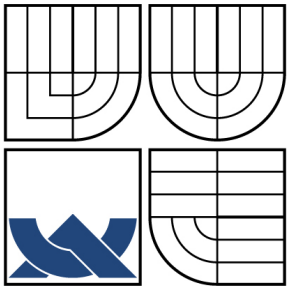
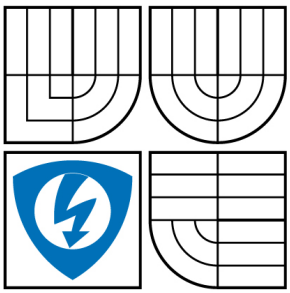


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

INTELIGENTNÍ ŘÍDÍCÍ JEDNOTKA TEPLOVODNÍHO VYTÁPĚNÍ

INTELIGENT CONTROL UNIT FOR HOT WATER HEATING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

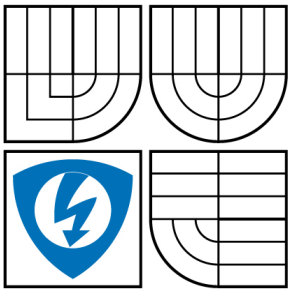
AUTOR PRÁCE — PRAVOSLAV NEDOMA

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. TOMÁŠ HAVLÍČEK

SUPERVISOR

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav mikroelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Mikroelektronika a technologie

Student:	Nedoma Pravoslav	***ID:***	78445
Ročník:	3	***Akademický rok:***	2007/2008

NÁZEV TÉMATU:

Inteligentní řídící jednotka teplovodního vytápění

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte zařízení pro regulaci centrálního teplovodního vytápění s akumulační nádrží v závislosti na tepelné ztrátě budovy, včetně uživatelského přiřazení požadovaných teplot pro jednotlivé místnosti. Jako hlavní řídicí prvek systému použijte mikroprocesor, který na základě informací z digitálních teplotních senzorů provede regulaci teplot s využitím servopohonu. Veškeré údaje budou zobrazeny na centrální jednotce s LCD displejem. Celý systém bude možné připojit pomocí USB k PC a pomocí řídicího SW pro MS Windows XP sledovat jeho stav. Veškerou dokumentaci přiložte na CD.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání:	5.10.2007	***Termín odevzdání:***	30.5.2008

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Havlíček

prof. Ing. Radimír Vrba, CSc.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práve 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.

Licenční smlouva
poskytovaná k výkonu práva užít školní dílo

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Pravoslav Nedoma

Bytem: Židněves 9, Březno 294 06

Narozen/a (datum a místo): 12.5.1986, Mladá Boleslav

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

Prof. Ing. Vladislav Musil, CSc.

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1
Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

   □ disertační práce

   □ diplomová práce

   ☒ bakalářská práce

   □ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....

   (dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP: Inteligentní řídící jednotka teplovodního vytápění

Vedoucí/ školitel VŠKP: Ing. Tomáš Havlíček

Ústav: Ústav mikroelektroniky

Datum obhajoby VŠKP: .....

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v:

☒ tištěné formě – počet exemplářů 2

☒ elektronické formě – počet exemplářů 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2
Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizovaní výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
   - □ ihned po uzavření této smlouvy
   - □ 1 rok po uzavření této smlouvy
   - ☒ 3 roky po uzavření této smlouvy
   - □ 5 let po uzavření této smlouvy
   - □ 10 let po uzavření této smlouvy

   (z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3
Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísni a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 29. 5. 2008

…….. ……

Nabyvatel Autor

Abstrakt:

Projekt se zabývá návrhem řídící jednotky pro regulaci teplovodního vytápění. Zaměřuje se na mikroprocesorové řízení a použití digitálních teplotních senzorů. Systém řídí průběh regulace s ohledem na proměnné klimatické podmínky a uživateli umožňuje nezávisle na sobě nastavit požadovanou teplotu v jednotlivých místnostech. Údaje o stavu regulace jsou zobrazovány na LCD displeji 4x16 znaků a rovněž na PC prostřednictvím USB portu nebo bezdrátového přenosu Bluetooth a příslušného softwaru.

Abstract:

The target of the project is to design the control unit of the hot water heating with the dynamic run depending on the building heating loss, including possibility of adjusting of room´s temperatures individually by user. System is driven by microprocessors and uses digital temperature sensors and electronically controlled valves. All information and datas are displayed on the LCD display panel and whole unit can be easily connected to the PC via the USB port or Bluetooth.

Klíčová slova:

Vytápění, regulace, sběrnice 1-Wire, sběrnice I^2C, termoelektrická hlavice, Bluetooth

Keywords:

Heating, regulativ, bus 1-Wire, bus I^2C, thermoelectric valve, Bluetooth

Bibliografická citace díla:

NEDOMA, P. *Inteligentní řídící jednotka teplovodního vytápění.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2008. 54 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Havlíček.

Prohlášení autora o původnosti díla:

Prohlašuji, že jsem tuto vysokoškolskou kvalifikační práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury. 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 29. 5. 2008

…….

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, Ing. Tomáši Havlíčkovi, za metodické a cíleně orientované vedení při plnění úkolů realizovaných v návaznosti na bakalářskou práci.

OBSAH

1 Úvod 9

2 Možnosti regulace vytápění 10

2.1. Regulace pokojovým termostatem v referenční místnosti 10

2.2. Ekvitermní regulace 10

2.3. Kombinace ekvitermní regulace s pokojovým termostatem 11

2.3.1. Umístění teplotního senzoru 11

3 Popis teplovodního topného rozvodu 12

3.1 Akumulační nádrž 12

3.2 Elektrické topné těleso 12

3.3 Směšovací ventil 13

3.4 Čerpadlo 13

3.5 Rozdělovač pro podlahové topení 13

3.6 Trubky podlahového vytápění 14

3.7 Hygienické požadavky teplot 14

4 Požadavky na teplotní senzor 15

4.1 Různorodé teplotně hlídané sektory 15

4.2 Krytka teplotního senzoru 15

5 Vlastní návrh regulačního systému teplovodního vytápění 16

5.1 Hlavní řídící jednotka 16

5.2 Modul termoelektrických hlavic 18

5.3 Externí ovládací panel 19

5.4 Bluetooth modul 20

6 Algoritmus regulace vytápění 21

6.1 Vlastnosti navrženého systému 21

7 Popis uživatelského menu 22

7.1 Uživatelské ovládání systému 23

7.2 Změna požadované teploty v místnosti 23

7.3 Změna času 24

7.4 Změna intenzity podsvětlení 24

7.5 Informace o chodu regulace *25*

8 Software pro Windows **26**

8.1 Připojení k PC pomocí USB portu *26*

8.2 Bezdrátové připojení technologií Bluetooth *27*

8.3 Vlastní program pro Windows *28*

9 Jednovodičová sběrnice 1-Wire **30**

9.1 Zahájení komunikace na 1-Wire *30*

9.2 Zápis dat na sběrnici *31*

9.3 Čtení dat na sběrnici *32*

10. Digitální teplotní senzor DS18B20 **33**

10.1 Registr změřené teploty *34*

10.2 Konfigurační registr *35*

10.3 Jedinečný 64 bitový ROM kód *35*

10.4 Příkazy pro DS18B20 *35*

10.5 Přesnost senzoru DS18B20 *36*

11. Dvouvodičová sběrnice I^2C **37**

11.1 Komunikace na sběrnici I^2C *37*

12. Obvod reálného času DS3231 **39**

12.1 Příklad komunikace po sběrnici I^2C s obvodem DS3231 *42*

13. Termoelektrická hlavice Giacomini **43**

13.1 Měření příkonu hlavice Giacomini R478X101 *44*

14. Maticový LCD displej **46**

15. Popis zapojení jednotlivých modulů **48**

15.1 Zapojení hlavní řídící jednotky *48*

15.2 Zapojení modulu termoelektrických hlavic *49*

15.3 Zapojení externího ovládacího panelu *50*

16. Závěr **52**

17. Použitá literatura **53**

18. Přílohy **54**

1 Úvod

Jedním z cílů práce je objasnit možnosti regulace teplovodního vytápění a vysvětlit jejich výhody a nevýhody. Jednotlivé kapitoly popisují vlastnosti ekvitermní regulace, regulace pomocí termostatu v referenční místnosti a možnosti jejich kombinace. Úkolem je zvolit nejvhodnější způsob regulace, který je možné realizovat elektronickým systémem. Text popisuje jednotlivé prvky reálného teplovodního topného rozvodu včetně jejich možností elektronické regulace. Na základě získaných informací je navrhnuta inteligentní řídící jednotku teplovodního vytápění, která je aplikovaná na teplovodní rozvod vybavený akumulační nádrží s elektrickým ohřevem topné vody. Dále je proveden výběr elektronický součástek pro jednotlivé moduly, ze kterých je systém sestaven. Úkolem práce je porovnat parametry dostupných teplotních senzorů a zvolit nejvhodnější typ s ohledem na kvalitu měření a ekonomické hledisko a vyhledat prvky pro regulaci topné vody a elektronické ovládání ventilů jednotlivých zón topného okruhu. Samostatná kapitola je věnována popisu navrženého algoritmu regulace teplovodního vytápění, který byl ověřen v praxi. Kapitola uživatelského menu nabízí návod jak celý systém nastavovat a monitorovat pomocí ovládacího panelu.

Druhá část práce je věnována detailnímu popisu použité jednovodičové sběrnice 1-Wire včetně její programové obsluhy pomocí mikroprocesoru. Text podrobně vystihuje vlastnosti použitého teplotního senzoru DS18B20 firmy Maxim-Dallas. V další kapitole jsou nastíněny parametry a předepsané normy sběrnice I^2C firmy Philips, po které jednotlivé navržené moduly komunikují. V projektu je použit obvod reálného času DS3231, způsoby jeho ovládání popisuje kapitola 12. Pro ovládání jednotlivých topných okruhů slouží termoelektrická hlavice Giacomini R478X101, jejímiž vlastnostmi včetně měření skutečné spotřeby elektrické energie se zabývá samostatná kapitola.

Poslední kapitola se věnuje vlastnímu popisu elektronického zapojení hlavní řídící jednotky s použitým řídícím mikroprocesorem PIC16F877A firmy Microchip a zapojení modulu termo-elektrických hlavic s expandérem sběrnice I^2C. Kapitolu ukončuje popis schématu externího ovládacího panelu s mikroprocesorem PIC16F873A a integrovaným Bluetooth modulem firmy ConnectBlue. Řídící program v jazyku assembler pro mikroprocesory Microchip byl vyvíjen v prostředí MPLAB, které podporuje použitý hardwarovým emulátor a programátor ICD2.

2 Možnosti regulace vytápění

Regulace obecně dovoluje usměrnit průběh řízené veličiny v požadovaných mezích. V našem případě se budeme zabývat regulací teploty topné vody a následně teploty ve vytápěných místnostech. Popíši tři základní způsoby regulace teplovodního vytápění:

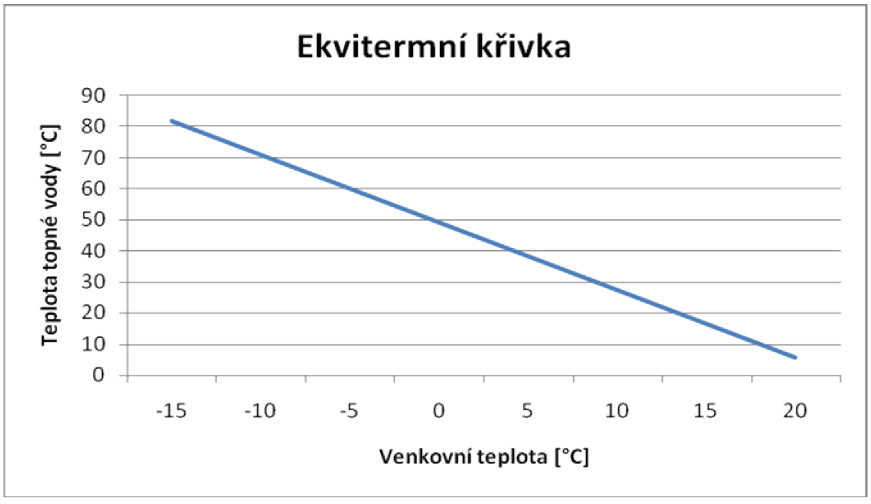
- Regulace pokojovým termostatem v referenční místnosti
- Ekvitermní regulace
- Kombinace ekvitermní regulace s pokojovým termostatem

2.1. Regulace pokojovým termostatem v referenční místnosti

Hlavním předpokladem je správný výběr referenční místnosti, jejíž teplotní režim je dále aplikován na ostatní místnosti v objektu. V rodinném domě se jako nejvhodnější jeví např. obývací pokoj. Naopak zcela nevhodná je místnost s dalším tepelným zdrojem. Proto se musíme vyvarovat umístění termostatu do kuchyně, koupelny, apod. Jakmile je v referenční místnosti dosaženo požadované teploty, pokojový termostat zajistí vypnutí či snížení dodávaného výkonu do topné soustavy. Zároveň je zamezeno vytápění dalších prostor. Díky tomu se ve vytápěném objektu může objevit prostor, kde není dosaženo požadované teploty. Naopak pokud v referenční místnosti bude příliš nízká teplota oproti ostatním pokojům, dojde k přetápění, které se zastaví až dosažením nastavené teploty v hlídané místnosti. Tento jev je dán tím, že systém regulace má informaci o teplotě pouze v hlídané referenční místnosti a ostatní prostory nejsou předmětem měření. Z tohoto důvodu je tento typ regulace značně náchylný na umístění pokojů na různé světové strany. Nemalou měrou také přispívá pohyb osob a celkové dění v referenční místnosti. Vzhledem ke značné nekomfortnosti tento způsob řízení vytápění opustíme a zaměříme se na druhou možnost regulace.

2.2. Ekvitermní regulace

Ekvitermní regulace zabezpečuje přizpůsobení okamžitého výkonu topné soustavy aktuální venkovní teplotě prostřednictvím regulace teploty topného média. Pro vyjádření závislosti teploty ohřívaného média a venkovní teploty slouží ekvitermní křivka znázorněná na obrázku 1.



Obrázek 1: Obecná ekvitermní křivka

Graf definuje pro venkovní teplotu v rozsahu -15 °C až 20 °C potřebnou teplotu topné vody, kterou je nutné dodávat do oběhu, aby byly pokryty ztráty vytápěného objektu. Závislost ve formě vhodně zvolené křivky se předá ekvitermnímu regulátoru, který bude řídit teplotu oběhové vody. Technicky se potřebná teplota oběhové vody nastaví směšováním teplé vody z tepelného zdroje (např. teplovodní kotel či akumulační nádrž) a vratné vody.

Ekvitermní regulace oproti regulaci pokojovým termostatem v referenční místnosti má výhodu v tom, že předvídá průběh tepelné ztráty a dovede ji pokrýt. Nepočítá však s rozdílným nasměrováním venkovního čidla a dalších místností na různé světové strany. Podobně jak je tomu u prvního způsobu regulace nepočítá s rozdílným osluněním místností a opět se v některých prostorech objeví nežádoucí vliv přetápění či nedostatečného vytápění, které je zvláště znatelné u místností orientovaných na sever. Tento projekt si však klade za cíl realizovat inteligentní řídící jednotku teplovodního vytápění, a proto přistoupíme k dalšímu, již poměrně vyspělému způsobu regulace.

2.3. Kombinace ekvitermní regulace s pokojovým termostatem

Kombinace výše zmíněných způsobů regulace nám umožní částečně odstranit jejich nevýhody. Budeme využívat ekvitermní regulace, díky které získáme možnost předvídat průběh tepelné ztráty. Dále použijeme pokojový termostat a rozpoznáme tak, že dochází k osvitu a dalšímu ovlivňování vytápěné místností. Zároveň odhalíme okamžik, kdy ekvitermní křivka dostatečně výkonově nepokryje tepelnou ztrátu a budeme opět schopni předejít nedostatečnému vytopení. Pokud tuto kombinaci dále povýšíme o doplnění termostatů do všech místností, vznikne inteligentní zónová regulace teplovodního vytápění pro celý objekt, kde jednotlivé zóny mohou tvořit např. dvojice místností či jednotlivé místnosti. Pro pohodlné obývání rodinného domu či bytu je požadavek přiměřeně vytopit koupelnu a kuchyň oproti dalším místnostem v objektu, což nám tato kombinace regulací umožňuje. Pro každou zónu případně místnost si zvolíme individuální teplotu.

2.3.1. Umístění teplotního senzoru

Jistou slabinou ekvitermní regulace je umístění venkovního čidla, na které působí proměnlivé povětrnostní vlivy a zejména pak sluneční svit. Vzhledem k tomu pak může dojít ke zkreslení informace o venkovní teplotě a následné narušení stability regulace. Tomu se dá zabránit vhodným nasměrováním a zastíněním čidla. Další neopomenutelnou skutečností je umístění čidla vnitřního. Pokud ho umístíme v blízkosti tepelného zdroje, vytvoříme tak podmínky pro nestabilitu. Proto se musí najít příhodné místo, kde bude snímána nejvhodnější referenční teplota vytápěného prostoru.

3 Popis teplovodního topného rozvodu

V této části textu stručně objasním teplovodní topný rozvod reálného rodinného domu, na kterém byl celý systém testován. V objektu se prostřednictvím elektrického proudu a teplovodního rozvodu vytápí čtyři místnosti. V každé z nich je zabudováno podlahové vytápění, které tvoří samostatný okruh. Vzhledem k jednotlivým okruhům je možné ovládat každou zónu samostatně. Celý systém tvoří:

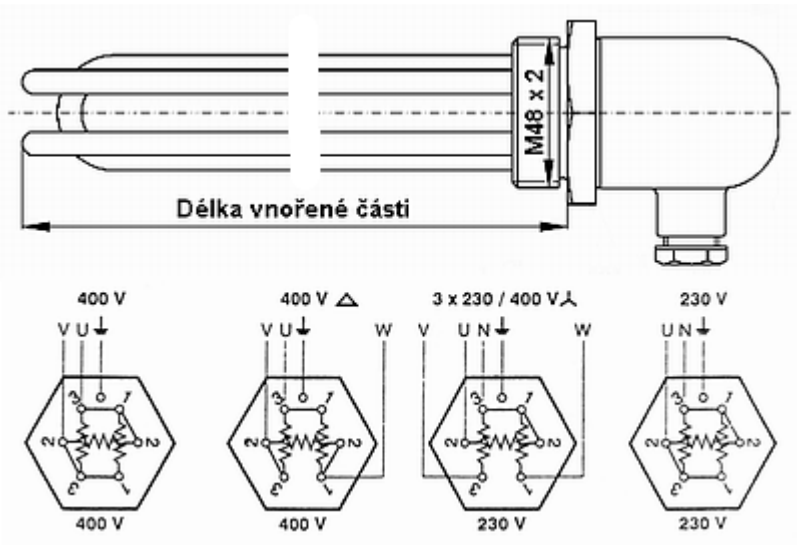
- Akumulační nádrž
- Elektrické topné těleso
- Směšovací ventil
- Čerpadlo
- Rozdělovač podlahového topení
- Trubky podlahového topení

3.1 Akumulační nádrž

Akumulační nádrž slouží k zásobě tepelného výkonu pro vytápění objektu. Mezi její hlavní parametry patří velikost výkonu, který je schopna naakumulovat. Dále pak velikost ztrátového tepelného výkonu, který z nabité nádrže uniká. Ztrátový výkon je dán tvarem nádrže a kvalitou tepelné izolace. V testovaném objektu byla instalována akumulační nádrž o objemu 550 l.

3.2 Elektrické topné těleso

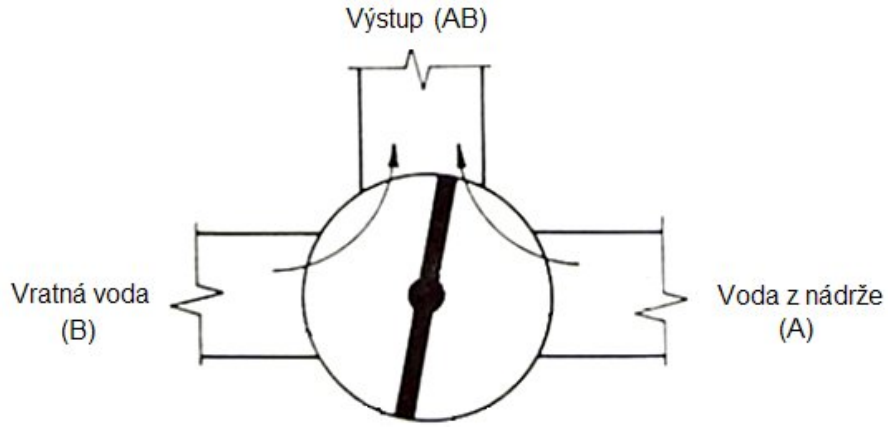
Elektrické třífázové topné těleso slouží k ohřevu vody v akumulační nádrži. Těleso je složeno ze tří topných větví. Jejich jednotlivé elektrické zapojení znázorňuje obrázek 2. Konkrétně je použito topné těleso o výkonu 7,5 kW, které je zastavěno do akumulační nádrže.



Obrázek 2: Elektrické topné těleso, ETA

3.3 Směšovací ventil

Třícestný směšovací ventil je hlavním akčním členem regulačního systému. Slouží k mísení teplé vody z nádrže (A) s vratnou vodou z topného okruhu (B). Na výstupu z ventilu (AB) získáme vodu o požadované teplotě. Tuto teplotu nastavíme polohou klapky ve směšovacím ventilu (viz obrázek 3).



Obrázek 3: Směšovací ventil

Ventil je řízen elektrickým pohonem s dostatečně velkým mechanickým převodem. Časový krok mezi minimální a maximální polohou rozdělovací klapky by se měl pohybovat v řádu jednotek minut. Vzhledem k setrvačnosti volba delšího časového kroku umožňuje plynulou regulaci. Nebude tak docházet k velkým tepelným ztrátám při hledání požadované polohy klapky. Při splnění podmínky velkého převodu bude výkon dodávaný do topného systému řízen spojitě s malými překmity oproti požadované hodnotě výstupního výkonu.

3.4 Čerpadlo

Oběhové čerpadlo obstarává cirkulaci vody v teplovodním rozvodu. Je poháněno jednofázovým elektromotorem. Pomocí třípolohového přepínače je možné volit mezi jednotlivými stupni výkonu. Čerpadlo je pak schopné dodávat různý průtok do topného oběhu.

3.5 Rozdělovač pro podlahové topení

Rozdělovač zajišťuje rozvětvení topné vody do jednotlivých okruhů. Vstupní voda se přivádí do čtyř místností, kde projde topným hadem umístěným v podlaze a zpět se vrací do rozdělovače vratné vody. Ten je opatřen čtyřmi ventily, průřez ventilem znázorňuje obrázek 4. V dolní části se nachází šroubení pro připojení trubky podlahového topení. Zhruba uprostřed nákresu je umístěno pohyblivé sedlo. V horní části se nachází plastová objímka pro ruční ovládání sedla. Vzhledem k automatickému řízení topení ji nahradíme elektrickým pohonem. Jako nejvhodnější se z prvního pohledu jeví spojitá regulace ventilu, ovšem je nutné si uvědomit, že sedlo se nepohybuje progresivně. Z tohoto důvodu je ho možné řídit pouze dvoustavově „zapnuto/vypnuto“. To nijak výrazně neovlivní komfort vytápění, protože tento ventil provádí pouze korekci teplé vody, neboť hlavním článkem pro regulaci je v systému směšovací ventil.

Obrázek 4: Ventil v rozdělovači vratné vody, Giacomini

3.6 Trubky podlahového vytápění

Polyetylénové síťované trubky umožňují rozvod topné vody v systémech podlahového vytápění. Mají náležité mechanické, chemické a tepelné vlastnosti, zaručující vysokou životnost. I tak je ale nutné vzít v úvahu, že jejich maximální provozní teplota, tedy teplota topného média, nesmí přesáhnout hodnotu 95 °C. V opačném případě by došlo ke kritickému teplotnímu namáhání. Systém s ohledem na bezpečný provoz povoluje teplotu topné vody na maximální hodnotě 48 °C. Vzhledem k podlahovému vytápění je to dostatečná hodnota, kterou je nutné použít pouze při náběhu systému nebo okamžitém zvýšení výkonu vytápění s ohledem na uživatelský požadavek navýšení požadované teploty v místnosti.

3.7 Hygienické požadavky teplot

Odborná literatura uvádí, že z hygienických důvodů by povrchová teplota podlahy neměla překročit 29 °C, což je dáno i vlastním návrhem roztečí topného meandr a přestupem tepla z trubek do hmoty podlahy. V testovaném nízkoenergetickém objektu nebylo potřeba překročit teplotu topné vody přes hodnotu 40 °C, a to ani při velmi nízkých venkovních teplotách. Tento způsob nízkoteplotního vytápění přináší značné snížení nákladů oproti klasickým a doposud hojně používaným radiátorům, které pro svůj provoz vyžadují vyšší teplotu topné vody.

4 Požadavky na teplotní senzor

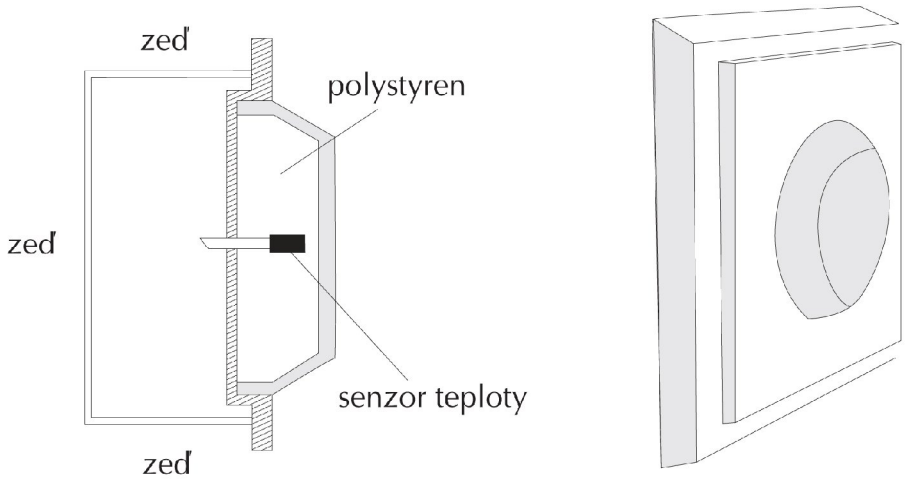
Pro správnou funkci elektronické regulace vytápění je nutné vybrat vhodný teplotní senzor, který je jedním z nejdůležitějších prvků systému. Z tohoto důvodu je nezbytné porovnat parametry jednotlivých senzorů na trhu. Hlavním kritériem při výběru je rozlišení měřené teploty a v neposlední řadě přesnost a typ výstupu, a to buď analogový či digitální. Vzhledem k rozsáhlosti regulačního systému a velké vzdálenosti mezi jednotlivými čidly a hlavní řídící jednotkou je vhodné zvolit digitální polovodičový senzor s integrovaným A/D převodníkem. Díky číslicovému výstupu je možné informaci z čidla přenášet do odlehlé řídící jednotky s prakticky nulovou chybovostí, která by v opačném případě při použití analogového čidla byla kritická. Pro daný systém jsem zvolil digitální teplotní senzor DS18B20 firmy Maxim-Dallas komunikující po sběrnici 1-Wire, detailní popis viz kapitola 10.

4.1 Různorodé teplotně hlídané sektory

Pomocí digitálního snímače je možné hlídat teplotu v místnostech a nejdůležitějších částech topného rozvodu, jakými je teplota výstupní vody za směšovacím ventilem a teplota vratné vody. Rozdíl obou hodnot přispěje k určení skutečného spotřebovávaného výkonu pro vlastní topení. Pro splnění podmínky nastavit jednotlivým místnostem vlastní teplotu je nutné opatřit každou z místností samostatným senzorem pro zjišťování aktuálního teplotního stavu.

4.2 Krytka teplotního senzoru

Pro senzory teploty DS18B20 umístěné ve vytápěných místnostech jsem zkonstruoval plastovou krytku. Měřením a testováním jsem vybral nejvhodnější kryt ve tvaru seříznuté polokoule vyplněné pěnovým polystyrenem (viz obrázek 5). Senzor je zasazen do polystyrenu a jako nejvhodnější se jeví zapuštění ve vzdálenosti 1 cm od vnitřní stěny plastového krytu. Tímto umístěním senzoru se předešlo prudkým výkyvům při snímání teplot, což má za následek plynulejší průběh regulace. Krytka je připravena k upevnění na běžnou elektroinstalační krabici, která je vetknutá do zdi.



Obrázek 5: Krytka teplotního senzoru v místnosti

5 Vlastní návrh regulačního systému teplovodního vytápění

Nashromážděné informace o možnostech regulace teplovodního vytápění a znalost konkrétního topného rozvodu mi umožnily navrhnout komplexní systém inteligentní řídící jednotky teplovodního vytápění. Regulační systém je rozdělen na jednotlivé vzájemně propojené moduly pomocí sběrnici I^2C a digitální teplotní senzory připojené jedno-vodičovou sběrnicí 1-Wire. Systém umožňuje připojení k PC prostřednictvím nejnovějšího typu převodníku USB/UART (univerzální asynchronní přijímač a vysílač) firmy FTDI s označením FT232R a také pomocí bezdrátového Bluetooth modulu firmy ConnectBlue. Systém obsahuje jednotlivé části, kterými jsou:

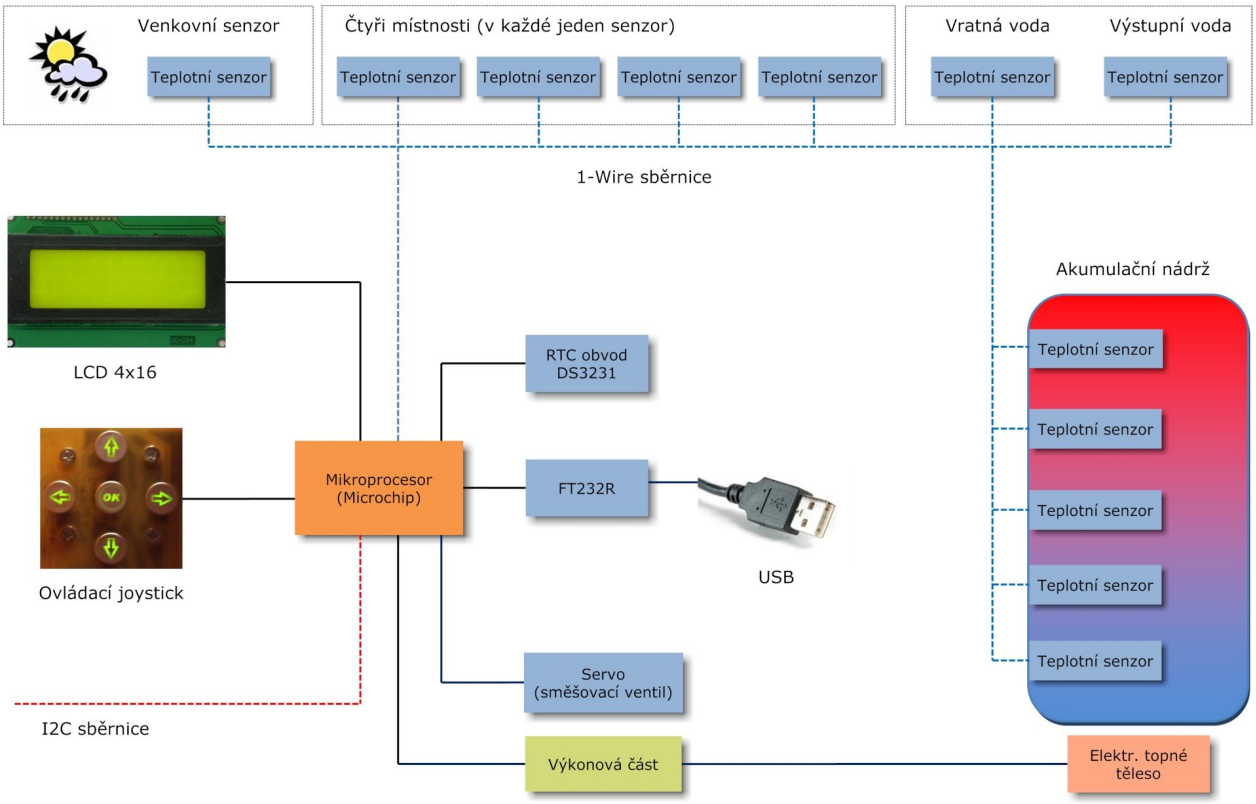
- Hlavní řídící jednotka
- Různorodé teplotně hlídané sektory
- Modul termoelektrických hlavic – rozdělovač podlahového topení
- Externí ovládací panel (podružný)

5.1 Hlavní řídící jednotka

Nejvýznamnějším prvkem řídící jednotky je mikroprocesor firmy Microchip PIC16F877A. Mikroprocesor provádí hlavní činnost regulace pomocí servopohonu směšovacího ventilu. Je napojen na jedno-vodičovou sběrnici (1-Wire) digitálních teplotních senzorů DS18B20 firmy Maxim-Dallas umístěných ve vytápěném objektu, konkrétně v jednotlivých místnostech, topném rozvodu, akumulační nádrži a venkovním prostoru.

Pro měření výkonu v akumulační nádrži je použito pěti horizontálně umístěných teplotních čidel tak, aby bylo možné měřit výkon uložený v celé nádrži. Hlavní řídící jednotka rozhoduje o průběhu akumulace a výkonově spíná elektrické topné těleso. Při poklesu teploty pod danou mez dojde k sepnutí elektrického topného tělesa a následnému ohřevu topné vody do doby, než se v nádrži naakumuluje požadovaný výkon. Proti případné poruše hlavní řídící jednotky v režimu akumulace, signalizované přehříváním nádrže nad max. provozní teplotu, je systém jištěn mechanickým termostatem, na kterém je nastavena bezpečnostní teplota. Pokud by teplota i přesto dále stoupala, je dalšímu nabíjení zamezeno pomocí bezpečnostní tepelné pojistky. Toto dvoustupňové jištění je nutné pro bezpečný provoz akumulační nádrže. Mohlo by dojít ke kritickému zvyšování teploty a tlaku uvnitř nádrže a následné mechanické deformaci.

Jednotka obsahuje obvod reálných hodin (RTC) s označením DS3231 poskytující informaci o aktuálním čase. Obvod FT232R firmy Future Technology Devices International (FTDI) plnící funkci UART/USB převodníku, díky tomu je možné systém připojit k osobnímu počítači pomocí USB portu.



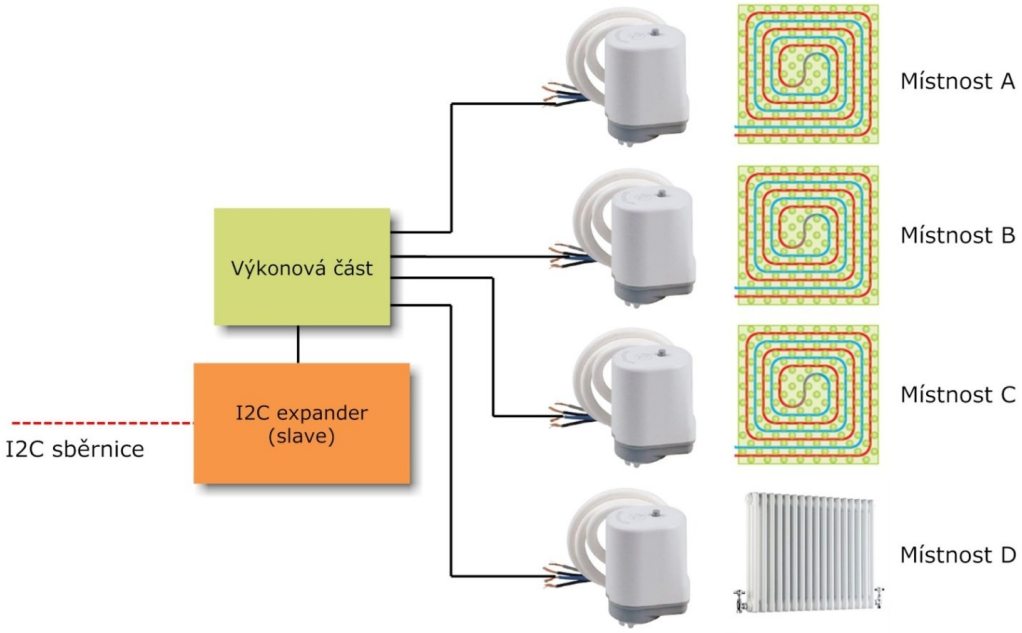
Obrázek 6: Blokové schéma hlavní řídící jednotky

Další funkcí hlavní řídící jednotky (Master) je komunikace po sběrnici I^2C s externím ovládacím panelem (Slave) a modulem termoelektrických hlavic (Slave) pro dvoustavové řízení ventilů v rozdělovači podlahového topení. Jednotka dále obsahuje dva triaky pro výkonové spínání elektrické topné hlavice nebo oběhového čerpadla.

Uživatel má k dispozici tlačítkový ovládací joystick a přehledný čtyř-řádkový LCD displej. Ovládací joystick je složen z pěti mikrospínačů s integrovaným podsvětlením se znaky šipek a potvrzovacího tlačítka „OK“. Podsvětlení je sladěno do zelené barvy s možností uživatelského nastavení požadované intenzity v rozsahu 0 až 100 %.

5.2 Modul termoelektrických hlavic

K hlavní řídící jednotce je modul termoelektrických hlavic připojen pomocí sběrnice I^2C. Obsahuje expandér PCF8574A firmy Philips, který pomocí elektronických spínacích prvků ovládá čtyři termoelektrické hlavice. Jednotlivé hlavice jsou umístěny v rozdělovači podlahového vytápění a pomocí ventilů spínají topné okruhy. Tím je zajištěno nezávislé vytápění a možnost nastavení a udržování rozdílných teplot v jednotlivých místnostech.

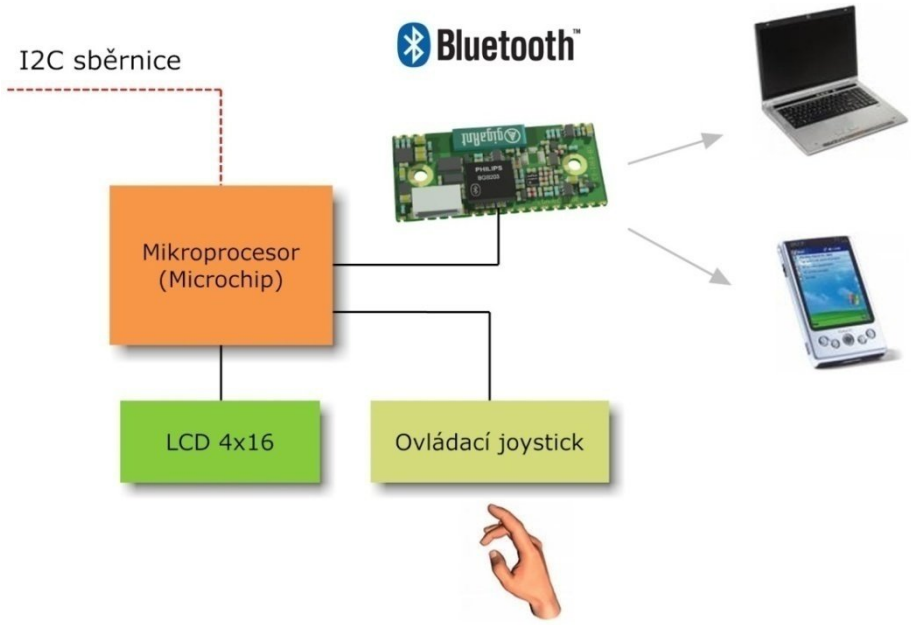


Obrázek 7: Blokové schéma modulu termoelektrických hlavic

Termoelektrické hlavice jsou napájeny střídavým napětím 230 V, jejichž detailní popis nalezneme v kapitole 13. Modul umožňuje spínání také termoelektrických hlavic pro radiátorové vytápění, pokud splňují podmínku napájecího napětí 230 V.

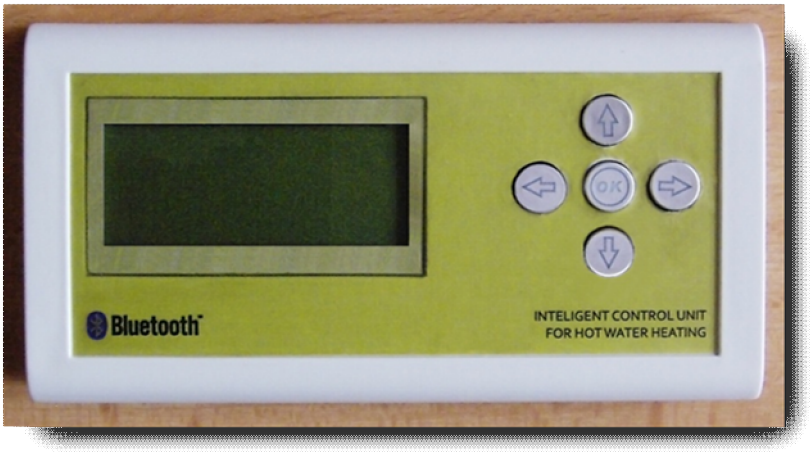
5.3 Externí ovládací panel

Pro pohodlnější ovládání systému slouží externí ovládací panel. Panel je řízen pomocí sběrnice I^2C a může být umístěn v jedné z vytápěných místností. Obsahuje mikroprocesor firmy Microchip, tlačítkový ovládací joystick s podsvětlením a čtyř-řádkový LCD displej. Ovládací panel umožňuje bezdrátové spojení systému s počítačem pomocí technologie Bluetooth. Bezdrátové spojení zajišťuje modul firmy ConnectBlue s integrovanou anténou.



Obrázek 8: Blokové schéma externího ovládacího panelu

Panel byl navrhován s co nejmenší tloušťkou a vzhledem k použité SMT technologii jsem docílil tloušťky modulu 16 mm včetně plastové krabičky. Panel je připraven pro připevnění na zeď pomocí elektroinstalační krabice, do které je vyvedena sběrnice I^2C.

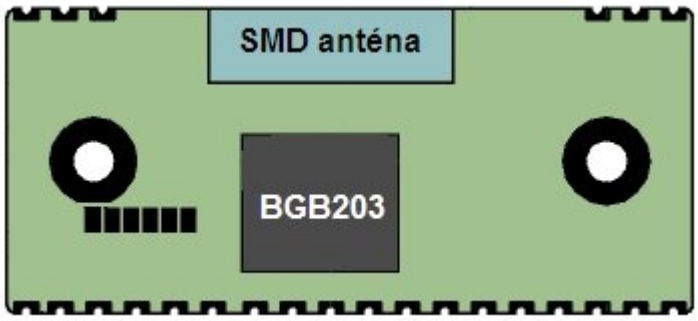


Obrázek 9: Fotografie externího ovládacího panelu

5.4 Bluetooth modul

Bezdrátové spojení pomocí technologie Bluetooth zajišťuje modul OEM-SPA331 švédské firmy ConnectBlue. Komunikace s modulem probíhá prostřednictvím 3 V logiky UART. Hlavním řídícím prvkem je obvod BGB203 firmy Philips obsahující přímo na čipu Flash a SDRAM paměť. Výstupní výkon 17 dBm spolu s integrovanou anténou 2,4 GHz umožňuje spolehlivé pokrytí signálem pro běžný rodinný dům nebo byt, ve kterém bude systém vytápění instalován.

Modul obsahuje interní precizní stabilizátor napětí a je ho možné napájet stejnosměrným napětím 3 V až 6 V. Výrobce zdarma poskytuje aktualizace firmwaru. Jednotlivé parametry přenosu je možné nastavovat pomocí AT příkazů posílaných do modulu. Miniaturní rozměr prvku 36 x 16 mm umožňuje snadné integrování do navrhnutého externího ovládacího panelu.

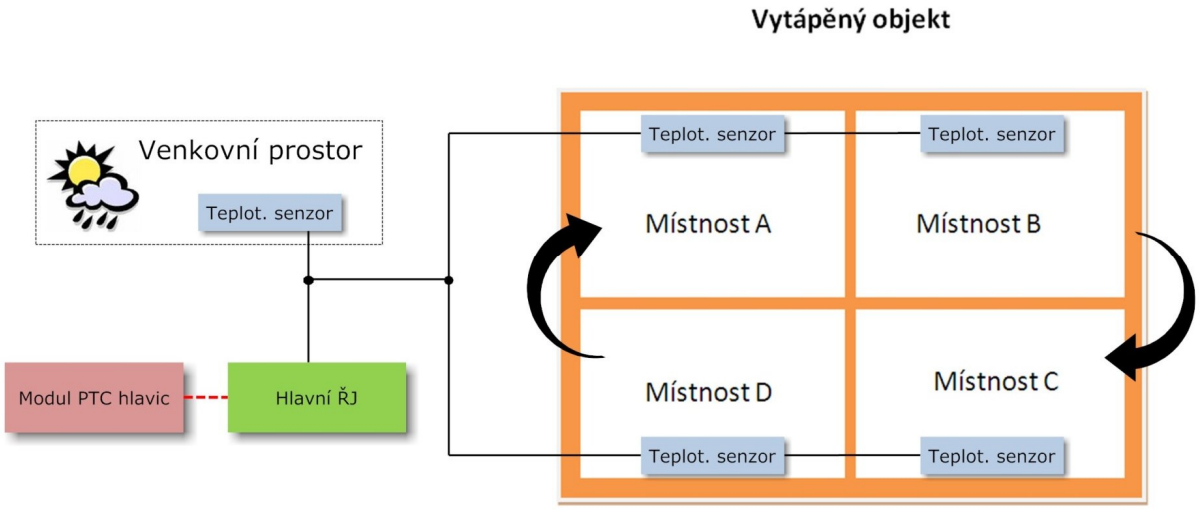


Obrázek 10: Nákres Bluetooth modulu OEM-SPA331

Obrázek 11: Fotografie Bluetooth modulu OEM-SPA331

6 Algoritmus regulace vytápění

Algoritmus průběhu ovládání teplovodního vytápění je založen na kombinaci ekvitermní regulace a plovoucí referenční místnosti. Hlavní řídící jednotka vyhledá místnost s největší deltou teplot určenou z rozdílu požadované a skutečné teploty v místnosti. Dále na základě venkovní teploty přiřadí teplotu topné vody pomocí servopohonu směšovacího ventilu. S přihlédnutím na požadované teploty v jednotlivých místnostech je ovládán modul termoelektrických hlavic, který danou místnost připojí nebo odpojí od topného rozvodu. Dynamický chod regulace se snímáním skutečné teploty v jednotlivých místnostech předchází nadměrnému přetápění. Každé dvě minuty je stav teplot kontrolován a porovnáván s požadovaným stavem. Teplota v místnostech je udržována s hysterezí ±0,125 °C, což je dostatečná hodnota pro pohodlný teplotní komfort.



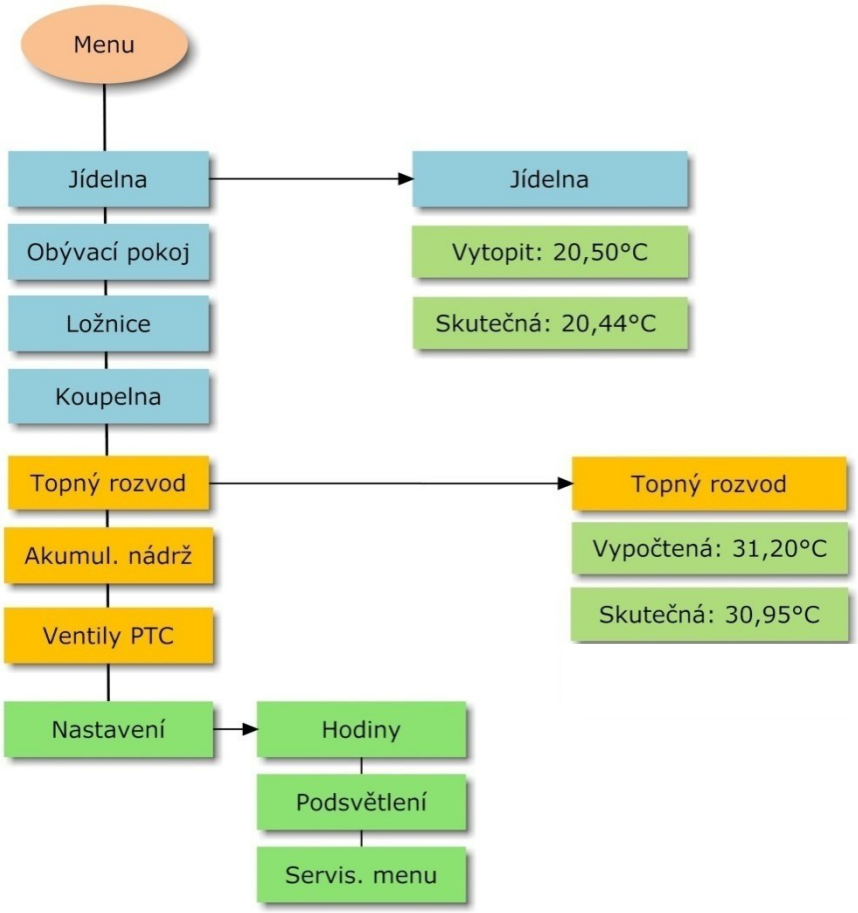
Obrázek 12: Nákres principu regulace

6.1 Vlastnosti navrženého systému

- Nastavování požadované teploty v místnosti v rozsahu 5 °C až 30 °C s krokem 0,5 °C
- Regulace topné vody směšovacím ventilem a termoelektrickými hlavicemi PTC
- Nezávislé nastavování teplot jednotlivých místností
- Plně automatický chod na základě snímání venkovní teploty a teplot v jednotlivých místnostech
- Připojení systému k PC pomocí USB portu a příslušného softwaru
- Bezdrátové spojení systému s PC technologií Bluetooth
- Modulárnost systému pro jednodušší instalaci v různorodých objektech
- Nastavení intenzity podsvětlení 0 až 100 %
- Automatické zhasínání podsvětlení
- Opětovné načtení nastavených hodnot při výpadku napájení
- Zálohování běhu času při výpadku napájení (interní 3 V lithiovou baterií)

7 Popis uživatelského menu

Nastavení systému se provádí pomocí uživatelského menu rozděleného na tři části. První umožňuje zvolit jednu ze čtyř vytápěných místností a zobrazit tak informaci o skutečné teplotě a nastavit požadovanou teplotu v místnosti v rozsahu 5 °C až 30 °C s krokem 0,5 °C. Spodní hranice požadované teploty je zvolena s ohledem na použití systému v objektu, který se vytápí jen občasně a udržuje se v něm nezámrzná teplota. Položka topný rozvod zobrazuje skutečnou výstupní teplotu topné vody a vypočtenou teplotu topné vody určenou algoritmem programu popsaného v předcházející kapitole. Akumulační nádrž poskytuje informace o skutečné naakumulované teplotě topné vody a požadované teploty v akumulační nádrži, včetně informaci o sepnutém elektrickém topném tělesu. Část menu pojmenované Ventily PTC ukazuje stav termoelektrických hlavic a tedy stav vytápění jednotlivých místností. Pomocí položky Nastavení vstoupíme do submenu, kde je možné nastavit aktuální čas, požadovanou intenzitu podsvětlení v rozmezí 0 až 100 % a nakonec zobrazit teplotu plošného spoje hlavní řídící jednotky.



Obrázek 13: Nákres struktury menu

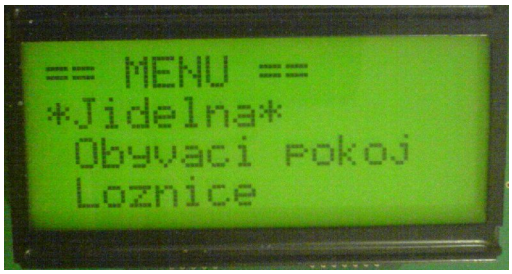
7.1 Uživatelské ovládání systému

Hlavní displej zobrazuje název zařízení „Control Unit Heating“ aktuální čas ve 24 hodinovém formátu a teplotu z venkovního senzoru. Stisknutím tlačítka „OK“ déle než 1 s vstoupíme do menu. Pomocí tlačítek nahoru a dolů se pohybujeme v menu a stiskem tlačítka „OK“ potvrdíme zvolenou volbu. Tlačítkem doleva se zpět vrátíme do struktury menu a opětovným stisknutím toho tlačítka se vrátíme do výchozího stavu hlavního displeje.

Obrázek 14: Hlavni displej

7.2 Změna požadované teploty v místnosti

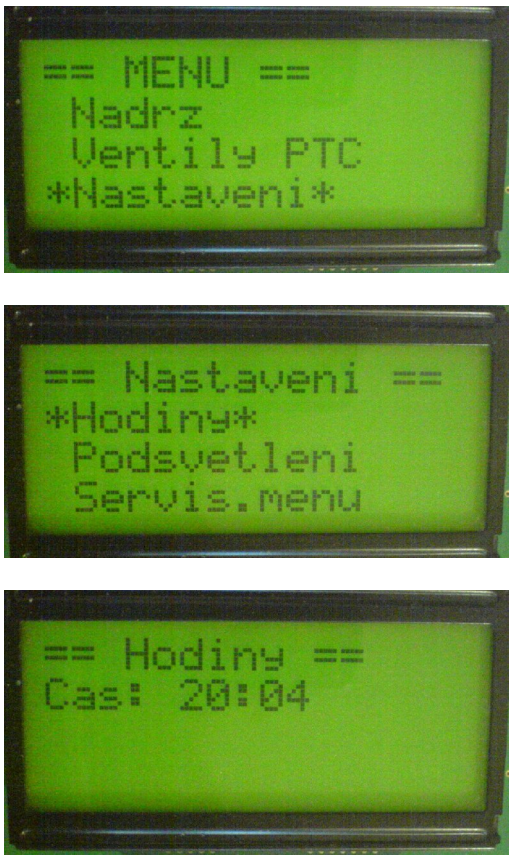
Vstoupíme-li do menu a zvolíme jednu z místností, stiskem tlačítka „OK“ se dostaneme do podmenu dané místnosti. Stiskem tlačítka doprava začneme editovat požadovanou teplotu v místnosti. Stav editace je signalizován rozblikáním kurzoru mezi dvojtečkou a hodnotou vytopit. V tuto chvíli mají tlačítko nahoru a dolů funkci přidávání a ubírání teploty s krokem 0,5 °C. Ukončení editace provedeme stiskem tlačítka „OK“. Tím je teplota uložena do paměti programu a do EEPROM paměti pro případ zálohování při výpadku napájení.



Obrázek 15: Postup nastavení požadované teploty

7.3 Změna času

Vstoupíme do menu a zvolíme položku Nastavení. Dostaneme se do podmenu, kde vybereme položku Hodiny stiskem tlačítka „OK“. Stiskem tlačítka doprava začneme editovat hodnotu času, což je signalizováno rozblikáním kurzoru mezi dvojtečkou a hodnotou času. Podle délky stisku tlačítka nahoru nebo dolů se mění rychlost ubírání nebo přidávání času. Jemné nastavení minut provedeme klikáním na tlačítko nahoru nebo dolů. Nejprve se mění minuty a při překročení hodnoty 59 minut je automaticky navýšena hodnota hodin a počítání minut začíná opět od nuly. Tento postup nastavení vzhledem k proměnné rychlosti přičítání je uživatelsky přívětivý. Nastavení času probíhá ve 24 hodinovém formátu. Ukončení editace provedeme stiskem tlačítka „OK“.



Obrázek 16: Postup změny aktuálního času

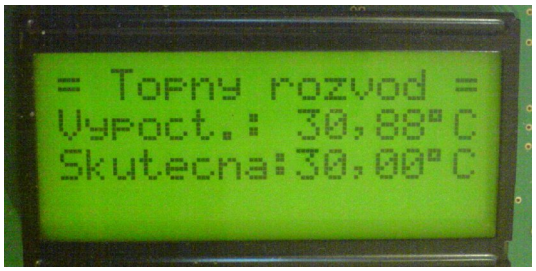
7.4 Změna intenzity podsvětlení

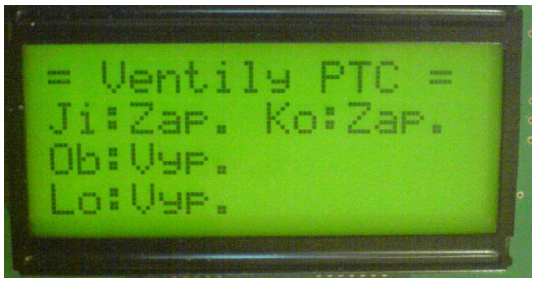
Podobně jako při změně času vstoupíme do podmenu nastavení a zvolíme položku Podsvětlení. Stiskem tlačítka doleva vstoupíme do editace intenzity podsvětlení (signalizováno kurzorem). Opět tlačítkem nahoru a dolů ji měníme v rozsahu 0 až 100 % s krokem 10 %. V průběhu editace se intenzita okamžitě mění a uživatel má přímou odezvu. Ukončení editace provedeme stiskem tlačítka „OK“, tím se nastavená hodnota uloží do EEPROM paměti pro zálohování.

Obrázek 17: Změna intenzity podsvětlení

7.5 Informace o chodu regulace

Informace o stavu regulace nalezneme pod položkami Topný rozvod, Nádrž a Ventily PTC. Položka Topný rozvod zobrazuje vypočtenou teplotu 30,88 °C, určenou algoritmem a skutečnou teplotu topné vody 30,00 °C, nastavenou směšovacím ventilem. V podmenu nádrže vidíme požadovanou teplotu v akumulační nádrži 48,00 °C a skutečnou teplotu 39,19 °C. Na spodním řádku vidíme, že právě probíhá nabíjení a elektrické topné těleso je sepnuté. Poslední obrázek ukazuje stav termoelektrických hlavic, v tomto případě jsou místnosti jídelna a koupelna odpojeny od topného rozvodu (jsou již vytopeny). Zbylé dvě místnosti jsou vytápěny, protože hodnota skutečné teploty nedosáhla požadované teploty v dané místnosti.





Obrázek 18: Informace o chodu regulace

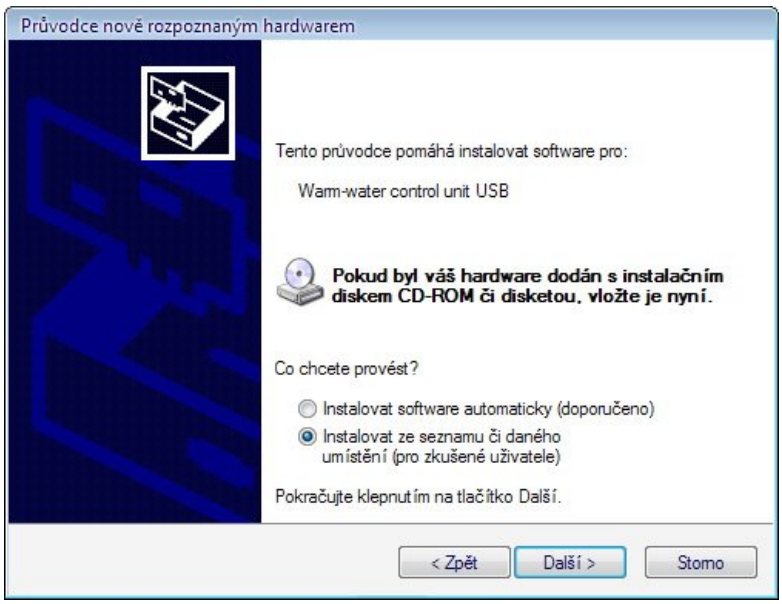
8 Software pro Windows

Software pro Windows podporuje připojení systému pomocí USB nebo bezdrátově prostřednictvím technologie Bluetooth. Prvotní nastavení se liší podle použitého způsobu připojení, další ovládání programu je již shodné pro oba typy připojení.

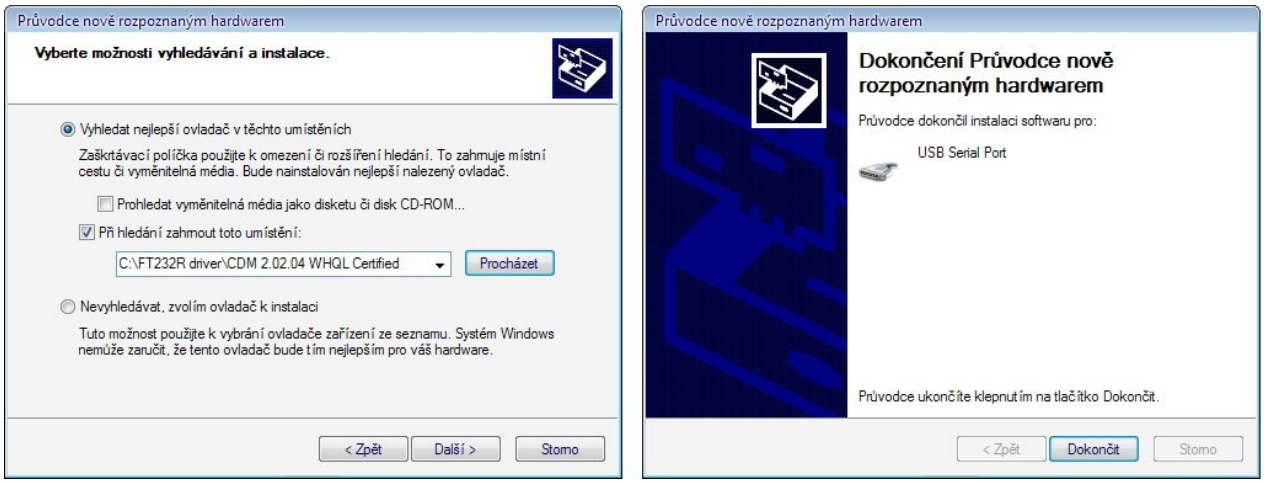
Obrázek 19: Možnosti připojení, vlevo USB konektor, vpravo signalizace úspěšného bezdrátového připojení

8.1 Připojení k PC pomocí USB portu

Po připojení hlavní řídící jednotky k počítači pomocí USB portu se zobrazí připojené zařízení s názvem Warm–water control unit USB. Zvolíme instalaci ovladačů z daného umístění a vyhledáme cestu (\FT232R\CDM 2.02.04 WHQL Certified) ke složce s ovladači, které jsou na přiloženém CD disku. Potě již stačí kliknutím na tlačítku Další potvrdit volbu a spustí se instalace potřebného ovládacího softwaru. Po úspěšné instalaci se v seznamu připojeného hardwaru vytvoří sériový port USB s automaticky přiřazeným číslem a prvotní instalace je u konce.



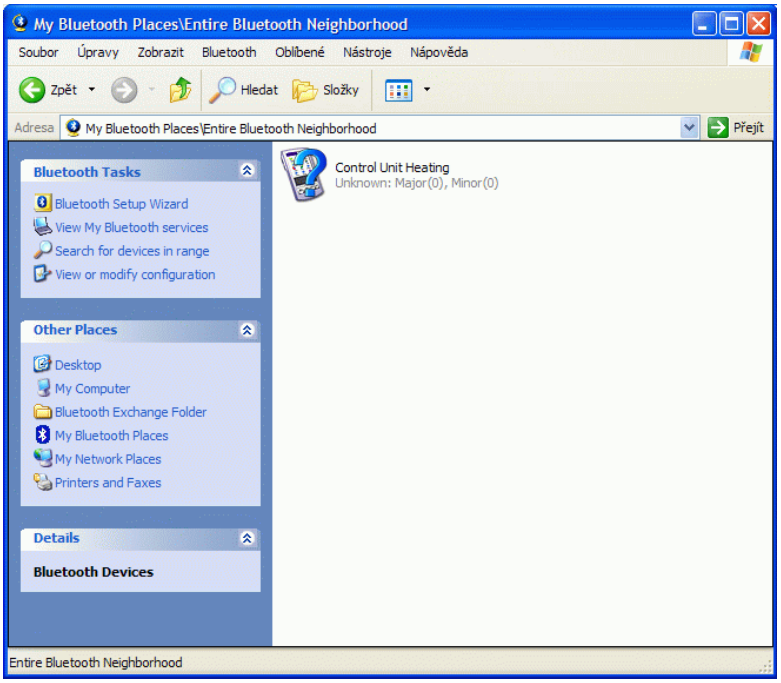
Obrázek 20: Nalezena jednotka vytápění na USB portu



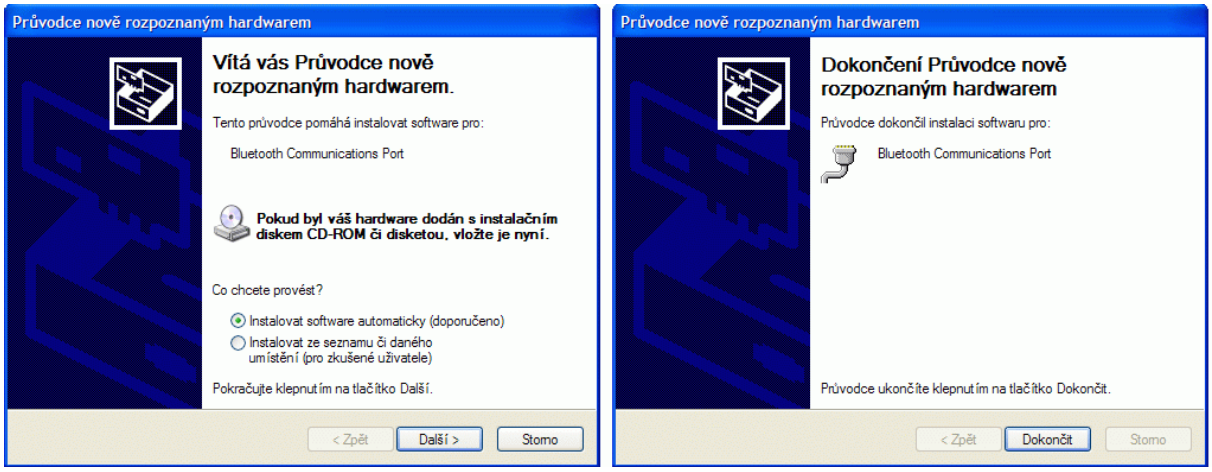
Obrázek 21: Instalace ovladačů hlavní řídící jednotky

8.2 Bezdrátové připojení technologií Bluetooth

Uživatel na počítači s operačním systémem Windows XP zvolí vyhledávání dostupných Bluetooth zařízení. Pokud je externí ovládací panel s integrovaným Bluetooth modulem v dosahu signálu, zobrazí se uživateli nalezené zařízení, které se automaticky ohlásí jako Control Unit Heating (Řídící jednotka vytápění), viz obrázek 12.



Obrázek 22: Zařízení Control Unit Heating v dosahu signálu Bluetooth



Obrázek 23: Instalace virtuálního sériového portu Bluetooth (SSP)

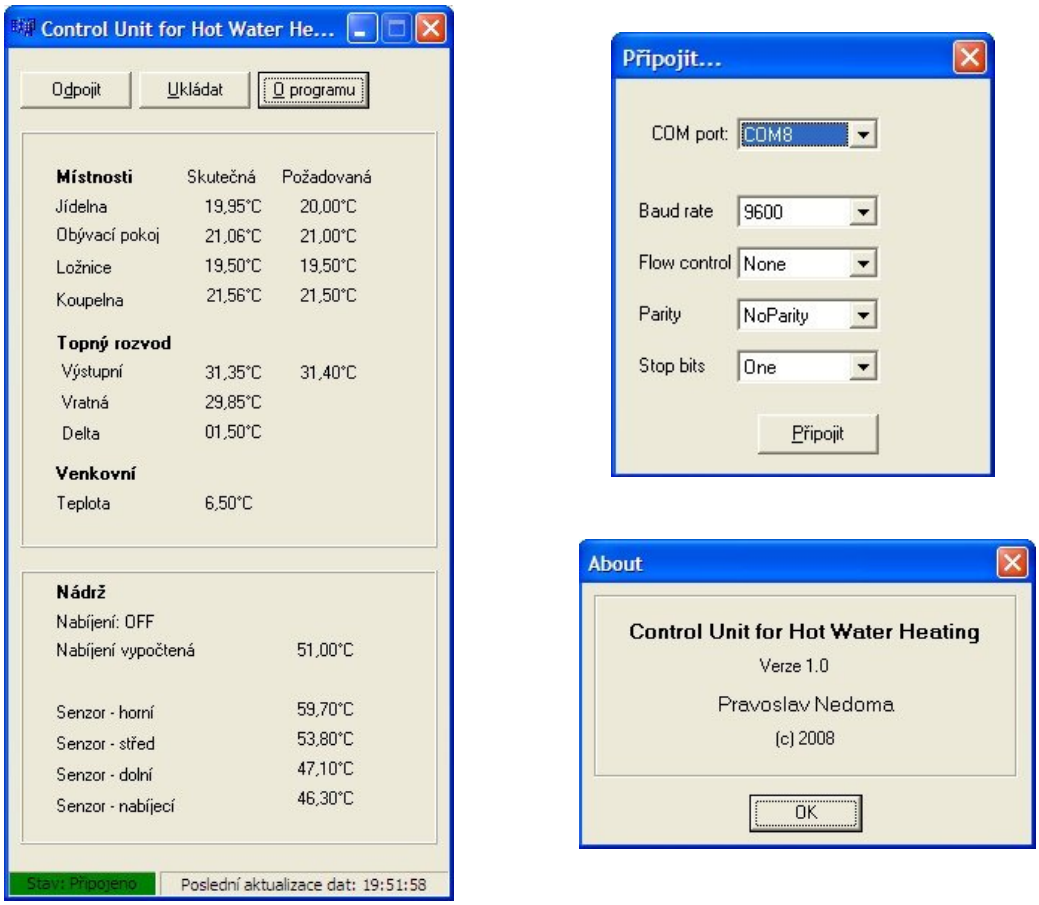
Poté již stačí potvrdit instalaci virtuálního sériového portu Bluetooth. Doporučuji použít ovladače dostupné přímo v systému Windows XP, který automaticky rozpozná zařízení a zvolí vhodný typ ovládacího softwaru. Po úspěšné instalaci se v seznamu připojeného hardwaru vytvoří Bluetooth sériový port s automaticky přiřazeným číslem a prvotní instalace je u konce.

8.3 Vlastní program pro Windows

Komunikaci systému vytápění s počítačem zajišťuje program Heating určený a testovaný pro systém Windows XP. Po spuštění programu se zobrazí vlastní okno, kde v horní části jsou tlačítka s funkcí Připojit, Ukládat a Informace o programu. Po stisknutí tlačítka Připojit nastavíme číslo COM portu (COM1 až COM10), ostatní položky není nutné měnit (výchozí nastavení Baud rate: 9600, Flow control: None, Parity: NoParity, Stopbit: One). Toto nastavení provádíme pouze při prvním spuštění, program si nastavení parametrů připojení uloží a při dalším připojení ho již stačí potvrdit. Stisknutím tlačítka Připojit se zahájí volání připojeného systému a do 10s se čeká na jeho odezvu. Pokud inicializace proběhne v pořádku, zobrazí se ve stavovém řádku zeleně podbarvený nápis „Stav: Připojeno“. Poté se automaticky načtou teploty a zobrazí se v okně programu včetně informace, kdy byly přijaty (zobrazeno v dolní části „Poslední aktualizace dat: hh:mm:ss“). Tím je počítač nalogován na hlavní řídící jednotku a každé dvě minuty jsou data automaticky aktualizována. Uživatel má možnost ukládat zaznamenaná data pro pozdější vyhodnocení stisknutím tlačítka Ukládat, kde zvolí adresář pro ukládání a zadá jméno souboru, který se uloží s koncovkou .txt. Stiskem tlačítka neukládat se ukládání zastaví. Pokud chceme záznam dat ukončit, stisknutím tlačítka Odpojit se načítání dat zastaví.

Tento postup ovládání programu je shodný jak pro připojení prostřednictvím USB portu nebo bezdrátově pomocí Bluetooth. U varianty bezdrátového připojení je uživatel na externím ovládacím panelu informován o úspěšném připojení k počítači modrým rozsvícením Bluetooth® loga (viz obrázek 19).

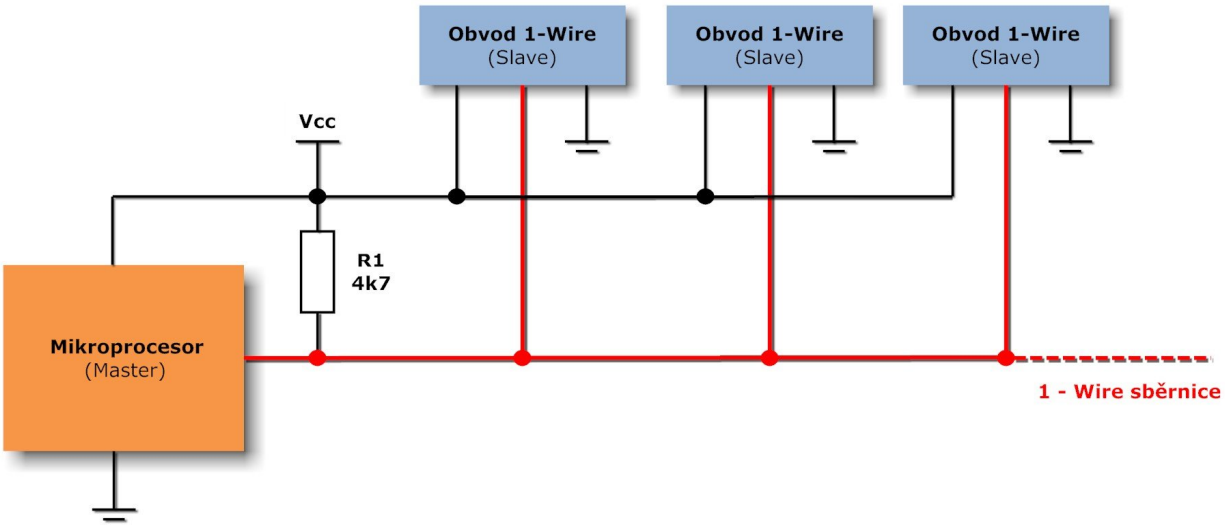
Program je vytvořen v prostředí C++ Builder od firmy Borland a je určen pro operační systém Windows XP. Pro komunikaci s virtuálním sériovým portem byla použita knihovna CommPort. Zdrojový kód a potřebné knihovny jsou přiloženy na CD.



Obrázek 24: Software Heating pro Windows

9 Jednovodičová sběrnice 1-Wire

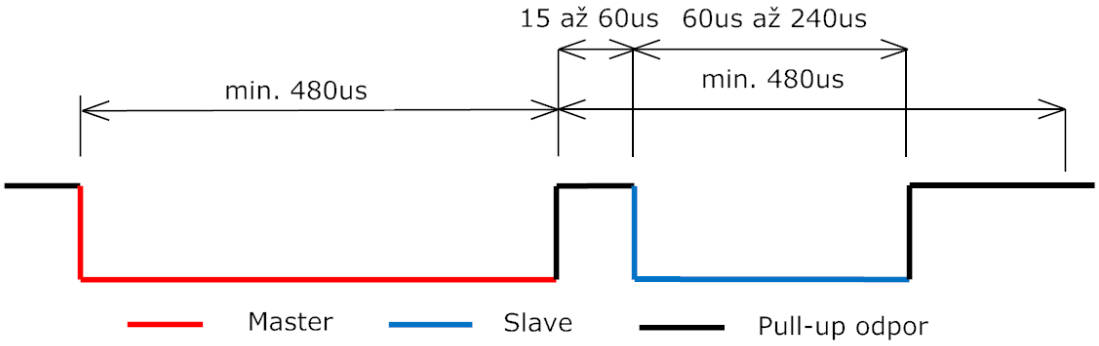
Jedno-vodičová sběrnice firmy Dallas-Maxim označovaná jako 1-Wire používá pro komunikaci jeden vstupně/výstupní datový vodič a zem. Časování je provedeno pomocí předem definovaných stavů pro přenos dat, díky tomu bylo možné vypustit hodinový signál CLK. Sběrnice povoluje jeden řídící obvod (Master) a další ovládané zařízení (Slave) připojené na společný datový vodič, který má v klidové poloze stav log. 1. Pro svoji funkci vyžaduje zdvihací (pull-up) odpor o hodnotě nepřevyšující 4,7 kΩ z důvodu zajištění strmé náběžné hrany signálu.



Obrázek 25: Nákres sběrnice 1-Wire

9.1 Zahájení komunikace na 1-Wire

Komunikace na sběrnici je zahájena vysláním Reset pulzu představující stažení sběrnice na log. 0 po dobu min. 480 µs. Po tomto impulzu Slave obvod počká 15 až 60 µs a vyšle tzv. Presence pulz v podobě log. 0 trvající 60 až 240 µs.



Obrázek 26: Průběh Reset a Present pulzu

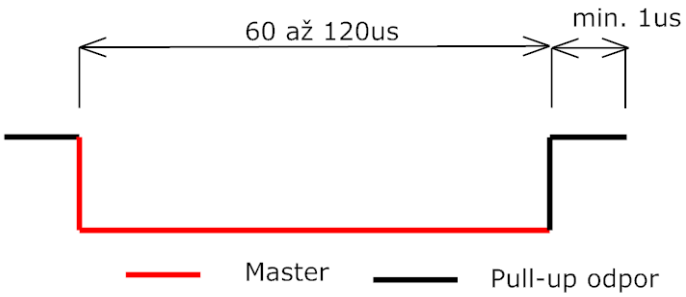
Ukázka zdrojového kódu v assembleru pro mikroprocesor PIC obsahující vyslání Reset pulzu a test přijmu Presence pulzu na sběrnici 1-Wire.

```
DS_reset        call    DS_out      ; nastavení pinu jako vystup
                bcf     DS_sber     ; stav log. 0
                call    C499us      ; cekaci smycka 499us
                bsf     DS_sber     ; stav log. 1
                call    DS_in       ; nastavení pinu jako vstup
                call    C67us       ; cekaci smycka 67us+8us
                btfsc   DS_sber     ; prisel PRESENCE?
                goto    Bez_obvodu  ; NE, zadny obvod na sbernici
                call    C499us      ;ANO, cekaci smycka 499us
                return

Bez_obvodu      bsf     Diag,Free   ;  zadny obvod na sbernici
                return
```

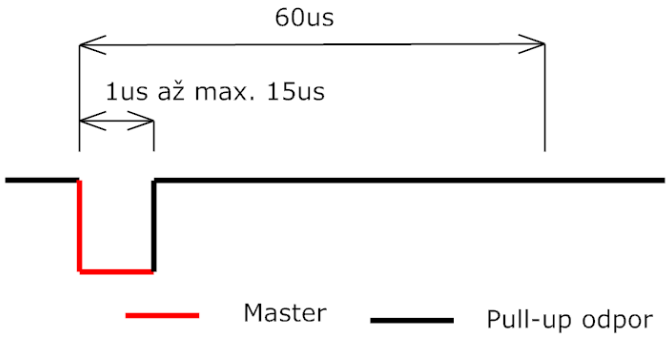
9.2 Zápis dat na sběrnici

Zápis log. 0 na sběrnici je realizován nízkou úrovní po dobu 60 až 120 µs, další komunikace je povolena po uplynutí min. 1 µs.



Obrázek 27: Zápis log. 0 na sběrnici

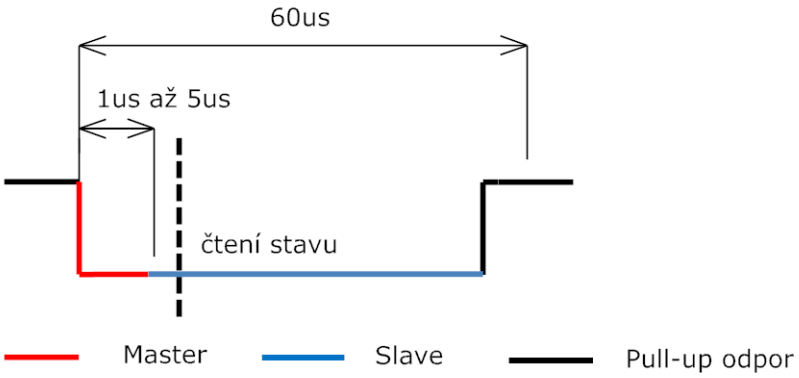
Zápis log. 1 na sběrnici je zahájen pulzem na nízkou úroveň 1 až 15 µs, další komunikace je povolena po uplynutí min. 60 µs od zahájení vysílání log.1.



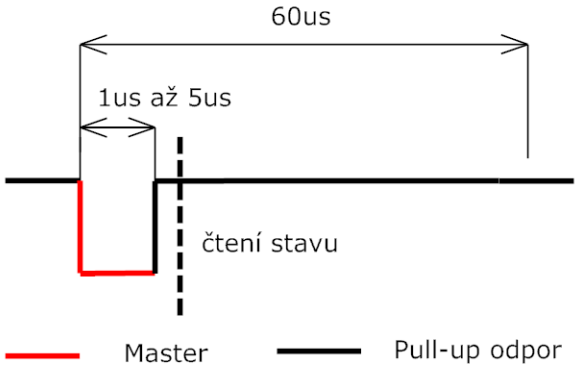
Obrázek 28: Zápis log. 1 na sběrnici

9.3 Čtení dat na sběrnici

Master vyšle pulz nízké úrovně po dobu min. 1 µs (typicky 5 µs), poté do 10 µs přečte úroveň sběrnice. Další čtení je možné zahájit po uplynutí min. 60 µs.



Obrázek 29: Čtení log. 0 ze sběrnice



Obrázek 30: Čtení log. 1 ze sběrnice

Ukázka zdrojového kódu pro obsluhu čtení na sběrnici 1-Wire.

```
DS_read     movlw  8          ; 8 bitu
            movwf  Temp       ; registr pocitani
            clrf   DS_prijm   ; vynulovani registru
CistA       call   DS_out     ; nastavení pinu jako vystup
            bcf    DS_sber    ; stav log. 0
            call   C2us       ; cekaci smycka 2us
            call   DS_in      ; nastavení pinu jako vstup
            call   C2us       ; cekaci smycka 2us
            bcf    STATUS,C   ; vynuluje carry bit (priznak preteceni)
            btfsc  DS_sber    ; =0?
            bsf    STATUS,C   ; nastaví carry bit do log. 1
            rrf    DS_prijm,F ; prenese carry do DS_prijm
            call   C67us      ; cekaci smycka 67us
            decfsz Temp       ; -1, 0 - skok
            goto   CistA      ; pokracovat ve cteni
            return
```

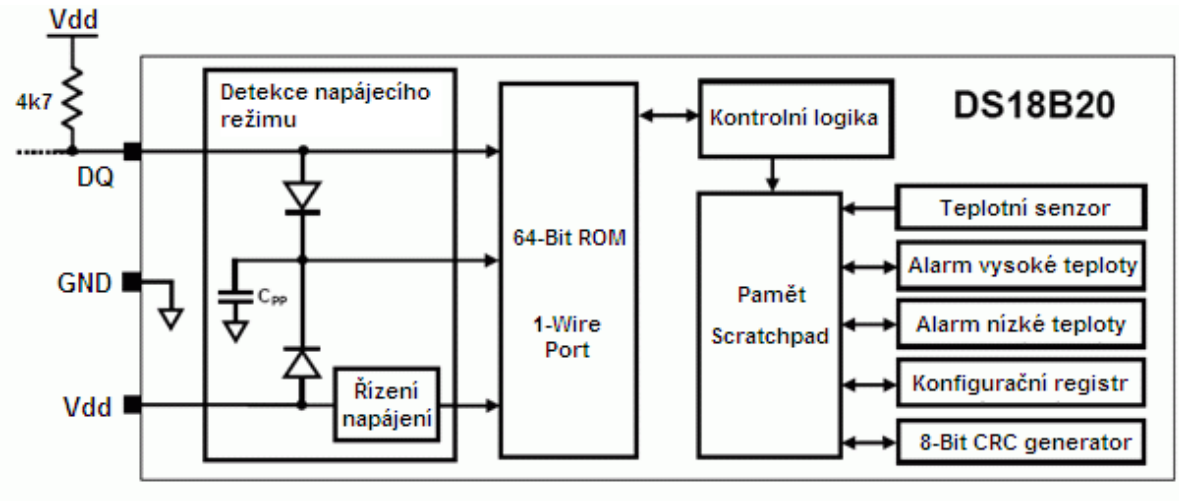
10. Digitální teplotní senzor DS18B20

Digitální teploměr DS18B20 od firmy Maxim-Dallas komunikuje s řídícím mikroprocesorem pomocí jednovodičové sběrnice 1-Wire. Každý obvod má jedinečný 64 bitový ROM kód, který dovoluje připojit na jednu sběrnici více těchto senzorů. Při komunikaci pak již stačí adresovat konkrétní čidlo 64 bitovým kódem. Tato vlastnost dovoluje vytvořit rozsáhlý systém teplotních čidel za pomoci pouze tří vodičů (V_{DD}, GND, DQ – sběrnice 1-Wire). Počet vodičů by bylo možné snížit i na dva, pokud by se teplotní senzory napájely po sběrnici (vývod DQ, GND). Ovšem vzhledem k počtu použitých senzorů se tento způsob napájení ukázal v praxi jako nestabilní.

Tab. 1 Označení vývodů DS18B20

Vývod (TO-92)	Označení	Popis
1	GND	zem
2	DQ	I/O datový vývod sběrnice 1-Wire
3	Vdd	napájecí napětí 3 V až 5,5 V

Senzor umožňuje měřit teplotu v rozsahu od -55 °C do +125 °C. Pro rozmezí teplot -10 °C až +85 °C výrobce zaručuje přesnost ± 0,5°C. Rozlišení měřené teploty je uživatelsky nastavitelné, pomocí konfiguračního registru, v rozmezí 9 až 12 bitů. Hodnota 12 bitů odpovídá kroku 0,0625 °C. Čidlo je kalibrováno přímo z výroby a není tedy nutné provádět korekce naměřených teplot.



Obrázek 31: Blokové schéma teploměru DS18B20

Vnitřní uspořádání teplotního čidla DS18B20 je znázorněno na obrázku 31. Blok označený Scratchpad (mapa paměti) obsahuje pracovní registry čidla:

- **Teplotní senzor:** registr změřené teploty ve dvojkovém doplňkovém kódu rozděleném do registrů LSB (byte 0) a MSB (byte 1)

- **Alarm vysoké teploty:** umožňuje nastavit horní mez teploty (TH, byte 2) pro vyvolání alarmu při překročení nad stanovanou mez, zálohováno do EEPROM
- **Alarm nízké teploty:** umožňuje nastavit dolní mez teploty (TL, byte 3) pro vyvolání alarmu, zálohováno do EEPROM
- **Konfigurační registr:** konfigurační registr (byte 4), zálohován do EEPROM
- **8-bit CRC generátor**: generátor CRC pro kontrolu čtených dat (byte 8)

10.1 Registr změřené teploty

Registr teploty se po adresování a vyslání příkazu Convert temperature (44h) „převeď teplotu“ naplní aktuální naměřenou teplotou ve °C. Registr je rozdělen na dva bajty LSB a MSB. V bajtu MSB prvních pět bitů slouží pro rozlišení kladné teploty S=0 a záporné teploty S=1.

Tab. 2 Registr změřené teploty

LSB (byte 0)

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
2^3	2^2	2^1	2^0	2^{-1}	2^{-2}	2^{-3}	2^{-4}

MSB (byte 1)

bit 15	bit 14	bit 13	bit 12	bit 11	bit 10	bit 9	bit 8
S	S	S	S	S	2^6	2^5	2^4

Příklad výpočtu teploty přečtené z MSB a LSB registru změřené teploty:

a) Přečtená data **MSB**: 01h (0000 0001)
LSB: 51h (0101 0001)

Podle hodnoty bitů „S“ v bajtu MSB rozhodneme o znaménku, v tomto případě se jedná o kladnou teplotu S=0.

Výpočet výsledné teploty t:

$$t_1 = 1 \cdot 2^{-4} + 1 \cdot 2^0 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^4 = 21{,}0625\,°C \qquad (1)$$

b) Přečtená data **MSB**: FFh (1111 1111)
LSB: C4h (1100 0100)

Jedná se o zápornou teplotu, bit S=1.

Výpočet výsledné teploty t:

$$t_2 = (1 \cdot 2^{-2} + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^6) - 1 \cdot 2^7 = -3{,}75\,°C \qquad (2)$$

10.2 Konfigurační registr

Konfigurační registr obsažený v mapě paměti slouží k nastavení rozlišení měřené teploty v rozmezí 9 až 12 bitů. Nastavená hodnota je zálohovaná v EEPROM paměti a je tedy zachována i odpojení napájecího napětí. Z výroby je rozlišení nastaveno na nejvyšší hodnotu 12 bitů odpovídající kroku 0,0625 °C.

Tab. 3 Konfigurační registr

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
0	R1	R2	1	1	1	1	1

Tab. 4 Varianty nastavení RP0 a RP1

R1	R0	Rozlišení	Krok
0	0	9 bit	0,5°C
0	1	10 bit	0,25°C
1	0	11 bit	0,125°C
1	1	12 bit	0,0625°C

10.3 Jedinečný 64 bitový ROM kód

Celý 64 bitový ROM kód je rozdělen na tři části. Rodinný kód (Family code) je společný pro všechny obvody DS18B20 a má hodnotu 28h. Druhá část o velikosti 48 bitů obsahuje pevné sériové číslo konkrétního obvodu a výrobce zaručuje, že se na trhu neobjeví DS18B20 se stejným kódem. Poslední část 8 bit CRC je vypočítáno z předchozích 56 bitů, slouží ke kontrole čtených dat.

Tab. 5 ROM kód

8 bit CRC		48 bit sériové číslo		8 bit rodinný kód (28h)	
MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB

10.4 Příkazy pro DS18B20

Teplotní senzor DS18B20 má vlastní instrukční sadu, před zahájením vysílání příkazů je nutné provést inicializaci obvodu, se kterým chceme komunikovat. Mikroprocesor vyšle na sběrnici 1-Wire Reset pulz a čeká na příjem potvrzovacího Present pulzu, poté musí vyslat příkaz pro adresování senzoru, se kterým chceme komunikovat. Přehled nejpoužívanějších příkazů:

Porovnej ROM (55h)
Příkaz pro adresování obvodu pomocí 64 bitového ROM kódu.

Čti ROM (33h)
Slouží pro čtení 64 bitového kódu připojeného senzoru na sběrnici, možno použit pouze v případě, kdy je na sběrnici jeden obvod.

Převeď teplotu (44h)

Odesláním příkazu se zahájí měření teploty, výsledná teplota je uložena do registru změřené teploty, rozdělena na bajty MSB a LSB. Při provádění převodu teploty DS18B20 drží sběrnici v nízké úrovni, doba převodu je závislá na nastaveném rozlišení v konfiguračním registru. Rozlišení 12 bitů odpovídá zpoždění přibližně 750ms. Po ukončení převodu je sběrnice zpět ve stavu log. 1 a je už tedy možné číst aktuální teplotu z registrů MSB a LSB.

Zapiš Scratchpad (4Eh)

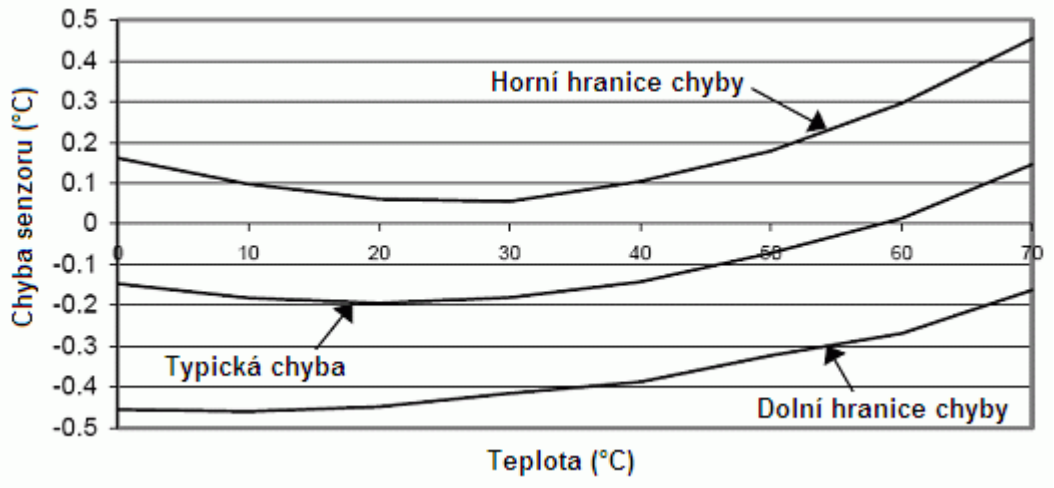
Příkaz slouží k zápisu do registrů alarmu horní meze (TH), dolní meze (TL) a nastavení konfiguračního registru.

Čti Scratchpad (BEh)

Dovoluje číst data z mapy paměti od adresy 0 až 7, tento příkaz se používá pro čtení naměřené teploty a konfiguračního registru.

10.5 Přesnost senzoru DS18B20

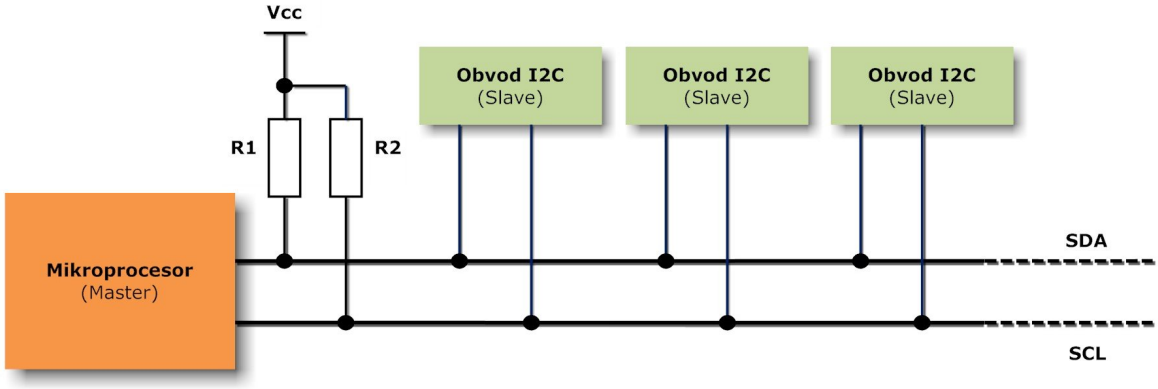
Výrobce zaručuje přesnost ±0,5 °C pro rozsah teplot -10 °C až +85 °C. Na obrázku 32 je zobrazen graf chyb, kde na ose x je teplota od 0 °C do 70 °C a na ose y chyba teploty změřené DS18B20 oproti skutečné teplotě. Například pro teplotu 21 °C je zaručována typická chyba -0,1875 °C, ovšem může se vyskytnou chyba v rozsahu od -0,4375 °C do +0,0625 °C.



Obrázek 32: Graf chyb senzoru DS18B20

11. Dvouvodičová sběrnice I²C

Sběrnice I²C (Inter-Integrated Circuit) vyvinutá firmou Philips podporuje komunikaci mezi řídícími mikroprocesory (Multi-Master) anebo mezi řídícím mikroprocesorem (Master) a dalšími obvody (Slave), které mají vlastní unikátní číslo a jsou pomocí něho na sběrnici adresovány. Oproti 1-Wire není adresa obvodů pevná a lze ji v určitém rozsahu měnit pomocí log. stavů na adresovacích pinech Slave obvodu. Sběrnice I²C používá pro svou komunikaci dva vodiče a to datový vodič SDA (Synchronous Data) a vodič hodinového signálu SCL (Synchronous Clock). Master zahajuje a ukončuje komunikaci a také generuje hodinový signál SCL o frekvenci maximálně 100 kHz ve standardním módu nebo 400 kHz v rychlém módu. V projektu je použit standardní mód komunikace. Vodiče SDA a SCL mají v klidové poloze stav log. 1 zajištěný zdvihacím (pull-up) odporem.



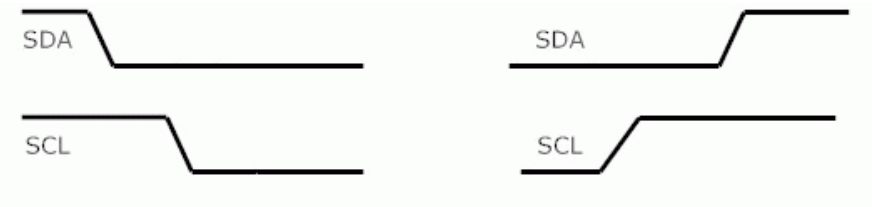
Obrázek 33: Nákres sběrnice I²C

11.1 Komunikace na sběrnici I²C

Zahájení komunikace provádí Master viz obrázek 34 vysláním START sekvence, poté následuje vyslání adresy Slave obvodu, oznámení o zápisu nebo čtení R/W‘, Slave vyšle potvrzovací bit ACK a tím potvrdí adresu, Master přenese osm bitů dat, vynechá potvrzení ACK‘ a ukončí komunikaci pomocí STOP sekvence.

Tab. 6 Posloupnost komunikace po sběrnici I²C

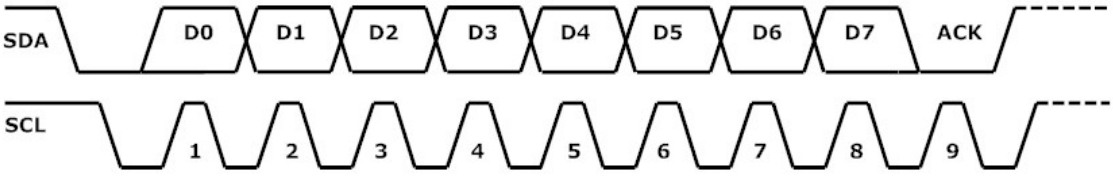
Start	Slave adresa 7bit	R/W‘	ACK	Data 8bit	ACK‘	**Stop**



Obrázek 34: START (nalevo) a STOP (napravo) sekvence

- **Slave adresa 7bit:** adresa Slave obvodů o velikosti 7 bitů umožňuje na sběrnici připojit až 128 periférií, u většiny obvodů (podle typu pouzdra) je možně měnit nejnižší tři bity pomocí log. stavů na adresovacích pinech a připojit tak na sběrnici osm obvodů stejného typu (např. PCF8574A), zbylé 4 bity není možné měnit a označují typ součástky (EEPROM, expandér, A/D převodník, apod.)
- **R/W‘ výběr módu:** bit oznamující Slave obvodu čtení (R/W‘=1) nebo zápis ((R/W‘=0)
- **ACK (Acknowledge) potvrzovací bit:** vysílá vždy obvod, který přijal data (Master i Slave) stažením vodiče ACK na log. 0 po dobu trvání devátého hodinového impulsu SCL
- **ACK‘ (NOT Acknowledge) bez potvrzení:** pokud po přijetí dat je vynechán potvrzovací bit, tedy SDA je v log.1 v době devátého hodinového impulsu Master ukončí komunikaci odesláním STOP sekvence

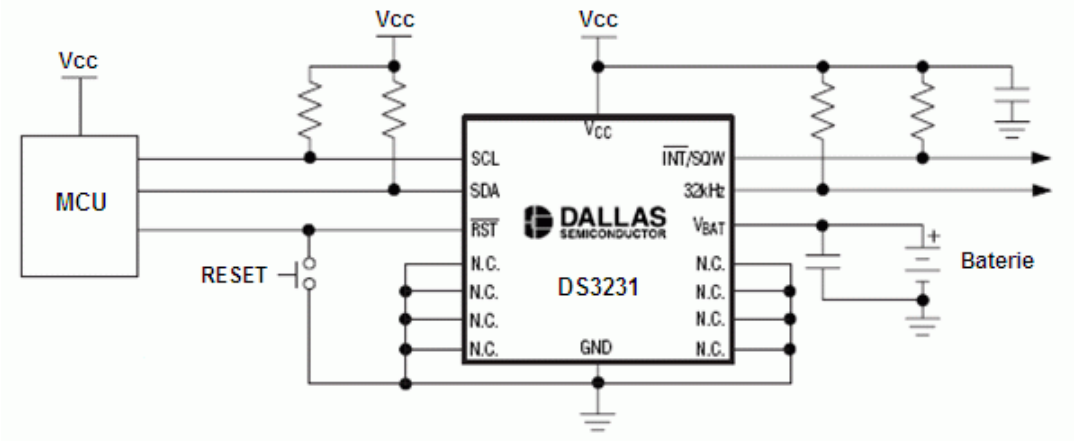
Data se přenáší dle obrázku 35, kdy Master posílá hodinové pulsy a změna datových bitů nastává v okamžiku kdy je SCL v log. 0. Platnost dat je zaručena pokud SCL přejde do stavu log. 1.



Obrázek 35: Přenos dat na sběrnici I^2C

12. Obvod reálného času DS3231

Extrémně přesný obvod reálného času DS3231 s integrovaným teplotně kompenzovaným krystalovým oscilátorem (TCXO) a krystalem obsahuje bateriový vstup, který udržuje přesný běh času i v případě, pokud je vlastní napájecí napětí odpojeno. Integrovaný krystalový rezonátor zvyšuje dlouhodobou přesnost pro běh čítače času. Obvod je vyráběn ve dvou variantách, komerční pro rozsah teplot 0 °C až 70 °C a průmyslový pro -40 °C až 85 °C.



Obrázek 36: Schéma obvodu DS3231

Obvod reálného času (RTC) počítá sekundy, minuty, hodiny, dny v týdnu, datum, měsíce, a roky. Datum je automaticky přizpůsoben pro měsíce s méně jak 31 dny, včetně korekce pro přechodné roky. Hodiny pracují ve formátu 24 hodin nebo 12-ti hodin s indikátorem AM/PM. Dva programovatelné alarmy a programovatelný výstup nabízející režim obdélníkového signálu v programovatelných frekvencích nebo výstup logického stavu. Adresa a data jsou přenášena pomocí sběrnice I^2C.

Precizně teplotně kompenzované referenční napětí a komparační obvod monitoruje úroveň a případný výpadek napájecího napětí, řídí resetovací výstup (RST) a v případě potřeby automaticky spíná záložní baterii. Navíc pin RST snímá stav mikrospínače pro generování externího resetu.

Vlastnosti obvodu:

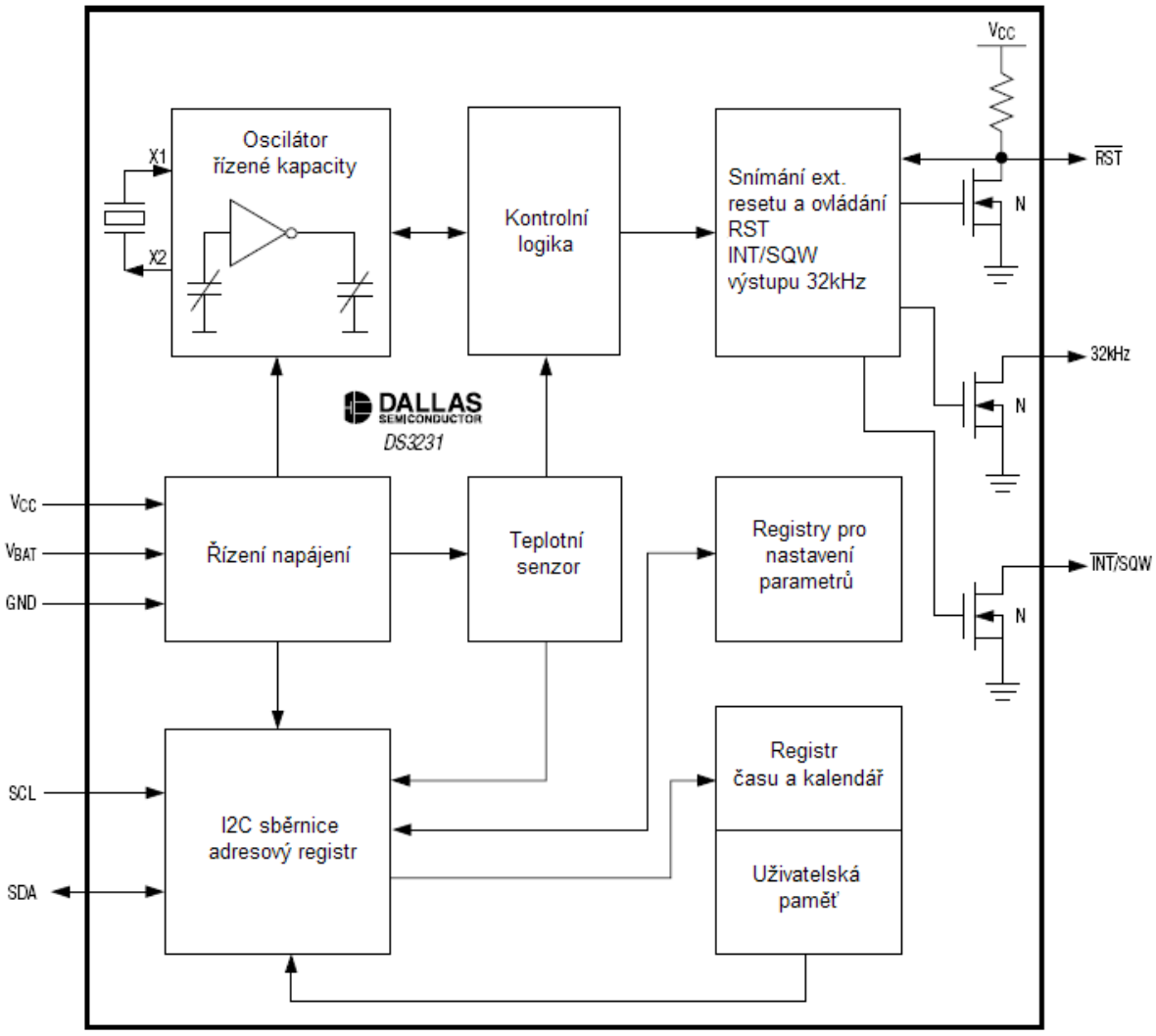
- přesnost ±2 ppm při teplotách 0 °C až +40 °C
- přesnost ±3.5 ppm při teplotách -40 °C až +85 °C
- pracovní napětí 3.3 V až 5.5 V
- automatické připojení záložní baterie pro zachování běhu času
- nízká spotřeba obvodu 300 uA při 5.5 V, ve stand-by režimu 170 uA
- Obvod reálného času (RTC) počítající sekundy, minuty, hodiny, dny, datum, měsíce, a roky s přepočtem přechodných roků a kompenzací do roku 2100
- dva programovatelné časové alarmy
- komunikace pomocí I^2C sběrnice
- integrovaný digitální teplotní senzor s přesností ±3 °C v celém rozsahu
- RST výstup/vstup pro externí reset
- RoHS kompatibilita

Tab. 7 Význam pinů obvodu DS3231

Pin	Význam	Popis
1	32kHz	32 kHz výstup s otevřeným kolektorem
2	V_{CC}	Napájení 3,3 V až 5,5 V
3	INT/SQW	Výstup pro přerušení (alarm) / obdélníkový výstup nastavitelné frekvence
4	RST	Vstupně/výstupní pin, pro reset obvodu (log. 0) a indikaci výpadku napájení V_{CC}
5–12	n.c.	Nezapojeno, doporučeno připojit na GND
13	GND	zem
14	V_{BAT}	Vstup pro připojení záložní baterie 2,3 V až 5,5 V
15	SDA	Datový vstupně/výstupní vývod sběrnice I^2C
16	SCL	Hodinový vstupní vývod sběrnice I^2C, určený pro synchronizaci přenosu

Blokové schéma vnitřního zapojení obvodu DS3231 je rozděleno do samostatných funkčních částí:

- **Oscilátor 32kHz**: kontrolní logika obvodu dorovnává frekvenci oscilátoru pomocí řízených kondenzátorů na základě teploty získané z interního teplotního senzoru



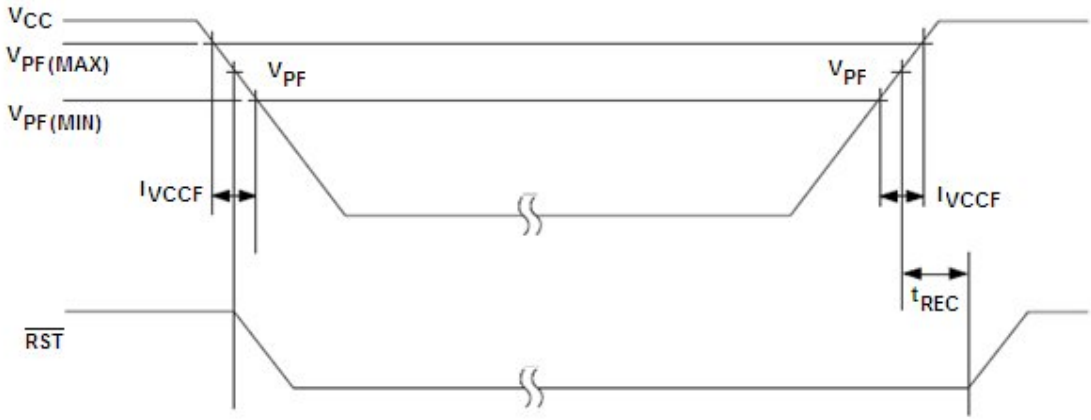
Obrázek 37: Blokové schéma obvodu DS3231

- **Řízení napájení**: pokud je napájecí napětí V_{CC} větší než prahové napětí V_{PF} (min. 2,45 V max. 2,70 V)obvod je napájen z Vcc. Pokud napájecí napětí V_{CC} je nižší než VPF a V_{BAT}, obvod DS3231 je připojen na napájecí napětí baterie V_{BAT}. Následující tabulka znázorňuje rozhodovací logiku pro přepínání napájení:

Tab. 8 Logika řízeného napájení

Závislosti napětí	Rozhodnuto o napájení z
$V_{CC} < V_{PF}$, $V_{CC} < V_{BAT}$	V_{BAT}
$V_{CC} < V_{PF}$, $V_{CC} > V_{BAT}$	V_{CC}
$V_{CC} > V_{PF}$, $V_{CC} < V_{BAT}$	V_{CC}
$V_{CC} > V_{PF}$, $V_{CC} > V_{BAT}$	V_{CC}

- **Snímání ext. resetu a ovládání vývodu RST**: DS3231 snímá na pinu RST logický stav, pokud přejde na log. 0 dojde k resetu obvodu a zastavení běhu času pouze po dobu trvání log. 0. Další funkce vývodu RST je signalizování stavu napájecího napětí. Obrázek 38 znázorňuje průběh na pinu RST, při poklesu napájecího napětí na mez V_{PF} přejde signál RST na log. 0. a následně se sepne napájení obvodu ze záložní baterie připojené na pin V_{BAT}. Pokud napájecí napětí V_{CC} překročí stanovenou mez napájení z baterie se odpojí a pin RST přejde do log. 1.



Obrázek 38: Průběh na pinu RST

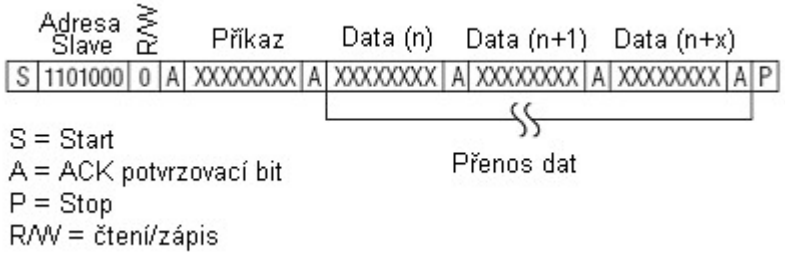
- **Registr času a kalendář**: zaznamenává běh času a umožňuje čtení sekund, minut, hodin, dne v týdnu, data a roku v BCD (binary-coded decimal) formátu pomocí sběrnice I^2C. Mapa registrů rozdělená do adres 00h až 12h je znázorněna na obr. 4. Volba mezi 12-ti nebo 24 hodinovým módem se provádí v registru 02h na bitu 6, a to log.1 reprezentuje 12hodinový mód a log.0 24hodinový mód. Počítání dne v týdnu je možné číst na adrese 03h.

- **I^2C sběrnice**: komunikace obvodu probíhá po sběrnici I^2C prostřednictvím vývodů označených SDA (Data) a SCL (Clock). DS3231 se na sběrnici chová jako Slave, řídící obvod označovaný jako Master (řídící mikroprocesorú generuje obdélníkové impulsy na pinu SCL o frekvenci 100 kHz.

12.1 Příklad komunikace po sběrnici I²C s obvodem DS3231

Odeslání příkazu obvodu DS3231

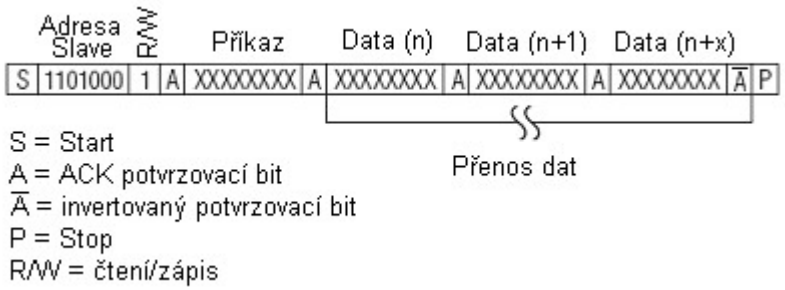
Master odešle po sběrnici I²C adresu Slave obvodu v tomto případě 11010000, první bajt označený R/W‘ oznamuje příkaz zápisu=0, Slave potvrdí přijmutí dat prostřednictvím potvrzovacího bitu ACK (Acknowledge). Dále následuje vyslání adresy registru a data, která do něj chceme zapsat, komunikace se ukončí prostřednictvím Stop bitu.



Obrázek 39: Vysílání příkazu (Master)

Příjem dat vysílaných obvodem DS3231

Master odešle po sběrnici adresu Slave obvodu v tomto případě 11010001, první bajt označený R/W‘ oznamuje příkaz pro čtení=1, Slave potvrdí přijmutí dat prostřednictvím potvrzovacího bitu ACK Master odešle adresu registru, Slave opět odešle bit ACK a zahájí odesílaní dat obsahující čtený registr. Master čte data a každý bajt potvrdí odesláním bitu ACK, ukončení čtení je provedeno odesláním invertovaným potvrzovacím bitem NOT ACK a vysláním Stop bitu.



Obrázek 40: Příjem dat (Master)

13. Termoelektrická hlavice Giacomini

Pro ovládání čtyř ventilů rozdělovače podlahového vytápění jsou v projektu použity termoelektrické hlavice firmy Giacomini. Umožňují dvoustavově ovládat ventily a rozhodovat tak o vytápění daných místností. Na základě toho bude možné v každé místnosti nastavit různou teplotu, která budou řídící jednotkou udržována v daných mezích.

Obrázek 41: Termoelektrická hlavice

Termoelektrické hlavice neobsahují žádné složité mechanické díly, které by výrazně snižovaly životnost. Bezhlučný chod je zajištěn díky topnému členu PTC (Positive Temperature Control) umístěném uvnitř hlavice, který s rostoucí teplotou zvyšuje svůj odpor. Změna odporu je plynulá a brání tak vzniku tlakových rázů do topného rozvodu během otevírání či zavírání okruhu. Vyrábí se ve dvou základních variantách, a to bez proudu zavřeno a bez proudu otevřeno. Do projektu byly vybrány hlavice s označením Giacomini R478X101 bez proudu zavřeno, protože se předpokládá delší interval pro stav, kdy není místnost vytápěna vzhledem k nízké energetické náročnosti testovaného objektu.

Parametry udávané výrobcem:

- napájecí napětí 230 V 50 Hz
- příkon 3,5 W
- odpor při 25 °C cca 1200 Ω
- proud po 12 min. provozu max. 0,015 A
- bez proudu zavřeno
- pracovní zdvih 2,4 mm
- čas otevření při 25 °C cca 2 min.
- teplota kapaliny v oběhu až 90 °C
- ochrana dvojitou izolací (třída II)

13.1 Měření příkonu hlavice Giacomini R478X101

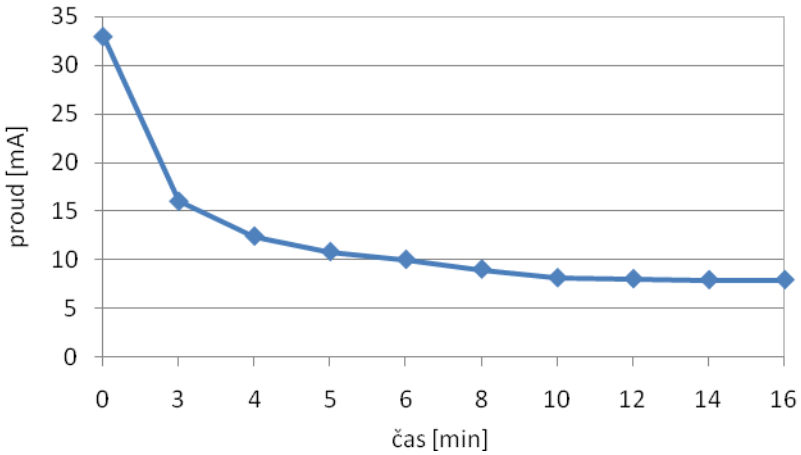
Pro ověření parametrů udávaných výrobcem bylo provedeno praktické měření na termoelektrických hlavicích Giacomini R478X101 určených pro napájecí napětí 230 V 50 Hz.

Měřeno při okolních podmínkách:
Teplota: 26 °C
Relativní vlhkost: 60 %
Napájecí střídavé napětí: 240 V

Sepnutí termoelektrické hlavice
připojeno na střídavé napětí 240 V

Tab. 9 Naměřené hodnoty při sepnutí

Čas [min.]	Pracovní proud [mA]	Poznámka
0	33,0	prvotní špička 60 mA
3	16,0	plné otevření ventilu
4	12,4	postupné snižování proudového odběru
5	10,8	
6	10,0	
8	9,0	
10	8,1	
12	8,0	
14	7,9	ustálený proudový odběr
16	7,9	

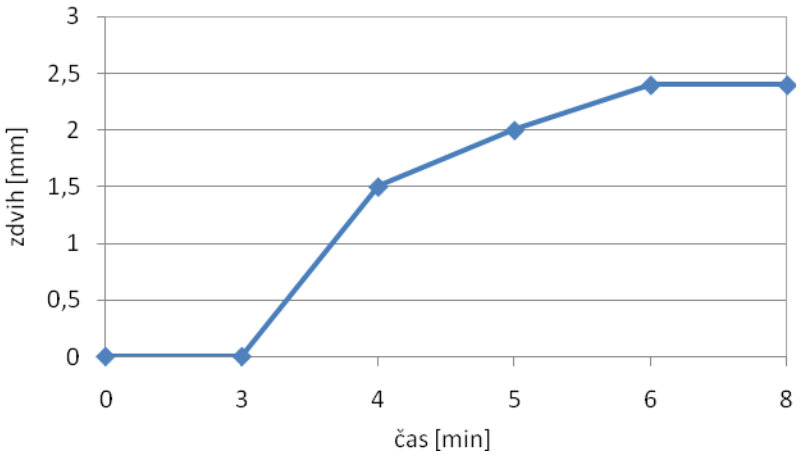


Obrázek 42: Graf průběhu proudu sepnuté termoelektrické hlavice

Vypnutí termoelektrické hlavice
odpojení od napájecího zdroje

Tab. 10 Naměřené hodnoty při vypnutí

Čas [min.]	Zdvih [mm]	Poznámka
3	0	bez reakce
4.	1,5	
5	2,0	
6	2,4	plný zdvih
8	2,4	



Obrázek 43: Graf uzavírání hlavice v závislosti na čase

Plného otevření ventilu bylo dosaženo při uvedených okolních podmínkách za 3 min. Oproti údaji uváděném výrobcem je delší o 1 min. Změřený klidový proudový odběr 7,9 mA při napětí 240 V potvrzuje údaj udávaný výrobcem, který zaručuje max. 15 mA při napětí 230 V. Úplného uzavření ventilu je dosaženo za 6 min. po odpojení od napájecího zdroje jak znázorňuje obr. 21 (Graf uzavírání hlavice v závislosti na čase).

14. Maticový LCD displej

Pro komfortní ovládání a sledování stavu hlavní řídící jednotky byl zvolen maticový displej firmy Everbouquet s označením MC1604B. Jedná se o 4-řádkový displej s 16-ti znaky na řádek, maticí znaku 5x8 bodů a LED podsvětlením celé plochy displeje. Hlavním prvkem je standardizovaný řadič HD44780 od firmy Hitachi, který zajišťuje ovládání jednotlivých znaků displeje. Podporuje komunikaci po osmi (DB0 – DB7) nebo čtyřech (DB4 – DB7) vodičích, kde jsou data posílána po půlbajtech tedy čtyřech bitech. Zapojení jednotlivých vývodů displeje MC1604B je uvedeno v tab. 11.

Před zahájením komunikace je nutné provést inicializaci displeje, obsahující nastavení způsobu komunikace 8-mi nebo 4bitová, posun řádků, zobrazení a vlastnosti kurzoru. Detailní možnosti nastavení displeje s řadičem HD44780 jsou spolu s legendou popsány v Tab. 12.

Tab. 11 Zapojení vývodů maticového LCD displeje

Pin	Označení	Popis
1	V_{SS}	zem
2	V_{DD}	napájecí napětí (+5V)
3	V_O	nastavení kontrastu
4	RS	volba registru
5	R/W	čtení R/W=1; zápis R/W=0
6	E	Povolení přenosu
7	DB0	datová sběrnice bit0
8	DB1	datová sběrnice bit1
9	DB2	datová sběrnice bit2
10	DB3	datová sběrnice bit3
11	DB4	datová sběrnice bit4
12	DB5	datová sběrnice bit5
13	DB6	datová sběrnice bit6
14	DB7	datová sběrnice bit7
15	V_{LED}	napájení LED podsvětlení
16	V_{GND}	zem podsvětlení

Tab. 12 Instrukce displeje s řadičem HD44780

Instrukce	RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0	Čas provedení
Vymaž displej	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1,64ms
Návrat na začátek	0	0	0	0	0	0	0	0	1	x	1,64ms
Vlož nastavení módu	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	40µs
Displej zap./vyp.	0	0	0	0	0	0	1	D	C	B	40µs
Posun kurzoru/displ.	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	x	x	40µs
Nastavení funkce	0	0	0	0	1	DL	N	F	x	x	40µs
Nastav CG RAM	0	0	0	1	MSB	Adresa CG RAM				LSB	40µs
Nastav DD RAM	0	0	1	MSB	Adresa DD RAM					LSB	40µs
Čti příznak BUSY	0	1	BF	MSB	Adresa DD RAM					LSB	0µs
Zapiš data do CG/DD	1	0	MSB	Data						LSB	40µs
Čti data z CG/DD	1	1	MSB	Data						LSB	40µs

I/D DD RAM se po zápisu 0 – dekrementuje, 1 - inkrementuje
S posun 0 – kurzoru po zapsání, 1 – celého displeje po zapsání
D displej 0 - vypnut, 1 - zapnut
C zobrazování kurzoru 0 – zakázáno, 1 - povoleno
B blikání kurzoru 0 – zakázáno, 1 – povoleno
S/C posun 1 – displeje, 0 - kurzoru
R/L posun 0 – doleva, 1 - doprava
DL komunikace 0 – čtyřbitová, 1 - osmibitová
N nastavení počtu řádků 0 – jeden, 1 – dva nebo čtyři
F výběr velikosti znaku 0 – 5x8 bodů, 1 – 5x10 bodů (výjimečně)
BF operace 0 – ukončena, 1 – probíhá
DD RAM paměť adresování pozic
CG RAM paměť znaků

Po inicializaci provedeme zobrazení znaků na displeji. Nejprve nastavíme pozici, kde se má znak zobrazit. Adresování pozic se provádí pomocí DD RAM (Display Data Random Acces Memory) znázorněné v Tab. 13.

Tab. 13 Mapa DD RAM 4-řádkového displeje

Pozice	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**
řádek 1	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F
řádek 2	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	4A	4B	4C	4D	4E	4F
řádek 3	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	1A	1B	1C	1D	1E	1F
řádek 4	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	5A	5B	5C	5D	5E	5F

Poté následuje výběr znaku uloženého v CG RAM, jedná se o paměť velikosti 00h až FFh kde každé hodnotě odpovídá určitý znak včetně čísel a mezery. Podrobný přehled jednotlivých adres a znaku je uveden např. v technickém popisu [10] řadiče HD44780. Uživatel má možnost si vytvořit osm vlastních znaků a uložit je do této paměti na adrese 00h až 07h.

15. Popis zapojení jednotlivých modulů

15.1 Zapojení hlavní řídící jednotky

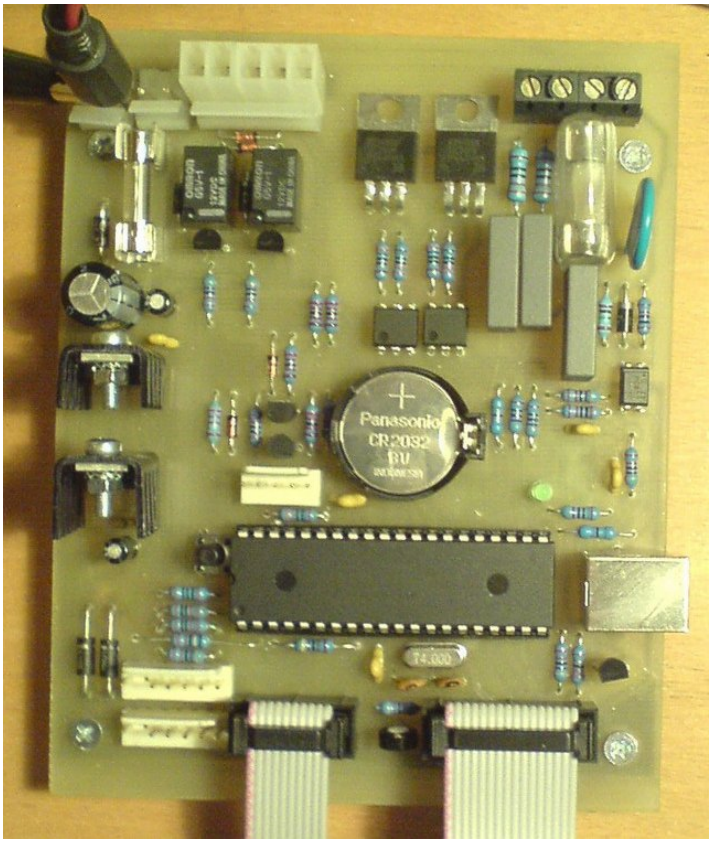
Hlavní řídící jednotka teplovodního vytápění obsahuje mikroprocesor (IC1) firmy Microchip, typ PIC16F877A (zapojení viz. příloha). Obvod je taktován krystalem o frekvenci 4 MHz, což je postačující rychlost pro danou aplikaci. Pomocí konektoru K2 a K3 se jednotka připojuje ke sběrnici čidel 1-Wire a datové sběrnici I^2C (SDA, SCL) pro připojení k podružnému ovládacímu panelu a modulu termoelektrických hlavic umístěného v rozdělovači podlahového topení. Na sběrnici I^2C je uvnitř jednotky připojen obvod reálného času (RTC) firmy Dallas/Maxim s označením DS3231 (IC2) zálohovaný lithiovou 3V baterií CR2032 s dostatečnou kapacitou 200 mAh.

Řízení servopohonu a jeho reverzace je realizována pomocí dvou relé (REL1, REL2), které vzhledem k zapojení plní funkci brzdy, v klidové poloze je vinutí servopohonu zkratováno. Sepnutím tranzistoru T1 dojde k sepnutí relé REL1 a tím k pravotočivému chodu servopohonu směšovacího ventilu. V případě sepnutí tranzistoru T2 a následně REL2 dojde k reverzaci a tedy levotočivému směru pohybu. Tranzistory (T5, T6) zajišťují snímání koncových poloh připojeného směšovacího ventilu. Jednotka dále obsahuje dva triaky pro výkonové spínání stykačů ovládajících elektrické topné tělesa nebo oběhové čerpadlo. Pomocí optočlenu (OK3) a dalších pasivních součástek je snímána přítomnost síťového napětí.

Pomocí dvouřadého šestnácti-pinového konektoru SV2 je připojen čtyř-řádkový LCD displej. Trimr (P1) spolu s odporem R11 umožňuje nastavení kontrastu. Tranzistor Q3 je řízen PWM signálem z mikroprocesoru a obstarává plynulou regulaci podsvětlení LCD displeje. Mikroprocesor podporuje programování přímo v obvodu ICSP (In-Circuit Serial Programming) pomocí pěti-pinového konektoru CON4. Mikrospínač SW1 slouží k externímu resetu systému. Pro komunikaci jednotky s počítačem přes rozhraní USB slouží převodník FT232R (IC4), který pro svoji funkci vyžaduje minimum externích součástek. Dioda LED1 signalizuje přijímaná či vysílaná data mezi jednotkou a počítačem vybaveným komunikačním softwarem pro sledování stavu systému teplovodního vytápění. Jednotka je napájena stejnosměrným napětím 15 až 20 V, ochranu proti přepólování zajišťuje dioda D1. Stabilizace napětí je realizována obvodem 7812 (IC3) s výstupním napětím 12 V a obvodem 7805 (IC5) s výstupem 5 V. Celý obvod je proudově jištěn pomalou tavnou pojistkou (F1).

Na konektor (CON9) se připojuje modul tlačítek a posuvného registru (zapojení viz. příloha). Posuvný registr ovládá signalizační LED diody připojené na konektor CON2. Modul je vybaven pěti „Soft-Touch“ mikrospínači s nízkou úrovní stisku pro pohodlné ovládání. Tlačítka nabízí funkci pohybu nahoru (S4), dolů (S5), doleva (S2), doprava (S3) a funkci potvrzení „OK“ (S1). Intenzita podsvětlení těchto mikrospínačů je řízena tranzistorem pomocí PWM signálu.

Plošný spoj je realizován jako jednostranný s použitím vývodových součástek a SMD součástek. Integrované obvody FT232R a DS3231 jsou pájeny ze strany plošného spoje vzhledem k jejich pouzdření do pouzder SSOP-28 a SO16. Rozměry plošného spoje jsou 122 x 105 mm.



Obrázek 44: Fotografie hlavní řídící jednotky

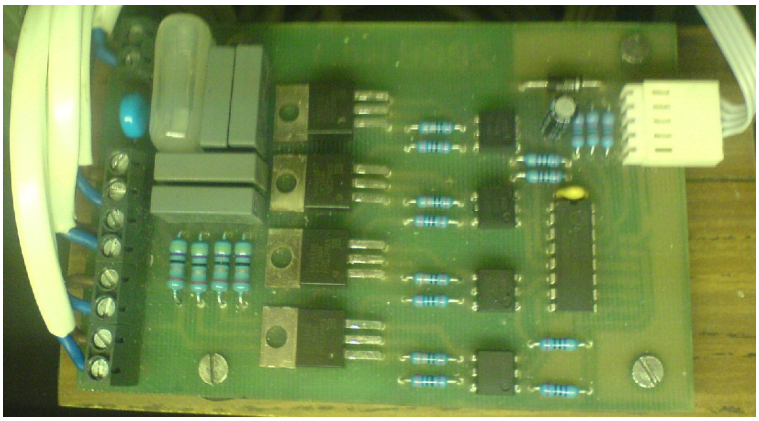
Technické parametry:

- Napájení stejnosměrným napětím 15 V až 20 V, chráněno tavnou pojistkou
- Ochrana proti přepólování
- Ochrana proti přepětí 5 V a 12 V větve obvodu
- Spínání 230 V chránění tavnou pojistkou

15.2 Zapojení modulu termoelektrických hlavic

Modul termoelektrických hlavic je řízen po sběrnici I^2C. Obvod PCF8574A (IC1) plní funkci expandéru sběrnice a pomocí optotriaků MOC3043 a triaků TIC206M umožňuje spínání čtyř termoelektrických hlavic. Síťové střídavé napětí 230 V je přivedeno na svorkovnici X1. Hlavice jsou jištěny pomalou tavnou pojistkou F1 a varistorem R16. Modul je napájen stabilizovaným stejnosměrným napětím 5 V, proti přepětí je chráněn transilem BZW05-5V8-6. Konektor CON2 umožňuje připojení další výkonové desky triaků pro případné rozšíření systému. Poté by bylo možné ovládat jedním modulem až osm termoelektrických hlavic.

Plošný spoj o rozměrech 110 x 70 mm je realizován jako jednostranný s použitím vývodových součástek včetně integrovaného obvodu IC1. Vzhledem k malému spínanému proudu jsou triaky umístěny vodorovně s nosnou částí plošného spoje.



Obrázek 45: fotografie modulu termoelektrických hlavic

Technické parametry:

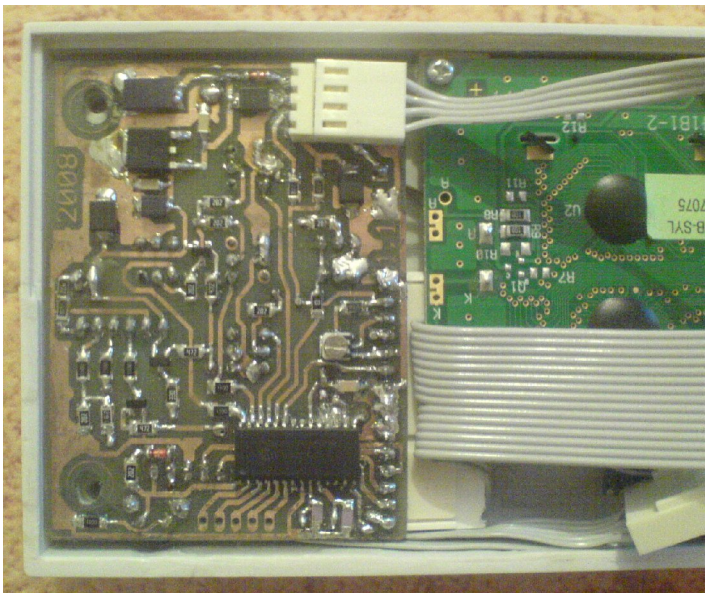
- Napájení stejnosměrným stabilizovaným napětím 5 V
- Ochrana proti přepólování
- Ochrana proti přepětí
- Spínání 230 V chránění tavnou pojistkou

15.3 Zapojení externího ovládacího panelu

Externí ovládací panel je ovládán po sběrnici I^2C pomocí mikroprocesoru firmy Microchip PIC16F873A (U1). Taktování procesoru zajišťuje krystal 4 MHz spolu s kondenzátory C6, C7. Panel je napájen usměrněným napětím 8 V až 15 V, ochranu proti přepětí na vstupu napájení zajišťuje transil s mezním napětím 15 V. Dioda D2 chrání obvod proti přepólování. Stabilizaci napětí je realizování obvodem 78M05 (IC1) s výstupním napětím 5 V. Jednořadý konektor SV4 umožňuje připojení čtyř-řádkového LCD displeje. Kontrast se nastavuje pomocí trimru TRIM1 spolu s odporem R7. Podsvětlení displeje je řízeno PWM signálem pomocí tranzistoru T2. Panel je vybaven pěti mikrospínači s funkcí pohybu nahoru (S3), dolů (S4), doleva (S2), doprava (S5) a potvrzením „OK“ (S1), stejně jako ovládací tlačítka hlavní řídící jednotky, včetně řízení intenzity podsvětlení (tranzistor T1) PWM signálem. Konektorem SV3 je připojen Bluetooth modul OEM-SPA331. Modul je ovládán 3V logikou, která je pomocí AND hradla 74HCT08 v invertorovém zapojení převedena na 5 V logiku. Řízení datového přenosu (CTS) je možné ovládat pomocí tranzistoru T3. Na konektor SV6 je připojena modrá LED, která obstarává signalizaci úspěšného bezdrátového připojení a rozsvěcí Bluetooth® logo na předním panelu.

Mikroprocesor PIC16F873A podporuje programování přímo v obvodu ICSP (In-Circuit Serial Programming) pomocí pěti-pinového konektoru SV7. Pro případ nutnosti uživatelského resetu je panel vybaven mikrospínačem S6, který je umístěn ve spodní části panelu.

Plošný spoj je realizován jako oboustranný s použitím kombinace vývodových součástek a SMD součástek. Integrovaný obvod 74HCT08 spolu s mikrospínači a konektory je umístěn na jedné straně plošného spoje a ostatní součástky na straně druhé. Stabilizátor napětí využívá k chlazení nevyleptanou měděnou plochu, která dostatečně odvádí teplo z pouzdra stabilizátoru. Rozměry plošného spoje jsou 71 x 54 mm.



Obrázek 46: Fotografie externího ovládacího panelu

Technické parametry:

- Napájení stejnosměrným napětím 8 V až 15 V
- Ochrana proti přepólování
- Ochrana proti přepětí
- Chráněné vstupy sběrnice I^2C proti přepětí

16. Závěr

Projekt přináší objasnění možností regulace teplovodního vytápění a hodnotí jednotlivé varianty z pohledu praktického využití. Prezentuje způsob kombinace ekvitermní regulace a snímání teplot v jednotlivých místnostech po teoretické stránce a především po stránce praktické se zaměřením na aplikaci na reálný vytápěný objekt. Zabývá se návrhem elektronického systému regulace určeného pro vytápění budov. Zohledňuje proměnné klimatické podmínky, které ovlivňují tepelnou ztrátu celého objektu. Umožňuje nezávisle na sobě regulovat jednotlivé místnosti samostatně. Uživatel má tedy možnost nastavit rozdílnou požadovanou teplotu v jednotlivých pokojích.

Práce poskytuje detailní technickou dokumentaci k realizaci řídicího systému teplovodního vytápění využívající mikroprocesorové řízení spolu s digitálními senzory teploty. Popisuje cestu, jak instalovat teplotní senzor do místnosti, aby poskytoval spolehlivé informace o teplotě. Návrh zohledňuje použití v různorodých objektech a vzhledem k propojení jednotlivých modulů pomocí sběrnice je značně zvýšena jeho modulárnost. Konkrétně je použit modul hlavní řídící jednotky, modul termoelektrických hlavic a modul externího ovládacího panelu. Obzvláště byl kladen důraz na plynulý chod regulace bez nutnosti jakéhokoliv zásahu uživatele. Tento cíl byl uskutečněn realizací algoritmu vytápění automaticky reagujícího na řadu proměnných okolní vlivů. Pro řízení topné vody byl zvolen směšovací ventil s elektronickým pohonem a termoelektrické hlavice s ovládacím elementem zaručujícím vysokou životnost. Po vyřešení problematiky regulace jsem se zaměřil na vzhled externího ovládacího modulu, protože je umístěn ve vytápěné místnosti a uživatel s ním prakticky denně přichází do styku. Návrhem a použitím SMT technologie jsem snížil tloušťku modulu na hodnotu 16 mm a to včetně plastové krabičky. S ohledem na pohodlné uživatelské nastavování a sledování průběhu regulace je použit přehledný čtyř-řádkový LCD displej a intuitivní ovládací joystick s podsvětlenými symboly. Komfort monitorování vytápění zvyšuje možnost připojení k počítači ať už metalickým vedením, anebo bezdrátovým připojením již poměrně rozšířenou technologií Bluetooth.

Na základě navržené dokumentace byl celý systém postaven a aplikován na reálný rodinný dům. Systém je v nepřetržitém provozu od listopadu roku 2007. S ohledem na reálné testování a měření během provozu byl upravován řídící software a algoritmus regulace. Výsledkem projektu je kompaktní systém s dynamickým průběhem regulace udržující teplotní komfort ve vytápěném objektu. Oproti běžně dostupným digitálním termostatům bylo použitím tohoto systému v rodinném domě docíleno snížení nákladů na vytápění o 18 %. Toto snížení je dáno tím, že nedochází k zbytečnému přetápění, protože systém monitoruje jednotlivé místnosti a dohlíží tak na dodávaný výkon potřebný k vytápění.

17. Použitá literatura

[1] Hrbáček, J. Komunikace mikrokontroléru s okolím 1, 1.vyd., Praha: BEN, 1999. 159 stran. ISBN 80-86056-42-2

[2] Hrbáček, J. Komunikace mikrokontroléru s okolím 2, 1.vyd., Praha: BEN, 2000. 151 stran. ISBN 80-86056-73-2

[3] Dufka, J. Vytápění domů a bytů, 2.vyd., Praha: GRADA, 2004. 100 stran. ISBN 80-247-0642-3

[4] Petráš, D. Vytápění rodinných a bytových domů, 1.vyd., Praha: JAGA, 2005. 246 stran. ISBN 80-8076-020-9

[5] Etatherm, Obecně o regulaci [2007-04]. Dostupné z WWW: <http://www.etatherm.cz/cesky/obecne.htm >

[6] Maxim-Dallas, datasheet DS18B20 [2007-08]. Dostupné z WWW: < http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>

[7] Maxim-Dallas, datasheet DS3231 [2006-06]. Dostupné z WWW: < http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS3231.pdf>

[8] Sběrnice I^2C [2007-11]. Dostupné z WWW: < http://cs.wikipedia.org/wiki/I2C>

[9] Philips, sběrnice I^2C [2007-06]. Dostupné u WWW: < http://www.nxp.com/acrobat_download/usermanuals/UM10204_3.pdf>

[10] Hitachi, datasheet HD44780U [2007-06]. Dostupné z WWW: < http://www.datasheetcatalog.net>

[11] Giacomini, datasheet R478X101 [2002-12]. Dostupné z WWW: < http://www.arnema.cz>

[12] Microchip, datasheet PIC16F87xA [2003-09]. Dostupné z WWW: < http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39582b.pdf >

[13] ConnecBlue, datasheet OEMSPA331 [2007-06]. Dostupné z WWW: < http://www.connectblue.com>

[14] FTDI, datasheet FT232R [2006-01]. Dostupné z WWW: < http://www.ftdichip.com/Documents/DataSheets/DS_FT232R.pdf>

[15] Philips, PCF8574 [2002-02]. Dostupné u WWW: < http://www.nxp.com/acrobat_download/datasheets/PCF8574_4.pdf>

18. Přílohy

1) Schéma hlavní řídící jednotky „Hlavni_RJ_verze_1“ (formát A3)
2) Schéma části hlavní řídící jednotky „Hlavni_RJ_verze_1“ (formát A4)
3) Schéma modulu ovládacích tlačítek „tlacitka“ (formát A4)
4) Schéma modulu hlavic „modul_hlavic“ (formát A3)
5) Schéma externího ovládacího panelu „Ovladaci_panel“ (formát A3)
6) CD se zdrojovým kódem a technickou dokumentací