

STŘEDOŠKOLSKÁ ODBORNÁ ČINNOST

# EMIR

---

## EKVITERMNÍ MIKROPROCESOROVÁ REGULACE

*Obor:* 10. Elektrotechnika, elektronika, telekomunikace a technická informatika  
*Autor:* Aleš Povalač, 3. ročník čtyřletého studia  
*Škola:* Gymnázium Třebíč, Masarykovo nám. 9/116, 674 01 Třebíč  
*Konzultant:* RNDr. Miroslav Málek  
*Místo a čas:* Třebíč, 2003

Prohlašuji, že jsem použil pouze literatury uvedené v seznamu literatury a názory, které uvádím jako vlastní, nejsou převzaty z jiných publikací.

Třebíč, březen 2003

Bez předchozího písemného svolení autora nesmí být kterákoli část kopírována nebo rozmnožována jakoukoli formou (tisk, fotokopie, mikrofilm nebo jiný postup), zadána do informačního systému nebo přenášena v jiné formě či jinými prostředky.

Autor nemůže převzít právní odpovědnost ani žádnou záruku za použití chybných informací a z toho vyplývajících důsledků. Nároky na odškodnění na základě změn, chyb nebo vynechání jsou zásadně vyloučeny.

Všechny registrované nebo jiné obchodní známky použité v tomto dokumentu jsou majetkem jejich vlastníků. Uvedením nejsou zpochybněna z toho vyplývající vlastnická práva. Informace, návody a příklady obsažené v dokumentu nemohou být dále předmětem obchodu.

Veškerá práva vyhrazena

© Aleš Povalač, 2002–2003

# Obsah

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1     | Abstrakt.....                              | 2  |
| 2     | Úvod .....                                 | 3  |
| 3     | Metody regulace .....                      | 4  |
| 3.1   | Termostatová regulace.....                 | 4  |
| 3.2   | Ekvitermní regulace.....                   | 4  |
| 4     | Regulátor EMIR.....                        | 5  |
| 4.1   | Technické parametry .....                  | 5  |
| 4.2   | Blokové schéma.....                        | 5  |
| 4.3   | Schéma zapojení .....                      | 6  |
| 4.4   | Popis funkce.....                          | 7  |
| 4.4.1 | Měření teplot.....                         | 7  |
| 4.4.2 | Spínání relé .....                         | 8  |
| 4.4.3 | Mapa paměti EEPROM .....                   | 9  |
| 4.4.4 | Protokol sériové komunikace .....          | 9  |
| 4.5   | Algoritmus regulace.....                   | 10 |
| 4.5.1 | Výpočet posunu servomotoru .....           | 10 |
| 4.5.2 | Hlavní kód regulace.....                   | 11 |
| 4.5.3 | Doplňující funkce .....                    | 11 |
| 4.6   | Desky s plošnými spoji.....                | 12 |
| 4.6.1 | Hlavní deska .....                         | 12 |
| 4.6.2 | Deska displeje.....                        | 12 |
| 4.6.3 | Deska zdroje a relé.....                   | 13 |
| 4.7   | Konstrukční provedení.....                 | 13 |
| 4.8   | Oživení regulátoru a kalibrace čidel ..... | 16 |
| 4.9   | Senzor stavu kotle.....                    | 17 |
| 4.10  | Seznam součástek .....                     | 18 |
| 5     | Možnosti nastavení regulátoru EMIR.....    | 19 |
| 5.1   | Informace .....                            | 19 |
| 5.2   | Režim regulace .....                       | 19 |
| 5.3   | Ekvitermní posun.....                      | 20 |
| 5.4   | Termostat .....                            | 20 |
| 5.5   | Automatické přepnutí režimu regulace.....  | 20 |
| 5.6   | Hodiny .....                               | 20 |
| 6     | Software pro regulátor EMIR .....          | 21 |
| 6.1   | Parametry regulace .....                   | 22 |
| 6.2   | Ekviterma.....                             | 24 |
| 6.3   | Časové režimy .....                        | 25 |
| 6.4   | Hodiny a informace .....                   | 26 |
| 6.5   | Záznamy .....                              | 27 |
| 6.6   | Zed'.....                                  | 28 |
| 6.7   | Přímý přístup – paměť .....                | 29 |
| 6.8   | Přímý přístup – ladící informace .....     | 30 |
| 7     | Závěr.....                                 | 31 |
| 8     | Přehled literatury .....                   | 32 |

# 1 Abstrakt

EMIR je mikroprocesorem řízený regulátor teplovodního vytápění. Pomocí ovládání servomotoru čtyřcestného ventilu topné soustavy, spínání kotle a teplovodního čerpadla udržuje v místnostech vytápěného objektu optimální teplotu. Umožňuje regulaci ekvitermní (dle venkovní teploty) i termostátovou (dle referenční místnosti). Ekvitermní regulace je dále korigována teplotní setrvačností objektu, aby byla dosažena optimální tepelná pohoda.

Regulátor umožňuje komunikaci s uživatelem pomocí inteligentního dvouřádkového displeje a čtyř tlačítek, pomocí nichž se nastavují uživatelské parametry regulace. Veškeré parametry včetně servisních je pak možné pohodlně upravovat z počítače připojeného přes sériové rozhraní pomocí speciálního programu. Regulátor periodicky zaznamenává údaje z vybraných teplotních čidel a měří dobu hoření plynového kotle, ze které je možné v ovládacím programu spočítat spotřebu plynu.

EMIR obsahuje tři uživatelsky definovatelné týdenní programy. Pro každou čtvrt hodinu v týdnu je možné nastavit režim a parametr regulace. Pro ekvitermní režim umožňuje tedy nastavit posun topné křivky a pro termostátový režim požadovanou cílovou teplotu referenční místnosti. Dalším možným režimem je i úplné vypnutí regulace.

## 2 Úvod

Tato práce si klade za cíl být dokumentací k systému, který jsem nazval EMIR – ekvitermní mikroprocesorový regulátor. Jak napovídá název, je regulátor řízen mikroprocesorem. Má všechny funkce obvyklé u komerčních digitálních regulátorů určených pro domácí použití v rodinných domcích, ale i mnoho dalších funkcí, které jsou obvyklé pouze u průmyslových regulátorů, jejichž cena se pohybuje v řádu desítek tisíc korun.

Při vývoji regulátoru jsem uplatňoval řadu kritérií. Především měla být cena regulátoru co nejnižší. Dle informativních cen uvedených v kapitole 4.10 a po přičtení dalších položek (kabely, konektory apod.) se stále drží pod hranicí 1500 Kč. Za tuto cenu není možné v ČR pořídit ani analogový ekvitermní regulátor. Dále se už při návrhu počítalo s připojením počítače. Přestože tedy není možné regulátor zprovoznit bez nastavení počítačem, přináší toto řešení řadu výhod, především obrovské množství měnitelných parametrů regulace a vysoký komfort obsluhy. Samotný chod regulátoru je samozřejmě po nastavení možný i bez počítače.

Při procházení pramenů jsem narazil pouze na jediný konstrukční návod ekvitermního regulátoru [9]. Tento systém je ale relativně komplikovaný, některé jeho funkce jsou pro většinu uživatelů zbytečné (např. regulace dvou topných okruhů, analogový výstup pro servomotor) a řada potřebných funkcí schází, především propojení s počítačem. Veškeré nastavování se děje přes displej, takže regulátor sice počítač nepotřebuje, ale menu je následkem toho poněkud nepřehledné a mnoho důležitých parametrů regulace není možno měnit.

Regulátor EMIR zvládá ekvitermní i termostatovou regulaci. Obsahuje tři týdenní programy. Jednou z hlavních výhod je fakt, že pro každý čtvrt hodinový úsek v týdnu je možné nastavit vlastní režim. Tak lze mít např. v noci aktivní termostatovou regulaci a přes den ekvitermní. Výhoda tohoto způsobu regulace je popsána především v kapitole 6.3. V letních měsících se regulátor stará o to, aby vlivem nečinnosti nezatuhl směšovací ventil ani čerpadlo. Kromě toho slouží zároveň jako digitální teploměr.

Další novinkou je kompenzace tepelné setrvačnosti objektu, a to velmi originálním řešením. Využívá se čidla zavrtaného do zdi do dostatečné hloubky. Z rozdílu teploty, která by ve zdi měla být (lze spočítat z tloušťky zdi, hloubky čidla, vnitřní a vnější teploty), a teploty, která tam je ve skutečnosti, lze určit prohrátost objektu, kterou se kompenzuje teplota výstupní vody.

Ve 3. kapitole jsou popsány obecné metody regulace vytápění objektů. Tato pasáž je pojata stručně, účelem práce totiž není teoretické shrnutí známých informací, ale jejich praktické využití. Dokumentace ve 4. kapitole obsahuje všechny standardní náležitosti, tj. schémata, popis zapojení, výkresy desek plošných spojů i popis konstrukčního provedení. Také je zde podrobně popsán algoritmus, který regulátor EMIR používá ke své funkci. V kapitole 5 je detailně popsán systém menu regulátoru. Kapitola 6 se zabývá počítačovým ovládacím programem, pomocí kterého je možné měnit servisní parametry regulátoru a přistupovat k řadě funkcí, které přes displej není možné zpřístupnit.

## 3 Metody regulace

V současné době se používají především regulátory dvou typů. Jedná se o regulátory termostatové, které se řídí teplotou v místnosti, a regulátory ekvitermní, které se řídí venkovní teplotou. Výhody a nevýhody těchto principů regulace budou popsány v následujících dvou kapitolách. Regulátor EMIR umožňuje kombinovat obě metody regulace a tím eliminovat jejich nevýhody.

### 3.1 Termostatová regulace

Termostatová regulace je „primitivnějším“ řešením, přesto ale v současnosti neznáma používaným. Je založena na principu teplotního čidla umístěného v tzv. referenční místnosti a na nastavené teplotě, která by v této místnosti měla být. Termostat pak srovnává, zda je teplota vyšší nebo nižší. Na základě tohoto údaje se aktivuje zdroj tepla.

Většina termostatů má logický výstup typu ano – ne, a tak neumožňují plynulou regulaci výkonu topné soustavy. Výstup pouze zapíná kotel nebo oběhové čerpadlo. Obvyklé jsou dvě nastavené cílové teploty (komfortní a úsporná), které lze přepínat nebo se přepínají automaticky denním či týdenním programem termostatu.

Mezi výhody termostatové regulace patří především udržování stálé teploty v místnosti. V ní se odráží i vliv povětrnostních podmínek, slunečního záření a dalších faktorů. Na druhou stranu je ovlivňována teplota celého objektu, a tak například vyvětráním v referenční místnosti začne topení v celém domě topit, případně zasvícením slunce do této místnosti se zde sice bude udržovat stabilní teplota, ale ostatní místnosti budou chladnout. Mezi nevýhody termostatové regulace patří také kolísání teploty. Toto kolísání, které může dosahovat až  $\pm 1$  °C, mohou citlivé osoby vnímat jako velmi nepříjemné. Termostatová regulace je obvyklejší u menších objektů. Její pořizovací náklady jsou nižší, je ale třeba vzít v úvahu, že s ní zpravidla není možné dosáhnout tepelné pohody v celém objektu.

### 3.2 Ekvitermní regulace

Ekvitermní regulace je založena na principu, dle kterého každé venkovní teplotě odpovídá určitá teplota topného média (obvykle vody), která udrží ve všech místnostech přiměřenou teplotu. Křivce, která popisuje tuto závislost, se říká ekviterma. O jejím tvaru blíže v kapitole 6.2.

Na tomto principu regulace pracuje většina regulátorů pro větší objekty, ale také pro objekty menší, ve kterých nelze jednoznačně stanovit referenční místnost. Oproti termostatové regulaci je zde jasná výhoda, že topení v celém domě nebude ovlivňováno podmínkami jediné místnosti, například vařením či větráním. Naproti tomu nemůže standardní ekvitermní regulace postihovat tepelnou setrvačnost objektu a vnější vlivy, např. vítr či sluneční záření.

Regulátor EMIR provádí ekvitermní regulaci s kompenzací tepelné setrvačnosti objektu pomocí teploty ve zdi, čímž eliminuje jednu z jejích hlavních nevýhod.

Obvyklá konfigurace topného systému pro ekvitermní regulaci obsahuje troj- nebo čtyřcestný směšovací ventil spojený se servomotorem, který je ovládán regulátorem. Směšovací ventil v závislosti na své poloze míchá vodu dvou okruhů, malého okruhu, ve kterém je zařazen kotel, a velkého okruhu, ve kterém jsou napojeny radiátory. Pro umožnění pohybu topného média musí být minimálně do velkého okruhu vřazeno oběhové teplovodní čerpadlo.

Pořizovací náklady na komerční typy ekvitermních regulátorů jsou zpravidla vyšší. Obvykle však mají více funkcí, udržují vyrovnanější teplotu v objektu a provoz topné soustavy je díky nim ekonomičtější.

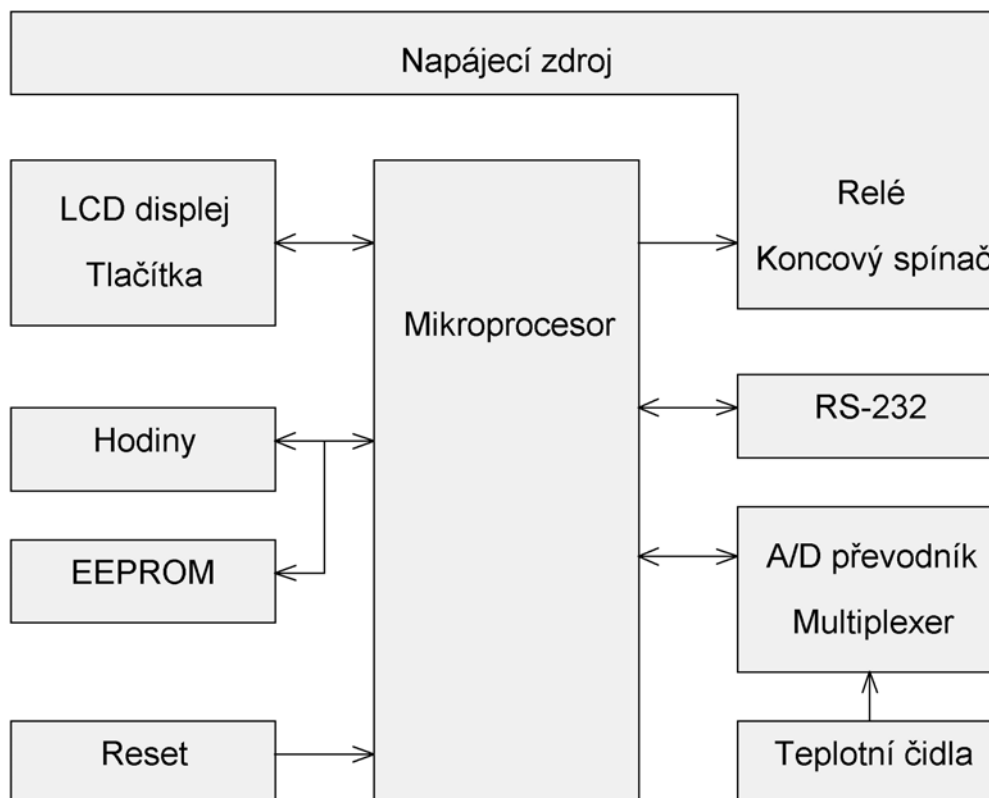
## 4 Regulátor EMIR

Následující kapitoly jsou konstrukčním návodem pro regulátor EMIR. Obsahují schéma zapojení regulátoru, výkresy desek plošných spojů, teoretické informace o regulaci a návod na oživení a první spuštění regulátoru.

### 4.1 Technické parametry

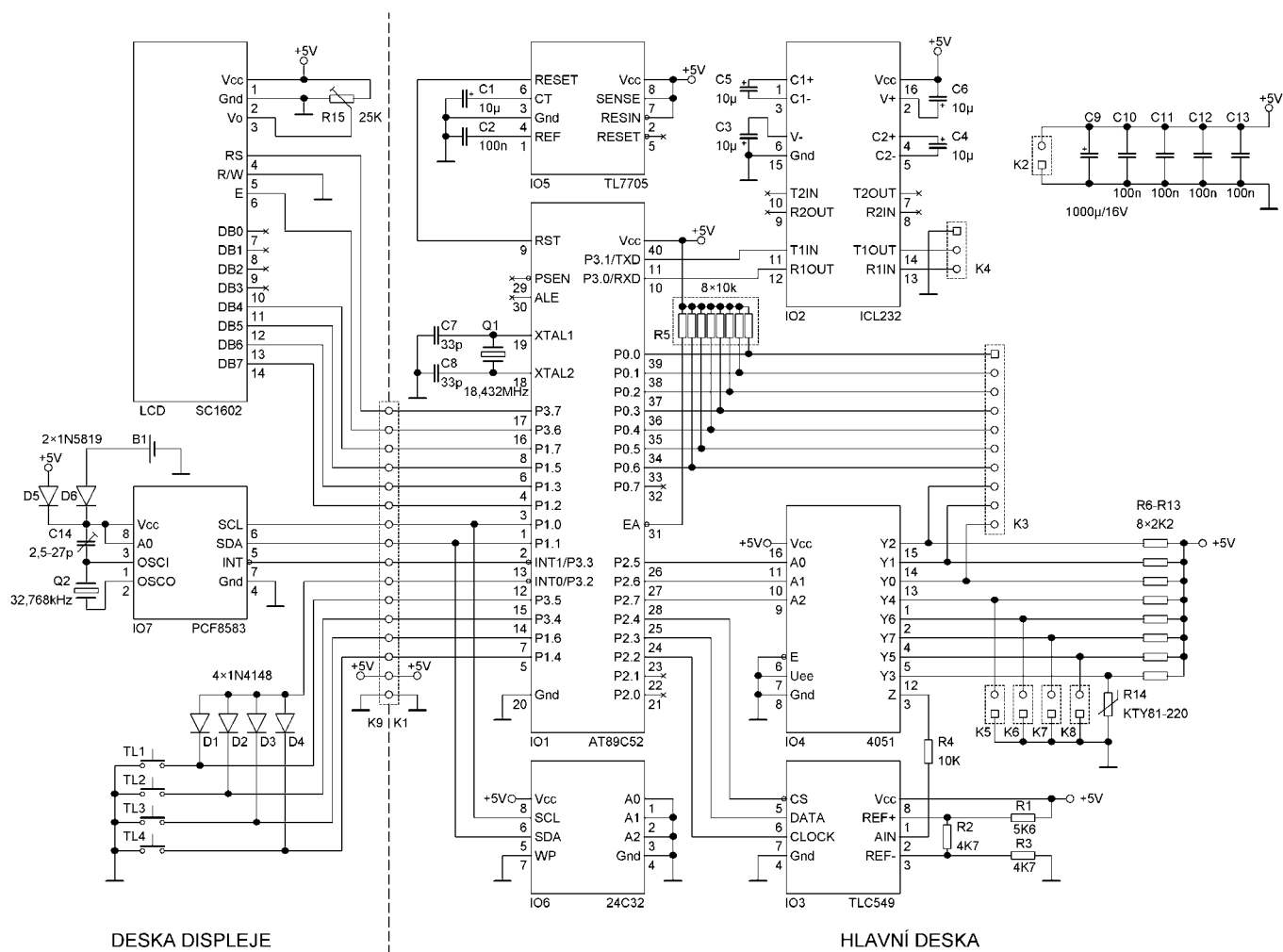
|                                     |                                   |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Napájecí napětí:</i>             | 230 V / 50 Hz                     |
| <i>Příkon:</i>                      | max. 1,9 VA                       |
| <i>Rozměry řídicí jednotky:</i>     | 90 × 75 × 40 mm                   |
| <i>Režim regulace:</i>              | ekvitermní, termostatový, vypnuto |
| <i>Počet vstupů měření teploty:</i> | 8                                 |
| <i>Rozsah měření teplot:</i>        | -50 až +110 °C                    |
| <i>Teplotní rozlišení:</i>          | 1 °C                              |
| <i>Počet digitálních vstupů:</i>    | 3                                 |
| <i>Počet digitálních výstupů:</i>   | 4                                 |
| <i>Max. zátěž výstupů:</i>          | 230 V / 10 A                      |
| <i>Počet týdenních programů:</i>    | 3                                 |
| <i>Časové rozlišení programů:</i>   | 15 minut                          |
| <i>Záložní napájení:</i>            | alkalický knoflíkový článek 1,5 V |
| <i>Ovládání:</i>                    | 4 tlačítka, displej LCD           |
| <i>Sériové připojení:</i>           | RS-232, 9600 Bd                   |

### 4.2 Blokové schéma

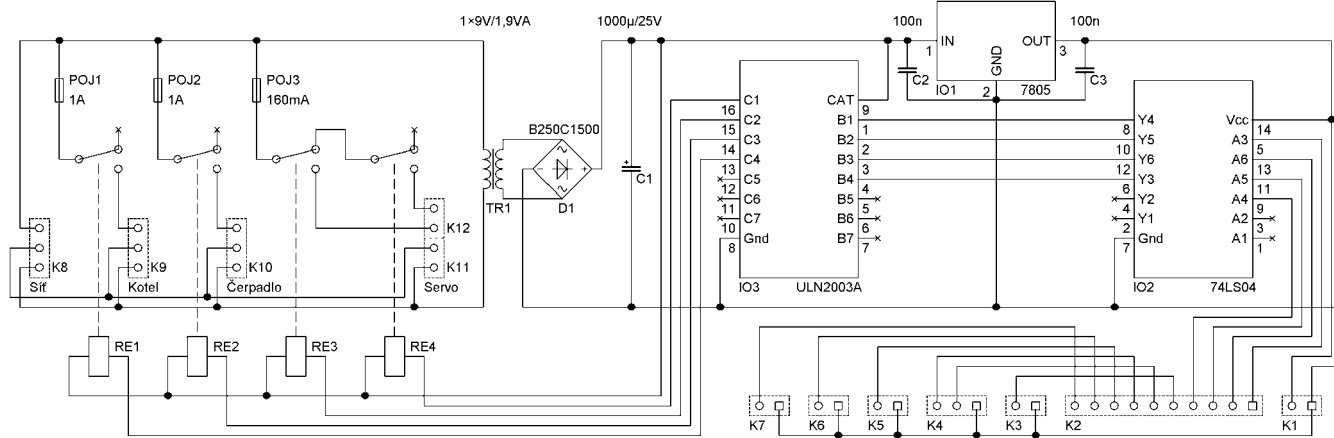


Obr. 1: Blokové schéma

### 4.3 Schéma zapojení



Obr. 2: Schéma řídicí části



Obr. 3: Schéma silové části



Srdcem celého regulátoru je mikroprocesor Atmel AT89C52 (IO1) řízený speciálním programem. Musí se tedy před použitím naprogramovat. Řídící program vytvořil autor v assembleru a je velmi rozsáhlý – v současné verzi firmware přesahuje jeho délka 3800 řádek.

Mikroprocesor spolupracuje s řadou dalších obvodů. Pro měření teploty je použit 8-bitový sériový analogově-digitální převodník TLC549 (IO3). Jednotlivé teplotní senzory přepíná analogový 8-kanálový multiplexer CMOS 4051 (IO4). Na I<sup>2</sup>C sběrnici je připojen obvod sériové EEPROM paměti velikosti 4 kB typu AT24C32 (IO6) a obvod hodin reálného času PCF8583 (IO7). Ten také obsahuje 240 B paměti RAM. Signály sériového kanálu jsou na úrovni standardu RS-232 upravovány převodníkem ICL232 (IO2). Řídící část doplňuje podpěťový snímač TL7705 (IO5), který při poklesu napájecího napětí generuje signál reset.

Silová část sdružuje napájecí zdroj tvořený stabilizátorem 7805 (IO1) a blok relé. Řídící signály pro relé jsou nejprve invertovány obvodem 74LS04 (IO2) a poté přes spínač ULN2003 (IO3) ovládají relé. Relé jsou napájeny z nestabilizovaného napětí.

Zapojení je rozděleno na tři části. Hlavní deska a deska displeje jsou umístěny v řídicí jednotce nad sebou. Deska silové části je umístěna poblíž kotle, čerpadla a servomotoru v krabici dle požadovaného krytí.

## 4.4 Popis funkce

Po zapnutí napájení vygeneruje obvod IO5 resetovací impuls, kterým se inicializuje procesor. Ten postupně inicializuje jednotlivé moduly řídicího programu: řízení LCD displeje, sériovou komunikaci, hodiny reálného času, analogově-digitální převodník, tlačítka, uživatelské rozhraní a regulaci. Mikroprocesor má dva vstupy vnějšího přerušení. První je využitý pro přijetí informace o stlačení jednoho z tlačítek, druhý přivádí do mikroprocesoru signál 1 Hz pro obnovování informace o reálném čase. Dále je ze speciálních vývodů mikroprocesoru použita dvojice vysílání a příjmu sériového kanálu. Brána P0 mikroprocesoru je přes pull-up rezistory přivedena na konektor a vedena k silové části. Její funkcí je jednak spínání relé, jednak čtení stavu digitálních vstupů. Ostatní vývody řídí jednotlivé periferní obvody. Jejich funkce je zřejmá ze schématu.

Regulátoru nevádí výpadek napájecího napětí. Po obnovení dodávky elektrické energie dojde k resetu a regulace pokračuje standardně dál. Dalším možným havarijním stavem je přerušení či zkrat vedení k některému ze senzorů teploty. Tento stav je indikován na displeji a v případě selhání důležitého čidla není regulační odchylka platná. Pro ekvitermní regulaci se jedná o čidla vnější teploty a teploty výstupní vody, pro termostatovou o čidlo teploty v referenční místnosti.

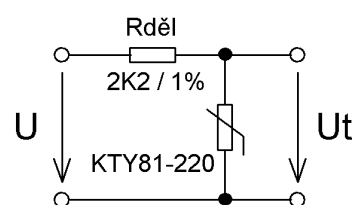
### 4.4.1 Měření teplot

Informace o teplotě získaná za pomoci polovodičových senzorů typu KTY81-220 je jedním z nejdůležitějších údajů pro řízení regulace. Odpor senzorů řady KTY lze vyjádřit vztahem (čerpáno z [15]):

$$R_T = R_{ref} \cdot \left( 1 + \alpha(t - t_{ref}) + \beta(t - t_{ref})^2 \right)$$

kde  $\alpha$ ,  $\beta$  jsou konstanty charakterizující použitý typ senzoru a  $R_{ref}$  je odpor senzoru při referenční teplotě  $T_{ref}$  (pro typ KTY81-220 je  $\alpha=0,007874 \text{ K}^{-1}$ ;  $\beta=0,00001874 \text{ K}^{-2}$ ;  $R_{ref}=2000 \text{ } \Omega$ ;  $T_{ref}=25 \text{ } ^\circ\text{C}$ ).

Každý senzor je zapojený jako napěťový dělič dle obr. 4. Napětí  $U_T$  lze tedy vyjádřit jako:



Obr. 4: Dělič

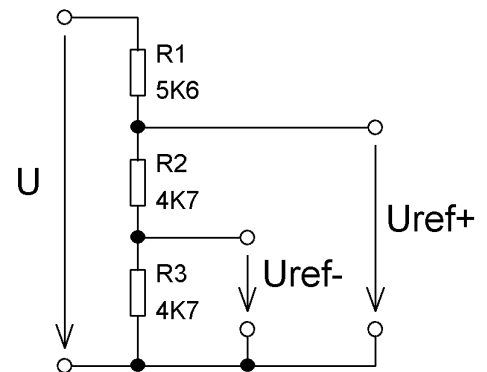
$$U_T = \frac{U \cdot R_T}{R_{děl} + R_T}$$

Toto napětí se po výběru multiplexerem přivádí na analogový vstup převodníku TLC549. Výhodou tohoto převodníku je možnost nastavení obou referenčních napětí ( $REF+$  i  $REF-$ ). Digitální výstupní informace je:

$$out = \frac{U_T - U_{REF-}}{U_{REF+} - U_{REF-}} \cdot 255$$

Při definici referenčních napětí pomocí tří rezistorů podle obr. 5 lze vztah zapsat:

$$out = \frac{U_T \cdot (R_1 + R_2 + R_3) - U \cdot R_3}{U \cdot R_2} \cdot 255$$



Obr. 5: Dělič pro převodník

Pro vstupní rozsah uvedený v technických parametrech, tj.  $-50$  až  $+110$  °C, jsou odpory v děliči z řady E12 spočítané jako  $R_1=5600$  Ω;  $R_2=4700$  Ω;  $R_3=4700$  Ω.

V paměti mikroprocesoru je uložena tabulka používaná k převodu hodnoty přechtené z převodníku AD na teplotu ve stupních Celsia. Pro získání hodnot této tabulky se ze vztahů musí vyjádřit  $t$ :

$$R_T = \frac{R_{děl} \cdot (out \cdot R_2 + 255 \cdot R_3)}{255 \cdot R_1 + R_2 \cdot (255 - out)}$$

$$t = \frac{0,5 \cdot \sqrt{\alpha^2 \cdot R_{ref} + 4\beta \cdot (R_T - R_{ref})} - (\alpha - 2\beta \cdot t_{ref}) \cdot \sqrt{R_{ref}}}{\beta \cdot \sqrt{R_{ref}}}$$

V tabulce 1 jsou vypočítány obvykle potřebné hodnoty pro kalibraci čidel dle kapitoly 6.4.

#### 4.4.2 Spínání relé

Mikroprocesor má k relé přístup přes dva pomocné obvody. Jedná se o invertor 74LS04 a výkonový spínač ULN2003. Použití invertorů by sice nebylo nezbytné, ale je velmi vhodné. Mikroprocesor totiž po resetu inicializuje všechny vstupně-výstupní linky na vysokou logickou úroveň, a tak by bez použití invertoru všechna relé po startu sepnula. Obvod ULN2003 je použit pro spínání relé. Mezi jeho výhody patří, že má již zabudované ochranné diody, které se zapojují v závěrném směru paralelně k relé.

Samotný servomotor je chráněn ještě jednou metodou. Jedná se o způsob využití přepínacích kontaktů relé, které v případě eventuální chyby programu a následného sepnutí obou relé ovládajících servomotor přivedou fázové napětí pouze na jedno z vinutí. Tím je stoprocentně vyloučeno přivedení napětí na obě vinutí servomotoru zároveň, což by mělo pravděpodobně za následek jeho zničení.

| out (AD) | $R_T$ [Ω] | $t$ [°C] |
|----------|-----------|----------|
| 109      | 1780      | 10,53    |
| 110      | 1789      | 11,14    |
| 111      | 1798      | 11,76    |
| 112      | 1807      | 12,36    |
| 113      | 1816      | 12,97    |
| 114      | 1825      | 13,58    |
| 115      | 1834      | 14,18    |
| 116      | 1843      | 14,78    |
| 117      | 1852      | 15,38    |
| 118      | 1861      | 15,98    |
| 119      | 1871      | 16,64    |
| 120      | 1880      | 17,24    |
| 121      | 1889      | 17,83    |
| 122      | 1899      | 18,49    |
| 123      | 1908      | 19,07    |
| 124      | 1918      | 19,73    |
| 125      | 1927      | 20,31    |
| 126      | 1937      | 20,96    |
| 127      | 1946      | 21,54    |
| 128      | 1956      | 22,19    |
| 129      | 1965      | 22,77    |
| 130      | 1975      | 23,41    |
| 131      | 1985      | 24,05    |
| 132      | 1995      | 24,68    |
| 133      | 2005      | 25,32    |

Tab. 1: Kalibrační tabulka

### 4.4.3 Mapa paměti EEPROM

Paměť EEPROM připojená na I<sup>2</sup>C sběrnici je rozdělena na 16 stránek po 256 bajtech. Následující tabulka ukazuje obsazení jednotlivých stránek.

| Stránka | Adresa    | Popis   |
|---------|-----------|---|
| 0       | 000 – 0FF | Konstanty regulace  |
| 1       | 100 – 1FF | Ekvitemní křivka, udává teplotu topné vody v závislosti na vnější teplotě |
| 2       | 200 – 2FF | Křivka udávající ustálenou teplotu ve zdi v závislosti na vnější teplotě  |
| 3 – 5   | 300 – 5FF | Týdenní program A   |
| 6 – 8   | 600 – 8FF | Týdenní program B   |
| 9 – 11  | 900 – BFF | Týdenní program C   |
| 12      | C00 – CFF | Údaje o době běhu kotle, používané pro spočítání spotřeby plynu           |
| 13 – 15 | D00 – FFF | Periodicky zapisované údaje o třech z čidel                               |

Tab. 2: Mapa paměti EEPROM

### 4.4.4 Protokol sériové komunikace

EMIR může být plně řízen prostřednictvím počítače připojeného po sériovém kanálu. Konfigurace sériové linky je: RS-232, 9600 Bd, 8 bitů, parita žádná, 1 stop bit. Řízení toku je implementováno v komunikačním protokolu. Komunikační rychlost 9600 Bd byla vybrána jako optimální. U vyšších rychlostí se radikálně snižuje povolená délka vedení. Ta by pro 9600 Bd mohla být dle [10] až 150 metrů.

Regulátor se chová jako slave zařízení, které na sériové lince naslouchá. Předpokládá příchod řídicího bajtu, který má následující strukturu:

[ NC | FN1 | FN0 | R/W | A3 | A2 | A1 | A0 ],

kde NC je ignorováno, FN identifikuje funkci, R/W operaci čtení/zápisu, A adresu. Regulátor rozeznává povely shrnuté v následující tabulce.

| Funkce     | Operace | Adresa              | Popis   |
|------------|---------|---------------------|---|
| 0 – RTC    | čtení   | ignorována          | Čtení hodin reálného času   |
| 0 – RTC    | zápis   | ignorována          | Nastavení hodin reálného času   |
| 1 – EEPROM | čtení   | stránka paměti      | Čtení stránky paměti EEPROM. Stránka je po přijetí příkazu celá odeslána (256 bajtů)                |
| 1 – EEPROM | zápis   | stránka paměti      | Zápis stránky paměti EEPROM. Přípravenost k příjmu dalšího bajtu paměti indikuje odeslání znaku '+' |
| 2 – stav   | čtení   | 0 – AD hodnota      | Odešle aktuální hodnoty všech osmi senzorů získané z AD převodníku                                  |
| 2 – stav   | čtení   | 1 – $\mu$ P hodnota | Odešle hodnoty všech osmi senzorů získané z paměti mikroprocesoru (max. minutu staré)               |
| 2 – stav   | čtení   | 2 – akt. hodnota    | Odešle aktuální hodnoty všech osmi senzorů po přepočítání na stupně Celsia                          |
| 2 – stav   | čtení   | 3 – info regulace   | Odešle po sobě: stav brány P0, režim, tau, parametr režimu, regulační odchylku, korekci zdi         |
| 2 – stav   | čtení   | 4 – info o verzi    | Odešle typ a verzi regulátoru   |
| 2 – stav   | čtení   | 5 – debug info      | Odešle obsah RAM paměti mikroprocesoru a registrů SP, IE a IP                                       |
| 2 – stav   | zápis   | ignorována          | Měkký reset mikroprocesoru (skok na 0000h)  |

Tab. 3: Povely sériové komunikace

## 4.5 Algoritmus regulace

Samotný regulační algoritmus je složen ze dvou funkčních celků. První probíhá v rámci přerušení od hodin reálného času a aktivuje se každou celou minutu. Do sdílených proměnných mikroprocesoru uloží parametry regulace, tj. aktuální režim, případné další parametry pro zobrazení na displeji a především vypočtenou dobu posunu servomotoru pro ekvitermní a termostatovou regulaci.

Druhým celkem je hlavní kód mikroprocesoru. Ten provádí samotnou regulaci v závislosti na parametrech nastavených během přerušení, tj. přímo se stará o spínání digitálních výstupů regulátoru ovládajících relé v silové části.

### 4.5.1 Výpočet posunu servomotoru

Výpočet probíhá v rutíně přerušení jednou za minutu. Program nejdříve obnoví stav teplot senzorů v mikroprocesoru, tj. pro každý senzor provede jeho vybrání multiplexerem, spustí analogově-digitální převod jeho hodnoty a provede přepočítání na stupně Celsia. Dále program zjistí aktivní režim regulace. V případě, že je aktivní jeden z týdenních programů, zjistí požadovaný režim regulace v závislosti na aktuálním čase. Pro režim vypnuto se žádné další výpočty neprovádějí.

Postup při aktivní ekvitermní regulaci:

$$w = \frac{(f_{zed'}[t_{venkovni}] - t_{zed'}) \cdot 6}{4}$$

$$w > 10 \rightarrow w = 10$$

$$\Delta t = f_{ekviterma}[t_{venkovni}] + w - t_{vyst.voda} + posuv$$

$$\tau = \Delta t \cdot 2,$$

kde  $w$  je korekce tepelné setrvačnosti objektu,  $t$  označuje teploty,  $\Delta t$  udává odchylku vypočtené teploty výstupní vody od naměřené hodnoty (regulační odchylku),  $\tau$  dobu běhu servomotoru. Podtržené hodnoty je možné změnit přes konfigurační program. Funkce  $f_{zed'}$  udává vypočítanou teplotu zdi v závislosti na venkovní teplotě. Ve skutečnosti je teplota zdi mírně jiná, odráží tepelnou setrvačnost daného objektu. Blíže k teplotě zdi a výpočtu její funkce v kapitole 6.6. Funkce  $f_{ekviterma}$  udává teplotu topné vody v závislosti na venkovní teplotě. Blíže se jí zabývá kapitola 6.2. Maximální kompenzace zdi je limitována nastavitelnou hodnotou.

Postup při aktivní termostatové regulaci:

$$\Delta t = termostat - t_{referenčni}$$

$$\Delta t \geq 0 \rightarrow \Delta t = \Delta t + 1$$

$$\tau = \Delta t \cdot 10,$$

kde  $\Delta t$  udává odchylku nastavené teploty a teploty referenčního čidla (regulační odchylku),  $\tau$  dobu běhu servomotoru. Vyloučení vyrovnané hodnoty, tj. regulační odchylky rovné nule, je zavedeno z důvodu „vzpružení“ regulace. Je tím dosaženo snížení kolísání regulace na  $+1 -0$  °C z původních  $\pm 1$  °C. Jako referenční čidlo se zpravidla vybírá čidlo místnosti zabudované přímo v regulátoru, ale přes konfigurační program lze samozřejmě nastavit i jiné čidlo. Toho lze s výhodou použít např. v případě dlouhodobé nepřítomnosti v objektu, kdy se nastaví termostatová regulace jako ochrana proti zamrznání a vybere se čidlo, které je umístěno v nejchladnější oblasti domu.

## 4.5.2 Hlavní kód regulace

Tento kód je opravdovým hlavním kódem mikroprocesoru. Veškeré ostatní funkce probíhají v rutinách různých přerušení. Hlavní kód regulace se drží následujícího schématu v závislosti na vybrané metodě regulace. Kód je uzavřený do smyčky, probíhá stále dokola. V ní je také zařazeno čekání specifické pro daný typ regulace.

**vypnuto:** je směšovací ventil uzavřený?

- ano (1A): po 14 dnech otestovat čerpadlo a směšovací ventil  
vypnutí čerpadla podle *čítače*
- ne (1B): vypnout kotel, zavřít směšovací ventil do konce, spustit *čítač*

**ekvitermní:** je směšovací ventil uzavřený?

- ano,  $\tau < 20 \text{ sec}$  (2A): vypnout kotel  
vypnutí čerpadla podle *čítače*
- ano,  $\tau \geq 20 \text{ sec}$  (2B): spustit kotel  
kontrola teploty vratné vody  
spustit čerpadlo, zastavit čítač, pokračovat dle 2C
- ne (2C): limit  $\tau$  max 15 sec, kontrola teploty vratné vody  
servomotorem posunout dle  $\tau$ , je směšovací ventil uzavřený?
  - ano (2C1): vypnout kotel, spustit *čítač*
  - ne (2C2): zapnout kotel, čerpadlo, počkat 3 min

**termostat:** je směšovací ventil uzavřený?

- ano,  $\tau \leq 0 \text{ sec}$  (3A): vypnout kotel  
vypnutí čerpadla podle *čítače*
- ano,  $\tau > 0 \text{ sec}$  (3B): spustit kotel  
kontrola teploty vratné vody  
spustit čerpadlo, zastavit čítač, pokračovat dle 3C
- ne (3C): limit  $\tau$  max 15 sec, kontrola teploty vratné vody  
servomotorem posunout dle  $\tau$ , je směšovací ventil uzavřený?
  - ano (3C1): vypnout kotel, spustit *čítač*
  - ne (3C2): zapnout kotel, čerpadlo, počkat 15 min

## 4.5.3 Doplnující funkce

„Po 14 dnech otestovat čerpadlo a směšovací ventil“: Po uplynutí doby 14 dnů se provede zapnutí čerpadla, směšovací ventil se otevře do koncové polohy, pak se zase ihned uzavře a čerpadlo se vypne. Tím se výrazně snižuje možnost zatuhnutí čerpadla či směšovacího ventilu.

„Vypnutí čerpadla podle *čítače*“: Čerpadlo se nevypíná ihned po uzavření směšovacího ventilu. Ve chvíli, kdy se směšovací ventil uzavře, je totiž v topné soustavě zpravidla ještě voda nahřátá na relativně vysokou teplotu. Bylo by energeticky nevýhodné tohoto tepla nevyužít. Proto se místo okamžitého vypnutí čerpadla spustí čítač. Ve chvíli, kdy je volána tato funkce, dojde ke kontrole, jestli teplota výstupní vody klesla pod nastavenou hranici, nebo jestli čerpadlo běží déle, než je nastavená maximální doba. V případě splnění některé z podmínek dojde k vypnutí čerpadla.

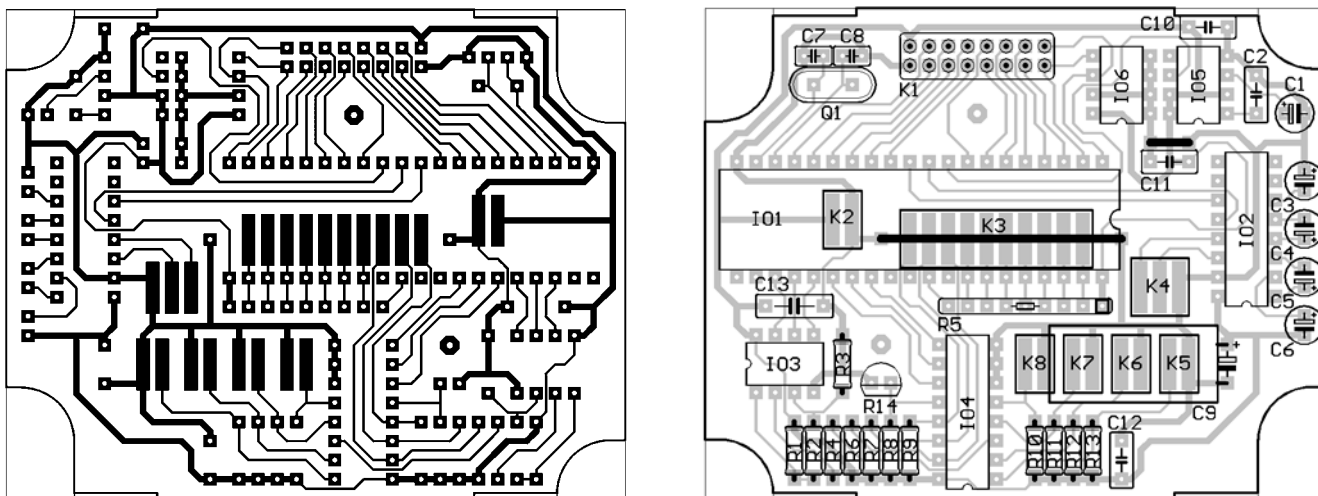
„Kontrola teploty vratné vody“: Tato funkce provede zapnutí kotle a čeká tak dlouho, dokud se teplota vratné vody do kotle nezvýší nad nastavenou mez. Tím se zabraňuje jevu zvanému nízkoteplotní koroze kotle. Týká se především starších ocelových kotlů, současným moderním výrobkům nízká teplota vratné vody nevádí. V případě modernějšího kotle je možné nastavit tento parametr v konfiguračním programu na nulu, čímž se kontrola vratné vody vyřadí z činnosti.

## 4.6 Desky s plošnými spoji

Obvody regulátoru jsou rozmístěny na třech deskách. Na hlavní desce je mikroprocesor a veškeré periferní obvody kromě hodin reálného času a obvodů pro spínání relé. Na desce displeje je připevněn inteligentní dvouřádkový displej 2×16 znaků se standardním řadičem Hitachi HD44780 nebo kompatibilním, dále čtyři tlačítka, trimr na regulaci kontrastu displeje, obvod hodin reálného času a trimr na jeho seřízení. Tyto dvě desky jsou propojeny plochým kabelem a zabudovány do krabičky nad sebe.

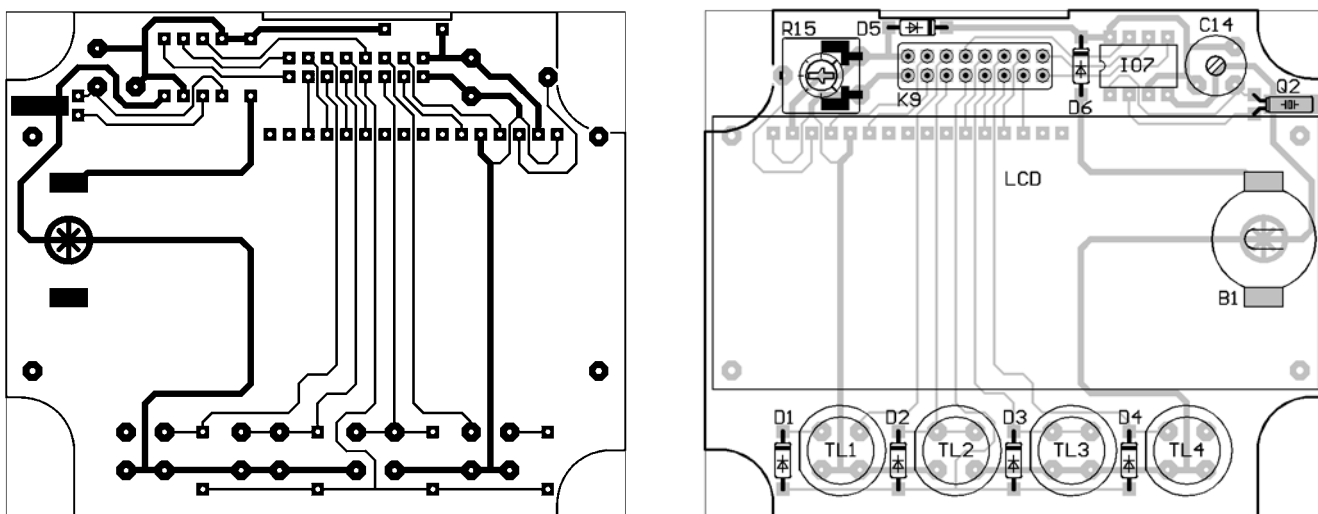
Deska silové části obsahuje transformátor, napájecí zdroj, spínací obvody a čtyři relé, která spínají kotel, čerpadlo a servomotor. S regulátorem je propojena libovolným 12-žilovým kabelem (např. kombinace 10-žilový kabel SYKFY 5×2×0,5 a dvojlinka 2×0,5).

### 4.6.1 Hlavní deska



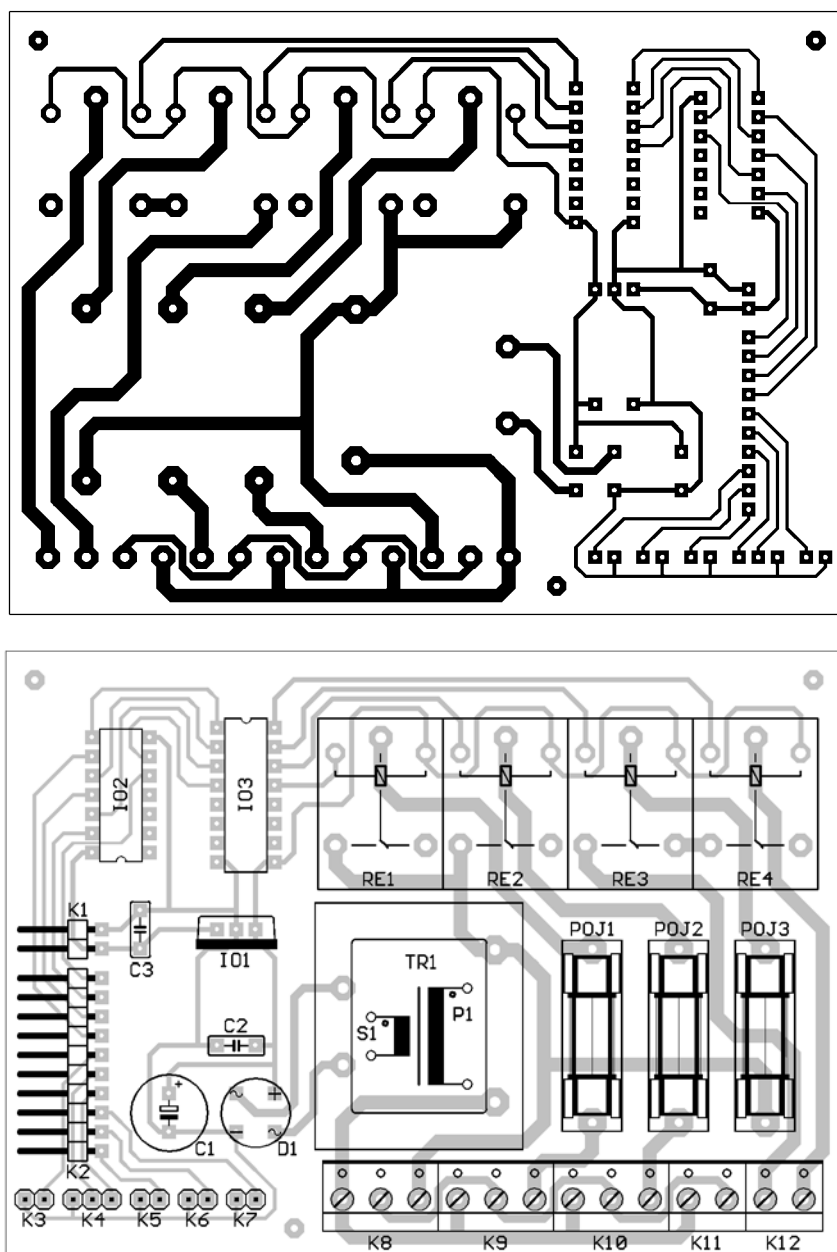
Obr. 6, 7: Hlavní deska a rozmístění součástek

### 4.6.2 Deska displeje



Obr. 8, 9: Deska displeje a rozmístění součástek

### 4.6.3 Deska zdroje a relé



Obr. 10, 11: Deska zdroje a relé a rozmístění součástek

## 4.7 Konstrukční provedení

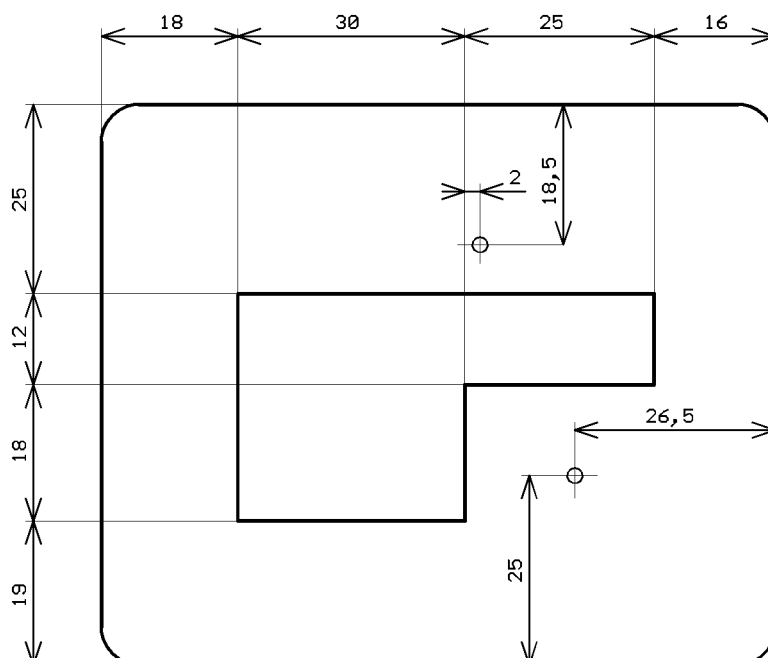
Deska displeje a řídicí deska jsou umístěny v krabici typu KP45. Ve dnu krabice je vyřezán otvor podle obr. 12. Tímto otvorem prochází konektory, jimiž se řídicí jednotka připojuje. Hlavní deska je na dvou místech přišroubována do spodní části krabice. Lze použít samořezné šroubky, případně obyčejné a do plastu vyřezat závit. Montážní výstupky je nutné odbrousit. Mezi desky je nutné umístit distanční sloupky. Jako optimální se ukázaly čtyři obdélníkové kousky gumy rozměrů přibližně  $10 \times 25 \times 2$  mm. Je totiž nutné, aby tlačily horní desku do víčka krabice, kterým je tato deska zafixována. Kabel mezi deskami je plochého typu, je tedy možné jej složit mezi desky dle potřeby.

Složitější úpravy je třeba provést na víčku krabice KP45. Popisuje je obr. 13. Pro displej se nejdříve vyřízne vnitřní otvor ( $61 \times 14$  mm), poté se jehlovým pilníkem provede skosení hran na vnější rozměry. Tím lze dosáhnout výrazného vylepšení vzhledu čelního panelu. Dále je třeba vyvrtat otvory pro tlačítka. Je nutné vrtat menším vrtákem a otvory dopilovat jehlovým pilníkem. Rozměry na obrázcích jsou sice

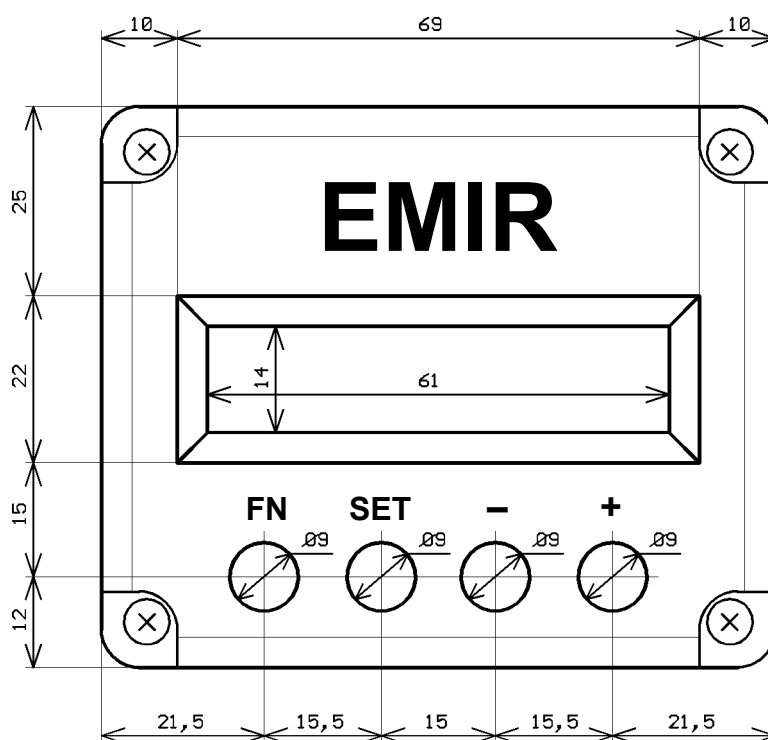
přesné, ale deska displeje nemusí mít vždy stejné rozměry. Proto je při vyrábění čelního panelu nutné časté přiměřování desky displeje.

Řídící část regulátoru je přichycena dvěma šrouby do hmoždinek ve zdi. Předpokládá se její umístění v obytné části domu, tomu je přizpůsoben i její design.

Silová část se zabuduje do libovolné krabice vybrané dle požadovaného stupně krytí. Je vhodné ji umístit poblíž kotle, čerpadla a servomotoru.

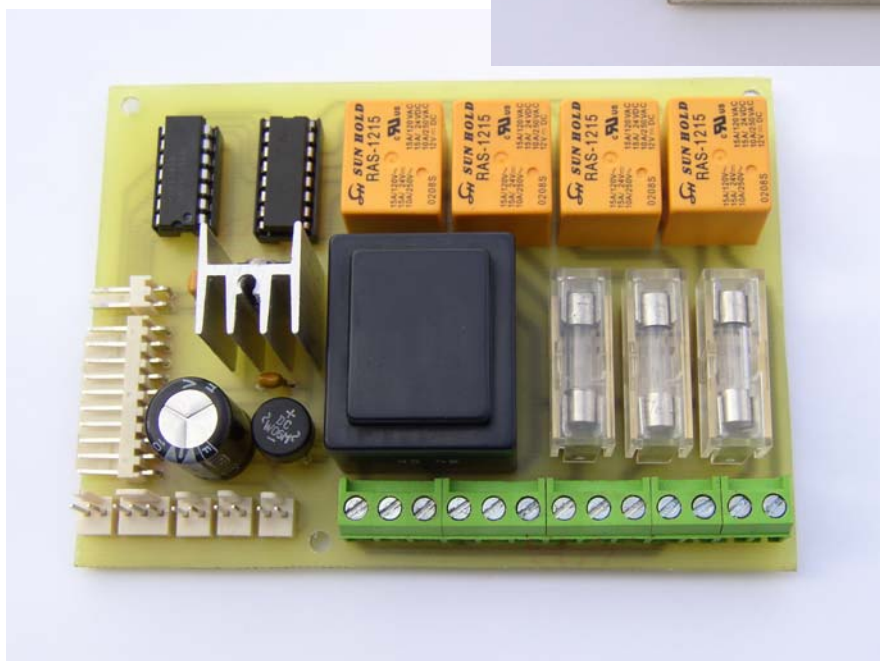
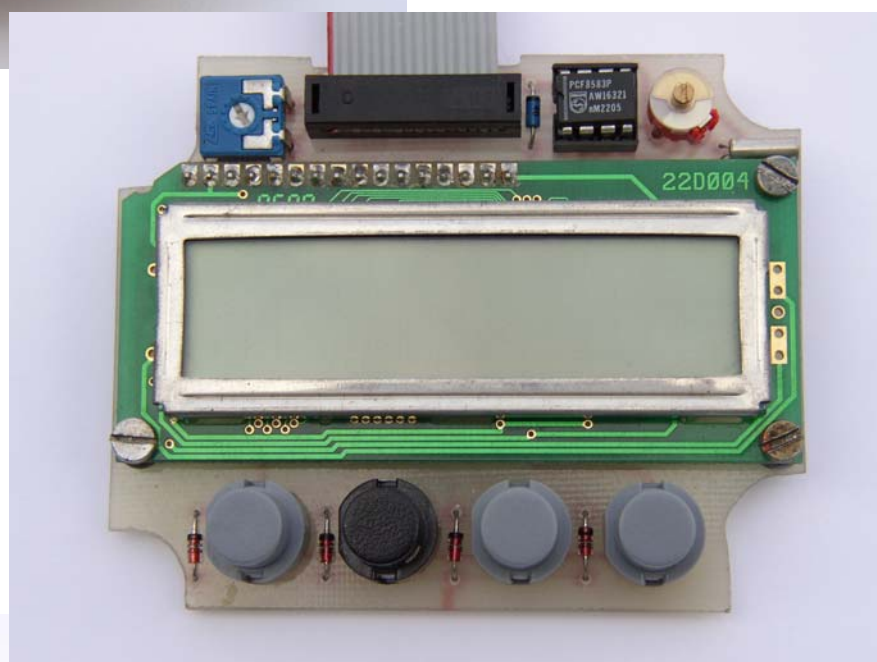
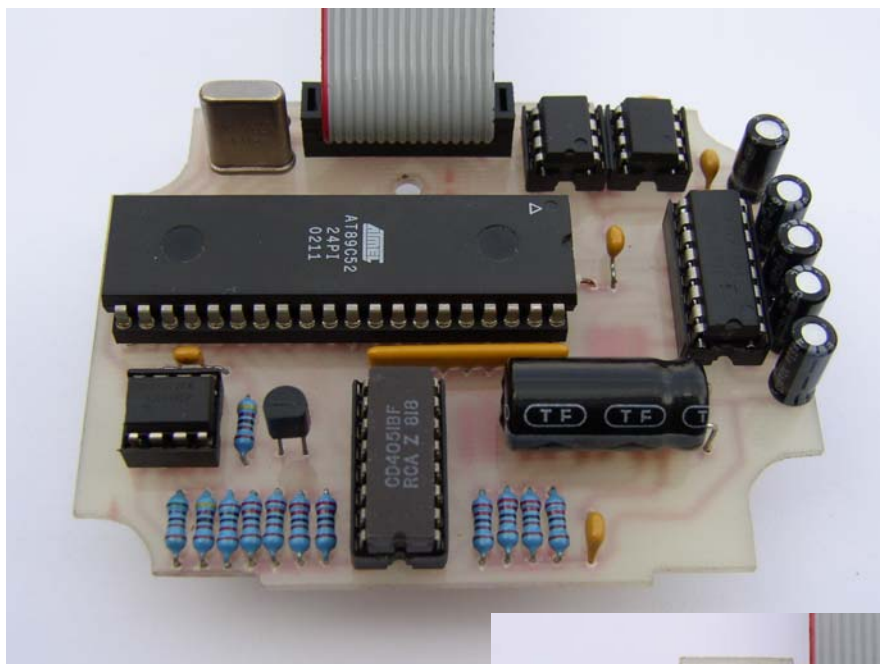


**Obr. 12: Otvor v krabici. Pohled zezadu**



**Obr. 13: Čelní panel regulátoru. Pohled zepředu**





Obr. 14, 15, 16: Fotografie desek regulátoru (shora: hlavní deska, deska displeje, silová část)

## 4.8 Oživení regulátoru a kalibrace čidel

Po osazení všech desek je vhodné provést jejich důkladnou kontrolu, zejména pak poměrně hustě osazenou hlavní desku a také část desky zdroje a relé, na kterou je přivedeno síťové napětí.

Nejdříve se oživí desky řídicí části. Desku displeje se základní deskou propojíme plochým kabelem a na napájecí konektor připojíme zdroj o napětí +5V, nejlépe s omezením výstupního proudu na cca 50 mA. Regulátor by měl „naskočit“ a zobrazit úvodní obrazovku. Pokud displej nezobrazí vůbec nic, případně nesmyslný text, je pravděpodobně chyba v jeho propojení s mikroprocesorem. Je nutné zkontrolovat propojovací kabel, obě desky, případně lištu, kterou je displej k desce připojen.

```
** EMIR v1.03 **  
AP (c) 2002,03
```

Po několika sekundách se objeví hlášení „Prázdná paměť“. Pokud se tato zpráva nezobrazí, je pravděpodobně chyba v připojení paměti. Je nutné zkontrolovat její umístění v patici a na straně spojit příklady napájecího napětí a datové vodiče.

```
** EMIR v1.03 **  
Prazdna pamet!
```

Otestování funkce dalších modulů není možné bez prvotního naprogramování paměti regulátoru, tj. především konstant regulace (kapitola 6.1), ekvitermy (kapitola 6.2) a křivky zdi (kapitola 6.6). Po jejich uložení do regulátoru ho taktéž pomocí ovládacího programu zresetujeme.

Nyní by již měla proběhnout kompletní inicializační sekvence regulátoru. Ta je indikována na displeji při startu. Obvykle proběhne natolik rychle, že si jí uživatel ani nemusí všimnout, ale pokud dojde k závadě, indikátor postupu se zastaví. Jednotlivé hvězdičky ukazují úspěšnou inicializaci modulů v tomto pořadí: LCD displej, sériová komunikace, kontrola prvního spuštění regulátoru, hodiny reálného času, analogově-digitální převodník, tlačítka, uživatelské rozhraní.

```
** EMIR v1.03 **  
init [***----]
```

Sílovou část je vhodné oživit zvlášť. Po důkladné kontrole plošného spoje, především části se síťovým napětím (vedena tlustými spoji), se deska připojí přes kabel s vidlicí do sítě. Pokud jsou pro obvody IO2 a IO3 použity patice, není vhodné je zatím vsouvat. Voltmetrem zkontrolujeme na konektoru K1 stabilizované napětí +5V. Pokud zde není, nebo je zde dokonce napětí vyšší, je chyba v napájecí části. Po kontrole napětí vložíme obvody IO2 a IO3 a pomocí vodiče ověříme funkci relé tak, že budeme spojovat zem z konektoru K1 na piny 1 až 4 konektoru K2. Tím by se měla spínat jednotlivá relé, o čemž se můžeme přesvědčit pomocí fázové zkoušečky na svorkovnici K9 – K12.

Následující tabulka sumarizuje význam konektorů na všech deskách.

| Konektor              | Popis   |
|-----------------------|---|
| hlavní/K2, silová/K1  | napájecí konektory (např. dvojlinka 2×0,5)                              |
| hlavní/K3, silová/K2  | datové konektory (např. SYKFY 5×2×0,5)                                  |
| hlavní/K1, displej/K9 | datové konektory (plochý kabel)   |
| hlavní/K4             | sériové rozhraní  |
| hlavní/K5–K8          | teplotní čidla (K5 vnější, K6 uživ. 2, K7 uživ. 3, K8 zeď)              |
| silová/K3             | čidlo běhu kotle  |
| silová/K4             | piny 1-2: koncový spínač (rozpínací kontakt!), piny 1-3: uživ. spínač   |
| silová/K5–K7          | teplotní čidla (K5 výstupní voda, K6 vratná voda, K7 uživ. 1)           |
| silová/K8             | hlavní napájení (K8 pin 3 fáze)   |
| silová/K9             | napájení kotle (K9 pin 3 fáze)  |
| silová/K10            | napájení čerpadla (K10 pin 3 fáze)                                      |
| silová/K11–K12        | napájení servomotoru (K12 pin 1 fáze zavírání, K12 pin 3 fáze otvírání) |

Tab. 4: Popisy konektorů regulátoru

Obě části jsou nyní oživené a je možné je nainstalovat do budoucích umístění a spojit datový a napájecí konektor. K servomotoru na směšovací ventilu je nutné mechanicky připevnit mikrospínač, který při uzavření ventilu sepne. Využívají se rozpínací kontakty mikrospínače. Připojení se provede dle tabulky 4. Mikrospínač je nutné upevnit tak, aby při zavírání sepnul dříve než koncový spínač servomotoru. Některé servomotory mohou mít koncový spínač zabudovaný, pak je samozřejmě lepší využít ten.

Po připojení všech používaných čidel k řídicí jednotce regulátoru je nutné provést jejich kalibraci. Tím se eliminuje výrobní tolerance čidel i délka kabelů, pomocí kterých jsou připojené. Podrobněji je kalibrace popsána v kapitole 6.4.

## 4.9 Senzor stavu kotle

Jednou z velmi neobvyklých funkcí regulátoru je měření spotřeby plynového kotle. Je založeno na principu počítání doby hoření kotle při známé konstantní spotřebě plynu. Mikroprocesor jednou za sekundu zjišťuje stav jednoho ze svých digitálních vstupů a v případě, že je sepnutý, přičte do 16-bitového registru paměti RAM jedničku. Jednou za hodinu tento údaj vydělí 16, uloží do paměti EEPROM a paměť RAM vynuluje.

Tato metoda z principu může fungovat pouze pro kotle, jejichž odběr plynu je konstantní. Moderním kotlům s regulací výkonu tedy takto jednoduše spotřeba měřit nepůjde.

Problémem je způsob, jak zjistit, zda kotel v danou chvíli hoří. Možností je obecně několik. Mezi metody založené na zkoumání průvodních jevů hoření kotle patří například měření teploty spalin odcházejících do komína. Nevýhodou je pomalost reakce termostatu. Šlo by také fototranzistorem snímat oblast hořáku a reagovat na zvýšení intenzity světla, ale zabudování fototranzistoru do kotle, kde jsou vysoké teploty, by nebylo jednoduché.

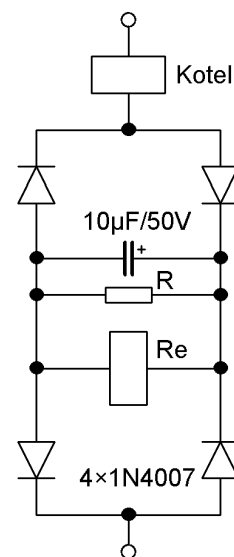
Dalším řešením by bylo například napojit relé na termostat v kotli a kontaktem tohoto relé spínat vstup regulátoru. Nevýhoda všech těchto řešení ale spočívá v nutnosti zásahu do kotle.

Jiným řešením je měření proudového odběru kotle. Ve chvíli, kdy sepne vnitřní termostat kotle, začne procházet proud solenoidovým ventilem ovládajícím přívod plynu. Na principu měření proudového odběru pracuje zapojení podle obr. 17.

Sériově ke kotli je zapojen diodový můstek, který realizuje čtyřcestné usměrnění napětí. To je filtrováno kondenzátorem a spíná relé. Relé je nutno vybrat z více typů. Musí mu k sepnutí stačit nízké napětí, ale jeho vnitřní odpor nesmí být příliš velký, aby neovlivňoval funkci kotle. Z tímto účelem je paralelně k relé připojen rezistor, kterým prochází část proudu. Jeho odpor lze spočítat z Ohmova zákona, je-li známý vnitřní odpor relé, potřebné spínací napětí relé a proud procházející solenoidem kotle.

V tomto obvodu vždy dochází k úbytku napětí. Pokud je ale použit starší kotel na napětí 220 V, obvod mu může jedině prodloužit životnost, protože úbytek napětí na něm právě vyrovná napětí z nynějších 230 V.

Obvod je možné spájet „ve vzduchu“ a zabudovat do skříně se silovou částí regulátoru. Je nutné dodržovat bezpečnostní předpisy, obvod je přímo spojen se síťovým napětím.



Obr. 17: Senzor kotle

## 4.10 Seznam součástek

V následující tabulce je uveden přehled použitých součástek. Většina cen je převzata z katalogu firmy GM Electronic z roku 2002 [4]. Jsou uvedeny včetně DPH.

| umístění    | typ | označení   | hodnota                     | kusů | cena vč. DPH | poznámka   |
|-------------|-----|------------|-----------------------------|------|--------------|--|
| 1 - hlavní  | C   | C9         | 1000u/16V                   | 1    | 5,00 Kč      |  |
| 1 - hlavní  | C   | C2, C9–C13 | 100n                        | 5    | 10,00 Kč     |  |
| 1 - hlavní  | C   | C1, C3–C6  | 10u                         | 5    | 5,00 Kč      |  |
| 1 - hlavní  | C   | C7, C8     | 33p                         | 2    | 2,00 Kč      |  |
| 1 - hlavní  | IO  | IO4        | 4051                        | 1    | 12,00 Kč     |  |
| 1 - hlavní  | IO  | IO6        | AT24C32                     | 1    | 35,00 Kč     |  |
| 1 - hlavní  | IO  | IO1        | AT89C52                     | 1    | 109,00 Kč    | naprogramovaný s firmware EMIR   |
| 1 - hlavní  | IO  | IO2        | ICL232                      | 1    | 36,00 Kč     | nebo ekvivalentní  |
| 1 - hlavní  | IO  | IO5        | TL7705A                     | 1    | 22,00 Kč     |  |
| 1 - hlavní  | IO  | IO3        | TLC549                      | 1    | 65,00 Kč     |  |
| 1 - hlavní  | K   | K1         | LPV16                       | 1    | 10,00 Kč     | samožezný konektor do DPS  |
| 1 - hlavní  | K   | K2, K5–K8  | PSH02-02W                   | 5    | 10,00 Kč     |  |
| 1 - hlavní  | K   | K4         | PSH02-03W                   | 1    | 2,50 Kč      |  |
| 1 - hlavní  | K   | K3         | PSH02-10W                   | 1    | 8,50 Kč      |  |
| 1 - hlavní  | Q   | Q1         | 18,432MHz                   | 1    | 15,00 Kč     |  |
| 1 - hlavní  | R   | R4         | 10k                         | 1    | 0,80 Kč      |  |
| 1 - hlavní  | R   | R6–R13     | 2k2                         | 8    | 6,40 Kč      |  |
| 1 - hlavní  | R   | R2, R3     | 4k7                         | 2    | 1,60 Kč      |  |
| 1 - hlavní  | R   | R1         | 5k6                         | 1    | 0,80 Kč      |  |
| 1 - hlavní  | R   | R5         | 8×10k                       | 1    | 5,00 Kč      | odporová SIP síť   |
| 1 - hlavní  | R   | R14        | KTY81-220                   | 1    | 19,00 Kč     |  |
| 1 - hlavní  |     |            | AWG16                       | 0,1  | 1,40 Kč      |  |
| 1 - hlavní  |     |            | krabička KP45               | 1    | 36,00 Kč     |  |
| 1 - hlavní  |     |            | patice DIL16                | 2    | 4,00 Kč      |  |
| 1 - hlavní  |     |            | patice DIL40                | 1    | 5,00 Kč      |  |
| 1 - hlavní  |     |            | patice DIL8                 | 3    | 6,00 Kč      |  |
| 2 - displej | B   | B1         | LR44                        | 1    | 10,00 Kč     | libovolný článek 1,5V této velikosti   |
| 2 - displej | C   | C14        | 2,5-27p                     | 1    | 10,00 Kč     |  |
| 2 - displej | D   | D1–D4      | 1N4148                      | 4    | 2,80 Kč      |  |
| 2 - displej | D   | D5, D6     | BAT46                       | 2    | 6,40 Kč      | Schottky   |
| 2 - displej | IO  | IO7        | PCF8583                     | 1    | 120,00 Kč    |  |
| 2 - displej | K   | K9         | LPV16                       | 1    | 10,00 Kč     | samožezný konektor do DPS  |
| 2 - displej | Q   | Q2         | 32,768kHz                   | 1    | 10,00 Kč     | hodinový krystal   |
| 2 - displej | R   | R15        | 25k                         | 1    | 8,00 Kč      |  |
| 2 - displej | TI  | TL1–TL4    | DT6                         | 4    | 48,00 Kč     |  |
| 2 - displej |     |            | držák na baterii            | 1    | 0,00 Kč      | obvykle nutné vyrobit – stačí kus plechu   |
| 2 - displej |     | LCD        | inteligentní displej SC1602 | 1    | 160,00 Kč    | cena z <a href="http://shop.hw.cz/">http://shop.hw.cz/</a> ; libovolný inteligentní displej 2×16 znaků s řadičem HD44780 |
| 2 - displej |     |            | patice DIL8                 | 1    | 2,00 Kč      |  |
| 3 - silová  | C   | C1         | 1000u/25V                   | 1    | 7,00 Kč      |  |
| 3 - silová  | C   | C2, C3     | 100n                        | 2    | 4,00 Kč      |  |
| 3 - silová  | D   | D1         | B250C1500                   | 1    | 6,00 Kč      |  |
| 3 - silová  | IO  | IO1        | 7805                        | 1    | 12,00 Kč     |  |
| 3 - silová  | IO  | IO2        | 74LS04                      | 1    | 10,00 Kč     |  |
| 3 - silová  | IO  | IO3        | ULN2003A                    | 1    | 10,00 Kč     |  |
| 3 - silová  | K   | K3, K5–K7  | PSH02-02P                   | 4    | 6,00 Kč      |  |
| 3 - silová  | K   | K1         | PSH02-02W                   | 1    | 2,00 Kč      |  |
| 3 - silová  | K   | K4         | PSH02-03P                   | 1    | 3,00 Kč      |  |
| 3 - silová  | K   | K2         | PSH02-10W                   | 1    | 8,50 Kč      |  |
| 3 - silová  | K   | K11, K12   | svorkovnice PA366/2         | 2    | 16,00 Kč     |  |
| 3 - silová  | K   | K8–K10     | svorkovnice PA366/3         | 3    | 30,00 Kč     |  |
| 3 - silová  | Poj | POJ3       | 0,16A/250V                  | 1    | 3,60 Kč      |  |
| 3 - silová  | Poj | POJ1, POJ2 | 1A/250V                     | 2    | 6,40 Kč      |  |
| 3 - silová  | Re  | RE1–RE4    | RAS1215                     | 4    | 88,00 Kč     | relé s 12V cívkou  |
| 3 - silová  | Tr  | TR1        | Hahn 1×9V 1,9VA             | 1    | 64,00 Kč     |  |
| 3 - silová  |     |            | držák na poj. KS20-01       | 3    | 16,50 Kč     |  |
| 3 - silová  |     |            | chladič V7141               | 1    | 8,00 Kč      |  |
| 3 - silová  |     |            | kryt na poj. KS20-H         | 3    | 12,00 Kč     |  |
| 3 - silová  |     |            | patice DIL14                | 1    | 2,00 Kč      |  |
| 3 - silová  |     |            | patice DIL16                | 1    | 2,00 Kč      |  |
| mimo        | R   |            | KTY81-220                   | 4    | 76,00 Kč     |  |
| celkem      |     |            |                             |      | 1 213,20 Kč  |  |

Tab. 5: Seznam součástek

## 5 Možnosti nastavení regulátoru EMIR

Regulátor se ovládá pomocí čtyř tlačítek, označených FN, SET, – a +. Tlačítko FN – funkce slouží pro přepínání zobrazeného menu na displeji, v režimu editace pak jako storno. Tlačítkem SET – nastavit lze obvykle vstoupit do režimu editace, kde později funguje jako potvrzení. Tlačítka – a + slouží v editačním režimu k úpravě hodnot. Výjimku tvoří první, informační obrazovka, kde tlačítka – a + slouží k výběru teplotního čidla, jehož hodnota se bude zobrazovat, a tlačítko SET po delším podržení generuje měkký reset mikroprocesoru.

### 5.1 Informace

Na prvním řádku se zobrazuje informace o teplotě z vybraného čidla. Seznam zobrazovaných čidel je možné měnit z počítače.

Na druhém řádku je zobrazováno obvykle několik parametrů. Především je to režim regulace, tedy „Ekv“ jako ekvitermní, „Termost“ jako termostatová nebo „Vypnuto“, při kterém je regulace vyřazena z činnosti.

Nejvíce údajů je zobrazeno při ekvitermním režimu regulace. Číslo bezprostředně za „Ekv“ udává hodnotu, která se bude přičítat k teplotě topné vody získané z ekvitermní křivky. Toto číslo se získává součtem nastaveného posuvu v menu a případného posuvu konkrétního týdenního programu. Parametr „Z“ udává korekci topné vody tepelnou setrvačností objektu, tedy čidlem ve zdi. Údaj za „Z“ se přičítá k požadované topné vodě. Poslední parametr, „R“, udává regulační odchylku, tedy rozdíl mezi vypočtenou topnou vodou a reálnou teplotou topné vody podle senzoru. Kladná hodnota znamená, že voda má nižší teplotu než by měla mít.

|                             |
|-----------------------------|
| <b>Vyst.voda: 55°C</b>      |
| <b>Ekv+5    Z-5    R+12</b> |

Při termostatovém režimu regulace je za „Termost“ zobrazena cílová hodnota referenčního senzoru (obvykle místnosti). Je dána buď teplotou nastavenou v menu nebo hodnotou z týdenního programu. Za „R“ následuje regulační odchylka, tedy rozdíl cílové teploty a reálné teploty z referenčního senzoru. Kladná hodnota znamená, že teplota referenčního senzoru je nižší než nastavená.

|                          |
|--------------------------|
| <b>Místnost: 22°C</b>    |
| <b>Termost:20    R-2</b> |

Režim vypnutí regulace je indikován nápisem „Vypnuto“ a proškrtnutím místa, kde je u ostatních režimů zobrazena regulační odchylka.

|                            |
|----------------------------|
| <b>Venkovni: -15°C</b>     |
| <b>Vypnuto        ----</b> |

Tlačítka – a + slouží výběru teplotního čidla zobrazovaného na prvním řádku. Tlačítko SET po delším podržení (cca 5 sekund) generuje měkký reset regulátoru.

### 5.2 Režim regulace

Stiskem tlačítka SET je možné vstoupit do režimu editace, ve kterém se vybírá regulační režim. Výběr je z šesti položek:

„Vypnuto“: Při tomto režimu se vypne kotel, čerpadlo se nechá doběhnout a servomotor naráz uzavře směšovací ventil do koncové polohy. Tento režim je vhodné vybrat při letních měsících. Pokud je tento režim aktivní, dojde jednou za dva týdny k zapnutí čerpadla, úplnému otevření a uzavření ventilu a k vypnutí čerpadla. Tím se výrazně snižuje pravděpodobnost zatuhnutí ventilu či čerpadla vlivem nečinnosti.

|                       |
|-----------------------|
| <b>Režim regulace</b> |
| <b>Vypnuto</b>        |

„Ekvitermní“: Teplota topné vody se počítá z ekvitermní křivky, do výpočtu se zahrnuje aktuální posun a korekce tepelné setrvačnosti objektu. Není aktivní žádný časový režim, a tak regulace topení pracuje na konstantní posun, tj. nepřetržitě.

**Rezim regulace  
Ekvitermní**

„Termostat“: Systém se snaží na referenčním čidlu dosáhnout nastavené teploty. Režim je možné použít i jako ochranu proti zamrznutí v případě dlouhodobé nepřítomnosti v objektu, kdy se nastaví teplota např. 5 °C. Při poklesu pod tuto teplotu dojde k zapnutí kotle, otevírání směšovacího ventilu a postupnému návratu zpět na minimální udržovanou teplotu.

**Rezim regulace  
Termostat**

Režimy A, B a C jsou tři týdenní programy regulátoru. Pojmenování (silný, slabý a stálý) je odvozeno od předpokládaného použití, ale obsah programů je přes počítač měnitelný zcela libovolně. Použití „silného“ režimu se předpokládá v zimě, kdy se topí ráno před odchodem do zaměstnání a také odpoledne a večer. „Slabý“ režim se používá na podzim a na jaře, kdy se musí topit pouze odpoledne a večer. „Stálý“ režim potom topí během celého dne z výjimkou noci. Používá se v případě trvalé přítomnosti obyvatel objektu.

**Rezim regulace  
Rezim B - slabý**

### 5.3 Ekvitermní posun

Po vstoupení do editačního režimu je možné pomocí tlačítek – a + měnit hodnotu, která se bude přičítat k požadované teplotě topné vody. Tato hodnota je tedy důležitá pouze v případě, že je vybrán režim regulace „Ekvitermní“ nebo že je vybrán jeden z týdenních programů, který má aktivní ekvitermní režim regulace. Tento parametr je možné využít např. při požadavku jednorázového zvýšení teploty v objektu.

**Ekvitermní posun  
Posun: -5°C**

### 5.4 Termostat

V režimu editace je možné tlačítky – a + měnit požadovanou cílovou teplotu referenčního senzoru. Tato hodnota je důležitá pouze v případě, že je vybrán režim regulace „Termostat“. V ostatních režimech nebo pokud je aktivní některý z týdenních programů nebude mít tento parametr vliv na funkci regulátoru (u týdenních programů v případě termostatové regulace je hodnota nastavována nezávisle na tomto parametru).

**Termostat  
Teplota: 21°C**

### 5.5 Automatické přepnutí režimu regulace

Regulátor EMIR umožňuje nastavit automatické přepnutí režimu regulace na jiný za určitou dobu. Těto vlastnosti se s výhodou využívá zejména v případě dovolené, kdy může regulátor za nastavený počet volných dnů automaticky začít normálně topit. V režimu editace se vybírá jednak režim, na který se regulátor přepne, jednak počet dnů, za které dojde k přepnutí. Dny jsou v současné verzi regulátoru odpočítávány vždy o půlnoci. V případě výpadku proudu překračujícím půlnoc k odečtení dne nedojde.

**Prepnuti rezimu  
Ekviter. za 4d**

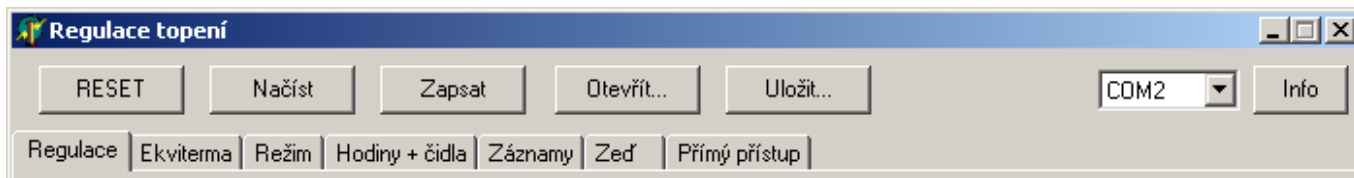
### 5.6 Hodiny

Poslední položkou menu jsou hodiny reálného času. Jsou zálohované baterií (životnost cca 5 let), a tak jim případný výpadek proudu neuškodí. Je možné editovat den v týdnu, hodinu a minutu. Sekundu při editaci měnit nelze, zůstává na nule. Po potvrzení tlačítkem SET se hodiny nastaví. Platný údaj hodin reálného času je důležitý především pro funkci týdenního programu, který je na nich přímo závislý.

**Hodiny  
Ctvrtek 16:38:25**

## 6 Software pro regulátor EMIR

Regulátor EMIR lze přes sériový kanál připojit k počítači. Toto připojení je nezbytné pro editaci servisních parametrů, později při provozu pak pro přístup k některým speciálním funkcím, např. k záznamům senzorů. Ovládací program je vytvořený v prostředí Borland Delphi. Nepoužívá žádné nestandardní komponenty ani knihovny. Přístup k sériovému portu počítače je řešen přímo přes API Windows.



**Obr. 18: Funkce ovládacího programu**

Funkce programu jsou tematicky rozděleny na sedm záložek. Na horním panelu je několik prvků společných pro většinu funkcí. Pro některé funkce mohou být některá tlačítka zakázána. V případě chyby komunikace mezi počítačem a regulátorem zobrazí ovládací program chybové hlášení.

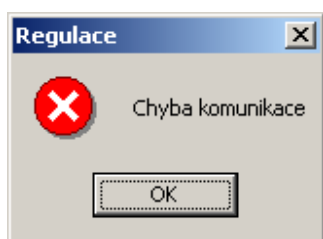
Tlačítkem RESET lze po potvrzení provést měkký reset regulátoru. Provede se skok na adresu 0000h řídicího programu.

Tlačítka Načíst a Zapsat se využívají pro komunikaci s regulátorem. Tlačítkem Načíst se provede přečtení parametrů dle vybrané záložky. Tlačítkem Zapsat lze uložit upravené parametry do regulátoru. Před zápisem vyžaduje řídicí program potvrzení, aby nedošlo k přepsání informací v regulátoru omylem.

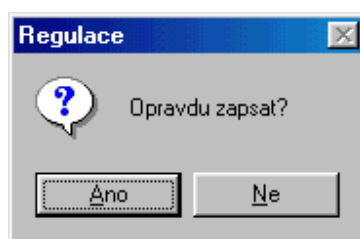
Tlačítka Otevřít a Uložit slouží k načtení a uložení parametrů regulátoru na disk počítače. To je vhodné k zálohování parametrů a také například pro různé verze týdenních programů.

V rozbalovacím boxu je možné vybrat, na kterém COM portu je regulátor připojený. Tento parametr je zpravidla nutné upravovat pouze při prvním spuštění ovládacího programu.

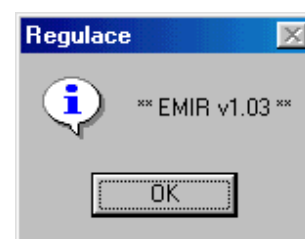
Tlačítkem Info lze jednak jednoduchým způsobem ověřit funkčnost komunikace mezi počítačem a regulátorem, jednak zjistit verzi firmware připojeného regulátoru.



**Obr. 19: Chyba komunikace**



**Obr. 20: Kontrolní otázka**



**Obr. 21: Informace**

## 6.1 Parametry regulace

The screenshot shows the 'Regulace topení' (Heating Regulation) software window. It features a menu bar with 'RESET', 'Načíst', 'Zapsat', 'Otevřít...', and 'Uložit...'. A dropdown menu shows 'COM2' and an 'Info' button. Below the menu are tabs for 'Regulace', 'Ekviterma', 'Režim', 'Hodiny + čidla', 'Záznamy', 'Zed', and 'Přímý přístup'. The 'Regulace' tab is selected, displaying several configuration panels:

- Ekvitermní regulace:**
  - Násobitel regulace: 2 krát
  - Interval regulace: 3 minut
  - Max. čas běhu serva: 15 sekund
  - Posun regulační křivky: 0 °C
  - Hysteréze startu topení: 20 sekund
  - Násobitel kompenz. zdi: 6 krát / 4
  - Max. kompenzace zdi: 10 °C
- Termostatová regulace:**
  - Násobitel regulace: 10 krát
  - Interval regulace: 15 minut
  - Max. čas běhu serva: 15 sekund
  - Teplota termostatu: 19 °C
  - Čidlo termostatu: Vnitřní
- Obecné parametry:**
  - Režim regulace: Režim A - silný
  - Doba přeběhu serva: 110 sekund
  - Min. teplota výst. vody pro běh čerpadla: 30 °C
  - Max. doba běhu čerpadla po vyp. kotle: 30 minut
  - Min. teplota vrat. vody: 50 °C
- Automatické přepnutí:**
  - Režim regulace: Vypnuto
  - Přepnout za: 0 dnů
- Čidla:**
  - Čidlo: Korekce:
  - Výst. voda (0) -2
  - Vrat. voda (1) -2
  - Uživ. 1 (2) 0
  - Vnitřní (3) -4
  - Venkovní (4) -6
  - Zed (5) -5
  - Uživ. 2 (6) 0
  - Uživ. 3 (7) -2
- Zapisovaná čidla:**
  - Čidlo logu 1: Venkovní
  - Čidlo logu 2: Vnitřní
  - Čidlo logu 3: Zed

Obr. 22: Parametry regulace

Pomocí parametrů v záložce Regulace lze nastavovat chování regulátoru. Význam nastavovaných parametrů je shrnut v následující tabulce:

| Zařazení    | Název                   | Popis   |
|-------------|-------------------------|---|
| Ekvit. reg. | Násobitel regulace      | Číslo, kterým se násobí regulační odchylka. Pro násobitel 2 a reg. odchylku +3 °C bude servo běžet 6 sekund. Viz 4.5.1  |
| Ekvit. reg. | Interval regulace       | Udává čekací dobu mezi regulačními zásahy. Čekání je prováděno v hlavní smyčce algoritmu regulace. Viz 4.5.2  |
| Ekvit. reg. | Max. čas běhu serva     | Omezuje maximální možnou dobu běhu serva. Na výrazné změny by soustava do dalšího regulačního cyklu nestihla zareagovat. Viz 4.5.1  |
| Ekvit. reg. | Posun regulační křivky  | Posun. Viz 5.3  |
| Ekvit. reg. | Hysteréze startu topení | Pokud se topení na ekvit. regulaci zcela uzavře, nedojde k jeho otevření, dokud nestoupne čas běhu serva nad tuto hodnotu. Tím je vyloučen stav slabého topení, který je velmi neekonomický, protože se zde uplatňují silné ztráty. |
| Ekvit. reg. | Násobitel kompenz. zdi  | Číslo, kterým se násobí odchylka zdi. Je nejprve dělené čtyřmi. Viz 4.5.1 a níže  |
| Ekvit. reg. | Max. kompenzace zdi     | Omezuje maximální možnou kompenzaci zdi. Viz 4.5.1  |



| Zařazení      | Název                                    | Popis  |
|---------------|--|--|
| Termost. reg. | Násobitel regulace                       | Číslo, kterým se násobí reg. odchylka. Pro násobitel 10 a reg. odchylku +2 °C bude servo běžet 20 sekund. Viz 4.5.1  |
| Termost. reg. | Interval regulace                        | Udává čekací dobu mezi regulačními zásahy. Čekání je prováděno v hlavní smyčce algoritmu regulace. Viz 4.5.2   |
| Termost. reg. | Max. čas běhu serva                      | Omezuje maximální možnou dobu běhu serva. Na výrazné změny by soustava do dalšího regulačního cyklu nestihla zareagovat. Viz 4.5.1                         |
| Termost. reg. | Teplota termostatu                       | Cílová teplota referenční místnosti. Viz 5.4   |
| Termost. reg. | Čidlo termostatu                         | Určuje čidlo umístěné v referenční místnosti. Regulace se bude řídit informací o teplotě tohoto čidla  |
| Obecné        | Režim regulace                           | Režim regulace. Viz 5.2  |
| Obecné        | Doba přeběhu serva                       | Doba, kterou servu trvá, než přejede z jedné koncové polohy do druhé. Používá se při funkci proti zatuhnutí serva. Lépe vyšší hodnota než nižší. Viz 4.5.3 |
| Obecné        | Min. teplota výst. vody pro běh čerpadla | Minimální teplota výstupní vody pro funkci zpožděného vypnutí čerpadla. Viz 4.5.3  |
| Obecné        | Max. doba běhu čerpadla po vyp. kotle    | Maximální doba běhu čerpadla pro funkci zpožděného vypnutí čerpadla. Viz 4.5.3   |
| Obecné        | Min. teplota vrat. vody                  | Minimální požadovaná teplota vratné vody. Pokud je nižší, nedojde k otevření směšovacího ventilu. Viz 4.5.3  |
| Auto. přep.   | Režim regulace                           | Automatické přepnutí na režim. Viz 5.5   |
| Auto. přep.   | Přepnout za                              | Automatické přepnutí za dobu. Viz 5.5  |
| Zapis. čidla  | Čidlo logu 1                             | První čidlo, jehož údaje se budou archivovat   |
| Zapis. čidla  | Čidlo logu 2                             | Druhé čidlo, jehož údaje se budou archivovat   |
| Zapis. čidla  | Čidlo logu 3                             | Třetí čidlo, jehož údaje se budou archivovat   |
| Čidla         | Čidlo                                    | Zaškrtnutí políčko udává, zda bude čidlo přístupné na displeji regulátoru v režimu Informace. Viz 5.1  |
| Čidla         | Korekce                                  | Udává korekci výrobní tolerance a délky připojovacího vodiče čidla. Kalibrace viz 6.4  |

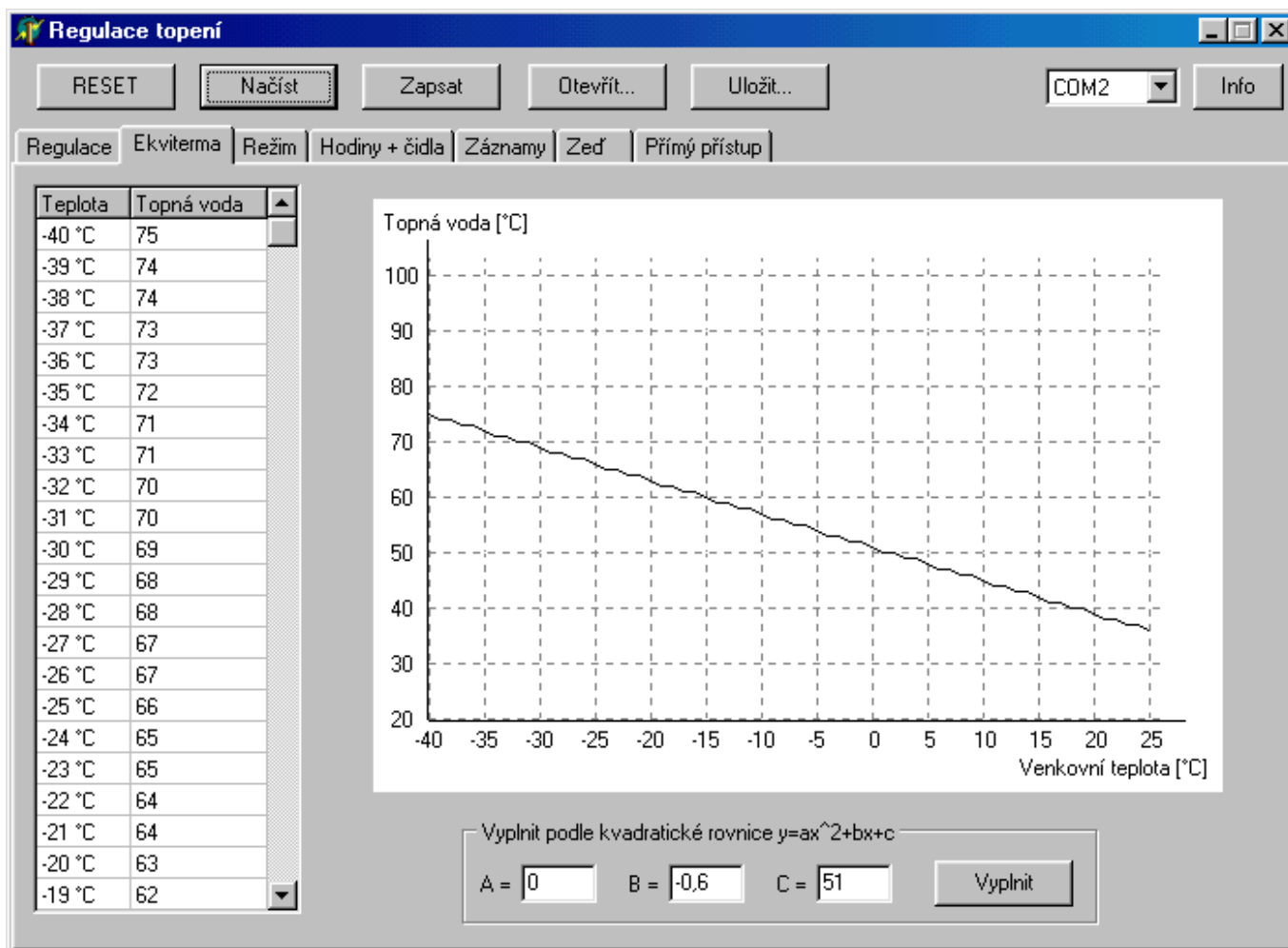
**Tab. 6: Parametry regulace**

Informativní hodnotu parametru Násobitel kompenzace zdi lze matematicky vyjádřit:

$$\text{násobitel} = \frac{\text{tloušťka zdi}}{\text{hloubka čidla}} \cdot \text{lineární člen ekvitermní funkce},$$

kde lineární člen ekvitermní funkce je parametr B použitý při vyplňování ekvitermy v kapitole 6.2. Ostatní parametry jsou popsány v kapitole 6.6. Takto spočítaná hodnota je ale pouze informativní. Reálná hodnota obvykle bývá nižší, protože se musí brát v úvahu tepelné ztráty objektu přes okna, které nelze čidlem ve zdi vykompenzovat.

## 6.2 Ekviterma



Obr. 23: Ekviterma

Ekvitermní křivka udává závislost teploty topné vody na venkovní teplotě. Pro ideální topnou soustavu by měla být lineární funkcí, tj. jejím grafem by byla přímka. Čím lepší je tepelná izolace objektu, tím je sklon přímky (lineární člen B) menší (blíže nule) a je posunutá (konstantní člen C) níže.

Ve skutečnosti nebývá závislost lineární. Pokud se topná tělesa v objektu chovají jako zářiče, mají při vyšších teplotách vyšší účinnost. Při nižších teplotách se tedy křivka sklání a neroste tak rychle (grafem funkce by byla parabola s maximem mimo zobrazovanou oblast). Kvadratický člen A je tedy mírně menší než nula.

Naopak při použití topných těles typu konvektoru a při špatně zaizolovaném domu, kdy větrání vlivem netěsností je logicky tím větší, čím nižší je venkovní teplota, se může křivka prohnout na druhou stranu (grafem funkce by byla parabola s minimem mimo zobrazovanou oblast). Kvadratický člen A je tedy mírně větší než nula. Více k této tématice je možné nalézt např. v [8].

Hodnoty z tabulky jsou okamžitě zobrazovány v grafu. Tabulku je možné automaticky vyplnit podle kvadratické rovnice s definovatelnými koeficienty. Díky použití tabulky je také teoreticky možné zadat naprosto libovolný tvar ekvitermní křivky.

## 6.3 Časové režimy

The screenshot shows the 'Regulace topení' (Heating Control) software interface. At the top, there are buttons for 'RESET', 'Načíst' (Load), 'Zapsat' (Save), 'Otevřít...' (Open...), and 'Uložit...' (Save...). A dropdown menu is set to 'COM2' and an 'Info' button is present. Below these are tabs for 'Regulace', 'Ekviterma', 'Režim', 'Hodiny + čidla', 'Záznamy', 'Zed', and 'Přímý přístup'. The main area contains a table with columns for days of the week (Pondělí, Úterý, Středa, Čtvrtek, Pátek, Sobota, Neděle) and rows for 15-minute intervals from 5:00 to 10:15. The table entries include temperature setpoints (e.g., 'T 16 °C') and control actions (e.g., 'V Vypnuto', 'E +10'). To the right of the table is an 'Editovat' (Edit) panel with three radio buttons for 'Režim A', 'Režim B', and 'Režim C', where 'Režim A' is selected.

|           | Pondělí   | Úterý     | Středa    | Čtvrtek   | Pátek     | Sobota  | Neděle  |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|
| 5:00 hod  | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C | T 16 °C |
| 5:15 hod  | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C | T 16 °C |
| 5:30 hod  | E +10     | E +10     | E +10     | E +10     | E +10     | T 16 °C | T 16 °C |
| 5:45 hod  | E +10     | E +10     | E +10     | E +10     | E +10     | T 16 °C | T 16 °C |
| 6:00 hod  | E +10     | E +10     | E +10     | E +10     | E +10     | T 16 °C | T 16 °C |
| 6:15 hod  | E +10     | E +10     | E +10     | E +10     | E +10     | T 16 °C | T 16 °C |
| 6:30 hod  | V Vypnuto | E +0      | V Vypnuto | V Vypnuto | V Vypnuto | T 16 °C | T 16 °C |
| 6:45 hod  | T 16 °C   | E +0      | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C | T 16 °C |
| 7:00 hod  | T 16 °C   | E +0      | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | E +15   | E +15   |
| 7:15 hod  | T 16 °C   | E +0      | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | E +15   | E +15   |
| 7:30 hod  | T 16 °C   | E +0      | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | E +10   | E +10   |
| 7:45 hod  | T 16 °C   | E +0      | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | E +10   | E +10   |
| 8:00 hod  | T 16 °C   | E +0      | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | E +5    | E +5    |
| 8:15 hod  | T 16 °C   | E +0      | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | E +5    | E +5    |
| 8:30 hod  | T 16 °C   | E +0      | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | E +3    | E +0    |
| 8:45 hod  | T 16 °C   | E +0      | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | E +3    | E +0    |
| 9:00 hod  | T 16 °C   | V Vypnuto | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | E +3    | E +0    |
| 9:15 hod  | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | E +3    | E +0    |
| 9:30 hod  | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | E +0    | E +0    |
| 9:45 hod  | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | E +0    | E +0    |
| 10:00 hod | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | E +0    | E -1    |
| 10:15 hod | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | T 16 °C   | E +0    | E -1    |

Obr. 24: Časové režimy

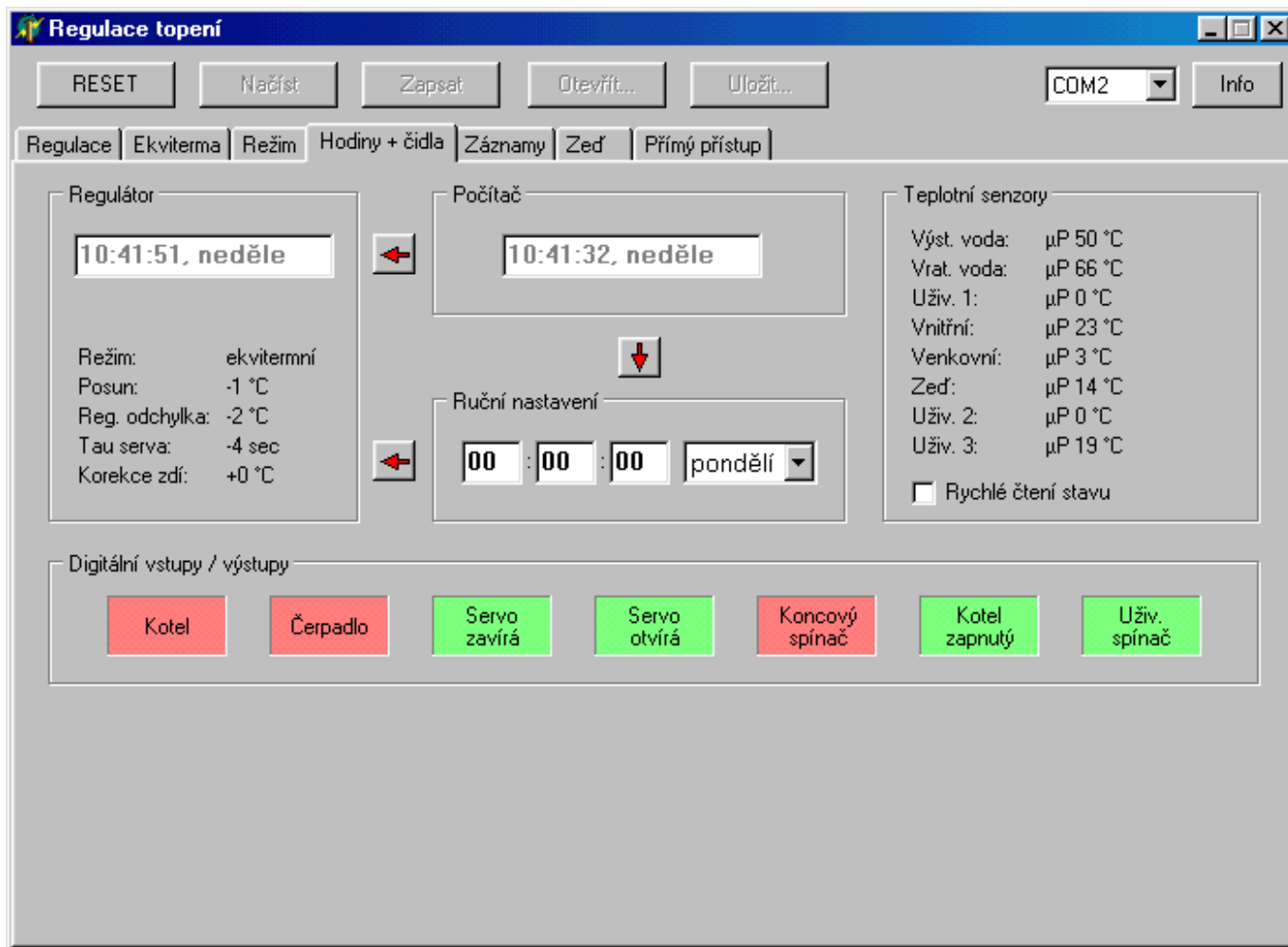
Regulátor obsahuje tři týdenní programy. Pro každý čtvrt hodinový úsek týdne je možno nastavit jiný režim.

Optimální je přerušované vytápění, kdy se topí ráno před odchodem do zaměstnání (na obr. 5:30 – 6:30) na ekvitermní režim se značným posunem topné křivky. Po tomto cyklu je zařazeno na čtvrt hodiny vypnutí regulace, aby se jednorázově uzavřel směšovací ventil. Až do odpoledne se pak aktivuje termostatová regulace na nízkou teplotu (na obr. 16 °C). Dům tedy bude postupně chladnout, v případě extrémně nízkých venkovních teplot, které by zapříčinily prochlazení objektu pod nastavenou hranici (16 °C) se topení aktivuje a bude tuto teplotu udržovat. V této chvíli se neprojeví nevýhody termostatové regulace, protože dům – díky nepřítomnosti obyvatel – má stejné chování jako referenční místnost. Odpoledne se s dostatečným předstihem opět zapne ekvitermní regulace, zpočátku s posunem, později se posun zruší. Na tento režim běží regulátor až do večera, kdy je opět vřazen na čtvrt hodiny režim vypnutí, následovaný přes noc režimem termostatovým. Takto je standardně nastaven režim A (silný). Režim B (slabý) neobsahuje ranní přitopení. Režim C (stálý) neobsahuje dopolední vypnutí.

Dle dlouhodobých měření prováděných v reálném provozu vede přerušovaný režim vytápění a následné silnější topení k ekonomičtějšímu provozu topné soustavy. Zároveň je také v objektu příjemně, zejména v noci je snížení teploty vítané.

Editace probíhá jednoduchým způsobem, v tabulce se je možné pohybovat klávesnicí i myší, režim lze měnit pravým tlačítkem myši, hodnoty upravovat po poklepání levým tlačítkem.

## 6.4 Hodiny a informace



Obr. 25: Hodiny a informace

Na této záložce je možné jednak nastavovat hodiny reálného času běžící v regulátoru, jednak zjišťovat stav regulátoru, teplotních čidel a digitálních vstupů / výstupů mikroprocesoru.

Hodiny je možné nastavit z počítače, případně ručně. Ovládání se provádí pomocí několika tlačítek a je velmi intuitivní.

V poli Regulátor jsou zobrazeny parametry aktuální regulace. Jejich vysvětlení je možné nalézt v kapitole 5.1. V poli Digitální vstupy / výstupy se zobrazuje stav relé a digitálních senzorů připojených k silové části regulátoru. Červená znamená zapnuto, zelená vypnuto. Koncový spínač je zapojen jako rozpínací, jeho stav je tedy opačný (uzavřeno = zelená).

Pokud není aktivováno Rychlé čtení stavu, probíhá čtení stavu senzorů z mikroprocesoru jednou za minutu, hodnoty jsou stejné jako na displeji regulátoru. V opačném případě se provádí každou sekundu a zobrazuje dva údaje – aktuální teplotní hodnotu a AD hodnotu získanou přímo z převodníku. Tato hodnota je potřebná pro prvotní kalibraci čidel.

Kalibrace se provádí tak, že se k čidlu přiloží teploměr. Po ustálení hodnot se zjistí aktuální AD hodnota čidla a teplota na teploměru. Z teploty přečtené na teploměru se v tabulce 1 zjistí odpovídající AD hodnota, od které se odečte AD hodnota čidla zjištěná regulátorem. Tento rozdíl je korekcí čidla, který se zapíše do pole Čidla / Korekce v záložce Regulace.

## 6.5 Záznamy

Regulace topení

RESET Načíst Zapsat Otevřít... Uložit... COM2 Info

Regulace Ekviterma Režim Hodiny + čidla Záznamy Zed Přímý přístup

| Datum    | Venkovní | Vnitřní | Zed   | Spotřeba |
|----------|----------|---------|-------|----------|
| So 13:00 | 2 °C     | 23 °C   | 15 °C | 0,744 m3 |
| So 14:00 | 2 °C     | 22 °C   | 14 °C | 0,733 m3 |
| So 15:00 | 3 °C     | 22 °C   | 15 °C | 0,711 m3 |
| So 16:00 | 3 °C     | 22 °C   | 15 °C | 0,442 m3 |
| So 17:00 | 2 °C     | 22 °C   | 15 °C | 0,474 m3 |
| So 18:00 | 2 °C     | 23 °C   | 15 °C | 0,485 m3 |
| So 19:00 | 1 °C     | 23 °C   | 15 °C | 0,442 m3 |
| So 20:00 | 1 °C     | 23 °C   | 15 °C | 0,539 m3 |
| So 21:00 | 1 °C     | 23 °C   | 15 °C | 0,496 m3 |
| So 22:00 | 2 °C     | 23 °C   | 15 °C | 0,593 m3 |
| So 23:00 | 1 °C     | 23 °C   | 15 °C | 0,560 m3 |
| Ne 0:00  | 1 °C     | 23 °C   | 15 °C | 0,377 m3 |
| Ne 1:00  | 0 °C     | 22 °C   | 15 °C | 0,000 m3 |
| Ne 2:00  | 0 °C     | 22 °C   | 15 °C | 0,000 m3 |
| Ne 3:00  | 2 °C     | 21 °C   | 15 °C | 0,000 m3 |
| Ne 4:00  | 2 °C     | 21 °C   | 15 °C | 0,000 m3 |
| Ne 5:00  | 2 °C     | 20 °C   | 15 °C | 0,000 m3 |
| Ne 6:00  | 0 °C     | 20 °C   | 15 °C | 0,000 m3 |
| Ne 7:00  | 0 °C     | 20 °C   | 15 °C | 0,000 m3 |
| Ne 8:00  | 1 °C     | 22 °C   | 14 °C | 1,336 m3 |
| Ne 9:00  | 1 °C     | 22 °C   | 14 °C | 0,571 m3 |
| Ne 10:00 | 2 °C     | 23 °C   | 14 °C | 0,560 m3 |

Kopírovat

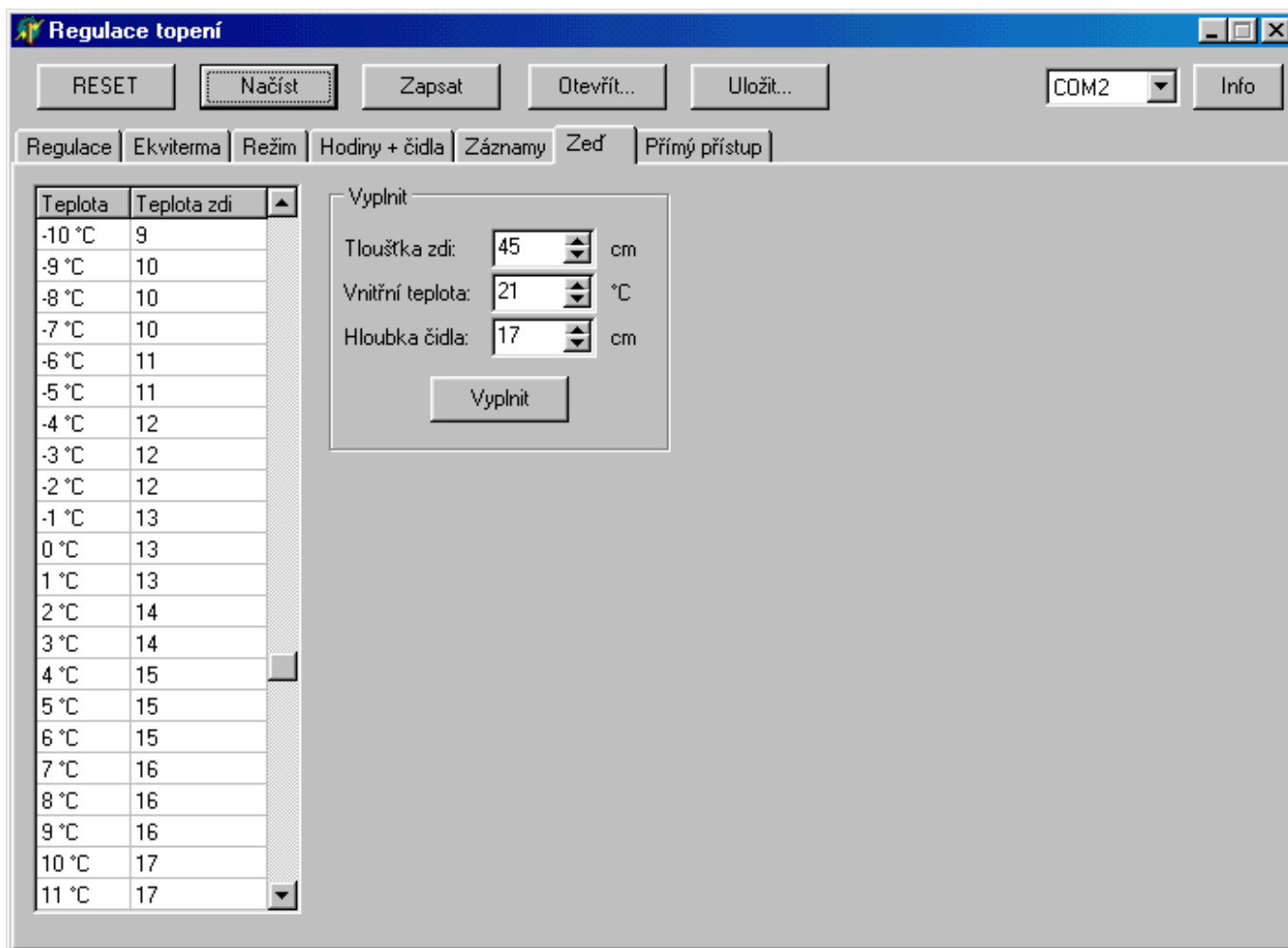
Spotřeba plynu: 0,04041 m<sup>3</sup>/min

Obr. 26: Záznamy

Na záložce Záznamy jsou přístupné údaje z čidel přibližně 10 dní zpět (256 záznamů po jedné hodině). Kromě toho se zde zobrazuje spotřeba plynu během každé hodiny, která se informativně počítá z doby běhu kotle. Pro tento výpočet je nutné znát údaj Spotřeba plynu. Ten lze v domácnosti poměrně jednoduše změřit, každý dům má svůj plynoměr. Spotřebu není možné měřit, pokud není připojené čidlo běhu kotle nebo pokud se používá moderní kotel s nastavitelným výkonem.

V tabulce je možné označovat řádky a následně je zkopírovat do libovolného tabulkového procesoru k dalšímu zpracování, např. tvorbě grafů teplot.

## 6.6 Zed'



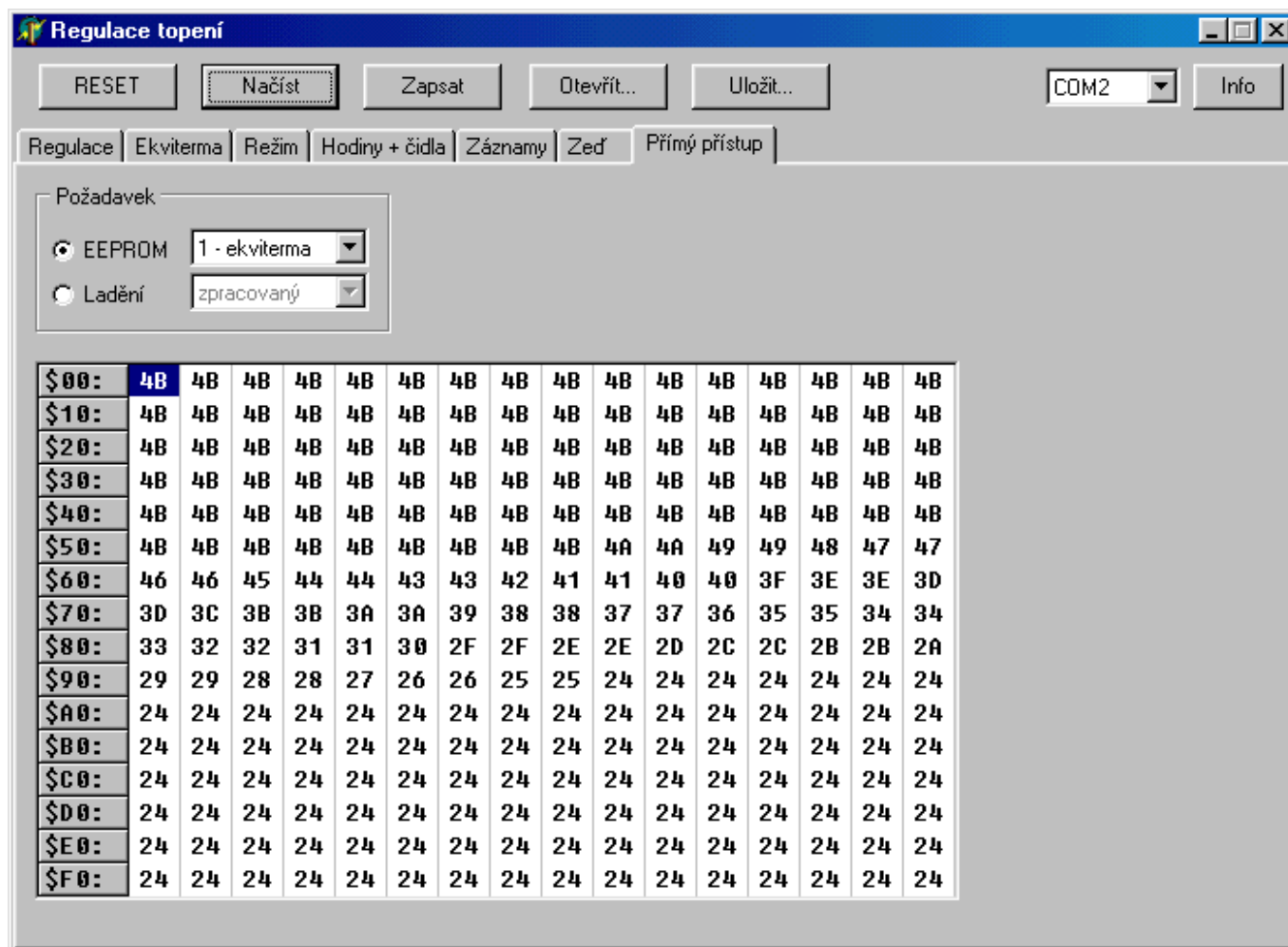
Obr. 27: Zed'

Tabulka udává závislost teploty ve zdi na teplotě venkovní. Teplotu ve zdi lze vypočítat ze znalosti několika údajů. Vztah je zjednodušen předpokladem, že zdivo je homogenní, a neuvažuje, že omítky mají jinou tepelnou vodivost.

$$t_{zed'} = t_{vnitřní} - (t_{vnitřní} - t_{venkovní}) \cdot \frac{hloubka\ čidla}{tloušťka\ zdi},$$

kde  $t_{zed'}$  je teplota zdi,  $t_{vnitřní}$  je konstantní vnitřní teplota objektu (zpravidla 21 °C), *hloubka čidla* je hloubka čidla ve zdi měřeno zevnitř objektu, *tloušťka zdi* udává tloušťku zdi. V případě zatepleného objektu by se čidlo umístilo pod zateplovací materiál, *hloubku čidla* by představovala původní tloušťka zdi a *tloušťka zdi* by se rovnala součtu původní tloušťky zdi a tloušťky zdi, která je ekvivalentní provedenému zateplení.

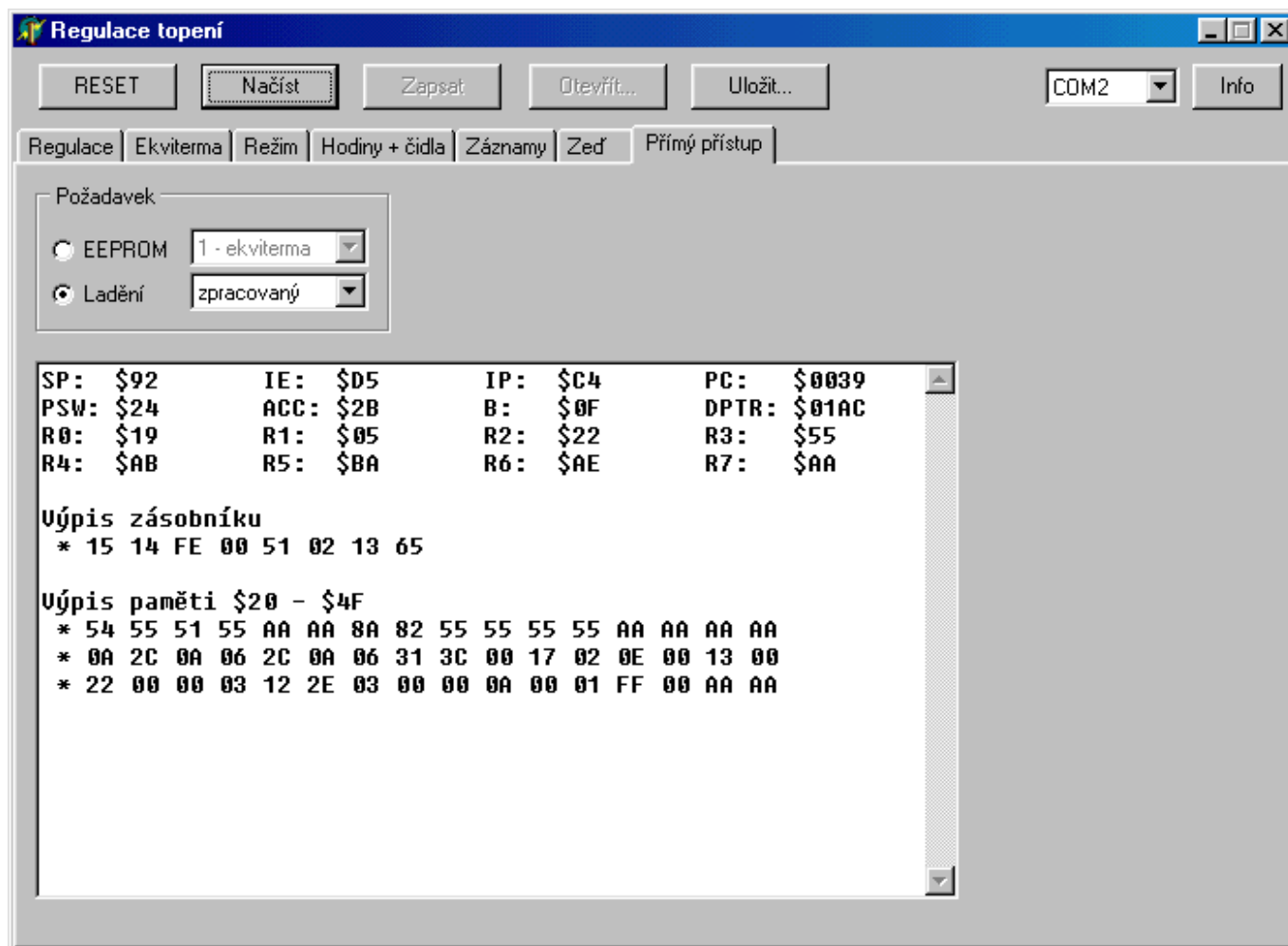
## 6.7 Přímý přístup – paměť



Obr. 28: Přímý přístup – paměť

Ovládací program umožňuje přímý přístup k EEPROM paměti instalované v regulátoru. Program obsahuje jednoduchý hexadecimální editor. Celou stránku paměti lze také v binární formě načíst či uložit.

## 6.8 Přímý přístup – ladící informace



Obr. 29: Přímý přístup – ladící informace

V případě chyby v programu, která není natolik závažná, aby zamezila komunikaci, je možné použít tuto funkci. Pomocí ní lze z mikroprocesoru přečíst údaje o jeho aktuálním stavu, tj. obsahy registrů, výpis zásobníku a paměti. Tyto údaje jsou pro autora nepostradatelné pokud by chtěl najít eventuální chybu v programu.

Při výběru Pouze paměť se zobrazí hexadecimální editor, do kterého se načte stav celé interní paměti RAM řídicího mikroprocesoru.



## 7 Závěr

Cílem této práce bylo podat podrobný návod k hardwarové konstrukci regulátoru EMIR, což podle mého názoru splnila. Regulátor EMIR je v současné verzi plně funkční, v době psaní této dokumentace pracuje naprosto bezproblémově s verzí firmware 1.03 a v objektu udržuje příjemnou tepelnou pohodu. Přitom spotřeba plynu po zavedení nové regulace dokonce mírně klesla (dřívější regulace byla také ekvitermní, ale nespolehlivá analogová s pevnou délkou regulačního posunu, který nebyl ovlivňován regulační odchylkou). Firmware tvoří téměř 4000 řádků zdrojového kódu v assembleru (66 kB zdroje, 4,98 kB zkompilevané).

Jedním z nejpříznivějších parametrů regulátoru EMIR je bezpochyby jeho cena. Za ni, jak již bylo naznačeno v úvodu, není možné pořídit ani analogový ekvitermní regulátor. EMIR je tedy díky mikroprocesorovému řízení a spojení s počítačem velmi mocným regulátorem s řadou nadstandardních funkcí.

Použití regulátoru EMIR je výhodné zejména v objektech, kde není instalována žádná regulace, případně pouze zastaralá termostatová. Regulací se dosahuje výrazných úspor na spotřebě plynu. Samotná elektrická spotřeba regulátoru je zanedbatelně malá.

Vývoj regulátoru trval půl roku, byl započat v říjnu 2002. Během tohoto období jsem se naučil velmi dobře pracovat s mikroprocesory řady MCS51. Jsem studentem školy gymnaziálního typu všeobecného zaměření, kde se elektronika (natož mikroprocesorová technika) neučí.

Při vývoji jsem používal vlastnoručně zhotovený programátor typu PATmel II, z programového vybavení assembler Metalink 8051 Cross Assembler, editor Programmer's Wizard 2 a vývojové prostředí Borland Delphi 6.



Obr. 30: Řídící jednotka regulátoru

## 8 Přehled literatury

- [1] ATMEL. *AT24C32, 2-wire Serial EEPROM 32K (4096 x 8)*. Atmel Corporation 2002. Dostupné z URL: <http://www.atmel.com/>
- [2] ATMEL. *AT89C52, 8-bit Microcontroller with 8K Bytes Flash*. Atmel Corporation 1999. Dostupné z URL: <http://www.atmel.com/>
- [3] BURIAN, Christopher J. *LCD Module Technical Reference (FAQ)*. Dostupné z URL: <ftp://ftp.armory.com/pub/user/rstevew/LCD/lcdfaq.zip>
- [4] GM Electronic. *Součástky pro elektroniku 2002*.
- [5] HASELOFF, Eilhard. *Supply Voltage Supervisor TL77xx Series*. Texas Instruments Incorporated 1997. Dostupné z URL: <http://www.ti.com/>
- [6] HINTERMANN, Markus. *Application note for the Philips Real Time Clocks PCF8563, 73, 83, 93*. Philips Semiconductors 1999. Dostupné z URL: <http://www.philips-semiconductors.com/>
- [7] HITACHI. *HD44780U (LCD-II), Dot Matrix Liquid Crystal Display Controller/Driver*. Dostupné z URL: <http://www.hitachi.com/>
- [8] HOLLAN, Jan. *Vytápění s automatickou regulací*. Dostupné z URL: <http://astro.sci.muni.cz/pub/hollan/>
- [9] HORÁK, Zdeněk. Regulátor teplovodního topného systému. *Praktická elektronika A Radio*, č. 5/2001, s. 6 – 10, č. 6/2001, s. 26 – 29.
- [10] HW Server. *RS-232 – Projekty HW Serveru*. Dostupné z URL: <http://www.hw.cz/projects/rs232>
- [11] HW Server. *SC1602A (16 characters x 2 lines)*. Dostupné z URL: <http://shop.hw.cz/>
- [12] JEDLIČKA, Petr. *Přehled obvodů řady CMOS 4000, díl I. 4000 až 4099*. 3. vyd. Praha: BEN – Technická literatura 1998. 173 s.
- [13] JEDLIČKA, Petr. *Přehled obvodů řady TTL 7400, díl I. 7400 až 7499*. 1. vyd. Praha: BEN – Technická literatura 1997. 287 s.
- [14] KADLEC, Jiří. Instrukční soubor mikropočítačů řady „51“. *Konstrukční elektronika A Radio*, č. 3/2001, s. 31 – 39.
- [15] KOTISA, Zdeněk. Senzory KTY pro měření teploty. *Praktická elektronika A Radio*, č. 1/2000, s. 25 – 27.
- [16] MAXIM. *+5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers*. Maxim Integrated Products 2001. Dostupné z URL: <http://www.maxim-ic.com/>
- [17] PHILIPS: *PCF8583, Clock/calendar with 240 x 8-bit RAM. Data Sheet*. Philips Semiconductors 1997. Dostupné z URL: <http://www.philips-semiconductors.com/>
- [18] SKALICKÝ, Petr. *Mikroprocesory řady 8051*. 2. vyd. Praha: BEN – Technická literatura 1998. 159 s.
- [19] *Software-Based Real Time Clock (RTC)*. Dostupné z URL: <http://www.8052.com/>
- [20] TEXAS INSTRUMENTS: *TL7702A, TL7705A, TL7709A, TL7712A, TL7715A, Supply-Voltage Supervisors*. Texas Instruments Incorporated 2001. Dostupné z URL: <http://www.ti.com/>
- [21] TEXAS INSTRUMENTS: *TLC548C, TLC548I, TLC549C, TLC549I, 8-bit Analog-to-Digital Converters with Serial Control*. Texas Instruments Incorporated 1996. Dostupné z URL: <http://www.ti.com/>