S2	Status bity
BINARY	B3	Stavy modelu
TIMER	T4	Časovač pro PID regulátor a hlídání modelu
INTEGER	N7	Pomocné celočíselné proměnné
CONST	F8	Konstanty (C.3)
IOSTAT	N10	Status soubor pro vzdálené I / O na RIO
IO CONTROL	BT11	Konfigurace blokových přenosů
IO DATA	N12	Přenášená analogová data na / z modelu
IO DATA	F13	Stav modelu uvedený ve fyzikálních veličinách
LOG DATA	F15	Napětí pro logické řízení
LOG DATA	B16	Povolování závor při logickém řízení (čísla bitů odpovídají číslu závory)
PID	PD20	Konfigurace PID regulátoru
PID DATA	N21	Celočíselné proměnné pro PID regulaci
PID DATA	F22	Čísla s desetinnou čárkou pro PID regulaci
VIZUAL	F28	Data pro vizualizaci
VIZUAL	ST29	Data pro vizualizaci
VIZUAL	N30	Data pro vizualizaci
HLAVNI	A31	Úvodní stránka pro www vizualizaci
MENU + CSS	A32	Stránka s menu a kaskádovýma stylama
XML	A33	Stránka ve formátu XML s aktuálním stavem modelu
POPIS	A34	Stránka s popisem modelu
REGULATOR	A35	Stránka do níž se zobrazuje stav řízení
KAMERA	A36	Stránka s kamerou
REG-PID	A37	Podklady pro generování stránky s PID regulací
REG-LOG	A38	Podklady pro generování stránky s logickým řízením
REG-LOCAL	A39	Podklady pro generování stránky s lokálním řízením
MODEL JS	A40	Javascripty pro vizualizaci

Tabulka C.1 Seznam datových souborů

C.3 Seznam konstant

Konstanty v datovém souboru F8 pro převod naměřených hodnot do fyzikální interpretace.

Adresa	Hodnota	Popis
F8:0	0,058	Přepočet polohy (násobení)
F8:1	327,67	Přepočet tlaku
F8:2	5,33	Přepočet otáček [1/s] (násobení)
F8:3	1,53	Přepočet otáček [1/s] (přičtení)
F8:4	3276,7	Přepočet pro napěti
F8:5	2,047	Přepočet na 4095 pro PID
F8:6	0,002	Přepočet 4095 (PID) na skutečnou hodnotu napětí na větráku
F8:7	3,7	Minimální hodnota napětí na větráku
F8:8	-36,66	Přepočet polohy (přičtení)

Tabulka C.2 Seznam konstant

C.4 Průběh http komunikace na automatu

Zaznamenaný průběh komunikace pomocí protokolu http, mezi automatem a prohlížečem. Průběh byl zaznamenán pomocí http monitoru *Rex Swain's HTTP Viewer* <http://www.rexswain.com/httpview.html>.

```
Rex Swain's HTTP Viewer
http://www.rexswain.com/httpview.html

Sending request:
GET /user1.html HTTP/1.0
Host: 147.32.87.243
User-Agent: Mozilla/4.0 (compatible; MSIE 6.0; Windows NT 5.1; JyxoToolbar1.0)

• Finding TCP protocol...
• Binding to local socket...
• Connecting to host...
• Sending request...
• Receiving response...

Total bytes received = 8000
Elapsed time so far: 4 seconds
Header (Length = 109):
HTTP/1.0·200·OK····(CR)(LF)
Server:·A-B·WWW/0.1(CR)(LF)
Expires:·Thu,·01·Dec·1994·16:00:00·GMT(CR)(LF)
Content-Type:·text/html(CR)(LF)
(CR)(LF)

Content (Length = 7891):
<html><head><title>User·Page·#1</title></head><body>(LF)
<div·id=page>(CR)(LF)
```

V těchto místech by se nacházel zdrojový kód stránky, který jsem pro úsporu místa odstranil.

```
</div>(CR)(LF)
</body></html>
Done
Total elapsed time: 4 seconds
```

C.5 DTD XML souboru se stavem automatu

Následující DTD je pro XML dokument dostupný jako třetí uživatelská stránka v automatu (user3.html). Tento dokument obsahuje aktuální stav modelu.

```
<!ELEMENT html (head, body)>
<!ELEMENT head (title)>
<!ELEMENT body (poloha, teleso, tlak, napeti,
 otacky, z1, z2, z3, z4, z5, z6, laser, svetlo)>
<!ELEMENT title (#PCDATA)>
<!ELEMENT poloha (#PCDATA)>
<!ELEMENT teleso (#PCDATA)>
<!ELEMENT tlak (#PCDATA)>
<!ELEMENT napeti (#PCDATA)>
<!ELEMENT otacky (#PCDATA)>
<!ELEMENT z1 (#PCDATA)>
<!ELEMENT z2 (#PCDATA)>
<!ELEMENT z3 (#PCDATA)>
<!ELEMENT z4 (#PCDATA)>
<!ELEMENT z5 (#PCDATA)>
<!ELEMENT z6 (#PCDATA)>
<!ELEMENT laser (#PCDATA)>
<!ELEMENT svetlo (#PCDATA)>
```

D Příloha – Server na PC

D.1 Procedury databáze na MSSQL serveru

Procedury jsou zaznamenány v jazyce SQL pro databázový server MSSQL

```
/****** Object: Stored Procedure insert_stav ******/
CREATE PROCEDURE insert_stav
   (@Laser int, @Laserd int, @Tlak float, @Napeti float, @Otacky
   float, @z1 int, @z2 int, @z3 int, @z4 int, @z5 int, @z6 int,
   @PLC int, @PC int, @Rucni int, @Svetlo int, @Ridi_PID int,
   @Ridi_LOG int, @Zadana_pid int)
AS
INSERT INTO stav
   (cas, Laser, Laserd, Tlak, Napeti, Otacky, z1, z2, z3, z4, z5,
   z6, PLC, PC, Rucni, Svetlo, Ridi_PID, Ridi_LOG, Zadana_PID)
VALUES
   (getdate(), @Laser, @Laserd, @Tlak, @Napeti, @Otacky, @z1, z2,
   @z3, @z4, @z5, @z6, @PLC, @PC, @Rucni, @Svetlo, @Ridi_PID,
   @Ridi_LOG, @Zadana_pid);
DELETE FROM stav WHERE cas < DATEADD(minute, - 15, GETDATE());
GO

/****** Object: Stored Procedure obsluha_modelu ******/
CREATE PROCEDURE obsluha_modelu
   (@obsluha_local_control INTEGER OUT, @obsluha_svetlo INTEGER
   OUT, @obsluha_vypnout INTEGER OUT)
AS
SELECT
   @obsluha_local_control = obsluha.local_control,
   @obsluha_svetlo = obsluha.svetlo,
   @obsluha_vypnout = obsluha.vypnout
FROM obsluha
UPDATE obsluha SET vypnout =
      (SELECT COUNT(*) AS vypnout FROM obsluha WHERE (posledni <
      DATEADD(mi, -5, { fn NOW() })))
GO
```

```
/****** Object: Stored Procedure regulator ******/
CREATE PROCEDURE regulator
   (@log_log INTEGER OUT, @log_en0 INTEGER OUT, @log_en1 INTEGER
   OUT, @log_en2 INTEGER OUT, @log_en3 INTEGER OUT, @log_en4
   INTEGER OUT, @log_en5 INTEGER OUT, @log_en6 INTEGER OUT,
   @log_en7 INTEGER OUT, @log_a0 DOUBLE PRECISION OUT, @log_a1
   DOUBLE PRECISION OUT, @log_a2 DOUBLE PRECISION OUT, @log_a3
   DOUBLE PRECISION OUT, @log_a4 DOUBLE PRECISION OUT, @log_a5
   DOUBLE PRECISION OUT, @log_a6 DOUBLE PRECISION OUT, @log_a7
   DOUBLE PRECISION OUT, @PID_pid INTEGER OUT, @PID_zadana INTEGER
   OUT, @PID_P DOUBLE PRECISION OUT, @PID_I DOUBLE PRECISION OUT,
   @PID_D DOUBLE PRECISION OUT)
AS
SELECT
   @log_log    = log.log,
   @log_en0    = log.en0,
   @log_en1    = log.en1,
   @log_en2    = log.en2,
   @log_en3    = log.en3,
   @log_en4    = log.en4,
   @log_en5    = log.en5,
   @log_en6    = log.en6,
   @log_en7    = log.en7,
   @log_a0     = log.a0,
   @log_a1     = log.a1,
   @log_a2     = log.a2,
   @log_a3     = log.a3,
   @log_a4     = log.a4,
   @log_a5     = log.a5,
   @log_a6     = log.a6,
   @log_a7     = log.a7,
   @PID_pid    = PID.pid,
   @PID_zadana = PID.zadana,
   @PID_P      = PID.P,
   @PID_I      = PID.I,
   @PID_D      = PID.D
FROM log, PID
GO
```

D.2 Konfigurace PHP

D.3 DTD XML dokumentu se stavy modelu

Následující DTD je pro XML dokument obsahující naměřená data na modelu za posledních 15 minut, dokument je dostupný na adrese http://*adresaserveru*/data15.xml.

```
<!ELEMENT data (mereni)>
<!ELEMENT mereni (poloha, tlak, napeti, otacky, z1,
 z2, z3, z4, z5, z6, laser, zarivka)>
<!ELEMENT poloha (#PCDATA)>
<!ELEMENT tlak (#PCDATA)>
<!ELEMENT napeti (#PCDATA)>
<!ELEMENT otacky (#PCDATA)>
<!ELEMENT z1 (#PCDATA)>
<!ELEMENT z2 (#PCDATA)>
<!ELEMENT z3 (#PCDATA)>
<!ELEMENT z4 (#PCDATA)>
<!ELEMENT z5 (#PCDATA)>
<!ELEMENT z6 (#PCDATA)>
<!ELEMENT laser (#PCDATA)>
<!ELEMENT svetlo (#PCDATA)>
<!ATTLIST data den CDATA #REQUIRED>
<!ATTLIST mereni cas CDATA #REQUIRED>
```

E Příloha – Dodatky k práci

E.1 Nejčastěji používané termíny a zkratky

AC

Alternating current, střídavý proud

Apache

Webový server vyvíjený jako „open source“

ARX

Auto-Regresiv with eXogenous variable, struktura modelu používaného pro popis systémů

BOOTP

TCP/IP protokol, pomocí něhož zařízení po startu načte svoji IP adresu ze serveru

CuBe

Slitina mědi a berylia

DC

Direct current, stejnosměrný proud

DTD

Definice typu dokumentu

Ethernet / IP

Ethernet / Industrial Protocol, průmyslový protokol pro časově plánovaný přenos dat

GND

Ground, společný zemní vodič

Html

HyperText Markup Language, základní jazyk pro tvorbu webových stránek

Http

HyperText Transfer Protocol, protokol pro přenos hypertextových souborů

Hypertext

Dokument, v jehož textu jsou umístěny odkazy na jiné dokumenty

Inch H_2O

Jednotka tlaku, tlak výšky vodního sloupce na čtverečný palec,
1 Inch H_2O = 249 Pa

IP

Internet Protocol, internetový protokol. (také Ethernet / IP)

Matlab

Program pro vědecké výpočty a simulace s podporou práce v reálném čase firmy The MathWorks, Inc.

MSSQL

Databázový produkt společnosti Microsoft

OLE

Object Linking and Embedding. Vkládání a propojování objektů, protokol MS Windows

OPC

OLE for Process Control, vkládání a propojování objektů pro průmyslové řízení

Pa

Pascal, jednotka tlaku

PC

Personal Computer, osobní počítač

PHP

Rekurzivní akronym „PHP: Hypertext Preprocessor“.
Hypertextový preprocesor, nástroj pro generování dynamických WWW stránek na principu skriptování

PLC

Programmable Logic Controler, programovatelný logický automat.
Ve spojení PLC-5 konkrétní typ.

RIO

Remote I/O, průmyslová síť pro přístup ke vzdáleným vstupům a výstupům firmy Rockwell Automation Inc.

RSLinx

Program od firmy Rockwell Automation Inc. zajišťující veškerou komunikaci mezi průmyslovými sítěmi, měřicími a komunikačními kartami a programy této firmy

RSLogix

Program od firmy Rockwell Automation Inc. pro konfigurování, programování a monitorování programovatelného logického automatu Allen – Bradley

RSSql

Program od firmy Rockwell Automation Inc. pro přenos dat mezi programovatelnými logickými automaty a databázemi

Sink

Zapojení se společnou zemí uvnitř jednotky, kdy vstupní proud teče do jednotky

SISO

Single Input, Single Output, systém s jedním vstupem a výstupem

Source

Zapojení se společným kladným pólem uvnitř jednotky, kdy proud teče směrem ven ze svorky

SQL

Structured Query Language, strukturovaný dotazovací jazyk určený hlavně pro práci s databázemi

TCP/IP

Transmission Control Protocol / Internet Protocol, řídicí přenosový protokol / protokol Internetu. Původně vyvinutý jako obecný koncept síťového propojení nesourodých počítačů

TTL

Transistor Transistor Logic, tranzistorově vázaná logika

URL

Uniform Resource Locators, jednotný popis umístění zdroje. Nejužívanější schéma specifikace dokumentu (jeho umístění a typ) v Internetu

Validní

Označení dokumentu, který odpovídá jemu přiřazenému DTD

WWW

World Wide Web, služba umožňující přenos hypertextových souborů

XML

eXtended Markup Language, rozšířitelný značkovací jazyk. Platformně nezávislý formát pro publikování a výměnu dat

E.2 Cenový rozpočet pro model s vizualizací

Popis	Cena
Snímače	
Laserový senzor LT3PU	21 960 Kč
Reflexní světelný senzor WT170-N122 (6 ks)	18 800 Kč
Snímač tlaku DPS	12 351 Kč
Konstrukční material	
Materiál pro rám	2 000 Kč
Plastová trubka	1 400 Kč
Barvy	1 000 Kč
Spojovací materiál	500 Kč
Elektronika	
Webová kamera	15 700 Kč
Zdroj LWR-1601-6	6 021 Kč
Drobná elektronika	3 100 Kč
STOP tlačítko	595 Kč
Desky plošných spojů	559 Kč
Větrák	467 Kč
Osvětlení	366 Kč
Kabely	250 Kč
Rele	202 Kč
Celkem	85 271 Kč

E.3 Přiložené CD

Součástí diplomové práce je přiložené CD obsahující čtyři hlavní adresáře:

Text

Tato práce v digitální podobě a podklady pro její přípravu, jako obrázky, fotografie a citace použité literatury.

Model

Dokumentace k vytvořenému modelu; podklady pro elektroniku v programu OrCAD, manuály elektronických součástek, manuály senzorů, programy pro programovatelná logická pole.

PLC

Program pro programovatelný logický automat včetně html stránek pro vizualizaci a manuály k automatu.

PC

Dokumentace k použitému softweru, uložené projekty a konfigurační soubory.

Další informace jsou na CD v souboru index.html.