

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd
Katedra kybernetiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

PLZEŇ, 2012

JAN PÍCHA

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan PÍCHA**

Osobní číslo: **A09B0825P**

Studijní program: **B3918 Aplikované vědy a informatika**

Studijní obor: **Kybernetika a řídicí technika**

Název tématu: **Monitoring a řízení rodinného domu vybaveného malou solární elektrárnou a tepelným čerpadlem**

Zadávací katedra: **Katedra kybernetiky**

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

1. Seznamte se s dostupnou literaturou [1], [2], [3], [4], [5] a s řídicím systémem REX [6].
2. Navrhněte vhodnou architekturu řídicího systému s přihlédnutím k možnostem konkrétní aplikace v rodinném domě.
3. Navržené řešení implementujte a ověřte v řídicím systému REX na platformě ALIX.
4. Získaná data zpracujte a výsledky uveďte v bakalářské práci.




Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30-40 stránek A4**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury:

- [1] Bělík Milan: Energetické využití solárních systémů pro rodinný dům (diplomová práce)
- [2] Raková Lenka: Porovnání různých variant řešení fotovoltaických elektráren (diplomová práce)
- [3] Kožený Jiří: Tepelné čerpadlo jako zdroj vytápění rodinného domu (diplomová práce)
- [4] Technická dokumentace k tepelnému čerpadlu HP3AW18SE od PZP Komplet a.s.
- [5] Technická dokumentace k měniči Piko 5.5 od KOSTAL Industrie Elektrik GmbH
- [6] Manuál - Funkční bloky systému REX od REX Conrols s.r.o.

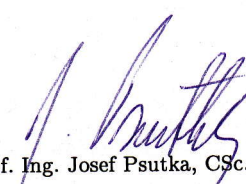
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Balda, Ph.D.**
Katedra kybernetiky

Datum zadání bakalářské práce: **13. února 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **18. května 2012**


Doc. Ing. František Vávra, CSc.
děkan




Prof. Ing. Josef Psutka, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 13. února 2012

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím odborné literatury a pramenů, jejichž úplný seznam je její součástí.

V Plzni dne

.....

Jan Pícha

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat mému kolegovi Martinovi Hulíkovi za poskytnutí materiálů k jím navrženým modulům a možnost implementovat je v mé bakalářské práci.

Mé díky také patří společnosti Kostal Solar Electric za laskavé poskytnutí protokolu komunikace s invertorem PIKO 5.5 přes TCP.

Dále bych chtěl také poděkovat Ing. Milanovi Štětinovi za rady týkající se instalace linuxové distribuce OpenWrt a řídicího systému REX na minipočítač ALIX.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé práce Ing. Pavlovi Baldovi, Ph.D. za ochotu a vstřícné jednání při konzultacích a za zapůjčení prvotních modulů pro odzkoušení funkce počítače ALIX a řídicího programu REX.

Veliké díky také patří mým rodičům za neutuchající podporu a nekonečnou trpělivost v závěrečných měsících mého bakalářského studia.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem řídicího systému pro monitoring a řízení rodinného domu vybaveného malou solární elektrárnou a tepelným čerpadlem. Implementuje možnost sledovat stav vybraných spotřebičů a jejich spínání v závislosti na aktuální spotřebě a výrobě energie malou solární elektrárnou. K tomuto účelu využívá vytvořené moduly s 1-Wire součástkami od firmy Maxim Integrated Circuits. Řídicí algoritmus je navržen v řídicím systému REX od společnosti REX Controls s.r.o., jenž běží pod linuxovou distribucí OpenWrt, která je instalována na minipočítači ALIX 2D13 od PC Engines.

Klíčová slova

1-Wire sběrnice, 1-Wire devices, ALIX, řídicí systém REX, tepelné čerpadlo, solární elektrárna, DC-AC invertor, OpenWrt, DS2408, DS2413, DS2762, DS18S20, DS18B20, proudový transformátor, vložené řízení

Abstract

The thesis introduces control system for monitoring and control of the family house equipped with the small solar power plant and the air/water heat pump. Control system is able to sense whether connected appliances are switched off or running, it switches connected appliances according to actual power consumption and actual yield of the solar power plant. It uses constructed dedicated modules with Maxim Integrated Products' 1-Wire devices. Control system algorithm is written in REX control system from REX Controls which is installed under GNU Linux OpenWrt, which runs on PC Engines' system board ALIX 2D13.

Key words

1-Wire bus, 1-Wire devices, ALIX, REX control system, heat pump, solar power plant, DC-AC inverter, OpenWrt, DS2408, DS2413, DS2762, DS18S20, DS18B20, current transformer, embedded control

Obsah

1	Úvod	1
2	Motivace	1
3	Elementy rodinného domu	2
3.1	Původní stav	2
3.2	Tepelné čerpadlo	3
3.3	Fotovoltaická elektrárna	4
3.4	Bojlery	5
3.5	Pračka	6
3.6	Sporák s troubou	6
3.7	Bazénová filtrace	7
3.8	Ostatní spotřebiče	7
4	Použitý hardware	7
4.1	AP klienti	8
4.2	ALIX	8
4.3	DS2482-800	9
4.4	Snímač stavu spotřebiče	10
4.5	DS2413 s 1 vstupem a 1 výstupem	11
4.6	DS2413 se 2 výstupy	13
4.7	DS2706	14
4.8	DS18S20 a DS18B20	16
4.9	Adresy použitých 1-Wire obvodů	17
5	Zapojení modulů a čidel	17
5.1	Sběrnice 1-Wire spolu s +5 V a +12 V	18
5.2	Tepelné čerpadlo	19
5.3	Bojlery	19
5.4	Pračka	20
5.5	Sporák s troubou	21
5.6	Bazénová filtrace	21
6	Software	22
6.1	PuTTY	22
6.2	OWFS a OWServer	23
6.3	REX	24
6.4	Subsystem získávání dat z invertoru	25
6.5	Úloha čtení teplot	26
6.6	Subsystemy natápění bojlerů a bazénu	26
6.7	Subsystem vyhrazeného výkonu pro pračku	27
6.8	Subsystem vyhrazeného výkonu sporáku	28
6.9	Monitoring	29

6.10	Hlavní úloha	30
7	Algoritmus řízení	31
7.1	Pasivní úlohy	32
7.1.1	Invertor	32
7.1.2	Tepelné čerpadlo	33
7.1.3	Sporák	33
7.2	Aktivní úlohy	33
7.2.1	Bazénová filtrace	33
7.2.2	Pračka	33
7.2.3	Bojler 1	33
7.2.4	Bojler 2	34
7.2.5	Topení bazén	34
7.3	Ukázka dat monitorovaných parametrů	34
8	Závěr	35

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá možností monitoringu a řízení rodinného domu vybaveného malou solární elektrárnou a tepelným čerpadlem. Pod slovem monitoring je myšlen stav daných elektrických spotřebičů zapojených do elektrické soustavy daného domu. Je možno sledovat, zda jsou dané spotřebiče (pračka, bojler, čerpadlo bazénové filtrace a tepelné čerpadlo) zapnuté nebo vypnuté a u některých také jejich vlastnosti (teplota vody v bojleru a teplota vody v čerpadle bazénové filtrace). Pod řízením je myšleno řízení daných spotřebičů v závislosti na celkovém odběru elektrické energie všech spotřebičů daného domu a aktuální elektrické energii vyráběné malou solární elektrárnou.

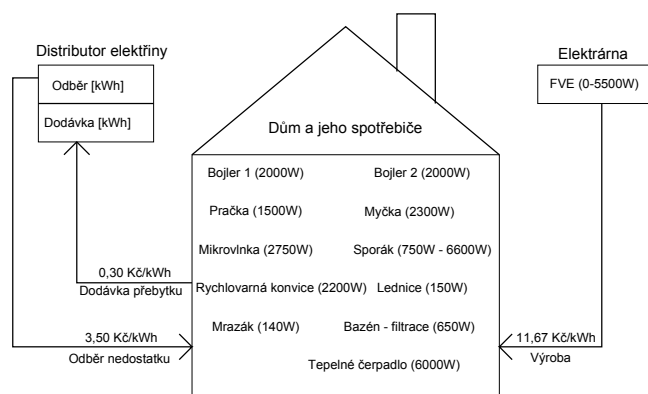
Propojení jednotlivých snímačů, akčních členů a řídicího počítače je provedeno pomocí sériové dvou vodičové sběrnice 1-Wire od firmy Maxim Integrated Products, jejíž popis a seznam podporovaných 1-Wire zařízení je možné nalézt zde [1]. Základem snímačů a akčních členů jsou právě zmíněná 1-Wire zařízení od firmy Maxim. Jako řídicí počítač je použit minipočítač ALIX 2D13 [2] od firmy PC Engines. Vlastní řízení, monitoring a správu jednotlivých zařízení má na starost řídicí systém reálného času REX, jehož podrobný popis je k nahlédnutí v [3]. V rámci bakalářské práce byl rodinný dům osazen 6 moduly s celkovým počtem 8 čidel a 6 akčních členů. Celková délka kabeláže mezi moduly a řídicím počítačem je 40 m. Pomocí funkčních bloků systému REX [4], byl napsán a odzkoušen jednoduchý řídicí program se základními funkcemi pro řízení daných spotřebičů, pro ověření funkce jednotlivých modulů a celého konceptu řídicího systému.

2 Motivace

V dnešní době růstu cen elektrické energie je snaha snížit její spotřebu a tím i náklady. Tato bakalářská práce se snaží reagovat na problém vysokých nákladů za elektrickou energii nepřímým snížením spotřeby, konkrétně snahou snížit objem nakoupené elektrické energie od distribuční společnosti a na druhé straně zvýšit spotřebu elektrické energie, která byla vyrobena malou sluneční elektrárnou. Tato elektrárna pracuje v tzv. 'on grid' módu, tedy dodává svoji vyrobenou elektrickou energii do distribuční sítě. Elektrárna však není připojena k distribuční síti přímo, ale skrze elektroinstalaci daného domu a až poté přes kvadrantní elektroměr do distribuční sítě. Tento elektroměr je schopen nezávisle na sobě měřit jak nakoupenou elektrickou energii od distribuční společnosti, tak také dodanou elektrickou energii vyráběnou pomocí fotovoltaické elektrárny do distribuční sítě. Objem této energie je však snížen o tu část, která je spotřebována lokálně elektrickými spotřebiči zapojenými v domě.

A právě v tomto bodě je potenciálně možné nejvíce ušetřit, neboť fotovoltaická elektrárna je součástí státního programu pro podporu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (tzv. zelený bonus) uzákoněného předpisem 180/2005 Sb [5]. Zjednodušeně řečeno, díky tomuto zákonu je každému provozovateli malé fotovoltaické elektrárny zapojené v režimu 'on grid' a zeleného bonusu vykupována vyrobená elektřina, ať už je spotřebována

nebo ne. V praxi to znamená, že provozovatel této fotovoltaické elektrárny měsíčně fakturuje částku za vyrobenou elektrickou energii plus částku za energii dodanou do distribuční sítě. Výkupní cena za 1 kWh dodané energie do distribuční sítě je však v porovnání s částkou za 1 kWh vyrobené energie téměř zanedbatelná. Z tohoto principu tedy logicky vyplývá snaha vyrobenou energii v co největším množství využít pro vlastní účely, neboť nejenom, že spotřebovávaná energie ze Slunce je 'zdarma', ale současně také dochází ke druhotnému šetření, neboť využijeme-li energii ze Slunce, nemáme poté již potřebu tuto energii nakoupit od distribuční společnosti. Je samozřejmé, že počáteční investice na pořízení solární elektrárny jsou nemalé. Po uplynutí určité doby, po které je však počáteční investice splacena výkupem vyrobené energie a ušetřením za nákup, je tato vyrobená energie skutečně zdarma. Na obrázku 2.1 jsou vidět možnosti toku elektrické energie spolu s průměrnými cenami za dodávku/odběr.



Obrázek 2.1: Zjednodušené schéma toku elektrické energie

Cílem této práce je tedy navýšit co možná nejvíce objem spotřebované elektrické energie vyráběné fotovoltaickou elektrárnou a tím využít energii slunečních paprsků, tzn. nepřímo snížit objem energie nakupované od distribuční společnosti.

3 Elementy rodinného domu

Tato kapitola podává zjednodušené informace o stavu jednotlivých elektrospotřebičů v domě, parametrech fotovoltaické elektrárny a stavu, v jakém se dům nacházel před instalací řídicího systému popsaném v této bakalářské práci. Je zde uveden podrobnější popis těch spotřebičů, které jsou řízeny řídicím systémem.

3.1 Původní stav

Stav elektroinstalace rodinného domu je značně ovlivněn postupnou výměnou některých zařízení (kotel na tuhá paliva → tepelné čerpadlo), přidáním jiných (akumulační nádrže na vodu, sekundární bojler, fotovoltaická elektrárna) a stavebními úpravami, které proběhly v poslední dekádě. Výsledkem těchto změn jsou čtyři elektroinstalační rozvodná místa s rozmanitou škálou jisticích a spínacích prvků elektrospotřebičů. Návrh řídicího systému musel být přizpůsoben těmto podmínkám. Před instalací řídicího systému nebyla

MĚSÍC	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec
VÝROBA [kWh]	303	723	687	949	823	833
SPOTŘEBA [kWh]	201	255	223	197	221	440
PROCENTUÁLNĚ [%]	66	35	32	21	27	53

Tabulka 3.1: Vyrobená elektrická energie za posledních 6 měsíců

používána žádná technika ovládání daných elektrospotřebičů kromě standardního programovatelného prostorového termostatu pro spínání topení tepelného čerpadla a časového relé s přednastavenými dobami spínání pro oběhové čerpadlo bazénové. Tento stav měl za následek nesystematické spínání spotřebičů (tak, jak každý z daných spotřebičů potřeboval), vysoké náklady za nákup elektrické energie a nízký podíl spotřebované elektřiny přímo z fotovoltaické elektrárny.

V příložené tabulce 3.1 jsou údaje o vyrobené elektrické energii z fotovoltaické elektrárny, její okamžité lokální spotřeby a procentuální vyjádření za poslední půlrok. Údaje jsou převzaty z fakturačního portálu distribuční společnosti E-on. Z procentuálních údajů je vidět, že podíl spotřebované energie lokálně vůči výrobě je velmi malý. Průměrná hodnota procentuální lokální spotřeby z celkové vyrobené elektrické energie se pohybuje kolem 30-ti procent (procentuální využití energie je v červenci značně vyšší než v ostatních měsících, tato změna je způsobena dočasnou změnou ubytovacích návyků v rodinném domě), což znamená, že 70% vyrobené energie není nijak využíváno. Přitom by právě tato energie mohla být využita a zdarma spotřebována.

Před instalací řídicího systému a řešením této bakalářské práce nebylo nijak řešeno datové připojení fotovoltaické elektrárny, jejíž měnič není umístěn v objektu domu, ale mimo něj. Při každoměsíčním povinném fakturování za vyrobenou elektřinu bylo nutné docházet k zmíněnému měniči a z vestavěného LCD displeje odečíst celkovou vyrobenou elektrickou energii. Od této hodnoty se musela odečíst hodnota z předešlého měsíce, tím byla získána hodnota vyrobené elektrické energie za daný měsíc. Tento minoritní dílčí problém byl vyřešen instalováním bezdrátového pojítka pracujícího na frekvenci 5GHz, které propojilo datový výstup měniče se stávající bezdrátovou sítí využívanou k přístupu na internet. K přístupu k potřebným informacím pro fakturaci a k dalším diagnostickým datům ohledně výroby elektrické energie měničem je přistupováno pomocí programu Piko Master Control [6], který byl nainstalován na místní počítač. Dále je toto datové spojení pomocí pojítka využíváno k získávání online dat vyráběné elektrické energie pro potřeby řídicího systému.

3.2 Tepelné čerpadlo

Rodinný dům je vybaven tepelným čerpadlem vzduch/voda HP3AW 18SE [7] od firmy Kostečka Group spol. s.r.o., jehož ilustraci můžeme vidět na obrázku 3.1. Na obrázku jsou vidět dvě části tepelného čerpadla, a to vnitřní kontrolní jednotka a vnější výměňková stanice. Spolu s tepelným čerpadlem jsou v domě také instalovány dvě akumulární nádrže o objemech 300 a 350 litrů, které jsou používány pro akumulaci topné vody, předehřev a akumulaci teplé užitkové vody.

Topný výkon daného čerpadla se pohybuje v rozmezí od 12,7 kW do 20,8 kW při ohřevu vody na teplotu 50°C v závislosti na teplotě okolního vzduchu. Příkon tepelného čerpadla se pohybuje v rozmezí od 5,6 kW do 6,5 kW pro stejné parametry jako topný výkon. Přesné údaje o konkrétním výkonu a příkonu pro dané teploty je možno zjistit



Obrázek 3.1: Ilustrace tepelného čerpadla

z technického listu čerpadla [7]. Příkon dvou vrtulí vnějšího výměníku je celkem 320 W (160 W každá vrtule). Tepelné čerpadlo je samostatně třífázově jištěno.

Tepelné čerpadlo slouží k ohřevu topné vody a k předehřevu teplé užitkové vody, která je dále přepouštěna do instalovaných bojlerů a v nich dohřívána na požadovanou teplotu. K akumulaci topné vody slouží již zmíněná akumulární nádrž o objemu 300 litrů. Spolu s touto nádrží je vyrobené teplo akumulováno do celé topné soustavy, která je osazena velkoobjemovými litinovými radiátory. K ohřevu místností dochází sáláním tepla z těchto litinových radiátorů. Spínání topení je ovládáno prostorovým termostatem. Po sepnutí termostatu je však dále topení řízeno pomocí ekvitermní křivky samotným čerpadlem. V řešení bakalářské práce je prozatím tato konfigurace ponechána a řídicí systém nahrazuje sepnutí prostorového termostatu. K předehřevu teplé užitkové vody je použita akumulární nádrž o objemu 350 litrů, tento předehřev je řízen samotným tepelným čerpadlem podle teploty vody v nádrži. Tento princip není v řešení bakalářské práce nijak pozměněn ani řízen. Řídicí systém pouze reaguje na jeho následek, tedy sepnutí tepelného čerpadla. Tato předehřátá teplá užitková voda je pak dále přepouštěna do dvou bojlerů o objemech 160 litrů.

3.3 Fotovoltaická elektrárna

Celkový instalovaný stejnosměrný výkon na straně solárních panelů je 6260 W (obrázek 3.2). Výkon je složen z 24 ks panelů Powertec Plus 240 [8] a 2 ks Powertec Plus 250 od firmy Mage Solar. Panely jsou poskládný do dvou stringů, každý o stejnosměrném výkonu 3130 W se stejnosměrným napětím 650 V při dodávce výkonu. Panely jsou směřovány na jih s mírným odklonem k východu. Náklon panelů je v rozmezí 25° až 30°.

Tyto dva stringy jsou vedeny do třífázového invertoru PIKO 5.5 [9] od firmy Kostal, jenž je vidět na obrázku 3.3. Tento měnič je schopen plynule regulovat dodávaný výkon do sítě již od jednotek wattů až do zmíněného maximálního výkonu 5500 W. Na přední straně měniče je malý podsvícený LCD displej pro zobrazení základních údajů ohledně vyráběné energie. Měnič je také vybaven komunikační deskou (připojení přes konektor rj45) s integrovaným webovým serverem. Skrze tento server je možné přistupovat k aktuálním datům o výrobě a také k datům archivním uloženým v paměti invertoru. K webovému serveru měniče je možno přistupovat pomocí standardní webového prohlížeče zadáním jeho IP adresy nebo skrze nainstalovaný program Piko Master Control [6], v němž je možné sledovat jak aktuální data, tak také ukládat a vyhodnocovat data archivní. Příklad zobrazení



Obrázek 3.2: Fotografie solární elektrárny



Obrázek 3.3: Fotografie invertoru PIKO 5.5

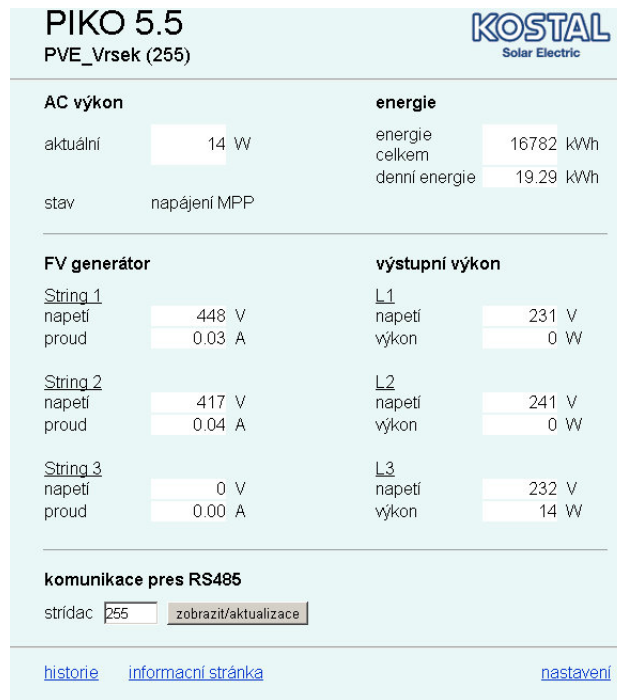
webové stránky po přihlášení k webovému serveru měniče je na obrázku 3.4.

Spojení s tímto webovým serverem skrze zmíněné 5 GHz pojítko je využíváno řídicím systémem. Díky tomuto serveru je možné získávat aktuální data o výrobě elektrické energie s periodou 1 vteřina a tím reagovat na aktuální stav osvětlení panelů slunečními paprsky. Tato data jsou základním kamenem řídicího systému.

Malou nevýhodou tohoto měniče je vlastnost plynoucí z jeho způsobu zapojení jako 'on grid' měniče, a to je nemožnost fungovat bez připojení na distribuční síť. V případě výpadku elektrické sítě se měnič vypne a nedodává žádnou elektrickou energii. Tato vlastnost je v invertoru implementována jako bezpečnostní prvek. Zároveň měnič během své dodávky elektřiny do sítě monitoruje napětí a frekvenci, zda splňuje standardní hodnoty.

3.4 Bojlery

V domě můžeme nalézt dva standardní bojlerů o objemech 160 litrů od firmy Družstevní závod Dražice, Strojárna s.r.o. Elektrický příkon těchto bojlerů je 2000 W každý. Do těchto bojlerů je přiváděna přehřátá voda z akumulární nádrže. Jeden bojler slouží jako primární, z něj je používána voda pro koupelnu a kuchyň. Druhý bojler je použit



Obrázek 3.4: Ukázka webové stránky měniče

jako záložní a z něj voda vede do prádelny a druhé koupelny. Ohřev vody v bojlerech nebyl nijak řízen a závisel pouze na aktuální nastavené teplotě bojleru. Oba bojleru jsou zvláště jednofázově jištěny a je možné jejich nezávislé spínání.

3.5 Pračka

Pračka od firmy Electrolux se štítkovým příkonem 1950 W je zapojena do společného zásuvkového okruhu a není nijak samostatně jištěna. U pračky vzhledem k napojení na společný zásuvkový okruh nebylo možno nezávislé vzdálené spínání. Spínání pračky nebylo nijak řízeno a záviselo pouze na aktuální potřebě praní. V rámci bakalářské práce byl tento stav změněn a bylo umožněno sledovat stav pračky (zapnutá/vypnutá) a její řízení ve smyslu kontrolovaného zapnutí.

3.6 Sporák s troubou

Jedná se o klasickou sklokeramickou desku se 4 nezávislými plotýnkami s jednotlivými příkony uvedenými v tabulce 3.2.

Spolu se sporákem je na stejný třífázový jistič připojena také trouba o štítkovém příkonu 3500 W. Sporák s troubou je zde zmíněn z důvodu význačného celkového příkonu (okamžitý špičkový příkon může činit až kolem 10 kW) a také z důvodu relativně nahodilého spínání daných spotřebičů. V rámci bakalářské práce byl třífázový jistič osazen snímačem pro rozlišení sepnutí jednotlivých plotýnek a trouby.

Plotýnka [#]	1	2	3	3
Příkon [W]	1200	2000	1200	750/2200

Tabulka 3.2: Příkony jednotlivých plotýnek

3.7 Bazénová filtrace

Oběh vody v systému bazénové filtrace zajišťuje oběhové čerpadlo se štítkovým příkonem 650 W (výrobce: Badu, typ: Magic 8, průtok: 8 m³/h). Jistič čerpadla je umístěn v elektroinstalační krabici ve stejné technické místnosti jako čerpadlo. V daném prostoru je na zdi také umístěn spínací kontakt ohřevu bazénové vody pomocí tepelného čerpadla. Ohřev je prováděn skrze tepelný výměník Bowman EC120. Výměníkem protéká profiltrovaná voda zpět do bazénu. Výměník je zahříván natopenou vodou, která byla ohřátá pomocí tepelného čerpadla. Na výstupu tepelného výměníku je umístěno teplotní čidlo.

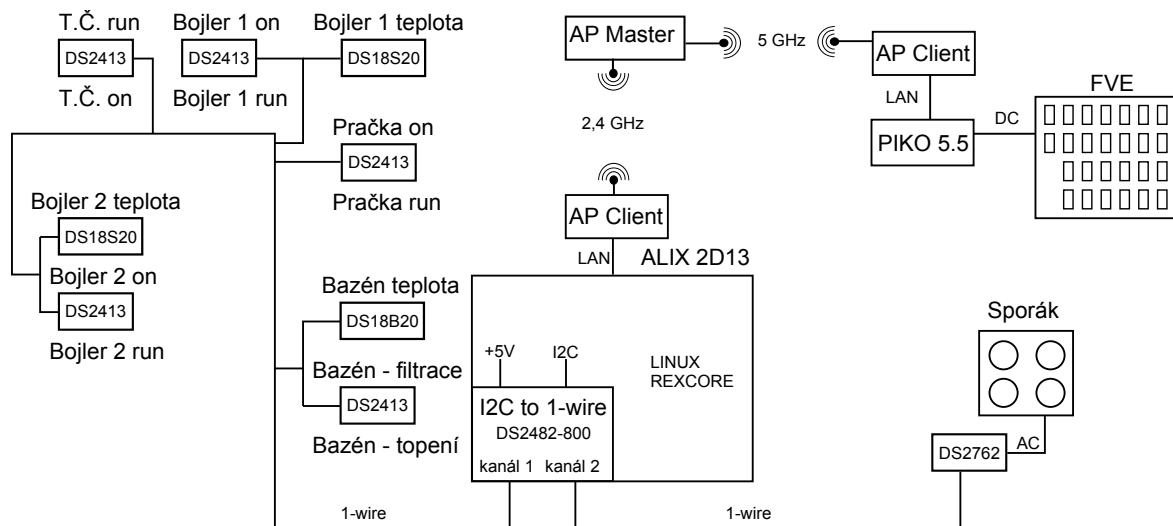
3.8 Ostatní spotřebiče

Tak jako každý jiný rodinný dům je i tento dům vybaven dalšími spotřebiči (myčka, rádio, televizor, počítač, osvětlení, mrazák, lednice) různých příkonů a intervalů sepnutí. Řízení a monitoring těchto dalších spotřebičů není v rámci bakalářské práce řešen. Jejich příkon je však do řídicího programu zanesen jako malý stálý konstantní příkon tak, aby došlo k automatickému sepnutí ostatních spotřebičů v době, kdy je výkon vyráběné energie opravdu velký a nedocházelo k nadbytečnému nákupu elektrické energie od distribuční společnosti.

4 Použitý hardware

V této kapitole je uveden popis všech použitých zařízení a modulů, ze kterých se skládá tento řídicí systém. Část zařízení je komerčně dostupná (ALIX [2], AP klienti), část modulů je převzata a upravena (DS2482-800, DS2413) od jejího navrhovatele Martina Hulíka, jenž je navrhl a odzkoušel v rámci své bakalářské práce [10] a zbývající část modulů byla navržena, zkonstruována a odzkoušena (DS2762, čidlo sepnutí) pro potřeby řídicího systému. Veškeré moduly (desky plošných spojů s náležitými součástkami), které jsou začleněny v řídicím systému, byly v rámci bakalářské práce vlastnoručně zkonstruovány a jsou v domě instalovány natrvalo (do další případné změny systému). Schéma hardwaru řídicího systému je zobrazeno na obrázku 4.1.

Z obrázku je vidět propojení daných částí systému, způsob jejich propojení a také jednotlivé funkce daných modulů. Položky s popisem 'on' označují možnost sledovat stav (zapnutí/vypnutí) daného spotřebiče. Položky s popisem 'run' označují možnost tyto dané spotřebiče spínat řídicím systémem. Modul s označením DS2762 používán pro sledování stavu sporáku umožňuje sledovat zapnutí jednotlivých plotýnek a trouby a tím zjistit celkový aktuální příkon. Označení modulů začínající písmeny DS představují 1-Wire součástky (zařízení) vyráběné firmou Maxim [1].



Obrázek 4.1: Schéma zapojení hardwaru řídicího systému

4.1 AP klienti

Jedná se o dvě standardní různá AP zařízení, která se běžně používají pro bezdrátové spojení počítačových LAN sítí. První zařízení pracující na frekvenci 5 GHz je WISP Station5 [11] od firmy Ubiquiti Networks. Toto AP je připojeno k původní bezdrátové síti instalované v domě a je označeno na schématu jako AP master. Slouží jako spojovací článek mezi webovým serverem invertoru a lokální bezdrátovou sítí, ke které je následně pomocí druhého 'no name' AP připojen řídicí počítač ALIX.

4.2 ALIX



Obrázek 4.2: Fotografie počítače ALIX

'Mozkem' řídicího systému (spolu s řídicím programem REX [3]) je mini počítač (systémová deska) ALIX [2]. Jedná se o desku s 500 MHz procesorem AMD Geode, 256 MB RAM a výsuvnou Compact Flash kartou jako úložiště. Pro potřeby řídicího programu je

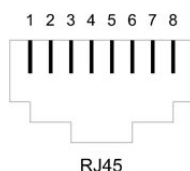
Samotná deska převodníku disponuje čtyřmi female konektory RJ45, které slouží k připojení čtyř kanálů 1-Wire sběrnice. Celkem je možno připojit až osm kanálů sběrnice 1-Wire, z nichž čtyři jsou vyvedeny na piny na desce. Díky návrhu a použití konektoru RJ45 je celkem použito sedm vodičů v konektoru, jejich zapojení a vlastnosti jsou vidět z obrázku 4.4.

1	2	3	4	5	6	7	8
White Green	Green	White Orange	Blue	White Blue	Orange	White Brown	Brown
Power Return GND	+5v DC Regulated +5v	Power Return GND	1-Wire Data DQ	1-Wire Return GND	Not Connected	+12v to +24v Unregulated	Power Return GND

RJ45

Obrázek 4.4: Přehled zapojení konektoru RJ45 na převodníku

Číslování zapojení jednotlivých vývodů na female konektoru je podle obrázku 4.5. Tento způsob číslování a obrázky jsou převzaty z internetového portálu Hobby Boards [13], který se zabývá výrobou a prodejem jednoúčelových desek plošných spojů s podporou sběrnice 1-Wire. Deska převodníku je s počítačem ALIX spojena dvěma kabely se třemi, respektive dvěma vodiči. Jedná se o připojení I²C sběrnice a napájení.

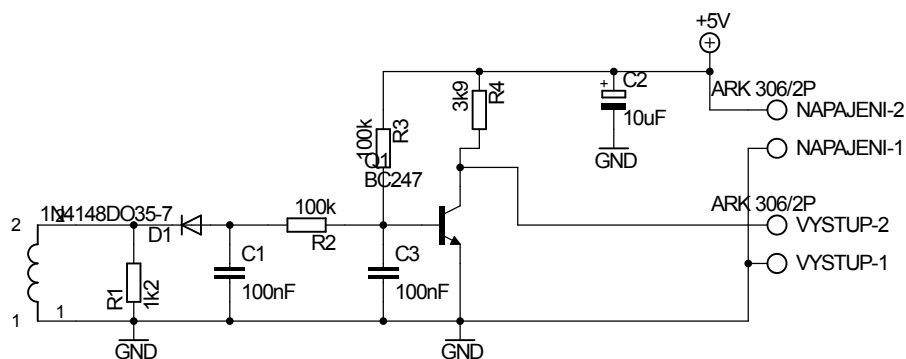


Obrázek 4.5: Přehled číslování na female konektoru RJ45

4.4 Snímač stavu spotřebiče

Z nutnosti znát stav daného spotřebiče (zapnut/vypnut) vyvstala otázka, jak tento problém řešit. Řešení uvedené v této práci je inspirováno volně dostupnými a komerčně prodávanými proudovými relé. Na rozdíl od komerčně prodávaných proudových relé je toto řešení značně levnější (desítky korun oproti jednotkám až desítkám stovek korun) a i přes značně jednodušší funkci je plně dostačující pro potřeby řídicího systému. Schéma zapojení je na obrázku 4.6.

Hlavním prvkem tohoto zapojení je proudový transformátor AC1010 [15] od společnosti Amveco Magnetics, Inc. Tímto transformátorem je provlečen silový vodič, který napájí daný spotřebič. V případě, kdy provlečeným vodičem prochází proud, je na rezistoru R1 indukováno střídavé napětí, které je usměrněno diodou D1 a vyfiltrováno kondenzátorem C1. Přes odpor R2 se pak toto záporné napětí dostane na bázi tranzistoru Q1, čímž dojde k jeho uzavření. V případě uzavřeného tranzistoru Q1 se na jeho kolektoru objeví



Obrázek 4.6: Schéma zapojení snímače stavu spotřebiče

napájecí napětí +5 V vůči zemi (emitoru tranzistoru), tedy logická 1, která je snímána připojeným modulem DS2413. V případě, kdy je tranzistor Q1 otevřen (provlečeným vodičem neprochází žádný nebo minimální proud), naměříme na kolektoru tranzistoru napětí o velikosti 70 mV, které je snímačem DS2413 vyhodnoceno jako logická 0. Snímač je napájen 5 V, které jsou přivedeny z modulu DS2413, který je s tímto snímačem spojen. Zároveň jsou také přivedeny logický vstup daného modulu a společná zem. Spojení je tedy provedeno třemi kabely.

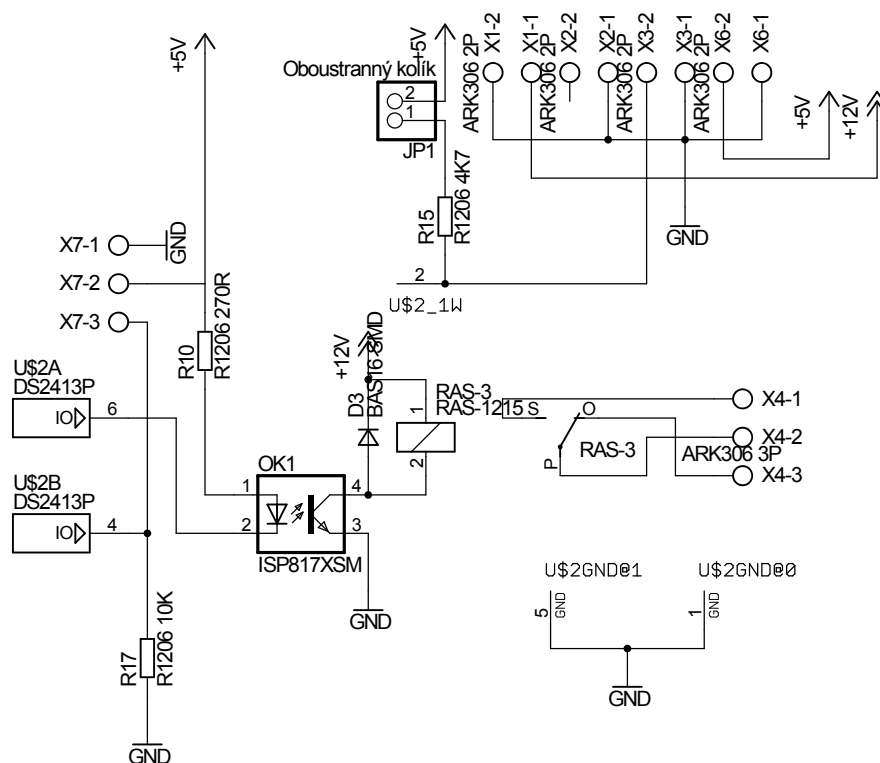
Snímač je schopen sepnout již od procházejícího proudu 2 A a to v případě, že silový drát není okem proudového transformátoru pouze provléknut, ale jsou na něm udělány 3 závitů. Napětí na kolektoru tranzistoru je v té době okolo 3,8 V, což je logickým vstupem DS2413 vyhodnoceno jako logická 1. V této konfiguraci je snímač umístěn u pračky. U ostatních spotřebičů (bojler 1, bojler 2 a tepelné čerpadlo) jsou silové vodiče pouze provlečeny okem transformátoru, neboť u nich je protékající proud značně vyšší (okolo 9 A).

4.5 DS2413 s 1 vstupem a 1 výstupem

Tento modul slouží jak ke spínání jednotlivých spotřebičů, tak je k němu také připojen již výše popsany snímač stavu. Modul vychází z modulu, jež navrhl Martin Hulík v jeho zmíněné bakalářské práci [10]. Jeho modul byl upraven tím způsobem, že místo signalizační diody a vstupního tlačítka byl umístěn na vstup 1-Wire součástky DS2413 PIO.B právě výše popsany snímač. Touto modifikací je možné snímat stav daného spotřebiče a druhým logickým výstupem zapojeným na spínací relé daný spotřebič spínat. Schéma daného modulu je na obrázku 4.7

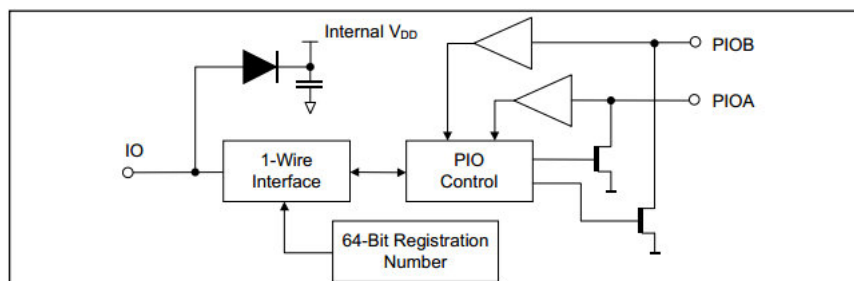
Základem těchto modulů je již zmíněný obvod DS2413 [16] vyráběná firmou MAXIM [1]. Jedná se o dvoukanalový adresovatelný programově volitelný vstupně výstupní obvod podporující komunikaci skrze sběrnici 1-Wire. Velmi důležitou vlastností většiny 1-Wire součástek vyráběných firmou Maxim [1] je možnost adresovat jednotlivé obvody zapojené na společné sběrnici. Každý obvod má svoji garantovanou jedinečnou 64-bitovou adresu usnadňující komunikaci přes sběrnici 1-Wire.

Jeden ze dvou vstupně/výstupních portů obvodu je využit jako výstup a je přiveden na katodu diody optočlenu OK1. Anoda diody optočlenu je přes rezistor R10 napájena napětím +5 V. Výstup má ve stavu logické nuly (tranzistor uvnitř DS2413, jehož drain je výstupem, je uzavřen) katalogový odpor 1 MΩ, proud tekoucí skrze diodu optočlenu je tedy zanedbatelný. Ve stavu logické 1 má drain tranzistoru odpor vůči zemi 20 Ω. Tím se proud tekoucí skrze diodu optočlenu zvýší, dioda se rozsvítí, tranzistor na výstupní straně optočlenu se otevře a na něj zapojené 12V relé sepne. Tímto principem dochází ke spínání



Obrázek 4.7: Schéma zapojení modulu DS2413 s 1 vstupem a 1 výstupem

jednotlivých spotřebičů.

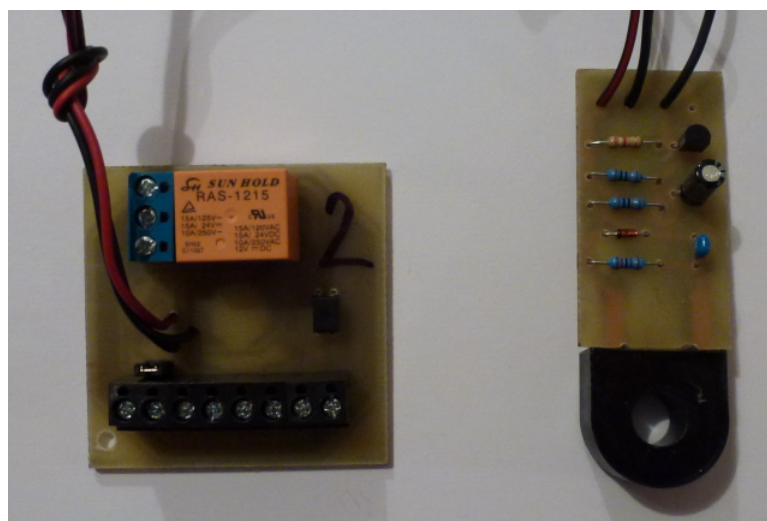


Obrázek 4.8: Blokový diagram obvodu DS2413

Druhý ze vstupně/výstupních portů je zapojen a používán jako logický vstup, na nějž je připojený výše popsaný spínač. Logická 1 odpovídá zapnutému spotřebiči (protékající proud skrze proudové relé je vyšší než hraniční hodnota 2 A při konfiguraci tří závitů), naproti tomu logická 0 odpovídá spotřebiči vypnutému.

Obvod nemusí být nijak externě napájen. Je napájen parazitně z 1-Wire sběrnice. Součástí zapojení je také pull up rezistor R15, který zvedá datovou sběrnici 1-Wire na hodnotu 5 V. Tento pull up rezistor není nutné zapojovat do obvodu při krátkých vzdálenostech kabelů (tedy relativně malé impedanci sběrnice) a není jej také nutné zapojovat z toho důvodu, že obvod DS2408-800, který je 1-Wire master s funkcí 'active pull up', kdy obvod monitoruje náběžnou hranu sběrnice a pokud je rezistivní náběh příliš pomalý, vypomůže a sběrnici vytáhne do hodnoty 5 V aktivně. Blokové schéma obvodu DS2413 je pro ilustraci uvedeno na obrázku 4.8.

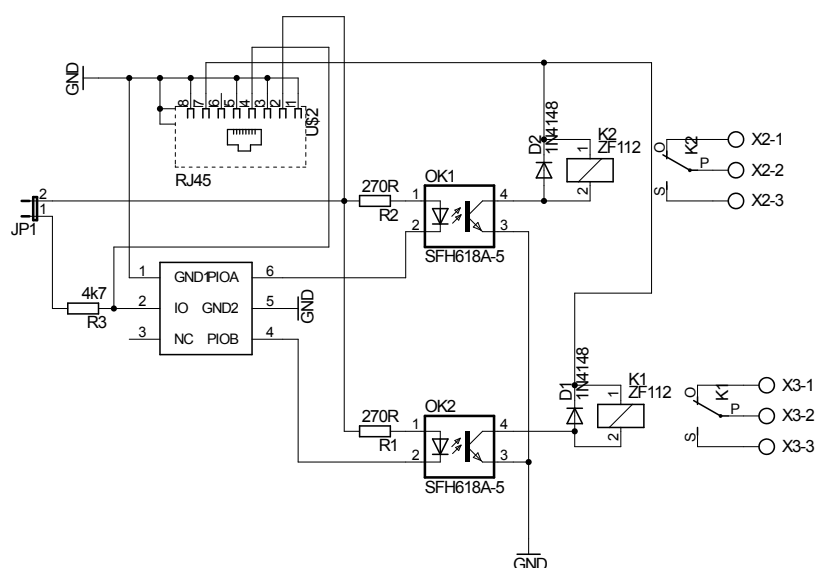
Obvod je vyráběn v pouzdře TSOC a je připájen na spodní straně desky plošných spojů spolu s ostatními SMD součástkami. Postavený modul spolu s připojeným snímačem,



Obrázek 4.9: Fotografie modulu DS2413 s připojeným snímačem

který je umístěn u jednotlivých spotřebičů, je vidět na obrázku 4.9. Řada konektorů viditelných na fotografii slouží k připojení kabelu sběrnice 1-Wire spolu s napájením +5 V a +12 V.

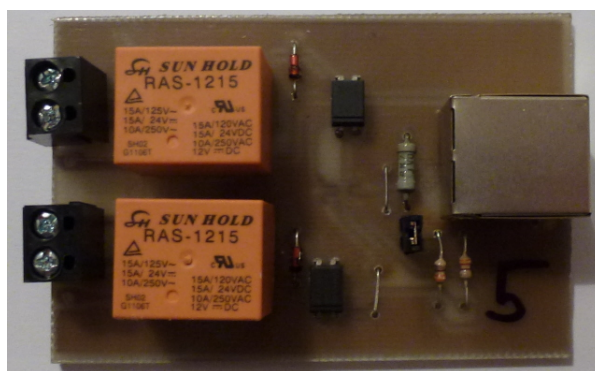
4.6 DS2413 se 2 výstupy



Obrázek 4.10: Schéma modulu DS2413 se 2 výstupy

Modul DS2413 se 2 výstupy byl navržen modifikací modulu DS2413 s 1 vstupem a 1 výstupem. Modifikace zmíněného modulu byla nutností z důvodu požadavku na nezávislé spínání dvou spotřebičů na jednom místě. Konkrétně je umístěn u čerpadla bazénové filtrace a slouží ke spínání čerpadla a ohřevu vody v bazénu tepelným čerpadlem. Ohřev vody v bazénu je spínán kontaktem umístěným právě v blízkosti čerpadla. Schéma modulu je vidět na obrázku 4.10.

Funkce spínání je totožná s modulem DS2413 s 1 vstupem a 1 výstupem s tím rozdílem, že nyní jsou oba vstupně/výstupní porty obvodu DS2413 zapojeny jako výstupní. Deska modulu tedy obsahuje dvě spínatelná 12 V relé, kterými je možné nezávisle spínat zmíněné čerpadlo a ohřev bazénové vody.



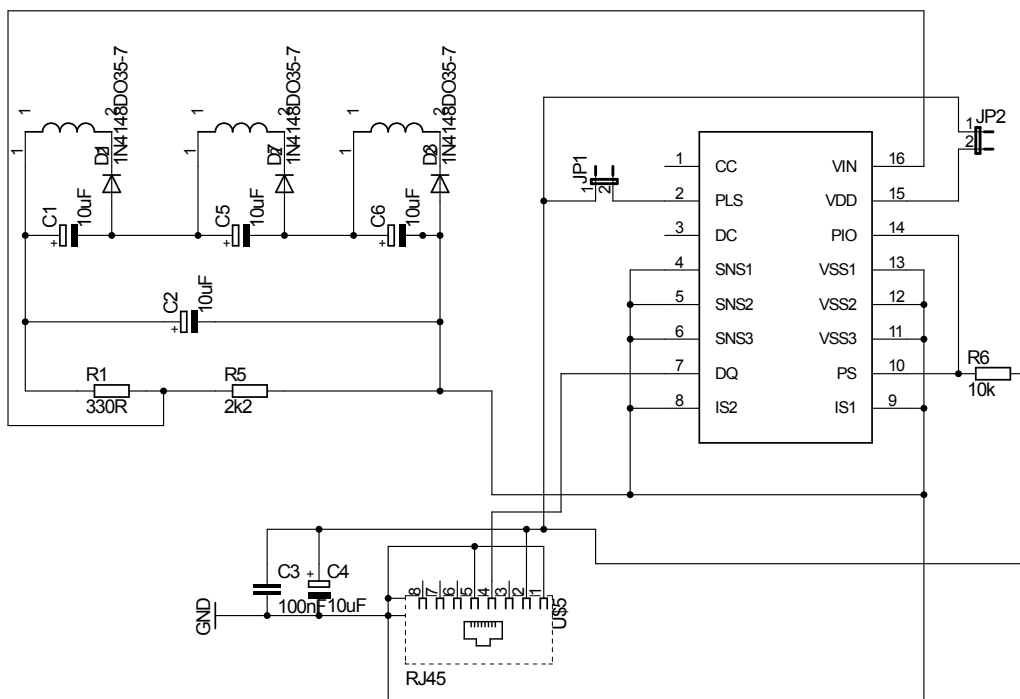
Obrázek 4.11: Fotografie modulu DS2413 se 2 výstupy

Fotografie postaveného modulu je na obrázku 4.11. Modul je osazen female konektorem RJ45 do desky plošných spojů, na rozdíl od modulu DS2413 s 1 vstupem a 1 výstupem, který je osazen šroubovacími konektory. Osazení konektorem zjednodušuje a zrychluje připojení kabeláže k modulu a také případnou výměnu modulu. Do budoucna při případné změně (upgradu) modulů bude preferováno použití konektoru RJ45.

4.7 DS2706

Tento modul s obvodem DS2706 [17] od firmy Maxim IC je použitím proudového transformátoru podobný modulu snímače stavu. Slouží k rozlišení sepnutého stavu jednotlivých plotýnek a byl navržen a zkonstruován z důvodu potřeby znalosti aktuálního příkonu sporáku a trouby. Během vaření a pečení dochází k nesystematickému spínání jednotlivých plotýnek a trouby na různě dlouhé doby a v různé denní doby. Nutný dodávaný výkon je rozličný v čase a vcelku značný (viz tabulka v části 3.2). Z tohoto důvodu byl navržen modul DS2706, který je schopen protékající proud skrze tři fáze přeměnit na hodnotu napětí, kterému je následně softwarově přidělena hodnota příkonu spuštěných plotýnek a trouby. Schéma zapojení modulu je zobrazeno na obrázku 4.12. Návrh schématu byl volně inspirován jiným zapojením pH to 1-Wire převodníkem, jež také tento obvod využívá a je možné jej najít zde [18].

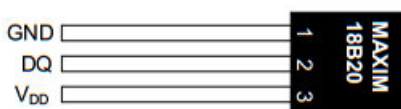
Obvod DS2762 [17] je původně firmou Maxim navržen jako obvod pro hlídání hodnoty napětí, nabíjecího proudu, vybíjecího proudu a zbývající kapacity lithium-ion polymerových baterií a je také schopen sám řídit nabíjení/vybíjení těchto baterií. V rámci bakalářské práce je použita ta vlastnost obvodu, kdy je schopen měřit velikost napětí na svém vstupu VIN vůči zemi VSS v rozmezí 0 V až 4,75 V s rozlišením 4,88 mV. Obvod ukládá hodnotu napětí do dvou komplementárních bytů každé 3,4 ms. Základním prvkem modulu mimo tuto schopnost obvodu jsou tři proudová relé AC1010 [15], skrz která jsou provlečeny tři fáze, které napájejí sporák a troubu. Napětí indukované pomocí proudových transformátorů je usměrněno a sečteno přes úbytky na rezistorech R2, R3, R5. Toto napětí je vyfiltrováno a promítnuto na rezistor R1. Obvod se třemi usměrňovacími diodami a kondenzátorem C1 se v obvodu chová jako další zdroj napětí o hodnotě 2,1 V a je zde umístěn z důvodu umělého navýšení nulové hladiny napětí z nuly na zmíněných 2,1 V. Toto navýšení bylo původně zamýšleno, protože z technické dokumentace nebylo přímo



Obrázek 4.13: Schéma upraveného modulu DS2762

4.8 DS18S20 a DS18B20

Jedná se o teplotní čidla s vlastní jedinečnou 64-bit adresou a schopností komunikace přes 1-Wire sběrnici. Čidla mají téměř stejné vlastnosti a liší se pouze ve schopnosti snímaného rozlišení teploty. DS18S20 [19] má podle katalogového listu 9-bitové rozlišení s 750 ms (max) dobou A/D převodu teploty a DS18B20 [20] má programově volitelné rozlišení 9, 10, 11 a 12 bitů s dobou převodu (max) 93.75, 187.5, 375 a 750 ms. Oba snímače teploty mají přesnost 0,5 °C v rozmezí -10 až +85 °C. Snímače jsou vyrobeny v tranzistorovém pouzdru T0-92, popis jeho vývodů je vidět na obrázku 4.14.



Obrázek 4.14: Popis vývodů čidla teploty DS18B20 a DS18S20

Zapojení vývodů je stejné pro oba typy teplotních čidel. GND představuje společnou zem, DQ datový vodič sběrnice 1-Wire a VDD napájení. K externímu napájení čidla může být použito napětí v rozmezí 3 V až 5,5 V. Obě čidla mohou také být napájena parazitně, kdy si energii potřebnou ke své činnosti berou přímo z datové sběrnice a ukládají si ji na vnitřní kapacitu. V případě použití čidel v parazitním režimu je nutné vývod VDD spojit se zemí GND a je nutné dodržet specifické požadavky na časování komunikace a použití 'strong pullup', tyto požadavky jsou popsány v [19], [20].

Vzhledem k tomu, že se jedná o obvod v klasickém tranzistorovém pouzdrě, který ke svému chodu nevyžaduje další periferní součástky, je možné jej zasunout do 3-pinového počítačového konektoru, který je napojen na konec datového konektoru. Tím je možné teplotní čidlo jednoduše zapojit a následně popřípadě vyměnit.

4.9 Adresy použitých 1-Wire obvodů

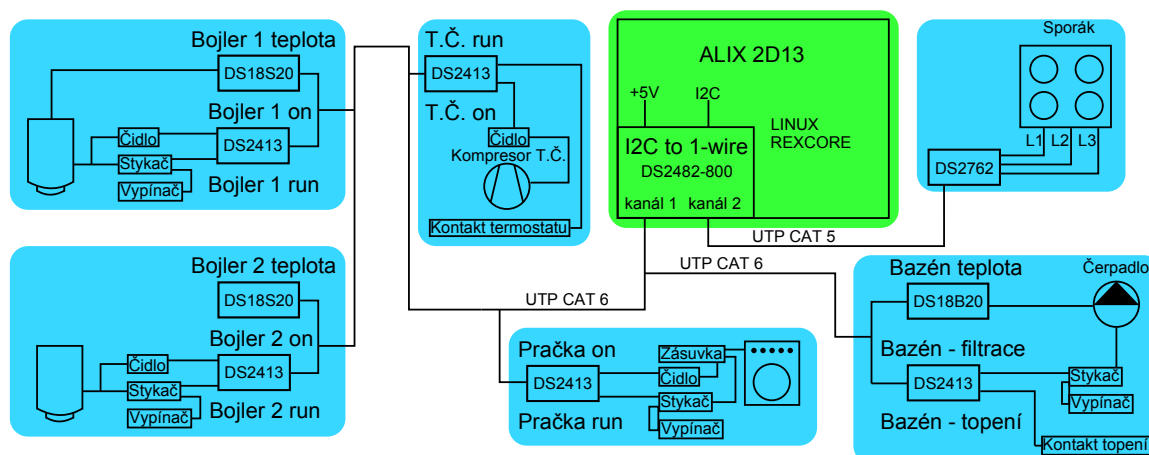
Jak již bylo zmíněno, většina z 1-Wire obvodů vyráběných firmou Maxim [1] má svoji jedinečnou 64 bitovou adresu. Prvních 8 bitů představuje rodinný kód daného obvodu a slouží k identifikaci účelu daného obvodu, následujících 48 bitů je vlastní jedinečná adresa konkrétního obvodu a poslední 8 bitů je kontrolní součet CRC, který slouží k ověření správnosti komunikace. V tabulce 4.1 je uveden úplný seznam všech adres jednotlivých obvodů a jejich umístění v domě.

#	Adresa	Typ	Umístění
1	3A.56CD08000000	input/output	pračka
2	3A.EACD08000000	input/output	bojler 1
3	3A.AD0109000000	input/output	bojler 2
4	3A.94840C000000	input/output	tepelné čerpadlo
5	3A.8DDC08000000	2 x output	bazén
6	30.36F3B2120000	A/D převodník	sporák
7	10.E4A594020800	teplotní čidlo	bojler1
8	10.A7B394020800	teplotní čidlo	bojler2
9	28.5FFADE030000	teplotní čidlo	bazén

Tabulka 4.1: Adresy, typ a umístění jednotlivých 1-Wire obvodů

5 Zapojení modulů a čidel

V této kapitole bude představeno fyzické propojení jednotlivých modulů, zapojení jednotlivých spínacích prvků a umístění čidel systému. Souhrnné zapojení je vidět na obrázku 5.1.

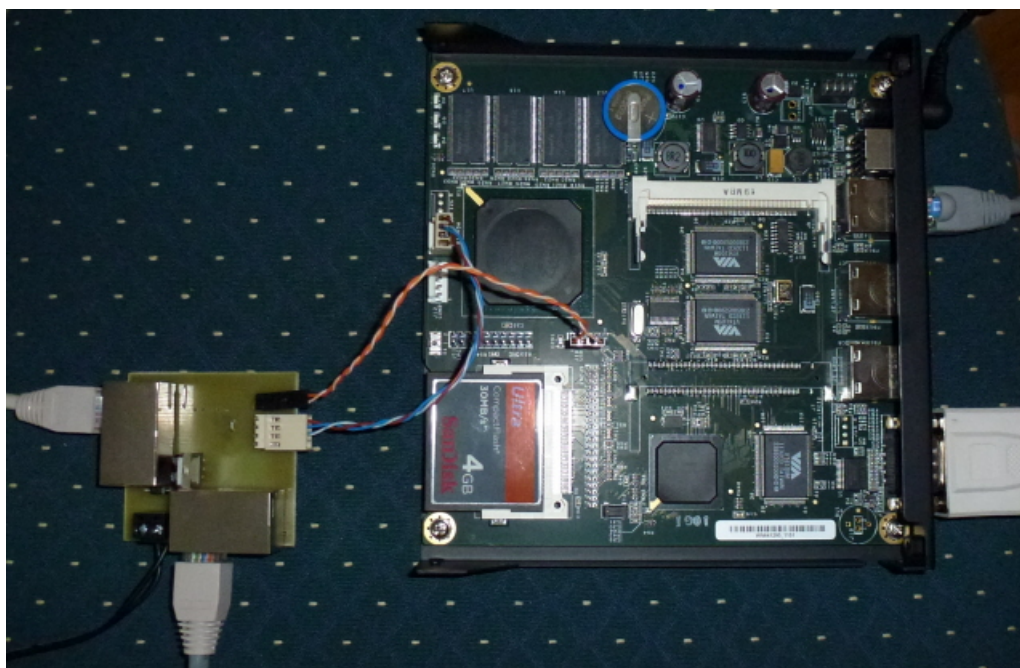


Obrázek 5.1: Blokové schéma zapojení jednotlivých modulů

5.1 Sběrnice 1-Wire spolu s +5 V a +12 V

Samotná datová komunikace probíhá pomocí již zmíněné sériové sběrnice 1-Wire. Sběrnice je i přes zavádějící název dvou vodičová, jedním vodičem je vedena zem a druhým je veden datový kanál sběrnice. Základem každé 1-Wire sběrnice je tzv. 1-Wire master (v případě instalovaného řídicího systému je tímto masterem obvod DS2482-800), který řídí veškerou komunikaci na sběrnici. Master komunikuje s tzv. slave zařízeními, tedy 1-Wire obvody. Jednotlivé obvody jsou všechny připojeny na společnou zem a paralelně k datovému vodiči. Master do sběrnice neposílá data, ale příkazy jednotlivým (nebo všem připojeným) 1-Wire obvodům, které se podle druhu příkazu náležitě zachovají. Standardní rychlost komunikace je 16kbit/s, ale je zde také možnost použít komunikaci ve formě overdrive, kdy je rychlost 125kbit/s, doporučuje se však pouze na krátká, ničím nerušená spojení. Bližší popis sběrnice 1-Wire a možností komunikace je možno nalézt zde [1], [21].

Propojení mastera (DS2482-800) s jednotlivými slave zařízeními (1-Wire obvody) je provedeno klasickým UTP kabelem v provedení CAT 5 a CAT 6. Tento datový kabel obsahuje čtyři páry kroucených vodičů. Zapojení jednotlivých vodičů již bylo ilustrováno na obrázku 4.4. Napájení + 5 V, které je kabelem také vedeno, je bráno z USB konektoru vyvedeného na piny [12] na desce minipočítače ALIX. Toto napájení slouží k napájení sběrnice a jednotlivých 1-Wire obvodů. Dále pak je datovým kabelem vedeno napětí + 12 V pro napájení akčních členů ve formě 12 V relé. Propojení modulu DS2482-800 s mini počítačem ALIX je vidět na obrázku 5.2.



Obrázek 5.2: Fotografie propojení DS2482-800 s ALIXem

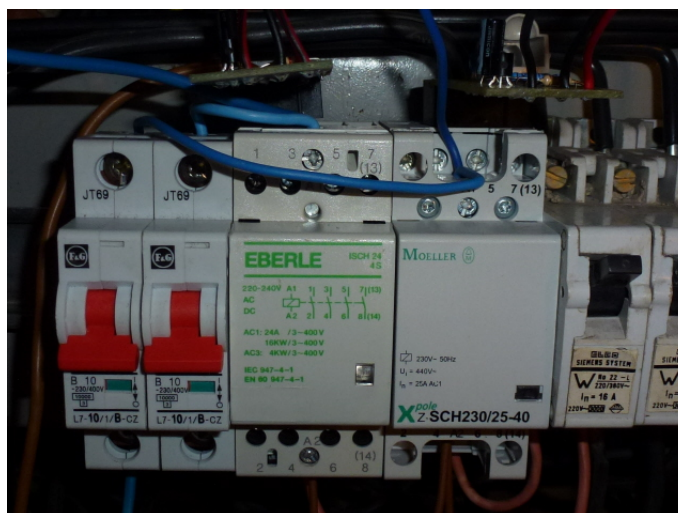
Topologie rozvedené sítě je lineární s odbočkami do 5 metrů. Tento druh topologie je doporučován samotným výrobcem [22]. V případě delších odboček od hlavní linky sítě je doporučováno umístit na koncový obvod pull up rezistor odpovídající hodnoty (podle koncového 1-Wire obvodu - obvykle 4k7). V případě takto krátkých odboček není pull up rezistor nutností, zvláště když je master (DS2482-800) vybaven funkcí active pull up (obvod monitoruje sběrnici a v případě pomalého rezistorového náběhu hrany je schopen jí aktivně dopomoci). I přesto jsou všechny koncové obvody pull up rezistorem vybaveny z důvodu zlepšení impedančních vlastností sběrnice a tím menší náchylnosti na rušení.

Propojení jednotlivých modulů je provedeno buď pomocí nakrimpovaného konektoru RJ45, je-li k dispozici na desce modulu female RJ45 konektor, nebo pomocí šroubovacích svorek umístěných na desce plošných spojů. Spojení odboček a jednotlivých částí kabeláže bylo v počátcích provedeno pomocí svorkovnice ('čokolády'), ale vzhledem k malému průměru jednotlivých vodičů uvnitř kabelu, velikosti svorkovnice a podezření na rozpojení části sítě byly svorkovnice nahrazeny pájeným spojením. Nevýhodou tohoto spojení je nemožnost jej nedestruktivně rozpojit, výhodou je jistota spojení. Do budoucna je plánováno propojení odboček a částí kabeláže pomocí RJ45 rozdvojek, které mají výhodou rychlosti zapojení, snadné manipulace, nevýhodou však může být nutnost krimpovat jednotlivé konektory a vyšší pořizovací cena rozdvojek.

5.2 Tepelné čerpadlo

U čerpadla je zapojen (pomocí kabelu UTP CAT 6) modul DS2413 s 1 vstupem a 1 výstupem. Čidlo modulu je provlečeno jednou ze tří fází, na které je připojen kompresor tepelného čerpadla. Provlečení je provedeno v malé elektroinstalační krabici obsahující pouze třífázový jistič tepelného čerpadla a spínač HDO, vzhledem k relativně malé velikosti snímače je instalační krabička zavřena a přívodní vodiče prostrčeny skrze mezeru mezi částmi krabičky. Spínací relé je připojeno paralelně ke spínacím kontaktům prostorového termostatu. Toto zapojení má výhodu v tom, že spínací prvek řídicího systému je včleněn do instalace navíc a tím je možné se v případě výpadku či poruchy řídicího systému vrátit k předešlému způsobu spínání. Tato funkce je použita v celé instalaci řídicího systému a je vnímána jako jedna z výhod.

5.3 Bojlery



Obrázek 5.3: Zapojení snímačů spolu se stykači a paralelními vypínači

Osazení bojlerů modulem DS2413 s 1 vstupem, 1 výstupem a teplotním čidlem je u obou bojlerů naprosto identické. Díky tomu, že se jističe pro oba bojlerly nacházejí v jedné místnosti ve stejné elektroinstalační skříni, bylo možné instalované stykače a vypínače umístit k sobě do jednoho prostoru na DIN lištu. Tak jako u ostatních modulů jsou výstupy 12 V relé použity pouze ke spínání stykačů, jež pak slouží ke spínání výkonových

spotřebičů. Na obrázku 5.3 je vidět zapojení právě dvou snímačů pro oba bojleru, místo jednofázových stykačů jsou zde použity stykače třífázové (v danou dobu k dispozici), kterými je spínána pouze jedna zapojená fáze bojleru. Dva červené jističe na obrázku 5.3 jsou použity jako vypínače paralelně zapojené ke stykačům a zajišťují možnost ručně sepnout dané spotřebiče pomocí stykače.



Obrázek 5.4: Detail zapojení teplotního čidla do bojleru

Teplotní čidla jsou zasunuta do izolace bojleru namísto původních teplotních ukazatelů. Pro co nejlepší převod tepla z kovového pláště bojleru do čidla je prostor otvoru v izolaci bojleru a samotné čidlo vymazáno teplovodivou pastou s tepelnou vodivostí $0,4 \text{ W /m.K}$. Samotné teplotní čidlo je zasunuto do 3 pinového konektoru umístěného na konci datového UTP CAT 5 kabelu. Čidlo spolu s kabelem je prostrčeno skrze polystyrenový izolační kužel, který je poté celý spolu s čidlem natlačen do otvoru izolace bojleru tak, aby byl zajištěn dobrý styk teplotního čidla s kovovou stěnou bojleru. Detail zapojení teplotní čidla do otvoru izolace bojleru je vidět na obrázku 5.4.

5.4 Pračka



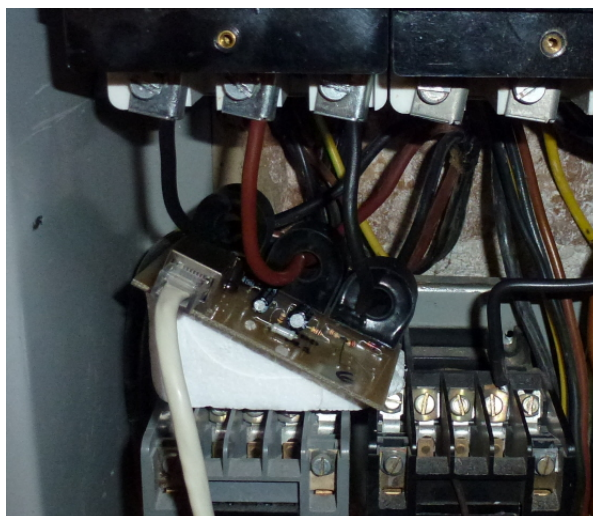
Obrázek 5.5: Zapojení modulu DS2413 s novou zásuvkou u pračky

Vzhledem k tomu, že je pračka zapojena do společného zásuvkového okruhu, nebylo možné ke spínání využít její připojení v elektroinstalační krabici. Z tohoto důvodu byla

v místě napojení pračky do zásuvky vytvořena nová programově spínatelná zásuvka (zapojena do původní zásuvky pračky) do níž je pračka nově zapojena. U pračky je umístěn modul DS2413 s 1 vstupem a 1 výstupem. Čidlo stavu spotřebiče je použito na celou nově vytvořenou zásuvku. Oproti ostatním použitím tohoto čidla u ostatních spotřebičů s větším odběrem jsou u pračky místo pouhého průvleku fázového vodiče udělány tři závitky. Spínání dané zásuvky je provedeno pomocí stykače. Použití stykače ke spínání koncového spotřebiče namísto 12 V relé je z důvodu bezpečnosti, zároveň také prodlužuje životnost relé a zvyšuje možnou proudovou zatížitelnost spínanými spotřebiči. Skrze programově ovladatelné relé tedy teče pouze proud tekoucí skrz spínací cívku stykače. Paralelně k spínacím kontaktům relé je zapojen vypínač (kvůli jednoduchému umístění na DIN lištu je jako vypínač použit jednofázový jistič), kterým je možné pračku 'natvrdo' sepnout. Tato schopnost usnadňuje ovládání v době odpojení či výpadku řídicího systému. Fotografie zapojení výše popsaného je na obrázku 5.5.

5.5 Sporák s troubou

V elektroinstalační krabici umístěné na patře, kde je sporák s troubou, je instalován modul DS2762. Třemi proudovými relé modulu jsou provlečeny pod třífázovým jističem fáze daných spotřebičů. Spodní strana desky plošných spojů modulu je izolována od okolí polystyrenovým špalíčkem. Kabel (UTP CAT 5) vedoucí k modulu je provlečen vyvrtnou dírou v instalační krabici a dále veden podél schodiště o patro níž, kde je umístěn převodník spolu s ALIXem. Fotografie zapojení modulu je na obrázku 5.6.



Obrázek 5.6: Zapojení modulu DS2762 v instalační krabici

5.6 Bazénová filtrace

U bazénového čerpadla v technické místnosti je umístěn jediný modul se dvěma 12 V relé spolu s teplotním čidlem, jež snímá teplotu vody proudící výměníkem. Modul DS2413 se dvěma výstupy je uchycen na vodovodní odpadní rouře, jež vede pod instalační skříň, ve které je jistič pro motor čerpadla. Jedno z relé je napojeno na stykač, který slouží k vlastnímu spínání oběhového čerpadla, stejně jako ve všech ostatních případech je i zde zapojen vypínač (znovu použit stykač pro jednoduché umístění na DIN lištu) napojený

na stykač, jež jej může trvale sepnout. Tato možnost je u čerpadla zejména vhodná nejen při možné poruše či odstávce řízení, ale například při nutnosti manuálně sepnout oběhové čerpadlo při praní pískového filtru. Druhé relé je připojeno k spínacímu kontaktu ohřevu vody v bazénu, který je umístěn na stěně nad čerpadlem. I tento kontakt je vybaven paralelním vypínačem k manuálnímu sepnutí ohřevu vody v bazénu.



Obrázek 5.7: Detail zapojení čidla ve výměníku ohřevu

Teplotní čidlo je zapojeno do 3-pinového počítačového konektoru, jež je uchycen k síťovému kabelu. Čidlo je umístěno v otvoru pro teplotní čidlo výměníku. Pro co nejlepší převod tepla ze dna otvoru je čidlo samotné i dno otvoru namazáno teplovodivou pastou s tepelnou vodivostí $0,4\text{W/m.K}$. Kabel s teplotním čidlem na konci je natlačen do zmíněného otvoru a dobře utěsněn tkaninou tak, aby se zamezilo případnému ovlivnění vnějšími vlivy a čidlo uvnitř otvoru drželo ve správné poloze (na dně otvoru). Fotografie detailu umístění čidla je na obrázku 5.7.

6 Software

Stejně tak, jako je rozdělena do několika částí fyzická část řídicího systému, daných rozdělením fyzického umístění modulů, je i softwarová část řídicího systému rozdělena do několika ucelených bloků s danou funkcí. Funkce a popisy jednotlivých bloků jsou předmětem této kapitoly. Je zde také popsáno základní softwarové vybavení bez něhož by nebylo možné tento řídicí systém zprovoznit a který byl během vypracování bakalářské práce použit.

6.1 PuTTY

Jedná se o softwarový nástroj používaný pro práci se vzdálenými počítači. PuTTY je telnet a SSH 1,2 klient běžící na platformě Windows umožňující pracovat se vzdáleným počítačem připojeným skrze sériovou linku či TCP protokol. Během zpracovávání bakalářské práce byl klient používán k vzdálené práci na minipočítači ALIX, hlavně pak

zickou sběrnici a programem OWFS. Při startu a inicializaci operačního systému je také inicializován OWserver a OWFS program. Inicializace je provedena pomocí následujících dvou příkazů:

```
owserver -p 3000 -d /dev/i2c-0  
owfs -s 3000 /owfs
```

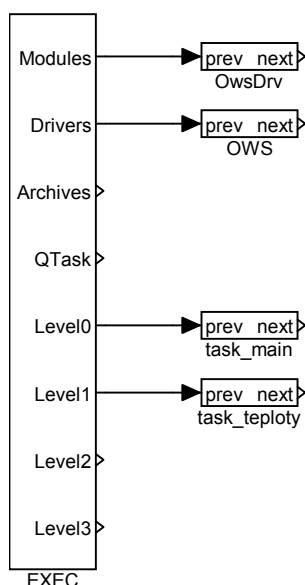
První příkaz má za následek aktivování OWserveru na lokálním portu 3000 a připojení fyzické 1-Wire sběrnice dostupné na zařízení I²C sběrnice. Druhým příkazem je spuštěn program OWFS vytvářející adresářovou strukturu a je také připojen na daný server. Adresářová struktura je vytvořena pod složkou /owfs.

6.3 REX

REX [3] je řídicí program vyvíjený společností REX Controls s.r.o. REX je multiplatformní řídicí systém, jež umožňuje návrh a realizaci komplexních algoritmů automatického řízení. Skládá se z několika částí (RexDraw, RexComp, RexCore, RexView a další) a je možné jej jednoduše rozšiřovat a doplnit o uživatelem požadované funkce. Díky těmto a mnoha dalším vlastnostem je REX vyspělým, velmi efektivním a vhodným nástrojem pro návrh algoritmů řízení. Řídicí systém představený v této bakalářské práci je softwarově založen právě na něm.

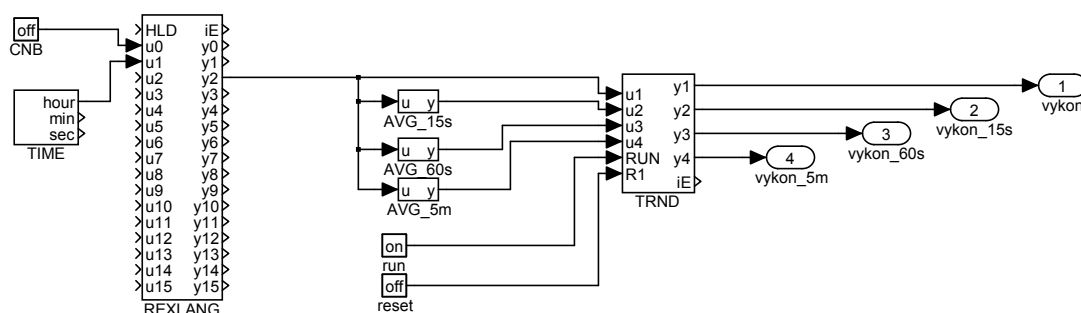
V programu RexDraw byly navrženy a nakresleny části řídicího systému pomocí bloků z knihovny REXLib [4]. Tvorba těchto modelů je ukládána do souborů s příponou .mdl a jsou plně kompatibilní s prostředím Matlab Simulink. Tyto soubory jsou následně přeloženy programem RexComp generujícím binární konfigurační soubor s příponou .rex. Tento soubor je nahrán do koncového zařízení (ALIX) na kterém běží jádro programu RexCore. Pro diagnostiku a možnou správu je použit program RexView, jež umožňuje zobrazovat informace o běžícím jádře programu RexCore. Díky tomuto programu je možné sledovat jednotlivé vlastnosti systému a nastavovat případné parametry (například požadovanou teplotu vody v bojlerech). Pomocí programu RexView je také možné softwarově spouštět a kontrolovat stav jednotlivých spotřebičů. K danému běžícímu jádru RexCore je díky programu RexView možno přistupovat pomocí protokolu TCP/IP umožňujícím připojení k jádru v lokální síti, ale i například ze sítě Internet.

Každý projekt napsaný v programu REX se skládá minimálně ze dvou souborů s příponou .mdl. V prvním (hlavním) souboru jsou uloženy informace o konfiguraci jednotlivých úloh, časování, ovladačích, modulech, prioritách a mnohé další. Druhým souborem je právě konkrétní úloha řídicího systému. Na obrázku 6.2 je zobrazen hlavní soubor projektu. Obsahuje hlavní blok EXEC, v němž je nastaveno časování, priority jednotlivých částí programu, ale také například druh koncového umístění řídicího programu (v našem případě PC - LINUX). Dále jsou k bloku připojeny bloky OwsDrv, OWS a úlohy main a teploty. Blok OwsDrv označuje připojení daného modulu a blok OWS je ovladačem, který využívá výše zmíněný OWServer k přístupu k jednotlivým 1-Wire obvodům. Konfigurace daného ovladače (zapsání počtu vstupů/výstupů, datových typů, adres jednotlivých 1-Wire zařízení a názvů potřebných souborů OWFS) je provedena textovým souborem s příponou .rio (rex input output). Díky tomuto rozšíření je možné použít řídicí systém REX k načítání a zápisu dat do adresářové struktury OWFS a tím ovládat a získávat data z jednotlivých 1-Wire obvodů. Perioda spuštění daného ovladače je shodná s tikem exekutivy, tedy 100 ms. Bloky jednotlivých úloh budou dále popsány.



Obrázek 6.2: Zobrazení bloku EXEC a připojených úloh, modulu a driveru

6.4 Subsystem získávání dat z invertoru



Obrázek 6.3: Schéma funkčních bloků pro získávání dat z invertoru

Tato část programu řídicího systému se stará o získávání dat o aktuální výrobě elektrické energie, její blokové schéma je na obrázku 6.3. Konkrétně jsou z webového serveru měniče stahovány údaje o dodávaném výkonu do připojených tří fází, které jsou následně sčítány. Perioda sběru dat je 1 vteřina.

Hlavním činným blokem této části je blok REXLANG a jeho komunikační funkce. Je využito toho, že pomocí napsaného zdrojového kódu je možné blok použít pro komunikaci spojením TCP/IP. Blok odesílá webovému serveru specifický tázací paket (8 bytů) a přijímá odpovědní paket (73 bytů) s informacemi o stavu měniče. Z těchto 73 bytů přijatého paketu je extrahováno celkem 6 bytů obsahující informace o aktuálním výkonu rozděleného do tří fází (2 byty na fázi). Datová hodnota každých dvou bytů je konverzí převedena na hodnotu aktuálního výkonu, výkony jednotlivých fází jsou sečteny a odeslány na výstup bloku. Zdrojový kód je napsán v textovém editoru a uložen do souboru s příponou .stl, jehož název je uložen v parametrech bloku REXLANG. Při překladu bloku programem RexComp je načítán tento soubor.

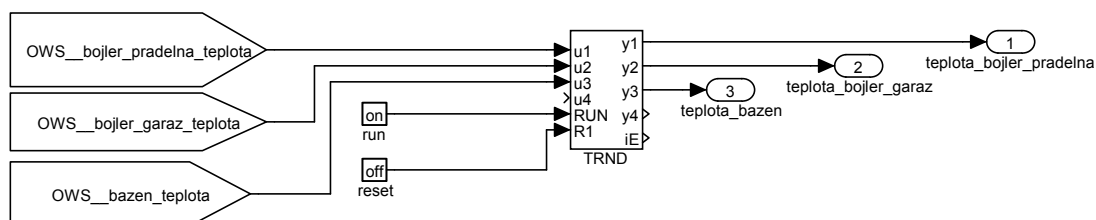
Ve schématu jsou také vidět bloky TRND, AVG a výstupní porty. Aktuální výkon dodávaný solární elektrárnou je na výstupu bloku REXLANG, tento signál pak vede přímo a skrze bloky AVG (vlečné průměry) do bloku TRND, jenž umožňuje graficky zobrazovat

průběh jednotlivých signálů. Je zde možnost zobrazit aktuální výkon v čase a průměry za posledních 15 vteřin, 60 vteřin a 5 minut. Tyto průměry jsou používány jako ukazatele stálosti osvětlení solárních panelů a jsou využity pro rozhodování o spuštění/vypnutí jednotlivých spotřebičů. Výstup signálů z bloku trend je přiveden na výstupní porty subsystému.

Blok TIME je připojen k bloku REXLANG z toho důvodu, že ve zdrojovém kódu programu je implementováno časové ukončení spojení s webovým serverem mezi jedenáctou hodinou večerní a pátou hodinou ranní. V kódu je také implementována možnost znovu navázat spojení s webovým serverem v případě ztráty spojení. Blok REXLANG se v tom případě snaží navázat nové spojení každých 60 vteřin.

Blokem CNB napojeným na blok REXLANG je v případě nutnosti možné řádně manuálně ukončit spojení s webovým serverem.

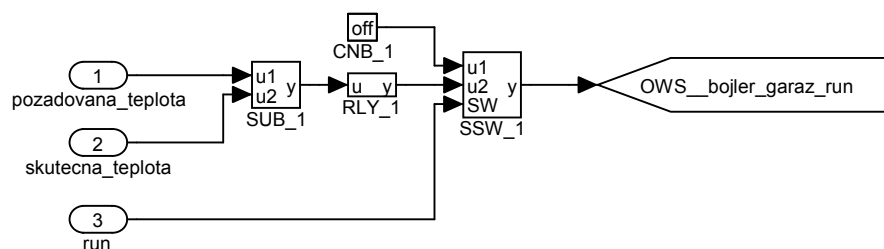
6.5 Úloha čtení teplot



Obrázek 6.4: Schéma úlohy načítání teplot

Tato úloha se stará o pravidelný sběr dat z teplotních čidel řídicího systému. Je spouštěna každých 60 vteřin. Blokové schéma zapojení úlohy je na obrázku 6.4. Tři bloky STDIN jejichž názvy začínají písmenem OWS následovanými dvěma podtržítka značí propojení s připojeným OWS driverem definovaným v souboru s příponou .rio. Propojení s jednotlivými čidly je dáno názvem za dvěma podtržítka, který musí být definován stejně i v souboru ovladače s příponou .rio. Signály z těchto bloků jsou přivedeny do bloku TRND umožňující grafické zobrazení signálu v závislosti na čase a dále vedou na výstupní porty, které jsou propojeny se vstupními porty umístěnými v hlavní úloze řídicího systému.

6.6 Subsystémy natápění bojlerů a bazénu



Obrázek 6.5: Schéma subsystému natápění bojleru

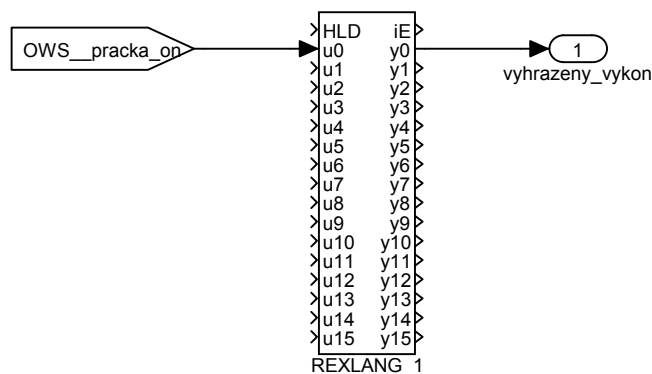
Na obrázku 6.5 je zobrazeno schéma zapojení subsystému pro regulaci teploty vody v bojleru. Takto zapojené schéma je shodné pro oba bojleru, ale také pro regulaci ohřevu

vody v bazénu. Jedná se o klasické zapojení regulačního obvodu s dvoustavovým reléovým regulátorem, jehož výstup je ještě spínán příkazem pro zapnutí natápění.

Tři vstupní porty na levé straně představují vstupy hodnot požadované teploty, teploty skutečné a ovládací konstantu, kterou je proces sepnutí topení řízen. Hystereze sepnutí bloku RLY je nastavena na 0°C a hystereze vypnutí je na nastavena na 3°C. V případě skutečné teploty nižší než teploty požadované je výstup tohoto relé nastaven na logickou 1. A zůstane tak do té doby než bude skutečná teplota o 3°C vyšší než teplota požadovaná. Blok SSW je jednoduchý signálový přepínač, který v případě nulové hodnoty signálu RUN nastaví výstup na hodnotu signálu CNB, tedy nulovou. V případě jedničkové hodnoty signálu RUN je výstup nastaven na signálovou hodnotu relé. Výstup z bloku SSW je přímo veden do bloku STDOUT, jež je díky příznaku OWS a dvěma podtřítky spojen s OWS driverem a tím jsou hodnotami tohoto bloku ovládány přímo koncové 1-Wire obvody.

Úloha jako taková je uložena v prvním souboru s příponou .mdl.

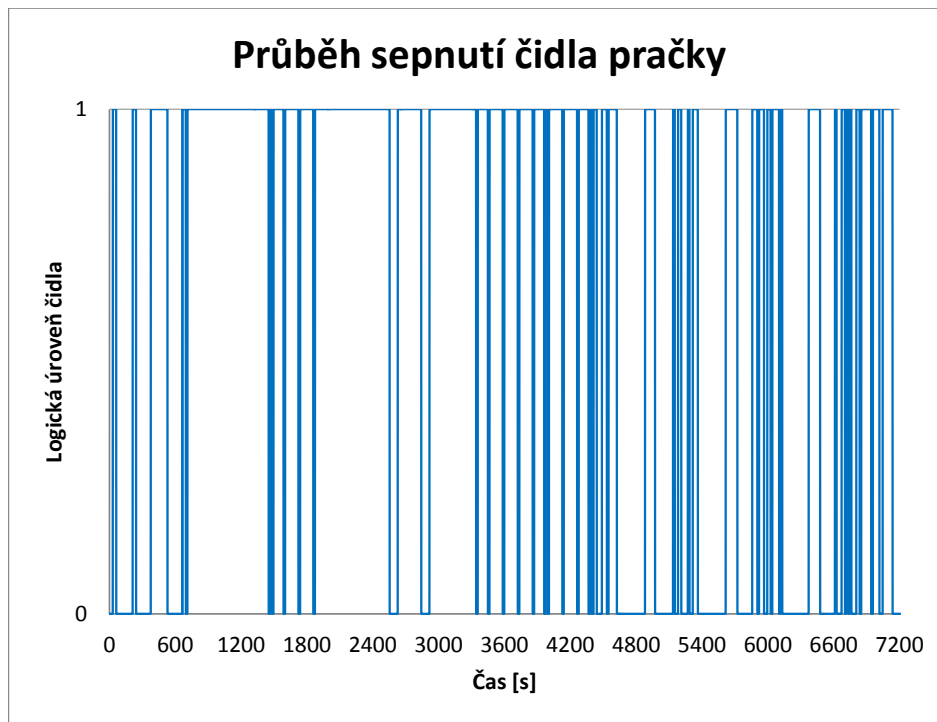
6.7 Subsystém vyhrazeného výkonu pro pračku



Obrázek 6.6: Schéma subsystému vyhrazeného výkonu pro pračku

Tento jednoduchý subsystém, jehož blokové schéma je zobrazené na obrázku 6.6, složený pouze ze tří bloků, má funkci sledování stavu pračky (zapnutá/vypnutá) a podle toho se na jeho výstupu objevuje vyhrazený elektrický výkon (1500 W) pro pračku. Prací cyklus pračky je složen z několika částí a v každé části má pračka jiný příkon. V některých částech pracího cyklu má pračka dokonce nulový příkon, neboť například provádí namáčení prádla v bubnu. Tyto periody jsou však příliš krátké na to, aby v nich byly spínány jiné spotřebiče a po přechodu pračky do jiné části pracího cyklu byly zase vypínány. Průběh příkonu pračky většího než je hraniční příkon čidla umístěného na zásuvce pračky je vidět na obrázku 6.7.

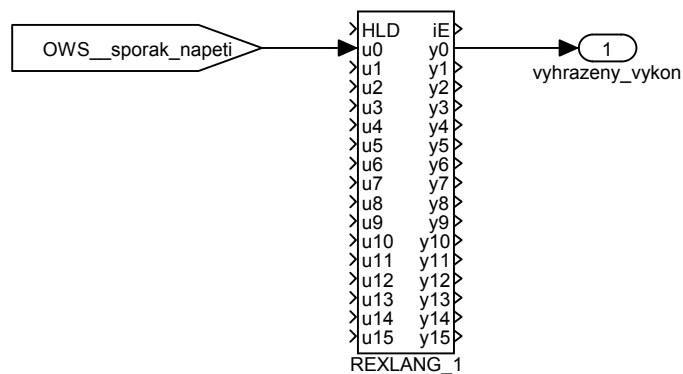
Z grafu je vidět, že ke změnám v aktuálním příkonu dochází velmi často. Tento vstupní signál právě vyhodnocuje blok REXLANG, jehož funkce je dána zdrojovým kódem uloženým v souboru s příponou .stl. Jeho náplní je sledovat logickou hodnotu čidla stavu pračky a při načtení logické 1 nastavit hodnotu výstupu na hodnotu 1500 W (hodnota vyhrazeného výkonu pračky). Tuto hodnotu ponechá blok nastavenou vždy alespoň 5 minut (tato doba byla výsledována jako minimálně postačující vzhledem k jednotlivým pracím programům pračky) po posledním načtení logické 1. Tato hystereze má za následek to, že výstup je nastaven na hodnotu 1500 W po celou dobu pracího cyklu pračky a až do té doby, než pračka dopere (je zde samozřejmě pětiminutové zpoždění). Výstup s



Obrázek 6.7: Graf sepnutí čidla stavu v průběhu pracího programu

vyhrazeným výkonem vede na výstupní port, na který je v hlavní úloze řídicího programu připojen další navazující blok.

6.8 Subsystém vyhrazeného výkonu sporáku



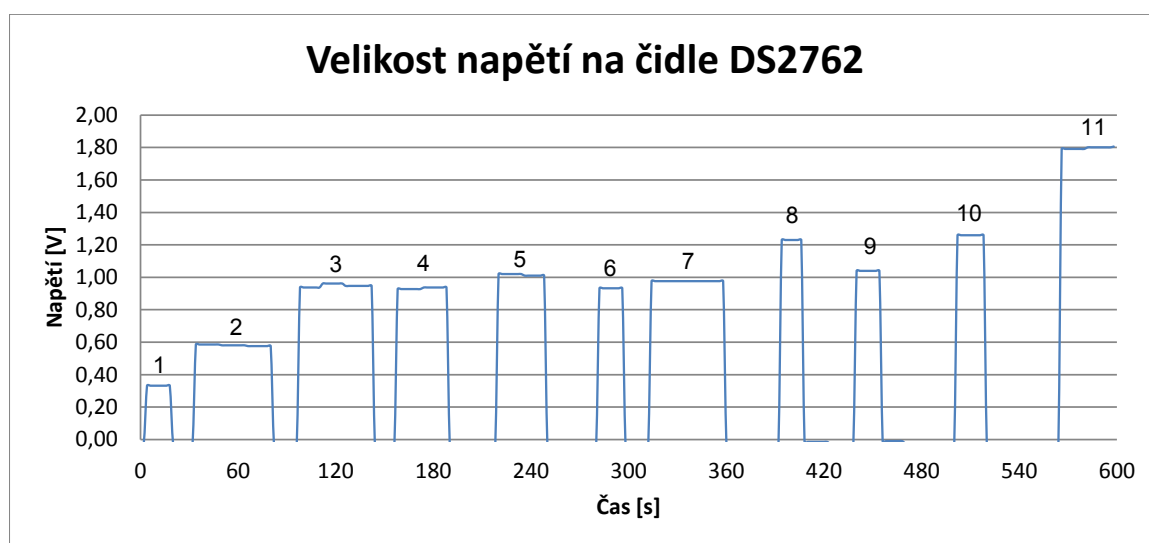
Obrázek 6.8: Schéma subsystém vyhrazeného výkonu pro pračku

Tento subsystém (blokové schéma na obrázku 6.8), jehož blokové zapojení je stejné se subsystémem pro vyhrazený výkon pračky, má zároveň velice podobný účel. Na jeho výstupu se objevuje hodnota vyhrazeného výkonu na základě velikosti napětí na čidle DS2762. Vzhledem k tomu, že kombinace sepnutí jednotlivých plotýnek a sporáku je nahodilá událost a jednotlivé plotýnky mohou být zapnuty na různé stupně (stupeň plotýnky určuje periodu a dobu spínání), byl výstup vyhrazeného výkonu rozdělen do 4 kategorií podle výkonu, viz tabulka 6.1.

Kategorie [#]	Napětí na DS2762 [V]	Vyhrazený výkon [W]
1	0,1-0,65	1500 W
2	0,65 - 1,00	3500 W
3	1,00 - 1,30	4500W
4	1,30 a více	více než 4500 W

Tabulka 6.1: Kategorie vyhrazených výkonů pro sporák

Kategorie výkonů byly zvoleny podle četnosti použití nejpoužívanějších kombinací plotýnek a trouby. Nejpoužívanější kombinace jsou dány velikostí jednotlivých plotýnek, velikostí používaného nádobí a návyky obsluhy sporáku. Pro ilustraci jsou v grafu na obrázku 6.9 zobrazeny jednotlivé hodnoty napětí pro dané kombinace zapnutých plotýnek a trouby.



Obrázek 6.9: Napětí na čidle DS2762 pro různé kombinace zapnutých plotýnek a sporáku

Jednotlivá napětí odpovídají kombinacím zapnutých plotýnek a sporáku. Jejich jmenovité příkony jsou uvedeny v tabulce 6.2. Čísla kombinací uvedená v tabulce se shodují s označením v grafu na obrázku 6.9.

Výstup signálu z bloku REXLANG je vyveden do výstupního portu, k němuž je v hlavní úloze napojen navazující blok, který dále zpracovává tento signál.

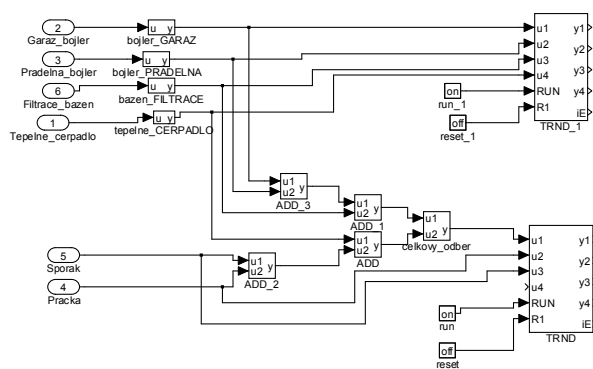
6.9 Monitoring

Tento blok, jak napovídá jeho název, slouží k monitoringu a zobrazení příkonů jednotlivých spotřebičů a toho, jak se svým příkonem podílí na celkovém příkonu v průběhu času. Blokové zapojení tohoto subsystému je vidět na obrázku 6.10.

Základními prvky tohoto subsystému jsou dva bloky TRND sloužící ke grafickému zobrazení signálů. Na levé straně jsou umístěny vstupní porty stavů jednotlivých spotřebičů. Logické stavy jsou přenášeny bloky GAIN příslušnou hodnotou svého příkonu. Spotřebiče, jejichž příkon vyhodnocuje jiný výše popsaný subsystém, jsou přivedeny přímo na vstup bloku TRND. V blokovém schématu se vyskytuje ještě několik sčítacích bloků ADD, kterými je získán aktuální celkový příkon řízených spotřebičů.

Napětí [#]	Kombinace výkonů [W]	Celkový výkon [W]
1	750	750
2	1200	1200
3	750 + 1200	1950
4	2000	2000
5	2200	2200
6	2000 + 750	2750
7	1200 + 1200 + 750	3150
8	2200 + 1200	3400
9	3500	3500
10	2000 + 1200 + 1200	4400
11	2000 + 2x 1200 + 2200 + 3500	10100

Tabulka 6.2: Kombinace sepnutí plotýnek a sporáku



Obrázek 6.10: Subsystem pro monitoring

6.10 Hlavní úloha

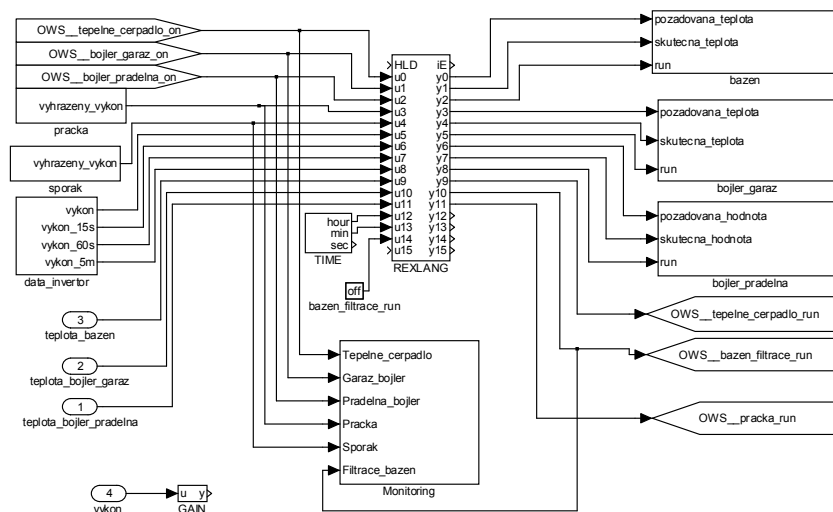
Jedná se o druhý soubor s příponou .mdl, v němž je úloha uložena. Tato úloha spolupracuje se všemi popsányými subsystemy a s druhou úlohou načítání teplot. Perioda spouštění této úlohy je 1 vteřina. Blokové schéma zapojení této úlohy je vidět na obrázku 6.11.

'Srdcem' této úlohy je blok REXLANG obsahující algoritmus řízení. Zdrojový kód algoritmu byl napsán v textovém editoru a uložen do souboru s příponou .stl. Na levé straně od bloku REXLANG jsou všechny vstupní bloky představující čidla a senzory umístěné v rodinném domě. Signál z těchto čidel je veden také do subsystemu MONITORING. Jeden ze signálů vedoucí do subsystemu MONITORING není veden z levé strany vstupních parametrů, ale z pravé strany výstupů. Je tomu tak u filtrace bazénového čerpadla, protože při návrhu systému byla špatně posouzena potřeba umístění čidla stavu (mylně bylo uvažováno, že pro zjištění stavu bude dostačující informace o stavu výstupu). Tato konfigurace je plně dostačující do té doby, než bude zapnuto čerpadlo manuálně, poté nemá řídicí systém k dispozici informaci o jeho zapnutí. Toto je vnímáno jako negativum a do budoucna je nutná modifikace osazení čerpadla snímačem stavu.

Výstupní signály bloku REXLANG jsou napojeny buď na vstupní porty jednotlivých subsystemů, nebo přímo na výstupní bloky STDOUT spojené s ovladačem OWS.

Blok TIME je do bloku REXLANG připojen z důvodu časového řízení některých funkcí řídicího algoritmu (například kontrola povinnosti praní v ranních hodinách).

Konstanta CNB *bazen_filtrace_run* je k bloku REXLANG připojena kvůli možnosti



Obrázek 6.11: Blokové schéma hlavní úlohy

manuálního sepnutí filtrace v diagnostickém programu RexView.

7 Algoritmus řízení

Vlastní algoritmus řízení lze abstraktně rozdělit na několik částí (úloh), jež úzce souvisí s jednotlivými spotřebiči a v následujícím popisu je budeme tedy nazývat jmény jednotlivých spotřebičů (Sporák, Pračka, Bojler 1, Bojler 2, Topení bazén, Tepelné čerpadlo). Použitím názvů v následujícím popisu budou myšleny tyto úlohy a ne vlastní spotřebiče.

Na obrázku 7.1 jsou znázorněny jednotlivé úlohy a jejich vztah vůči dvěma základním hladinám. Jedná se o hladinu aktuálního příkonu řízených spotřebičů a hladinu aktuálního výkonu dodávaného solární elektrárnou (tyto hladiny existují celkem čtyři, a to hladina aktuálního výkonu a hladiny průměrného výkonu za posledních 15, 60 a 300 vteřin). Tyto dvě hladiny (hladina příkonu a výkonu) jsou v algoritmu systému stěžejní a jejich výšky se v čase razantně mění (podle dodávaného výkonu elektrárnou u hladiny aktuálního výkonu a počtem aktuálně zapnutých spotřebičů u hladiny aktuálních příkonů). Existence čtyř hladin aktuálních výkonů nahrazuje jakýsi indikátor stálosti osvětlení panelů elektrárny slunečními paprsky a zabraňuje krátkým intervalům sepnutí a vypnutí jednotlivých spotřebičů. Šipky na obrázku 7.1 znázorňují to, s jakou hladinou má daná úloha vztah a směr šipky určuje druh tohoto vztahu. Šipka směřující do hladiny znamená přispívání do této hladiny a šipka směřující z hladiny má zase vztah informační (daná funkce se informuje o výšce dané hladiny). V případě obousměrné šipky se jedná o oba druhy vztahu.

Doplňující informace u jednotlivých úloh představují vztahy k daným parametrům. Například v případě bojlerů znamená údaj *teplota* tu vlastnost dané úlohy, která kontroluje aktuální a danou teplotu bojleru a podle té mění své chování (spíná či vypíná daný bojler).

Hladina aktuálních příkonů nemá své dno na hodnotě 0 W, ale na hodnotě 500 W. Tato hladina je uměle navýšena o tuto hodnotu z důvodu zapojení spotřebičů s trvalým odběrem (lednice, mrazák a spotřebiče ve stand-by módu) do elektrické soustavy domu. Tato hodnota je dostatečně vysoká na to, aby se do ní vešly příkony zmíněných spotřebičů. Toto umělé navýšení hladiny je použito proto, aby se předešlo zbytečnému nákupu



Obrázek 7.1: Znázornění jednotlivých úloh algoritmu

elektrické energie v případě sepnutí spotřebiče. Hodnota tohoto navýšení je v algoritmu zanesena jako parametr a může být jednoduše pozměněna.

Všechny níže popsané úlohy jsou implementovány v bloku REXLANG v hlavní úloze programu REX. Zdrojový kód těchto úloh se z velké části skládá z hierarchicky uspořádaných podmíněných příkazů a doplňkového kódu. Vlastní kód je k nahlédnutí v CD příloze bakalářské práce.

Tento algoritmus je navržený pro letní období, které je charakteristické relativně vysokým denním úhrnem vyrobené energie, chodem bazénové filtrace, požadavkem na ohřev vody v bazénu a také tím, že není nutné spínat tepelné čerpadlo pro natápění topné vody. Do budoucna je plánováno navržení řídicích algoritmů také pro zimní a přechodné období (období mezi létem a zimou a naopak). Každé z těchto období má totiž svá specifika, která je nutné do návrhu algoritmu zahrnout (sněhová pokrývka solárních panelů, kratší doba osvětlení solárních panelů, ukončení běhu bazénové filtrace a ohřevu vody v bazénu).

7.1 Pasivní úlohy

Náplní těchto úloh není spínat jednotlivé řízené spotřebiče. Perioda těchto úloh je 1 vteřina. Jedná se o úlohy, které buď přispívají do hladiny příkonů, nebo aktualizují hladinu výkonů.

7.1.1 Invertor

Je základní pasivní úlohou, jež aktualizuje hladiny aktuálních výkonů (všechny čtyři). Další funkcí této úlohy je kontrola spojení s invertorem, v případě výpadku spojení se

snaží o navázání spojení nového každých 60 vteřin. Úkolem této úlohy je také přerušit spojení v období mezi jedenáctou hodinou večerní a pátou hodinou ranní. Po skončení tohoto období naváže spojení nové.

7.1.2 Tepelné čerpadlo

Jedinou funkcí této úlohy je přispět do hladiny aktuálního příkonu spotřebičů hodnotou 6000 W v případě chodu tepelného čerpadla.

7.1.3 Sporák

Tato úloha přispívá do hladiny aktuálního příkonu hodnotami výkonů podle tabulky 6.1.

7.2 Aktivní úlohy

Úkolem těchto úloh je spínat nebo vypínat jednotlivé spotřebiče podle daných kritérií a pravidel. Perioda těchto úloh je tři vteřiny.

7.2.1 Bazénová filtrace

Jedná se o úlohu, jež má na starosti spínání a vypínání spotřebiče s nejnižším příkonem (bazénové čerpadlo - 650 W) a jež nemá žádné podmínky nuceného spínání (čerpadlo je sepnuto jen tehdy, pokud může využít nadbytečnou sluneční energii). K sepnutí čerpadla dojde tehdy, když je rozdíl mezi hladinami aktuálního vyráběného výkonu (všemi čtyřmi) a hladinou aktuálního příkonu větší než 650 W. K vypnutí dojde, když je hladina průměrného výkonu za posledních pět minut menší než hladina aktuálního příkonu. Zároveň úloha hlídá, jestli by místo sepnutého čerpadla (v případě zvyšujícího se výkonu vyráběné energie nebo poklesu příkonu spotřebičů) nemohla být sepnuta pračka (v případě, že není vypráno), bojler 1 (v případě, že není natopen) a nebo bojler 2 (v případě, že taktéž není natopen).

7.2.2 Pračka

Tato úloha se stará o zapínání a vypínání pračky. Ta každé ráno v pět hodin nastaví ukazatel vyprání na hodnotu 'nevypráno', tím je zaručeno, že v případě, kdy je v pračce prádlo, bude vypráno. Pračka se sepne v případě, že rozdíl mezi všemi čtyřmi hladinami výkonu a hladinou příkonu je větší než 1500 W. K vypnutí pračky dojde po skončení jejího pracovního cyklu. V případě, že je pračka sepnuta a nebylo do ní vloženo prádlo, úloha pračku vypne po 60 vteřinách (doba, do které začínají všechny pracovní programy pračky). Úkolem úlohy je také pračku spustit v případě, že pračka nebyl spuštěna do jedné hodiny odpolední (solární elektrárna nebyla schopna dát dostatečný výkon - zamračený den), tím je zaručeno, že pračka dokončí svůj pracovní program do požadované třetí hodiny odpolední.

7.2.3 Bojler 1

Úkolem této úlohy je natápění bojleru 1, jež má prioritu před bojlerem 2 (na bojler 2 nejsou kladeny tak vysoké požadavky na teplotu vody). K sepnutí bojleru 1 dojde tehdy, kdy rozdíl mezi všemi čtyřmi hladinami výkonu a hladinou příkonu je větší než 2000 W. K tomuto stavu může dojít například zvýšením dodávaného výkonu solární elektrárnou, nebo

uvolněním příkonu jiným spotřebičem. K vypnutí bojleru dojde tehdy, když je hladina pětiminutového výkonu menší než hladina příkonu (alokováním výkonu jiným spotřebičem nebo ztrátou výkonu solární elektrárny) nebo když je bojler natopen na požadovanou teplotu. Úloha zároveň také sleduje aktuální teplotu bojleru a pokud je nižší než teplota hraniční a je po třetí hodině odpolední (pravděpodobně se jedná o zatažený den a výkon po třetí hodině by již nebyl dostačující k sepnutí normální cestou), sepne bojler a vytopí jej na hraniční teplotu (hysterezní přetopení o tři stupně Celsia).

7.2.4 Bojler 2

Jedná se o velmi podobnou úlohu se stejnými funkcemi jako úloha bojleru 1 s tím rozdílem, že bojler 2 je spínán až po natopení bojleru 1 nebo v případě, že vyráběný výkon (všechny 4 hladiny) minus příkon je dostačující pro chod obou bojlerů současně. K vypnutí bojleru 2 dojde při převýšení pětiminutového výkonu příkonem nebo při natopení na požadovanou teplotu. Bojler 2 je natápěn na svoji požadovanou hodnotu. Tato úloha také používá funkci nuceného natápění, což znamená, že když bojler 2 není natopen nebo spuštěn do třetí hodiny odpolední, dojde k jeho natopení na jeho hraniční teplotu.

7.2.5 Topení bazén

Vzhledem k tomu, že vyhřívání vody v bazénu je relativně energeticky náročné (tepelné čerpadlo - 6000 W, bazénová filtrace - 650 W), je spouštěno touto úlohou pouze tehdy, je-li vypráno, oba bojleru jsou natopené, aktuální příkon není větší než 1200 W, všechny čtyři hladiny výkonu jsou vyšší než 4500 W a voda v bazénu je studenější než požadovaná teplota. Ohřívání vody je spouštěno ve dvacetiminutových blocích, kdy na konci každého bloku úloha zjistí, zdali platí stále podmínky pro běh ohřevu vodu, pokud ano, začne nový dvacetiminutový blok, pokud ne, je ohřev vody vypnut.

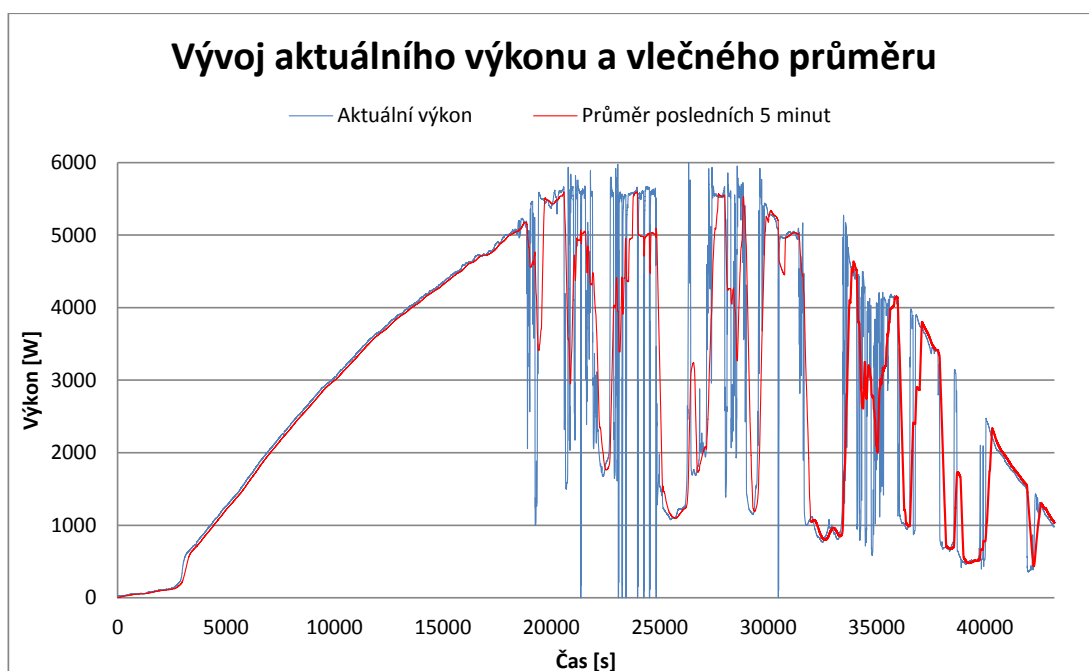
7.3 Ukázka dat monitorovaných parametrů

Na třech obrázcích 7.2, 6.4 a 7.3 jsou ukázána data některých monitorovaných parametrů. Jedná se o data ze stejného dne v období mezi šestou hodinou ranní a šestou hodinou večerní (rozmezí dvanácti hodin). Jednalo se o relativně slunečný den (odpoledne byla obloha místy zatažená), kdy byly využity téměř všechny úlohy řídicího systému.

Na obrázku 7.2 je zobrazen graf vývoje výroby elektrické energie. V první části grafu je vidět pozvolný nárůst až téměř k hodnotě maximálního výkonu. Poté se však již začínají projevovat pohybuující se mraky a vývoj výkonu je chaotický. V jistých okamžicích je patrné, že výkon padá až na nulu, tento jev není způsoben úplným zatměním, ale ochrannými vlastnostmi invertoru. V případě, kdy jsou solární panely zastíněny mrakem, který se náhle posune dál a uvolní tak cestu slunečním paprskům, není schopen invertor na takto prudký nárůst energie reagovat a přepne se do chodu naprázdno (toto je způsobeno mírným předimenzováním solární elektrárny na straně solárních panelů).

Na obrázku 7.4 je zobrazen graf vývoje teplot v čase. Z grafu je vidět natápění obou bojlerů na požadovanou hodnotu a poté i pokles teploty vody v bojleru 1 způsobený úklidem a mytím nádobí. Z grafu je také vidět změna teploty na čidle umístěném v tepelném výměníku bazénové filtrace. Vždy, když dojde k sepnutí filtrace, dojde k nárůstu teploty na skutečnou teplotu bazénové vody (prostor, kde je výměník umístěn, je chladnější než samotná voda). V závěrečné fázi je znatelný ohřev vody tepelným čerpadlem.

Sepnutí jednotlivých spotřebičů v čase je vidět v grafu na obrázku 7.3. Dominantním spotřebičem na grafu je žlutě vybarvené tepelné čerpadlo, jehož spínací cykly jsou pro



Obrázek 7.2: Graf výroby elektrické energie

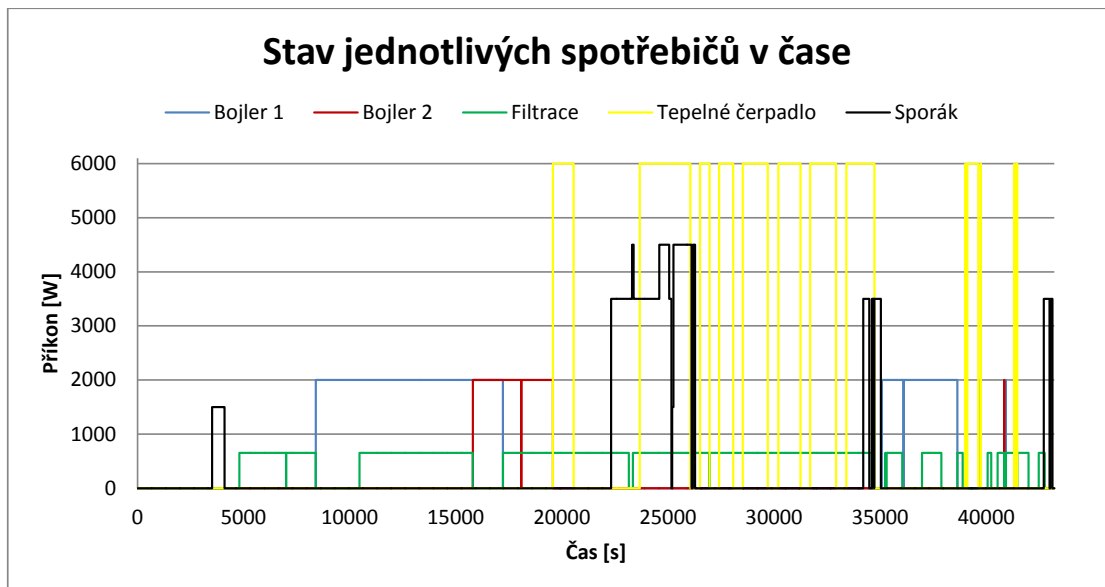
ohřev vody v bazénu. Z grafu je vidět, že běh tepelného čerpadla nebyl přerušen sepnutím sporáku, jehož příkon je na obrázku vidět, ale je to způsobeno tím, že daný graf odpovídá ještě době, kdy byl blok ohřevu vody v bazénu tepelným čerpadlem nastaven na jednu hodinu (nyní nastaven na dobu dvaceti minut).

8 Závěr

Řídicí systém popisovaný v této práci a jeho realizace jsou prvotním návrhem, jak by takový řídicí systém mohl vypadat. Slouží k reálnému ověření a testování vlastností jednotlivých řešení uvedených v této práci. Dlouhodobé sledování chování daného systému by mělo vést k jeho optimalizaci a vylepšení jak z hlediska hardwarového, tak i softwarového.

Již nyní během krátkého období testování (3 týdny) vyplynuly nedostatky, které by měly být řešeny. Konkrétně se jedná o chybějící čidlo stavu bazénové filtrace, chybějící lokální ovládací prvek spuštění pračky a bazénového čerpadla (tlačítko v místě spotřebiče, které by poskytlo řídicímu systému informaci o tom, že je požadavek na přednostní sepnutí daného spotřebiče) nebo například nezahrnutí myčky nádobí do řídicího algoritmu (sice se nejedná o spotřebič s velkou spotřebou elektrické energie, ale díky možnosti kladení časových priorit na umytí nádobí by mohla být spínána ve vhodné době jako například pračka). Je jasné, že pro hlubší analýzu chování a vlastností systému je potřeba dlouhodobější období.

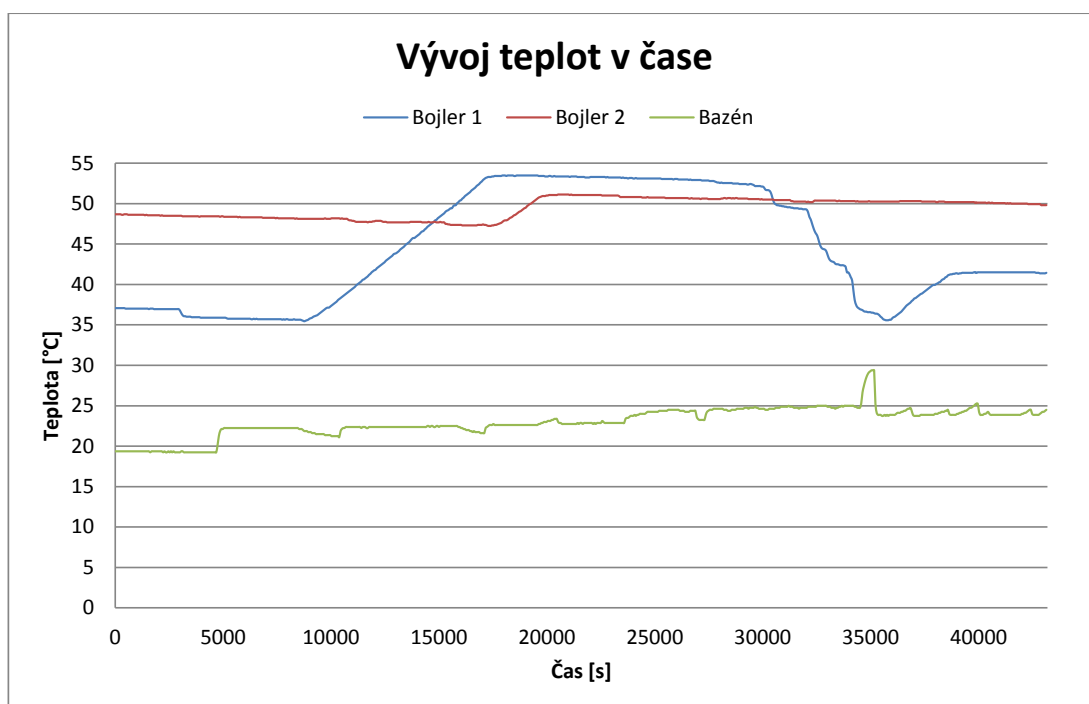
Uvedené řešení z hlediska hardwaru (tedy návrhu a umístění jednotlivých modulů) je v této aplikaci značně ovlivněno stávající elektroinstalací rodinného domu. Zejména pak její necentrální topologií, kdy bylo nutné umístit jednotlivé moduly na různá místa (v některých případech vzdálená). Pokud by k instalaci systému došlo v domě s centralizovanou topologií elektroinstalace a ještě například řešením inteligentní elektroinstalace (jednot-



Obrázek 7.3: Graf sepnutí spotřebičů

livé spotřebiče jsou zapojeny na svůj samostatně jištěný okruh), mohlo by být hardwarové řešení značně jednodušší a elegantnější.

I přes všechny zmíněné okolnosti a i přesto, že řídicí systém je stále ve vývojovém stádiu, již nyní vede k plánovaným úsporám za nákup elektrické energie.



Obrázek 7.4: Graf průběhu teplot

Literatura

- [1] WWW stránka: Popis 1-Wire sběrnice a 1-Wire zařízení
<http://www.maxim-ic.com/products/1-Wire/>
[červenec 2012]
- [2] WWW stránka: Popis řídicího počítače ALIX 2D13
<http://pcengines.ch/alix2d13.htm>
[červenec 2012]
- [3] WWW stránka: Popis řídicího systému reálné času REX
<http://www.rexcontrols.cz/rex>
[červenec 2012]
- [4] PDF dokument: Funkční bloky systému REX Referenční příručka, Verze 2.05, REX Controls s.r.o, 2012
<http://www.rexcontrols.cz/knihovna-bloku-rexlib>
- [5] WWW stránka: Zákon o podpoře výroby z obnovitelných zdrojů
<https://portal.gov.cz/app/zakony/zakonPar.jsp?page=0&idBiblio=60082&n timer=180~2F2005&rpp=50#local-content>
[červenec 2012]
- [6] PDF dokument: Manuál k programu Piko Master Control
http://www.kostal-solar-electric.com/download/PIKO_Master_Control_V2_EN_2011-05-16.pdf
- [7] PDF dokument: Technický list tepelného čerpadla HPW3AW 18SE
<http://www.kostecka.net/wp-content/uploads/technicka-data-tc-hp3aw.pdf>
- [8] WWW stránka: Technická specifikace solárního panelu
http://www.posharp.com/mage-powertec-plus-2405mj-solar-panel-from-mage-solar_p953430805d.aspx
[červenec 2012]
- [9] PDF dokument: Technická dokumentace invertoru PIKO 5.5
http://http://www.kostal-solar-electric.com/download/Betriebsanleitungen/Manual_PIKO_en_1_12.pdf
- [10] Bakalářská práce:
M. Hulík: Vývoj jednoduchého systému komunikujícího po sběrnici 1-Wire vhodného pro automatizaci malých budov, Fakulta aplikovaných věd, ZČU, 2012
- [11] WWW stránka: Technický popis AP WISPStation 5
<http://www.ubnt.com/wispstation5>
[červenec 2012]

- [12] PDF dokument: Technická dokumentace minipočítače ALIX 2D13
<http://pcengines.ch/pdf/alix2.pdf>
- [13] WWW stránka: Hobby Boards - způsob zapojení konektoru rj45
<https://www.hobby-boards.com/store/pages/Wiring-Diagram.html>
[červenec 2012]
- [14] PDF dokument: Katalogový list DS2482-800
<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS2482-800.pdf>
- [15] PDF dokument: Katalogový list proudového relé AC1010
<http://www.amveco.com/pdf/AC1010.pdf>
- [16] PDF dokument: Katalogový list DS2413
<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS2413.pdf>
- [17] PDF dokument: Katalogový list DS2762
<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS2762.pdf>
- [18] WWW stránka: Schéma zapojení Aquaponics pH to 1-Wire convertor
<http://diagramtips.com/tag/ds2762/>
[červenec 2012]
- [19] PDF dokument: Katalogový list DS18S20
<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS18S20.pdf>
- [20] PDF dokument: Katalogový list DS18B20
<http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- [21] WWW stránka: Popis sběrnice 1-Wire a způsoby komunikace
<http://www.hw.cz/rozhrani/art1215-sbernice-1-Wire.html>
[červenec 2012]
- [22] WWW stránka: Směrnice pro dlouhou spolehlivou 1-Wire síť
<http://www.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/148>
[červenec 2012]
- [23] WWW stránka: Telnet a SSH klient PUTTY
<http://www.putty.org/>
[červenec 2012]
- [24] WWW stránka: One Wire File System - popis a funkce jednotlivých programů
<http://owfs.org/index.php?page=Programs>
[červenec 2012]
- [25] WWW stránka: FUSE - File system in user space
<http://fuse.sourceforge.net/>
[červenec 2012]

Seznam obrázků

2.1	Zjednodušené schéma toku elektrické energie	2
3.1	Ilustrace tepelného čerpadla	4
3.2	Fotografie solární elektrárny	5
3.3	Fotografie invertoru PIKO 5.5	5
3.4	Ukázka webové stránky měniče	6
4.1	Schéma zapojení hardwaru řídicího systému	8
4.2	Fotografie počítače ALIX	8
4.3	Schéma I ² C to 1-Wire převodníku	9
4.4	Přehled zapojení konektoru RJ45 na převodníku	10
4.5	Přehled číslování na female konektoru RJ45	10
4.6	Schéma zapojení snímače stavu spotřebiče	11
4.7	Schéma zapojení modulu DS2413 s 1 vstupem a 1 výstupem	12
4.8	Blokový diagram obvodu DS2413	12
4.9	Fotografie modulu DS2413 s připojeným snímačem	13
4.10	Schéma modulu DS2413 se 2 výstupy	13
4.11	Fotografie modulu DS2413 se 2 výstupy	14
4.12	Schéma původního návrhu modulu DS2762	15
4.13	Schéma upraveného modulu DS2762	16
4.14	Popis vývodů čidla teploty DS18B20 a DS18S20	16
5.1	Blokové schéma zapojení jednotlivých modulů	17
5.2	Fotografie propojení DS2482-800 s ALIXem	18
5.3	Zapojení snímačů spolu se stykači a paralelními vypínači	19
5.4	Detail zapojení teplotního čidla do bojleru	20
5.5	Zapojení modulu DS2413 s novou zásuvkou u pračky	20
5.6	Zapojení modulu DS2762 v instalační krabici	21
5.7	Detail zapojení čidla ve výměníku ohřevu	22
6.1	Adresářová struktura vybraného 1-Wire obvodu	23
6.2	Zobrazení bloku EXEC a připojených úloh, modulu a driveru	25
6.3	Schéma funkčních bloků pro získávání dat z invertoru	25
6.4	Schéma úlohy načítání teplot	26
6.5	Schéma subsystému natápění bojleru	26
6.6	Schéma subsystému vyhrazeného výkonu pro pračku	27
6.7	Graf sepnutí čidla stavu v průběhu pracího programu	28
6.8	Schéma subsystém vyhrazeného výkonu pro pračku	28
6.9	Napětí na čidle DS2762 pro různé kombinace zapnutých plotýnek a sporáku	29
6.10	Subsystém pro monitoring	30
6.11	Blokové schéma hlavní úlohy	31
7.1	Znázornění jednotlivých úloh algoritmu	32
7.2	Graf výroby elektrické energie	35

7.3	Graf sepnutí spotřebičů	36
7.4	Graf průběhu teplot	37

Seznam tabulek

3.1	Vyrobená elektrická energie za posledních 6 měsíců	3
3.2	Příkony jednotlivých plotýnek	7
4.1	Adresy, typ a umístění jednotlivých 1-Wire obvodů	17
6.1	Kategorie vyhrazených výkonů pro sporák	29
6.2	Kombinace sepnutí plotýnek a sporáku	30

Obsah CD přílohy

- Soubory .mdl obsahující jednotlivé úlohy řídicího systému
- Soubor ovladače OWSDrv s příponou .rio
- Zdrojové kódy bloků REXLANG uložené v souborech s příponou .stl
- Soubory .csv exportované z bloků TRND
- Složka souborů originálů použitých fotografií a obrázků