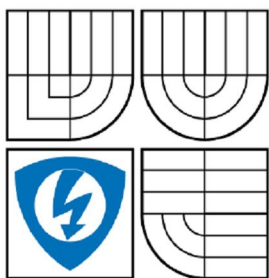


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

REGULACE TOPNÉHO SYSTÉMU S VYUŽITÍM OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ

HEATING SYSTEM REGULATION WITH THE UTILIZATION OF RENEWABLE RESOURCE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

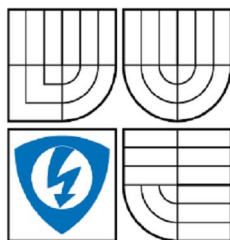
PAVEL DUDA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. LUDĚK CHOMÁT

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Pavel Duda
Ročník: 3

ID: 86650
Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Regulace topného systému s využitím obnovitelných zdrojů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s regulací topného systému a ohřevu teplé užitkové vody v inteligentním domě. Naprogramujte do mikročipu technologický proces tak, aby byl podobný k reálnému topnému systému. Tento model bude řízen pomocí programovatelného automatu, který bude taktéž zpracovávat výstupní hodnoty z procesu. Výsledkem bakalářské práce je sestavení trenažéru technologického procesu a ověření jeho funkčnosti.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Dle vlastního literárního průzkumu a doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 1.6.2009

Vedoucí práce: Ing. Luděk Chomát

prof. Ing. Pavel Jura, CSc.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

ABSTRAKT

Cíl této práce je navrhnutí a realizace simulátoru vytápění a ohřevu teplé užitkové vody pro laboratorní model inteligentního domu.

První část práce se zabývá rozbořem zdrojů tepla a možnostmi regulace topných systémů, jejich výhodami a naopak zápornými vlastnostmi, které v sobě skrývají. Druhá část je zaměřena na samotný návrh topného schématu a jeho softwarovou náhradu, včetně popisu matematického modelu a funkčnosti topného systému. Poslední část je věnována konstrukci a modularitě simulátoru a jeho možné rozšíření, popřípadě vylepšení podle toho, jak bude model celku inteligentního domu sestaven.

KLÍČOVÁ SLOVA

Inteligentní dům, topný systém, regulace topného systému, obnovitelné zdroje tepla, mikroprocesor AVR, PLC

ABSTRACT

Purpose of this work is to propose the implementation of a simulator of heating and hot water heating for the laboratory model of an intelligent house.

The first part of work deals with analysis of sources of heat and possible regulation of heating systems. Their advantages and conversely negative characteristics that they offer. The second part is focused on the draft scheme of heating and software compensation. Including a description of mathematical model and operation of heating system. The last part is devoted to the design and modularity simulator. Its possible extension if appropriate improvements, as the whole model smart house built.

KEYWORDS

Intelligent house, heating system, heating system control, renewable heat source, microprocessor AVR, PLC

DUDA, P. Regulace topného systému s využitím obnovitelných zdrojů.

Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 43 s.

Vedoucí bakalářské práce Ing. Luděk Chomát.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Regulace topného systému s využitím obnovitelných zdrojů jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.“

V Brně dne: **1. června 2009**

.....
podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Lud'ku Chomátovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce. Dále pak svojí rodině, která mne podporovala v době studia.

V Brně dne: **1. června 2009**

.....
podpis autora

1. ÚVOD	9
2. INTELIGENTNÍ DOMY	10
2.1 Topení a klimatizace v inteligentních domech	11
3. REGULACE TOPENÍ	13
3.1 Regulace jedním pokojovým termostatem	13
3.2 Regulace pokojové teploty pomocí termostatických hlavice	13
3.3 Regulace topení pomocí ekvitermních křivek	14
3.3.1 Výpočet ekvitermních křivek	14
4. ZDROJE TEPLA	17
4.1 Vytápění tepelným čerpadlem	17
4.2 Vytápění solární energií	17
4.2.1 Solární kolektory	18
4.2.2 Fotovoltaické články	18
4.3 Vytápění pomocí kotle na biomasu	19
4.4 Vytápění kotlem na fosilní paliva	19
4.5 Elektrický ohřev	19
5. VYPRACOVÁNÍ.....	20
5.1 Návrh topného systému	20
5.1.1 Funkce navrhnutého topného systému	20
5.1.2 Schéma topné soustavy	22
6. MATEMATICKÝ MODEL TOPNÉ SOUSTAVY.....	23
6.1 Matematická závislost teploty akumulční nádoby	23
6.2 Matematická závislost teploty zásobníku Tuv	25
6.3 Matematická závislost teploty topné vody	25
6.4 Matematická závislost vnitřní teploty	25
7. PRINCIP TECHNOLOGICKÉHO PROCESU	26
8. PROGRAMOVÁ ČÁST SIMULÁTORU TOPENÍ	28
8.1 Nástroje pro programování mikroprocesoru	28
8.1.1 AVR studio od společnosti Atmel	28
8.1.2 Jiné programovací nástroje	29

8.1.3 Programátor STK 200	29
8.2 Funkce topného systému ve zdrojovém kódu	30
9. KONSTRUKCE A PROGRAMOVÁ OBSLUHA SIMULÁTORU TOPENÍ	32
9.1 Hlavní Mikroprocesorová deska	32
9.1.1 Zapojení svorkovnice desky zobrazovače.....	33
9.2 Deska zobrazování teploty s analogovým výstupem	33
9.2.1 Zapojení svorkovnice desky zobrazovače.....	34
9.3 Řídící deska	35
9.3.1 Zapojení svorkovnice řídící desky.....	35
9.4 Funkce zobrazování teploty na LED displeji ve zdrojovém kódu.....	36
10. ZKUŠEBNÍ ZAPOJENÍ SIMULÁTORU	37
11. PROPOJENÍ SIMULÁTORU A PLC	38
11.1 Kalibrace vstupů a výstupů PLC	39
12. ROZŠÍŘENÍ A VYLEPŠENÍ.....	40
12.1 Programové rozšíření	40
12.2 Hardwarové rozšíření	40
13. ZÁVĚR.....	42
14. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	43

1. ÚVOD

Cílem tohoto projektu je seznámení se s možnostmi a principy vytápění a ohřevu teplé užitkové vody v inteligentním domě. Následné navrhnutí tepelných zdrojů a jejich simulace na laboratorním modelu tak, aby bylo možné pomocí PLC firmy B&R regulovat topnou soustavu. Celý technologický proces by měl vykazovat podobné chování jako adekvátní reálný topný systém. To vše má obstarávat program nahaný do mikroprocesoru řady ATMEGA16 od společnosti ATMEL. Ve skutečnosti bude tento simulátor součástí laboratorního modelu inteligentního domu, proto je podmínkou jeho snadná úprava, nebo případné rozšíření, podle konkrétních potřeb výsledného projektu.

2. INTELIGENTNÍ DOMY

Za inteligentní domy se považují domy vybavené automatizační technikou, která se automaticky stará o maximální komfort bydlení podle požadovaných potřeb vlastníků nemovitosti. Správné zvolení inteligentních technologických prostředků znamená zvýšení duševní i fyzické pohody obyvatel domu, kteří se nemusí zabývat chodem běžných věcí v domácnosti. O vše se totiž starají autonomní systémy řízené jedním obslužným programem v centrální jednotce. Domovní automatizace velkou měrou přesahují běžné koncepty elektroinstalací v rodinných domech. Dalo by se říci, že to jsou technologie s umělou inteligencí, která se stará o ideální podmínky pro život a to i bez zásahu obsluhy. Té už stačí pouze zadávat požadavky a ona se sama postará o jejich rychlou a ucelenou realizaci s podmínkou nejehospodárnějšího provedení. Standardní elektroinstalace či rozvod televizního signálu je už v podstatě k tomuto účelu nedostačující, a tak s rozšiřování informačních technologií se zvyšuje i požadavek na jejich dostupnost kdekoli se člověk nachází. V dnešní době se stále rozrůstá trend funkčního a špičkového vybavení domácností, bez něhož se řada lidí nedokáže obejít. Proto se tedy běžně budují i datové rozvody po celém domě, které poslouží pro obsluhu vybavení. Spousta zařízení či spotřebičů již totiž disponuje sledováním, nebo nastavením svých stavů a rozhraním pro jejich předávání do vzdáleného místa, ze kterého se jednoduše zjistí třeba závady a naopak se dají jednoduše nastavit, aby prováděli námi požadovanou činnost. To pak zvyšuje pohodlí a odbourává nutnost vše dělat manuálně na vzdáleném místě. Takto datově propojené zařízení všech možných funkcí do jednoho centrálního místa zajišťuje nejen úsporu času a fyzické námahy, ale také příjemný pocit z pobytu doma. Centrální obslužné místo pak může zajišťovat i zcela automatické řízení všech možných zařízení jako je osvětlení celého domu, zatemňovací žaluzie na oknech, zabezpečovací zařízení, zavlažování zahrady, přístupové brány, požární zabezpečení distribuci audiovizuálních služeb a hlavně vytápění a klimatizaci v jednotlivých místnostech. To vše i bez nutnosti fyzického zásahu obsluhy. Samozřejmě s možností dálkového nastavení za pomoci mobilního telefonu, nebo internetu.

2.1 TOPENÍ A KLIMATIZACE V INTELIGENTNÍCH DOMECH

Nejdůležitější součástí inteligentního domu je bezesporu jeho vytápění a klimatizace. Centrální řídicí systém, dalo by se říci mozek domu, má na starosti mimo jiné i regulaci topení a vzduchotechniky. To obnáší zajišťování tepelného komfortu v době, kdy se v domě nacházejí jeho obyvatelé. Je spousta různých řešení, jak toho cíle dosáhnout, ale jelikož, jak z názvu vyplývá, jedná se o inteligentní domy. Takže se očekává, že regulace topení nebude spočívat pouze v udržování nastavené hodnoty teploty v domě, ale regulaci daleko sofistikovanější. To by jednak nebylo příliš praktické, ale hlavně by to bylo neekonomické. A to je hlavní důvod, proč se vůbec řeší něco, jako je regulace topných soustav. K tomu samozřejmě patří i příprava teplé užitkové vody, protože její ohřev přímo souvisí s přípravou topné vody pro dům. Základním principem regulace topení a vzduchotechniky je vyhodnocování stavů z teplotních čidel jak v topné soustavě, tak v jednotlivých vnitřních prostorách obydli a exteriérech. Poté, když je vhodně navržen topný systém a jsou správně osazeny měřicí body, je už jen otázkou správného naprogramování regulačního procesu, aby vyhovoval požadavkům na komfort vytápění. To znamená například to, že se jednotlivé části domu temperují na požadovanou teplotu jen tehdy, když se v ní nacházejí její obyvatelé, nebo je předpoklad, že se v ní budou nacházet. Třeba obvyklý návrat majitelů z práce, nebo dětí ze školy. V ostatní době je zbytečné, aby byl celý dům udržován na komfortní teplotě, a lze tudíž teplotu snížit. To samé platí o užitkových prostorách domu, které není potřeba vytápět na takové teploty jako obytné, tam tedy stačí temperovat jen na tak vysoké teploty, aby nedocházelo k poškození zařízení či vybavení. To vše vede k úsporám energií, nebo k jejímu uchování v akumulačních nádobách pro jejich pozdější využití. To samé platí i o teplé užitkové vodě. Tu také není potřeba mít stále připravenou v požadované teplotě. Stačí opět nastavit časový horizont, ve kterém je předpoklad, že bude využita. Taktéž platí to, že například v nočních hodinách nebude využita v takové míře jako ráno, v poledne a večer. Tehdy by měla být zase plně k dispozici uživatelům domácnosti. Takto podobně se provádí regulace klimatizace v letních měsících s tím rozdílem, že místo přitápění na požadovanou teplotu pouze zvolený prostor ochlazujeme. Jelikož inteligentní domy disponují potenciálem vyspělých

technologií, považuje se za samozřejmost využití některého ze známých zdrojů využívajícího obnovitelné přírodní energie, popřípadě jejich kombinaci. To přináší i složitější hospodaření se získaným teplem, protože jsou závislé na klimatických podmínkách v okolí budovy, nebo zásahu obsluhy. S tím by si ale měl umět regulační systém inteligentního domu hravě poradit. Pokud je stavba vybavena vzduchotechnikou s nucením větrání, bývá zvykem zařazovat na odsávání vzduchu z budovy rekuperační jednotky, které dokážou přeměnit zbytkové teplo na další ohřev. Například TUV, nebo přehřev topného registru.

3. REGULACE TOPENÍ

Pokud zanedbáme nejzákladnější regulaci topení a tou je ruční otevírání kohoutů na radiátorech, často velmi pracné a nespolehlivé vlivem lidského faktoru, můžeme si vybrat od těch nejjednodušších, až po ty nejsložitější způsoby, jak regulovat vytápění rodinnými domy počínaje a velkými průmyslovými halami konče. Variant, jak řešit regulaci topení v budovách, je nepřehledné množství. Avšak jako osvědčené a v praxi nejvíce používané, jsou regulace vnitřní teploty místností odvozené od venkovní teploty a teplotních spádů budovy.

3.1 REGULACE JEDNÍM POKOJOVÝM TERMOSTATEM

Nejjednodušší způsob, kterým lze regulovat topnou soustavu je za pomoci jednoho pokojového termostatu. V tomto případě je nutné vybrat jednu referenční místnost, od které se následně odvíjí další míra vytápění zbývajících prostor. V rodinných domech to často bývá obývací pokoj, kde se předpokládá nejčastější výskyt obyvatel domácnosti. Pokud je tato referenční místnost vytopena na požadovanou teplotu, termostat ukončí proces vytápění bez ohledu na to, zda v ostatních místnostech je třeba zima. V rozsáhlejších objektech je tato možnost takřka holým nesmyslem. S širokou nabídkou dalších možností regulace pokojové teploty se tento způsob řešení v praxi již neaplikuje.

3.2 REGULACE POKOJOVÉ TEPLITY POMOCÍ TERMOSTATICKÝCH HLAVIC

Termostatické hlavice se dají využít jako nejjednodušší regulace jednotlivých místností. Tímto způsobem lze efektivně zabránit přetápění místností, ke kterému může docházet při regulaci pouze jedním pokojovým termostatem. Termostatické hlavice jsou v podstatě jednoduché proporcionální regulátory pracující v určitém teplotním pásmu. Jedinou nevýhodou je to, že se těmito ventily reguluje průtok topným tělesem. To může mít vliv na hydraulické vyvážení systému. A mimo regulace na teplotu topné vody se musí ještě regulovat tlak v systému. To je

zapotřebí ošetřit pomocí frekvenčně řízených čerpadel, nebo umělého „zkratu“ v topném řádu.

3.3 REGULACE TOPENÍ POMOCÍ EKVITERMNÍCH KŘIVEK

Jako nejefektivnější regulace pro vytápění budov se používá regulace pomocí ekvitermních křivek, někdy též nazývaných topných křivek. Podle nich se přizpůsobuje okamžitý tepelný výkon topné soustavy okolním klimatickým podmínkám. Tyto křivky jsou vypočítávány podle energetických ztrát budovy, venkovní teploty a požadované vnitřní teploty. Správné vypočítání ekvitermních křivek rozhoduje o celé kvalitě regulace topení. Pokud jsou navrženy nesprávným způsobem, dochází k přetápění či nevytápění vyhřívaných prostor budovy. Proto je vhodné si po určité době ověřit funkčnost regulace a případně drobnými korekcemi křivky upravit, tak aby splňovaly svoji funkci. Při změně požadované vnitřní teploty je nutné ekvitermní křivky přepočítat. Tato regulace sama o sobě nemusí být vždy dostačujícím řešením pro celý objekt. A tak se doporučuje kombinovat ještě s teplotními senzory v každé místnosti zvlášť.

3.3.1 Výpočet ekvitermních křivek

Pro výpočet ekvitermních křivek je zapotřebí znát tepelné vlastnosti topného systému. Nejdůležitějšími parametry, které ovlivňují samotné křivky, jsou v první řadě požadovaná vnitřní teplota, minimální venkovní teplota, uvažovaná dle klimatického prostředí stavby, maximální teplota přívodní topné vody, minimální teplota zpáteční vody, tento rozdíl je pak označován jako teplotní spád a poslední důležitá hodnota potřebná k výpočtu je teplotní exponent soustavy, který se určuje podle toho, jaké se v budově využívá předávání tepla do místnosti. Tento koeficient se pro různé typy vyhřívání liší a dosahuje hodnoty v rozmezí 1.1 pro podlahové topení, až do 1.5 u konvektorů. Tyto hodnoty se pomocí matematické rovnice přepočítají na závislost teploty topného média na venkovní teplotě.

Rovnice 1: Výpočet ochlazení topné vody (ekvitermní křivka) [2]

$$\Delta t = (t_{p,\max} - t_{z,\max}) \cdot \frac{t_e - t_i}{t_{e,\min} - t_i} [K]$$

Δt	...	ochlazení teplotního média
$t_{p,\max}$	...	maximální teplota přívodu topné vody
$t_{z,\max}$	...	maximální teplota zpáteční vody
t_e	...	venkovní výpočtová teplota
$t_{e,\min}$	...	minimální výpočtová venkovní teplota
t_i	...	požadovaná teplota vytápěného prostoru

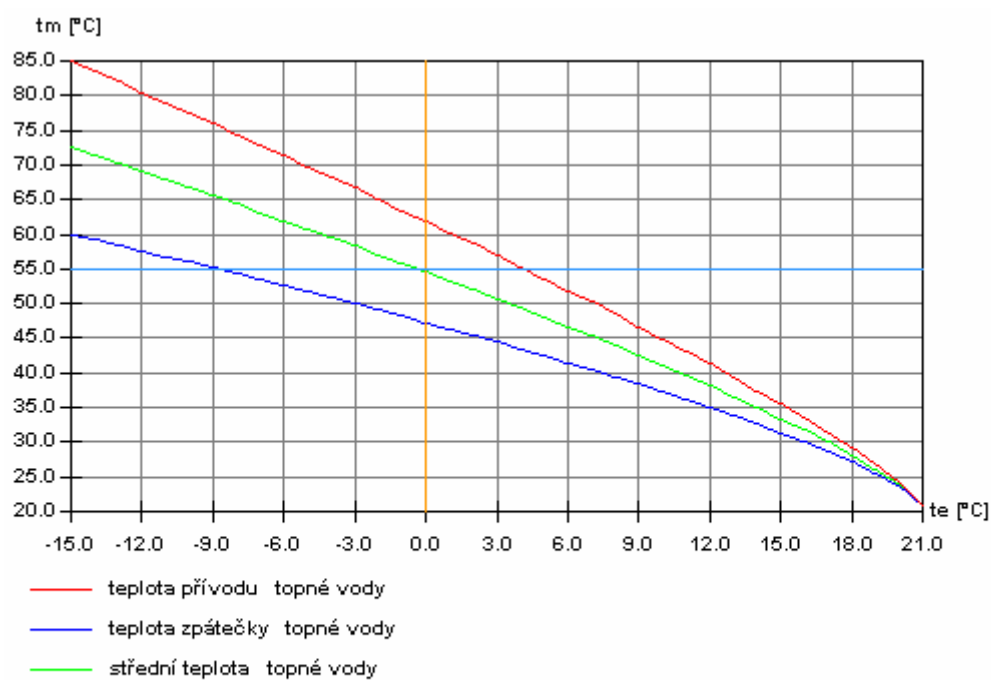
Rovnice 2: Výpočet střední hodnoty teploty topné vody (Ekvitermní křivka) [2]

$$t_m = t_i + \left(\frac{t_{p,\max} - t_{z,\max}}{2} - t_i \right) \cdot \left(\frac{t_e - t_i}{t_{e,\min} - t_i} \right)^{\frac{1}{n}} [^{\circ}C]$$

t_m	...	střední hodnota teploty topné vody
t_i	...	požadovaná vnitřní teplota
$t_{p,\max}$	...	maximální teplota přívodu topné vody
$t_{z,\max}$	...	maximální teplota zpáteční vody
t_e	...	venkovní výpočtová teplota
$t_{e,\min}$	...	minimální výpočtová venkovní teplota
t_i	...	požadovaná teplota vytápěného prostoru
n	...	teplotní exponent topné soustavy viz kap. 3.3.1

Podle těchto rovnic lze vypočítat výsledné ekvitermní křivky. Pro každou teplotu t_i je nutno celou křivku přepočítat.

Graf 1: Ekvitermní křivka pro vnitřní teplotu 21°C [2]



Tento graf znázorňuje závislost potřebné teploty topné vody k vytopení objektu na 21°C při venkovní teplotě od -15 °C do 21°C a maximální teplotě topné vody 85 °C.

4. ZDROJE TEPLA

4.1 VYTÁPĚNÍ TEPELNÝM ČERPADLEM

Tepelná čerpadla využívají v podstatě nevyčerpatelnou energii ze zemského pláště, nebo okolního vzduchu. Tato teplota však nemá dostatečnou hodnotu na to, aby se dala použít přímo pro ohřev. Proto tepelné čerpadlo je zkonstruováno tak, aby tzv. nízkopotenciální teplo přeměnilo na teplo použitelné k vytápění objektů či ohřevu teplé užitkové vody. Tepelné čerpadlo pracuje na stejném principu jako lednička. To znamená, že musí obsahovat kompresor (obstarává cirkulaci chladicí kapaliny v okruhu), výparník (zajišťuje předání tepla z nízkopotenciálního zdroje do chladicího média) a kondenzátor (slouží k předání tepla z chladicího okruhu do vysokopotenciálního systému). Toto však nese potřebu elektrického napájení na provoz kompresoru. Celkový náklad pak záleží na topném faktoru, který se odvíjí od teploty v nízkopotenciálním okruhu. Čím je teplota získaná ze země nebo vzduchu vyšší, tím je topný faktor také vyšší. V praxi to bývá zpravidla do koeficientu 3. To znamená, že na energii dodanou do topného systému, je zapotřebí minimálně $1/3$ energie elektrické na provoz tepelného čerpadla. Takže je možné uspořit až $2/3$ nákladů a návratnost se dá odhadnout na 5 let. Při regulaci, pokud není potřeba okamžitého výkonu dodávaného do systému, lze zohlednit nízký a vysoký tarif elektrické energie, dodávané z rozvodné sítě.

4.2 VYTÁPĚNÍ SOLÁRNÍ ENERGIÍ

Vytápění solární energií lze rozdělit do dvou částí. Záleží na způsobu přeměny slunečního záření, které je v několikanásobně větším množství všude kolem nás, ale nedokážeme je efektivně využít. Prvním, jednodušším a také méně nákladným řešením jsou solární kolektory. Druhým, složitějším jsou fotovoltaiické články, které však mají vyšší pořizovací náklady. Oba principy získávání energie přímo od slunce jsou závislé na denní době a množství dopadajícího záření. Proto se regulace musí postarat o jeho uchování na dobu, kdy bude potřeba.

4.2.1 Solární kolektory

Solární kolektory absorbují sluneční záření kolektorovou plochou složenou ze soustavy kovových, často měděných trubic a absorpčních vrstev z metalických materiálů. To se děje během celého roku nehledě na roční období. Pouze množství tepelné energie je závislé na současném stavu počasí. Zachycená tepelná energie se následně předává médiu. Zpravidla směsi vody a nemrznoucích přísad. Solární větev topné soustavy osazená oběhovým čerpadlem zajišťujícím cirkulaci směsi pak v zásobníku přes výměník voda-voda ohřívá vodu topného systému. Předností těchto kolektorů je jejich jednoduchost. Jak jejich montážní nároky, které jsou v podstatě pouze správné umístění, tak i technologii, která svojí jednoduchostí minimalizuje případné poruchy. Instalováním solárních kolektorů je možno ročně uspořit až 70 % výdajů na energii spojených s ohřevem teplé užitkové vody. Při projekci solárního systému se počítá s potřebou 1,5 – 2 m² kolektorové plochy na osobu.

4.2.2 Fotovoltaické články

Zatímco u solárních kolektorů se získané teplo hydraulicky dopravuje do zásobníků a ohřívá topný systém, u fotovoltaických článků se sluneční energie přeměňuje na energii elektrickou přímo v modulu solárního panelu. V podstatě se jedná o vlastní zdroj elektrické energie, který lze využít i jinak, než k ohřevu vody. Například k osvětlení domácnosti. Nejdůležitější částí solárního panelu jsou polovodičové (křemíkové) destičky, kde se na principu fotoelektrického jevu přemění světelné záření na elektrickou energii. S takto získanou energií se může nakládat, kdekoliv je potřeba provoz na elektrický pohon. Pokud se nestačí energie spotřebovat v domácnosti, můžeme s ní dotovat rozvodnou síť elektrické energie, z čehož vyplývá i finanční zisk. Bohužel účinnost není na takové úrovni, aby pokryla spotřebu celé domácnosti včetně topení. Proto se při výpočtech domácích solárních elektráren musí zohlednit účinnost kolem 15 %.

4.3 VYTÁPĚNÍ POMOCÍ KOTLE NA BIOMASU

Dalším alternativním zdrojem vytápění jsou kotle buďto přímo spalující rostlinnou hmotu, nebo produkty získané další úpravou, jako je například olej či bioplyn. Takzvaná biomasa je čistě organickým produktem, při jejích spalování nedochází ke zvyšování CO_2 v ovzduší a tím se řadí k velmi ekologickým druhům získávání tepla. Nejvíce rozšířená biomasa je rostlinného původu, například dřevo, polní plodiny, nebo cíleně pěstované rostliny vykazující větší energetický zisk. Tyto suroviny projdou důkladným vysušením, popřípadě slisování a ve speciálně zkonstruovaných kotlích s vysokou účinností jsou postupně spalovány. Jedinou nevýhodou je potřeba zdroje a místa na uskladnění hmoty. Proto se takovéto řešení uplatňuje spíše ve venkovském prostředí, kde není problém s přísunem biopaliva. Výhřevnost takového paliva je srovnatelná s výhřevností hnědého uhlí, a tak se postupně stává tato alternativa konkurence schopnější.

4.4 VYTÁPĚNÍ KOTLEM NA FOSILNÍ PALIVA

Do kategorie vytápění fosilním palivem můžeme zařadit v podstatě kterékoliv jiné zdroje, nežli jsou zdroje obnovitelné. Jako příklad můžeme uvést kotle na tuhá paliva, tedy uhlí, nebo kotle na zemní plyn. Tyto způsoby ohřevu jednak zatěžují ve značné míře přírodu, ale hlavně jsou v porovnání s výše zmiňovanými druhy vytápění z obnovitelných zdrojů neekonomické.

4.5 ELEKTRICKÝ OHŘEV

Jako poslední dominantní zdroj tepla můžeme považovat elektrickou energii. Ta je z pohledu odběratele sice brána jako takzvaně čistá, ale její výroba zatěžuje přírodu velkou měrou, pokud není vyrobena z obnovitelných zdrojů. V současné době spotřeba elektrické energie daleko převyšuje možnosti získávání z ekologických zdrojů, a tak i náklady spojené s její výrobou stále rostou. To se musí promítnout i do cen pro koncového zákazníka. Takže vytápění elektrickou energií se stává velmi finančně náročné. Pokud tedy nejsme schopni si ji vyrobit sami pomocí solárních článků, nebo větrných elektráren.

5. VYPRACOVÁNÍ

5.1 NÁVRH TOPNÉHO SYSTÉMU

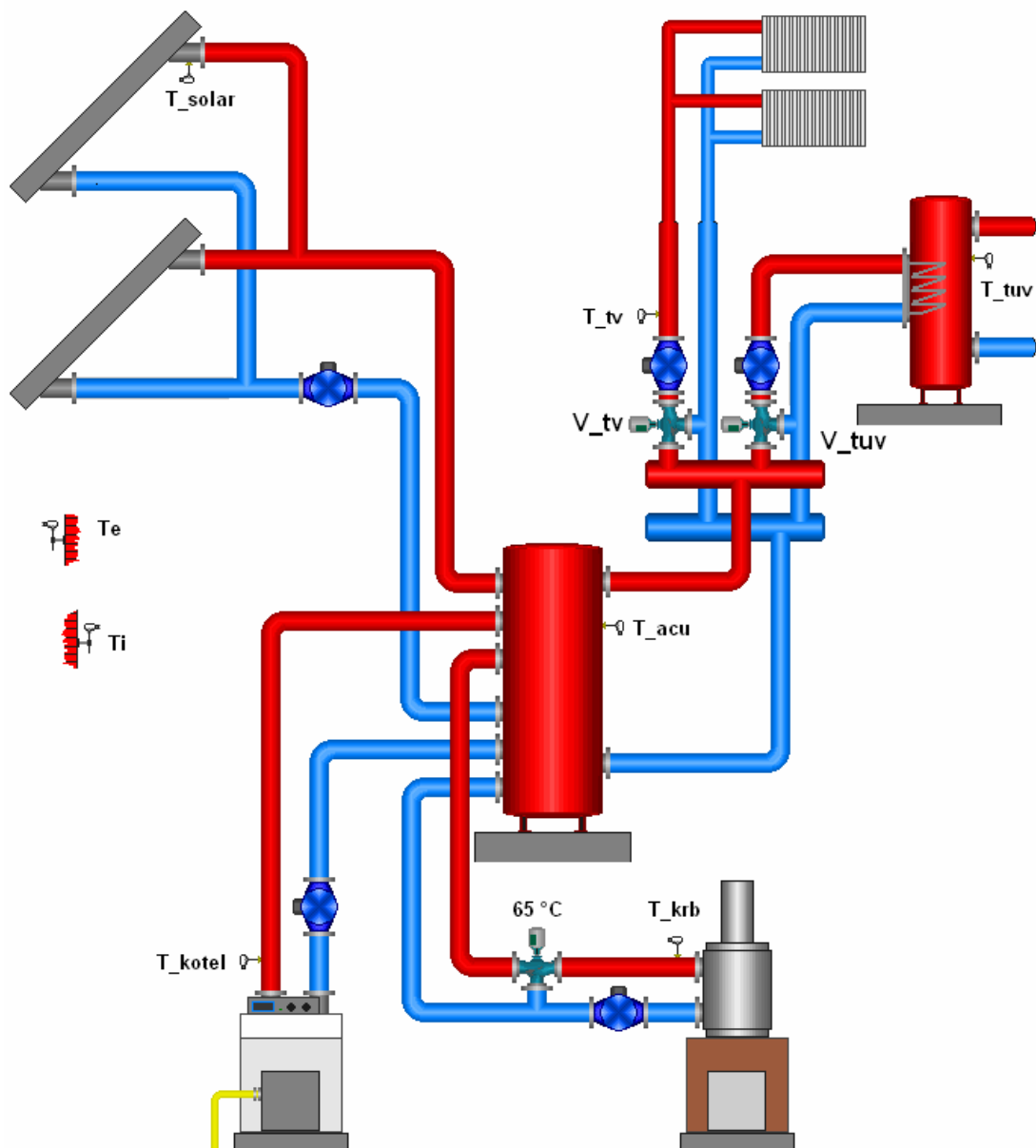
Topný systém by měl v každém případě obsahovat alespoň jeden ze způsobů vytápění obnovitelnými zdroji. V našem případě padla volba na využití solární energie formou solárních teplovodních kolektorů. Dále musí být součástí systému další nezávislý zdroj pro případ nedostatku slunečního záření a to plynový kotel. Jako doplňkový zdroj tepla je zvolena krbová vložka s výměníkem, aby se teplo vzniklé v krbu dalo využít v topném systému a na ohřev TUV. Všechny zdroje tepla jsou přivedeny do akumulární nádoby, ze které se čerpá teplá voda podle potřeby na ohřev teplé užitkové vody do výměníku TUV a na ohřev topné soustavy. Systém obsahuje celkem 5 čerpadel, z nichž tři jsou použita na cirkulaci vody přes zdroje tepla, jedno pro cirkulaci vody do zásobníku TUV a jedno pro cirkulaci topné vody. V systému jsou také zařazeny tři trojcestné ventily. První slouží k mísení ohřevu TUV na požadovanou teplotu. Druhý k mísení topné vody s vodou ze zpětné větve a třetí k připojení krbu jako zdroje tepla pokud je teplota vody v jeho výměníku větší než 65 °C. Pro správnou funkci modelu je zapotřebí znát a vypočítat alespoň základní teploty v topném systému. Další teploty by sloužily pouze k doplnění a případným výpočtům nesouvisejícím bezprostředně s regulací topení.

5.1.1 Funkce navrhnutého topného systému

Centrem celého topného systému je akumulární nádoba neboli zásobník teplé vody. Do něho je připojena solární větev, která ohřívá vodu pomocí slunečního záření. Cirkulaci topného média obstarává oběhové čerpadlo, s jehož pomocí lze celou větev odstavit. To je důležité v případě, když nastane situace, že je teplota v zásobníku vyšší než teplota vody na solárním panelu. Kdyby tomu tak nebylo, nastávalo by ochlazování zásobníku a solární kolektor by se stal zářičem tepla do okolního prostoru. Pokud se toto odstavení opomene, tak zvláště v zimním období nastanou výrazné tepelné ztráty především v méně slunečných dnech a v noci. Pro zjištění teploty topného média v kolektoru slouží teplotní čidlo osazené na výstupu z kolektoru. Podle něho lze určit, zda bude dodávat teplo do systému. Dalším

zdrojem tepla připojeným na akumulární nádobu je plynový kotel. Ten disponuje také, jako solární panel, vlastním oběhovým čerpadlem a vlastním teplotním čidlem pro zjištění teploty výstupu z kotle. Podobně jako solární kolektor, tak se musí i kotel v případě, že není od něj požadována činnost, odpojit od akumulární nádoby zastavením oběhového čerpadla. Docházelo by k obdobnému ochlazování topné soustavy. Sice ne v takové míře jako u solární větve vlivem menší plochy zářiče, ale úbytek by byl znatelný a nežádoucí. Posledním zdrojem, spíše jen doplňkovým, je krbová vložka. Ta ve své topné větvi navíc od předešlých variant mimo teplotního čidla a oběhového čerpadla obsahuje trojcestný ventil. Ten je řízen za pomoci teploty, nezávisle na regulaci celého topného systému. Pokud je teplota okruhu ve výměníku krbové vložky menší než 65 °C, neuplatňuje se do systému. Je nastaven na vnitřní okruh krbu nezávisle na běhu čerpadla. Důvodem této funkce je nestálost teploty v krbu. Ze zásobníku jsou vývody na rozdělovač a sběrač topné vody. Na ty jsou připojeny větve pro ohřev teplé užitkové vody a větve do radiátorů. Každá z těchto větví obsahuje oběhové čerpadlo a trojcestný ventil. Ventily slouží k mísení přívodní a zpáteční topné vody. Pomocí nich se reguluje teplota na požadovanou hodnotu jednotlivých větví. Topná větev pro ohřev prostoru obsahuje na výstupu za ventilem teplotní čidlo. Tím se zajišťuje zpětná vazba pro požadovanou hodnotu topné vody. Větev pro ohřev teplé užitkové vody vstupuje do zásobníku, kde předává teplo TUV, která je osazena teplotním čidlem pro odezvu regulace na požadovanou hodnotu.

5.1.2 Schéma topné soustavy



Obrázek 1: Schéma topného systému

6. MATEMATICKÝ MODEL TOPNÉ SOUSTAVY

Matematický model vychází z navrhnutého topného schématu. (viz Obrázek 1). Pro návrh byly použity základní komponenty důležité ke správné funkci topného systému. Jelikož se jedná o základ pro laboratorní model inteligentního domu, je brán zřetel na jeho jasnou a bezproblémovou regulaci. Při výpočtech jednotlivých koeficientů znamenajících teplotní přírůstky a úbytky v systému posloužilo vzorové řešení od firmy REGULUS [4]. Veškeré koeficienty důležité k výpočtu provozních teplot systému jsou pouze orientační. Pro přesné určení by bylo zapotřebí udělat energetickou studii celého objektu s ohledem na použité materiály a technologie vytápění. Takže matematický model je pouze přiblížením se k reálnému topnému systému v rodinném domě vybaveném stejnými zdroji tepla. Přírůstkové a úbytkové konstanty v systému byly určeny pro každý člen zvlášť podle toho, jak dodával, nebo ubíral teplo ze systému v době jeho aktivity v závislosti na čase. Tyto koeficienty je možno měnit podle konkrétních vlastností částí topného systému. Dále matematický model nepracuje s konkrétními odběrnými místy, ale pouze s výstupem pro daný účel (topení, TUV). Vzájemné ovlivňování jednotlivých komponent topného systému je řešeno v samotném programu simulátoru.

6.1 MATEMATICKÁ ZÁVISLOST TEPLoty AKUMULAČNÍ NÁDOBY

Výpočet teploty v akumulaciční nádrži je rozdělen do více částí. První pro ohřev zásobníku ze zdrojů tepla. Další pak pro úbytky zapříčiněné odběrem tepla a chladnutím topného systému.

Rovnice 3: Přírůstek teploty v akumulaciční nádrži od všech zdrojů

$$T_{acu} = T_{acu} + \Delta k_{rb} \cdot k_{rb}_{pr} + \Delta k_{otel} \cdot k_{otel}_{pr} + \Delta solar \cdot solar_{pr} [^{\circ}C]$$

T_{acu} ... teplota v akumulaciční nádrži

Δk_{rb} ... vypočítaná hodnota podle vzorce: $\Delta k_{rb} = T_{krb} - T_{acu}$

T_{krb}	...	teplota na výstupu krbové vložky
krb_{pr}	...	přírůstková konstanta od krbové vložky rovna 0.03
$\Delta kotel$	...	vypočítaná hodnota podle vzorce: $\Delta kotel = T_{kotel} - T_{acu}$
T_{kotel}	...	teplota na výstupu z plynového kotle
$kotel_{pr}$	...	přírůstková konstanta od plynového kotle rovna 0.06
$\Delta solar$	...	vypočítaná hodnota podle vzorce: $\Delta solar = T_{solar} - T_{acu}$
T_{solar}	...	teplota na výstupu ze solárního kolektoru
$solar_{pr}$	...	přírůstková konstanta od solárního panelu rovna 0.003

Rovnice 4: Úbytek teploty v akumulární nádrži od všech zdrojů tepla

$$T_{acu} = T_{acu} - \Delta krb \cdot krb_{ub} - \Delta kotel \cdot kotel_{ub} - \Delta solar \cdot solar_{ub} [^{\circ}C]$$

krb_{ub}	...	konstanta úbytku teploty v krbové vložce rovna hodnotě 0.003
$kotel_{ub}$	...	konstanta úbytku teploty v plynovém kotli rovna hodnotě 0.006
$solar_{ub}$	...	konstanta úbytku teploty v solárním panelu rovna hodnotě 0.002

Rovnice 5: Úbytek teploty v akumulární nádobě vlivem nabíjení zásobníku teplé užitkové vody

$$T_{acu} = T_{acu} - (\Delta TUV \cdot TUV_{odb}) \cdot V_{TUV} [^{\circ}C]$$

ΔTUV	...	vypočtená hodnota podle vzorce: $\Delta TUV = T_{acu} - T_{TUV}$
T_{TUV}	...	teplota TUV v zásobníku
TUV_{odb}	...	konstanta úbytku teploty vlivem ohřevu TUV rovna hodnotě 0.002
V_{TUV}	...	poloha směšovacího ventilu na přívodu do zásobníku TUV (0-1)

Rovnice 6: Úbytek teploty v akumulární nádobě vlivem ohřevu topné soustavy

$$T_{acu} = T_{acu} - (\Delta TV_z \cdot TV_{odb}) \cdot V_{TV} [^{\circ}C]$$

- ΔTV_z ... vypočtená hodnota podle vzorce: $\Delta TV_z = T_{TVz} - T_{acu}$
- T_{TVz} ... teplota topné vody na zpátečním vedení
- TV_{odb} ... konstanta úbytku teploty vlivem vytápění rovna hodnotě 0.02
- V_{TV} ... poloha směšovacího ventilu topné větve (0-1)

6.2 MATEMATICKÁ ZÁVISLOST TEPLoty ZÁSOBNÍKU TUV

Rovnice 7: Závislost ohřevu TUV

$$T_{TUV} = T_{TUV} + (\Delta T_{TUV} \cdot tuv_{pr}) \cdot V_{TUV} [^{\circ}C]$$

- tuv_{pr} ... přírůstková konstanta pro ohřev TUV ze zásobníku topné vody rovna hodnotě 0.005

6.3 MATEMATICKÁ ZÁVISLOST TEPLoty TOPNÉ VODY

Rovnice 8: Závislost teploty topné větve

$$T_{TV} = T_{TV} + (\Delta TV \cdot tv_{pr}) \cdot V_{TV} [^{\circ}C]$$

- T_{TV} ... teplota v topné větvi
- ΔTV ... vypočtená hodnota podle vzorce: $\Delta TV = T_{acu} - T_{TV}$
- tv_{pr} ... přírůstková konstanta pro ohřev topné větve v hodnotě 0.05

6.4 MATEMATICKÁ ZÁVISLOST VNITŘNÍ TEPLoty

Rovnice 9: Závislost požadované vnitřní teploty

$$T_i = T_i + T_{iz} + (T_{TVxt} - T_{TVzp}) \cdot T_{ipr} [^{\circ}C]$$

- T_{iz} ... teplota odvozená od ztrát vlivem ochlazování budovy s ohledem na venkovní teploty
- T_{TVvst} ... vstupní teplota do topné větve
- T_{TVzp} ... zpáteční teplota topné větve
- T_{ipr} ... přírůstková konstanta vnitřní teploty rovna hodnotě 0.02

7. PRINCIP TECHNOLOGICKÉHO PROCESU

Topný systém musí pracovat tak, aby byl schopen vyhovět požadavkům na odběr tepla jak pro topnou soustavu, tak i pro ohřev teplé užitkové vody. První podmínkou je samozřejmě vhodně zvolený energetický výkon zdrojů tepla a s tím i související tepelné ztráty budovy. Těmi se ale zatím nebudeme zabývat. V této fázi je důležitá logická funkčnost topného systému.

Jak již bylo napsáno v kapitole 5.1, dominantními zdroji tepla jsou sluneční kolektory a plynový kotel. Ty dodávají teplo do akumulární nádrže. To se děje pouze pokud je zapnuté čerpadlo v jejich okruhu. Mohou však nastat situace, kdy vlivem špatné regulace bude čerpadlo stále v běhu a přitom daný zdroj nebude schopen vytvořit dostatek energie k ohřívání akumulární nádrže. V takovémto případě bude docházet k tomu, že ze zdrojů tepla se stanou spotřebiče a místo aby teplo do systému dodávaly, budou ho odebírat. A tím ochlazovat zásobník teplé vody. Podobně je tomu i u třetího alternativního zdroje tepla, krbové vložky. S tím rozdílem, že mimo vlastního oběhového čerpadla je v krbovém okruhu zařazen trojcestný ventil. Oběhové čerpadlo podobně jako u předešlých zdrojů cirkuluje krbový okruh, avšak díky trojcestnému ventilu, který je ovládán samostatným termostatem, neznamená chod čerpadla v době, kdy nemá běžet, nutnou ztrátu tepla. Termostatický ventil totiž nedovolí připojení krbového okruhu do systému, pokud teplota v krbovém okruhu nestoupne nad 65°C . Je to z důvodu nestabilní dodávky tepelné energie, protože pokud se v krbu zatopí a nepřikládá, tak sice okamžitá teplota je dostatečná, ale z hlediska využití v topném řádu nedostačující a krátkodobá. Proto se tedy krbový okruh připojuje, až když je dostatečně ohřátý a potřebný. Systém přírůstků teplot je vždy odvozen od rozdílu porovnávaných teplot mezi sebou a vynásoben koeficientem, který vyjadřuje vzájemné předávání tepelné energie. Samozřejmě koeficienty nemohou být vždy stejné, ale musí reagovat na směry předávání energie. Přírůstky a úbytky v zásobníku teplé vody se řídí pouze přivedenou a odebranou energií. Složitější předávání nastává u topné vody a ohřevu teplé užitkové vody. V těchto případech se požadovaná teplota dosahuje pomocí trojcestných ventilů, které mísí ohřátou vodu ze zásobníku s vodou, vracející se

z daného okruhu. Ventily jsou provozovány v rozmezí 0–100%, to znamená, když je ventil otevřen na 100%, tak je zcela otevřen teplý přívod. Pro výpočty jsou tyto hodnoty přepočteny na rozmezí 0 – 1. Funkci vnitřní teploty lze popsat z více částí. V každém případě dochází k ochlazování, nebo naopak k oteplování vnitřních prostor vlivem předávání tepla do okolí. Proto je důležité rozhodnout, zda se bude teplo absorbovat nebo vyzařovat z budovy. To záleží na aktuálních stavech vnitřní a venkovní teploty. Pomocí jejich rozdílu se snadno zjistí, kam se bude tepelná energie přelévat. A podle toho se dá i určit koeficient ztrát vnitřní teploty. Dalším ovlivněním vnitřní teploty je vytápění pomocí topného systému. To se odvíjí od teploty topné větve a konstanty pro předávání energie z topných registrů do okolí. Aby bylo možné správně určit množství tepla dodaného do topného řádu, je zapotřebí znát rozdíl teplot na vstupu a na výstupu z topné větve.

8. PROGRAMOVÁ ČÁST SIMULÁTORU TOPENÍ

Jak vyplývá ze zadání, celý technologický proces bude aplikován do obvodu s řídicím mikroprocesorem. Pro velmi snadnou dostupnost byl vybrán mikroprocesor řady ATMEGA16 od firmy ATMEL. Tyto μP se vyznačují širokou flexibilitou a použitelností. Dalším kladem je již integrovaný A/D převodník s osmi multiplexními vstupy, které se využívají pro zadávání vstupních hodnot teplot. V neposlední řadě je vlastnost těchto mikroprocesorů a to, že se dají programovat přímo v aplikaci. Není tedy nutné je osazovat do složitých programátorů a při každé změně programu vyndávat μP ze zapojení. Jako výstup z technologického procesu je použita periferní sériová linka, sloužící zároveň k naprogramování obslužného programu do μP . Ta je dále zpracovávána, abychom docílili potřebného propojení simulátoru s řídicím programovatelným automatem. Program je psán v programovacím jazyce C a kompilován pomocí AVR studia od výrobce zvoleného mikroprocesoru.

8.1 NÁSTROJE PRO PROGRAMOVÁNÍ MIKROPROCESORU

8.1.1 AVR studio od společnosti Atmel

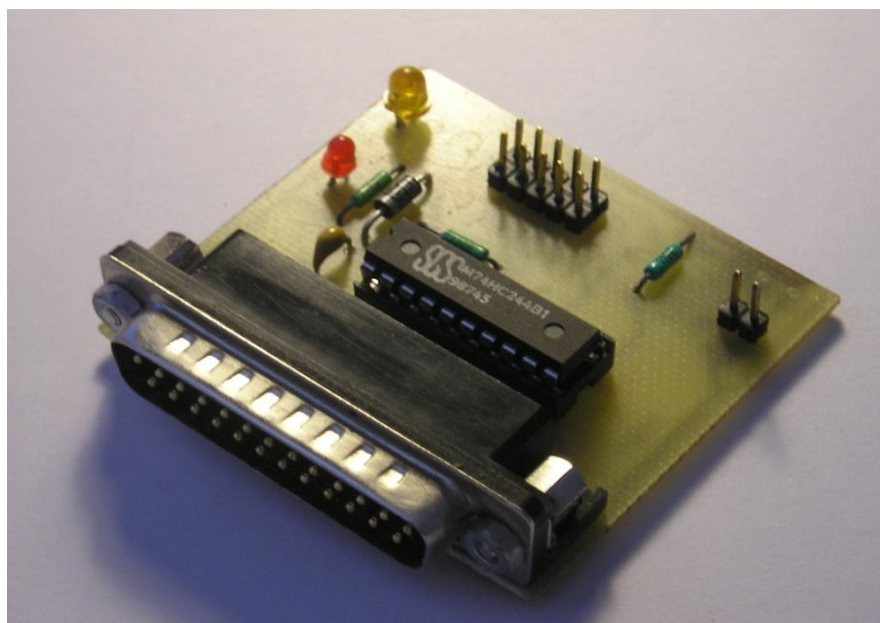
Výrobce vybraného mikroprocesoru vyvíjí pro programování svých integrovaných obvodů vlastní software. Tento programovací nástroj se nazývá „AVR Studio“. V něm je možno programovat pomocí jazyka C, protože obsahuje nástroje k překladu z programovacího jazyka C do binárních souborů a také simulovat chod programu v mikroprocesoru. Vytvořené binární soubory se pak přímo nahrají přes sériové rozhraní do mikroprocesoru pomocí programátorů, signálových převodníků. Pokud je však uživatel zvyklý psát programový kód přímo z jazyku symbolických adres, označovaným jako „assembler“, není to v AVR studiu problém. Když je programový kód v assembleru napsán vhodným způsobem, může být výrazně kratší, než automatický překlad z jazyka C. Tento vývojový software je volně k dispozici na internetových stránkách společnosti ATMEL včetně podrobných návodů. Tento program byl využit i pro sestavení a simulaci programového kódu trenažeru.

8.1.2 Jiné programovací nástroje

Samozřejmostí je, že není jenom jediný výrobce programovacího softwaru. Pokud si nevystačíme pouze s nabídkou mikroprocesoru od jediné firmy, často tomu tak právě bývá, musíme zvolit vhodnější typ, právě třeba od jiného výrobce. Záleží tedy, na jakou aplikaci chceme μP použít a jaké funkce má plnit. V těchto případech je nutné buďto použít speciální software určený přímo pro programování daného mikroprocesoru, nebo programovat v programovacím jazyku C a použít vhodný kompilátor pro vygenerování binárního souboru.

8.1.3 Programátor STK 200

Pro komunikaci mikroprocesoru a osobního počítače je nutné zajistit, aby byly správně definované signálové úrovně obou zařízení. A to hlavně v případě sériového programátoru jako je STK 500, PRESTO a podobně. STK200 je paralelní programátor založen pouze na principu impedančního oddělení mezi PC a mikroprocesorem. O zbytek se stará program v PC, který řídí datové toky. Pro příklad software PonyProg, který byl použit z důvodu nekompatibility AVR Studia s nasazeným paralelním programátorem STK 200.



Obrázek 2: Programátor STK 200 pro μP Atmel

8.2 FUNKCE TOPNÉHO SYSTÉMU VE ZDROJOVÉM KÓDU

Veškeré výpočty teplot systému se provádí v hlavním těle programu. Vstupní hodnoty zadávaných proměnných jsou převedeny pomocí 10 bitového, integrovaného A/D převodníku na hodnoty datového typu integer. Následně přepočteny na teploty v požadovaném rozsahu, podle toho o jaký druh se jedná. Venkovní teplota je přepočítávána na rozsah $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+45\text{ }^{\circ}\text{C}$ pomocí rozhodovací funkce. Toto je potřeba z důvodu, že integrovaný A/D převodník dokáže pracovat pouze s kladným referenčním napětím a záporná hodnota venkovní teploty je důležitá ke správným výpočtům ostatních částí. Podobně jsou přepočítávány i teploty výstupu z krbu a plynového kotle s tím rozdílem, že jejich rozsahy jsou pouze v kladných číslech. Stejným způsobem je proveden výpočet procentuelních otevření trojcestných ventilů v topné a TUV větvi. Celý rozsah převodníku, tedy 10 bitů, je rozdělen mezi hodnoty 0-1. Tento koeficient se poté využívá k výpočtům přírůstků a úbytků v jednotlivých částech topného systému. Konkrétně pro ohřev TUV, TV a odčerpávání tepla ze zásobníku teplé vody. Těmito hodnotami se pak zabezpečuje regulace pomocí PLC na požadované teploty. Teplota na výstupu plynového kotle je plynule regulovatelná do $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pokud vznikne požadavek na zapnutí kotle, systém dostane požadovanou hodnotu výstupní teploty a začne pod podmínkou puštěného kotlového čerpadla ohřívat akumulární nádrž o rozdíl teplot akumulární nádrže a zadané teploty kotle vynásobené předávacím teplotním koeficientem. Stejným způsobem je provedeno ohřívání zásobníku i u okruhu solárního kolektoru. Převedená teplotní hodnota vstupu A/D převodníku je pod podmínkou činnosti oběhového čerpadla solární větve opět přičítána jako rozdíl jednotlivých teplot vynásobených předávacím koeficientem. Pokud je špatně provedena regulace a oběhová čerpadla jsou aktivní i v době, kdy jsou teploty zdrojů menší než teplota zásobníku TV, nastává ochlazování akumulární nádoby, opět v poměru rozdílu jednotlivých teplot vynásobených předávacím koeficientem. Ten je však upraven na menší hodnotu, než koeficient pro ohřev. Pro krbový okruh je situace obdobná. Jediný rozdíl je v podmínce dodávání tepla akumulární nádobě. Jelikož je v topném okruhu krbu zařazen trojcestný ventil, řízený teplotou krbové vložky, musí se zjišťovat, zda je teplota ze vstupu krbové teploty vyšší než 65°C . Pokud tomu tak

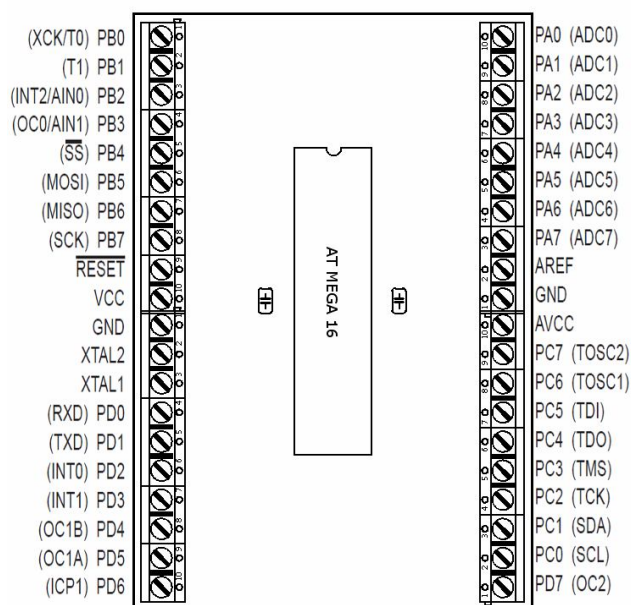
není, nebude se krb podílet na ohřevu zásobníku teplé vody. Funkce ohřívání zásobníku TUV je v principu podobná. Rozdíl je v násobení přírůstku teploty polohou trojcestného ventilu. Pokud bude přepočtená hodnota ventilu TUV rovna 1, bude se plně ohřívát zásobník TUV ze zásobníku TV. Pokud se poloha ventilu změní, bude přimíchávána voda ze zpátečky ohřevu TUV zásobníku a tím pádem přírůstek teploty nebude tak vysoký, jako při plném otevření (násobení koeficientem menším než 1). Totéž platí pro ochlazování TUV. V cyklu programu je zařazena funkce pro stály odběr a ochlazování TUV vlivem šatné regulace. Konstanty pro odběr jsou voleny experimentálně, avšak je počítáno s tím, aby byla regulace schopna dostatečně vyhovět požadavkům. Není totiž znám přesný odběr. Ohřev topné vody je počítán z přírůstků od akumulací nádrže a stavu otevření trojcestného ventilu. To však je ještě doplněno o výpočet teploty vracející se vody z topného řádu a jejího ochlazení vzniklé předáním tepla do objektu. Stálý přírůstek, nebo úbytek vnitřní teploty je závislý na teplotě venkovní. Když je venku chladněji, vnitřní prostory se ochlazují, když je venku tepleji, tak se vnitřní prostory ohřívají. Toto obstarává porovnávací funkce, z níž se také odvíjí výpočet zpáteční vody topného řádu, důležitá při propočtu oteplování prostor vlivem topení. Konkrétněji jsou výpočty a proměnné popsány ve zdrojovém kódu, který je na příloženém CD této práce.

9. KONSTRUKCE A PROGRAMOVÁ OBSLUHA SIMULÁTORU TOPENÍ

Základ konstrukce je hlavní deska osazena mikroprocesorem ATMEGA16. Na tuto desku se dá připojit libovolné množství zobrazovačů teplot, obsahujících analogové výstupy. K jejich řízení je použita další rozšiřitelná deska určující jejich postupné zobrazování. Všechna zapojení jednotlivých částí modelu jsou navržena tak, aby bylo pokud možno co nejvíce finančních úspor. Při použití speciálních součástek používaných k těmto účelům by náklady znatelně stouply. Všechny integrované obvody a periferie jsou napájeny +5V. Podklady pro výrobu desek tištěných spojů a zapojení jsou součástí přílohy na CD.

9.1 HLAVNÍ MIKROPROCESOROVÁ DESKA

Nejdůležitější částí mikroprocesorové desky je mikroprocesor ATMEGA16. Ten obstarává celý chod simulátoru. Pro simulátor je využito na portu A 6 z 8 multiplexních kanálů integrovaného 10 bitového A/D převodníku s nastaveným referenčním napětím na $A_{REF} = V_{CC}$. Které snímají hodnoty napětí z PLC a případných periferií. Vyvedeny jsou ovšem všechny, pro případné rozšíření funkce modelu. Na port D jsou přivedeny digitální vstupy z PLC. Pro komunikaci se zobrazovači využívá mikroprocesor sériovou linku, SPI, na portu B. PC0 a PC1 portu C jsou použity pro přepínání zobrazovačů pomocí řídicí desky. Deska obsahuje veškeré vstupy a výstupy včetně napájení mikroprocesoru, aby bylo možno simulátor kdykoliv a jakkoliv rozšířit libovolným zapojením, případně přeprogramovat na jinou činnost, bez nutnosti rozebírání.



Obrázek 3: Schéma mikroprocesorové desky

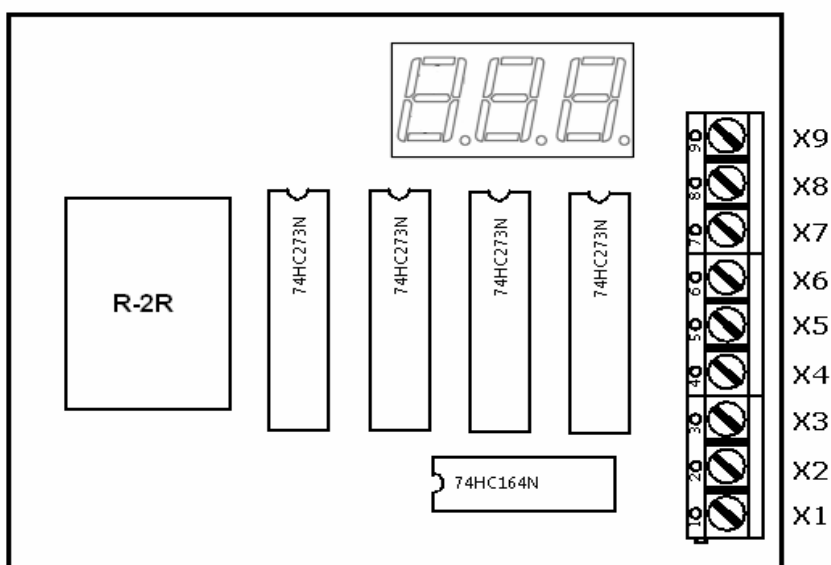
9.1.1 Zapojení svorkovnice desky zobrazovače

Svorkovnice pro připojení vstupů a výstupů hlavní desky je patrná z obrázku č.3. Odpovídá zapojení vstupů a výstupů mikroprocesoru ATMEGA16 .

9.2 DESKA ZOBRAZOVÁNÍ TEPLoty S ANALOGOVÝM VÝSTUPEM

Zapojení zobrazovací jednotky je trochu složitější vlivem použití trojitého 7 segmentového LED displeje a klopných obvodů typu D. Deska obsahuje tedy LED displej se třemi zobrazovanými číslicemi. Pro každou číslici je samostatný D-ko. Na desce je dále osazen 8 bitový posuvný registr, zabezpečující převod sériových dat na paralelní výstup pro LED displej. Součástí je také analogový výstup nutný pro komunikaci modelu s PLC. Ten je tvořen D-ko a odporovou sítí R-2R, na jejímž výstupu je maximální napětí rovno V_{CC} . Celá deska je připojena na hlavní desku

s mikroprocesorem sériovou linkou obsahující data a hodinový signál. Dále je propojena čtyřmi vodiči s řídicí deskou. Tři z nich slouží k přivedení hodinového signálu na jednotlivé D-ko obvody LED displeje. Ty pak zapíší hodnotu získanou z posuvného registru na výstup do segmentového displeje. Čtvrtý hodinový signál slouží k uložení hodnoty D-ko pro analogový výstup sítě R-2R. Na obrázku č.3 (kap.9.2) je znázorněno zapojení a svorkovnice desky.



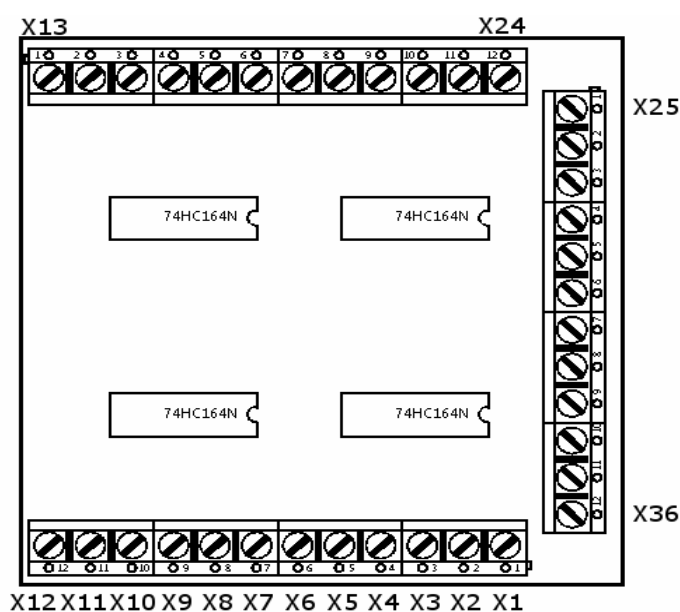
Obrázek 4: Schéma desky zobrazovače teplot

9.2.1 Zapojení svorkovnice desky zobrazovače

X1	...	GND
X2	...	V _{CC} (+5V)
X3	...	CLK (SPI, SCK(PB7) hlavní deska)
X4	...	DATA _{IN} (MOSI(PB5) hlavní deska)
X5 – X8	...	CLK (vstup, zobrazení číslice, X5-X8 řídicí deska)
X9	...	AO1 (analogový výstup)

9.3 ŘÍDÍCÍ DESKA

Řídící deska obstarává přepínání jednotlivých D-ko na zobrazovacích modulech. V důsledku použití stejných posuvných registrů jako pro převod sériových dat pro zobrazení na LED displeji, je vhodnější vyrobit zvláštní desku pro řízení přepínání segmentů a analogových výstupů na zobrazovacích modulech. Hodinový signál pak přivést pro každý D-ko zvlášť. Toto navržení zaručuje snadnou rozšiřitelnost při další potřebě. Vstupem desky je pouze hodinový signál a startovací bit, generovaný hlavní deskou. Výstupem jsou hodinové signály pro každý D-ko ve schématu. Vždy po sobě jdoucí 4 piny svorkovnice pro jednu zobrazovací desku.



Obrázek 5: Schéma řídicí desky

9.3.1 Zapojení svorkovnice řídicí desky

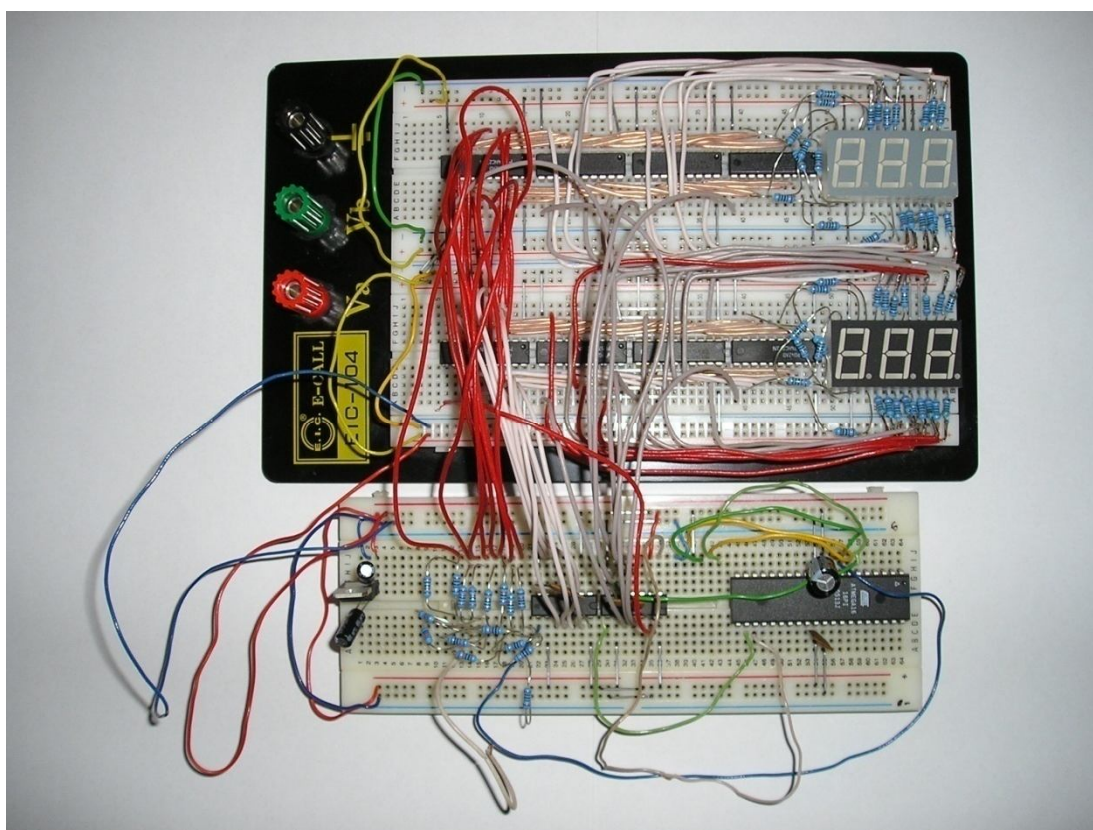
X1	...	GND
X2	...	V _{CC} (+5V)
X3	...	CLK (PC0)
X4	...	Start bit (PC1)
X5 – X8	...	CLK (výstup, zobrazovač, X5-X8 deska zobrazovače)
X9 – X36	...	CLK (X36 výstup pro rozšíření)

9.4 FUNKCE ZOBRAZOVÁNÍ TEPLoty NA LED DISPLEJI VE ZDROJOVÉM KÓDU

Programová obsluha zobrazování a analogového výstupu je prováděna funkcí „Zobraz“. Ta pouze postupně volá přepočtové funkce, které obstarávají dílčí rozdělení a odeslání hodnoty na LED displej a analogový výstup. Postup zobrazení jedné hodnoty teploty je rozdělen do tří kroků. V každém se zobrazí jedna číslice ze tří. Postupně od desetinného místa, až po desítky. Z toho každé číslo ještě musí projít převodní funkcí „prevod“. Ta zajišťuje převedení dekadického čísla od 0 do 9 na logické hodnoty. Pokud je výstup D-ko pro daný segment v logické nule, LED se rozsvítí. Tento převod nahrazuje řadič pro LED displeje.

10. ZKUŠEBNÍ ZAPOJENÍ SIMULÁTORU

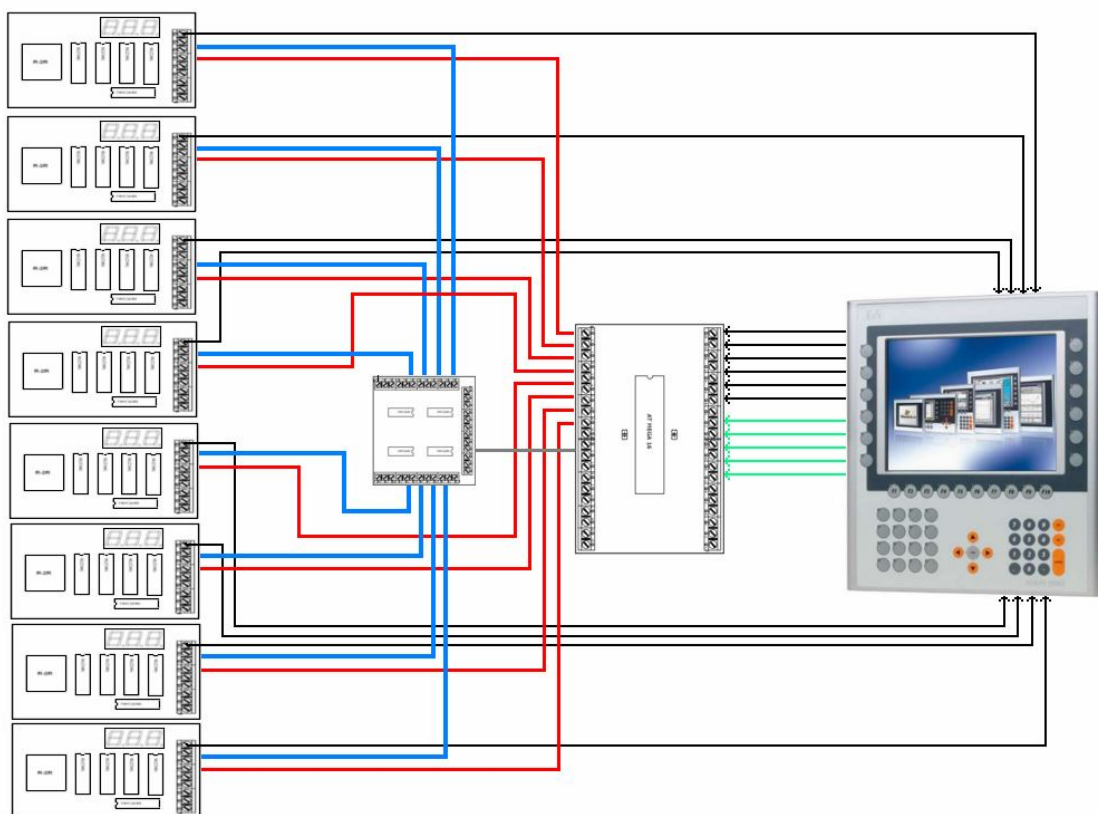
Zkušební zapojení je sestaveno na kontaktním poli. Obsahuje mikroprocesor a dvojité sestavení zobrazovače teplot s jedním analogovým výstupem. Na tomto zapojení je možno odzkoušet funkci celého simulačního programu nahraného do mikroprocesoru. Pod jedním omezením a to je zobrazení pouze dvou teplot. Je tedy určeno primárně pro odladění simulačního programu. V obvodu jsou použita zapojení z jednotlivých částí simulátoru (hlavní deska, zobrazovací deska, řídící deska) tak, aby tvořily funkční celek. Program pro ověření funkčnosti je na přiloženém CD.



Obrázek 6: Zkušební zapojení simulátoru

11. PROPOJENÍ SIMULÁTORU A PLC

Simulátor topení inteligentního domu je s PLC propojen pomocí analogových i digitálních vstupů a výstupů. Celkem tedy 8 analogových vstupů, 6 analogových výstupů a 5 digitálních výstupů z pohledu PLC.



Obrázek 7: Schéma propojení simulátoru a PLC

Legenda k obrázku č.7 :

- Černé spoje ... Analogové vstupy a výstupy (orientace dle šípek)
- Zelené spoje ... Digitální vstupy a výstupy (orientace dle šípek)
- Červené spoje ... Sériová linka (DATA,CLK)
- Modré spoje ... Hodinové signály pro D-ko zobrazovačů
- Šedivé spoje ... Přepínání zobrazovačů (CLK, Start bit)

11.1 KALIBRACE VSTUPŮ A VÝSTUPŮ PLC

Pro správnou komunikaci trenažéru s PLC je zapotřebí nakonfigurovat analogové vstupy a výstupy kontroléru. Simulátor standardně pracuje s rozsahem vstupního napětí A/D převodníku 0V - 5V. Proto se musí provést kalibrace analogových modulů PLC, jejichž pracovní rozsah je -10 až +10V. Vzhledem k tomu, že je zapotřebí pouze malý rozsah předávaných hodnot pomocí analogových vstupů a výstupů, postačuje rozsah napětí od 0V do 5V. Pokud by nebylo možné kalibraci provést přímo v PLC, je nutné přiřadit vhodné zesilovače pro úpravu napětí.

Tabulka 1: Kalibrace vstupů a výstupů PLC

Teplota	Rozsah [°C]	Rozsah [V]	Pozn.
Venkovní	- 45 až + 45	0 – 5	z PLC
Vnitřní	0 – 99,9	0 – 5	z D/A převodníku
Solárního panelu	0 – 85	0 – 5	z PLC
Plynového kotle	0 - 90	0 – 5	z PLC
Krbu	0 – 80	0 – 5	z PLC
Akumulační nádrže	0 – 99,9	0 – 5	z D/A převodníku
Topné větve	0 - 99,9	0 – 5	z D/A převodníku
Zásobníku TUV	0 – 99,9	0 – 5	z D/A převodníku

12. ROZŠÍŘENÍ A VYLEPŠENÍ

Jak již bylo naznačeno v předešlých částech této práce, celý simulátor včetně programového vybavení byl navrhován tak, aby mohl být v budoucnu rozšiřován a zdokonalován. Což je i předpoklad, protože model je součástí grantového projektu.

12.1 PROGRAMOVÉ ROZŠÍŘENÍ

Vytvořený program je složen z funkčních bloků, které obstarávají danou část simulátoru. Při výpočtech jsou použity předávací koeficienty jednotlivých teplot, získané experimentálními metodami z reálného procesu [4]. Proto nejspíš nebudou souhlasit s navrženou budovou grantového projektu. Tyto koeficienty je třeba nahradit konstantami, případně celými závislostmi z konkrétního modelu budovy, po jeho energetickém výpočtu. Dále jsou v programu zařazeny zpoždovací funkce, pro zbrzdění provádění programu. Jejich úpravou, nebo přidáním některé zpoždovací funkce, je možno docílit pomalejšího či rychlejšího přechodů stavů budovy. Záleží na časových požadavcích modelu. Byla by možnost tuto rychlost děje měnit i dynamicky. Stačilo by použít jeden ze dvou nevyužitých analogových vstupů pro přivedení rychlostní konstanty.

12.2 HARDWAROVÉ ROZŠÍŘENÍ

Zapojení a desky plošných spojů jsou navrženy tak, aby bylo možno připojit další zobrazovače teplot i s jejich řízením a vstupními daty. Případná chybová funkčnost při vyšších počtech periferních modulů by mohla být zapříčiněná nedostačující úrovní datových signálů. V takovém případě je nutné zařadit do cesty posilovače úrovní sběrnic. Pro vstupní hodnoty teplot jsou použity A/D převodníky v mikroprocesoru. Proto je zcela jedno, z jakého zdroje vstupní napětí pochází. Jako základní se dá použít analogový výstup z modulu PLC. Pro otestování navržené regulace asi nejvýhodnější z hlediska obsluhy. Na panelu PLC můžeme mít nastavení vstupních teplot a přitom sledovat odezvu systému. Vše tedy v jednom místě. Když by byl projekt dále rozvíjen, byla by možnost sestavení periférií, nahrazující výstupy z PLC. Kupříkladu teplota solárního panelu by byla získávána z fotovoltaického

článku. Podobně i u ostatních vstupních hodnot je zcela jedno, jaký člen je bude poskytovat. Pouze platí podmínka dodržení kalibrační tabulky (tab.č.1).

13. ZÁVĚR

Tato práce vznikala pro potřeby grantového projektu. Je to jedna ze součástí modelu inteligentního domu, která bude sloužit studentům k výuce regulačních metod, používaných v praxi. Tento simulátor je navržen tak, aby bylo zcela jasné, co se v něm odehrává. Použité topenářské schéma je běžně realizováno v rodinných domech i industriálních stavbách. Jeho hydraulické vlastnosti jsou na první pohled zřetelné i osobě problematiky neznalé. A to zaručuje rychlou orientaci při sestavování regulačních metod topného systému. Simulátor je sestaven zatím pouze jako testovací zapojení na kontaktním poli (kap.10), avšak je vytvořena příprava pro výrobu jednotlivých funkčních bloků popsaných v kapitole 9, včetně zapojení a předloh desek plošných spojů. Veškeré potřebné materiály k jejich výrobě jsou na přiloženém CD této práce. Stejně tak i potřebný software k vývoji programu simulátoru. Jelikož je simulátor ještě ve fázi vývoje a doladování, je možné, že některé zvolené postupy a návrhy budou změněny. Pro navrhování celé funkce simulátoru byly hlavními kritérii jednoduchý princip, možnost snadného rozšíření a co nejmenší finanční náklady. Z tohoto důvodu nejsou použity speciální integrované obvody a vše je řešeno obsluhujícím programem v mikroprocesoru.

14. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Matoušek David. Práce s mikrokontroléry ATMEL AVR ATmega16 4. Díl. Praha : BEN – technická literatura, 2006. 1. Vydání, ISBN 80-7300-174-8
- [2] Ing. Zdeněk Reinberk. Ekvitermní křivky – výpočet [online], 11.9.2002. Dostupné z URL: < <http://www.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=50&h=38>>
- [3] Technické zařízení budov [online]. www.tzb-info.cz
- [4] Úsporné řešení pro vaše topení [online], 21.11.2008. Dostupné z URL: < <http://www.asb-portal.cz/2008/11/21/stavebnictvi/tzb/usporne-reseni-pro-vase-topeni.html>>
- [5] Ondřej Karas, seriál o AVR [online], 2006-2007. Dostupné z URL: < <http://programujte.com/index.php?rubrika=70&sekce=179-avr&strana=1>>
- [6] Alternativní zdroje energie [online], 2007. Dostupné z URL: < <http://www.solary.cz/technologie/alternativni-zdroje/>>
- [7] Datasheet ATMEGA16 [online], Dostupné z URL:< http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8154.pdf>

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obrázek 1: Schéma topného systému	22
Obrázek 2: Programátor STK 200 pro μ P Atmel	29
Obrázek 3: Schéma mikroprocesorové desky	33
Obrázek 4: Schéma desky zobrazovače teplot	34
Obrázek 5: Schéma řídicí desky	35
Obrázek 6: Zkušební zapojení simulátoru.....	37
Obrázek 7: Schéma propojení simulátoru a PLC	38

SEZNAM ROVNIC:

Rovnice 1: Výpočet ochlazení topné vody (ekvitemní křivka) [2]	15
Rovnice 2: Výpočet střední hodnoty teploty topné vody (Ekvitemní křivka) [2].....	15
Rovnice 3: Přírůstek teploty v akumulární nádrži od všech zdrojů	23
Rovnice 4: Úbytek teploty v akumulární nádrži od všech zdrojů tepla	24
Rovnice 5: Úbytek teploty v akumulární nádobě vlivem nabíjení zásobníku teplé užitkové vody	24
Rovnice 6: Úbytek teploty v akumulární nádobě vlivem ohřevu topné soustavy.....	24
Rovnice 7: Závislost ohřevu TUV	25
Rovnice 8: Závislost teploty topné větve	25
Rovnice 9: Závislost požadované vnitřní teploty	25

SEZNAM TABULEK:

Tabulka 1: Kalibrace vstupů a výstupů PLC.....	39
--	----

SEZNAM GRAFŮ:

Graf 1: Ekvitemní křivka pro vnitřní teplotu 21°C [2].....	16
--	----