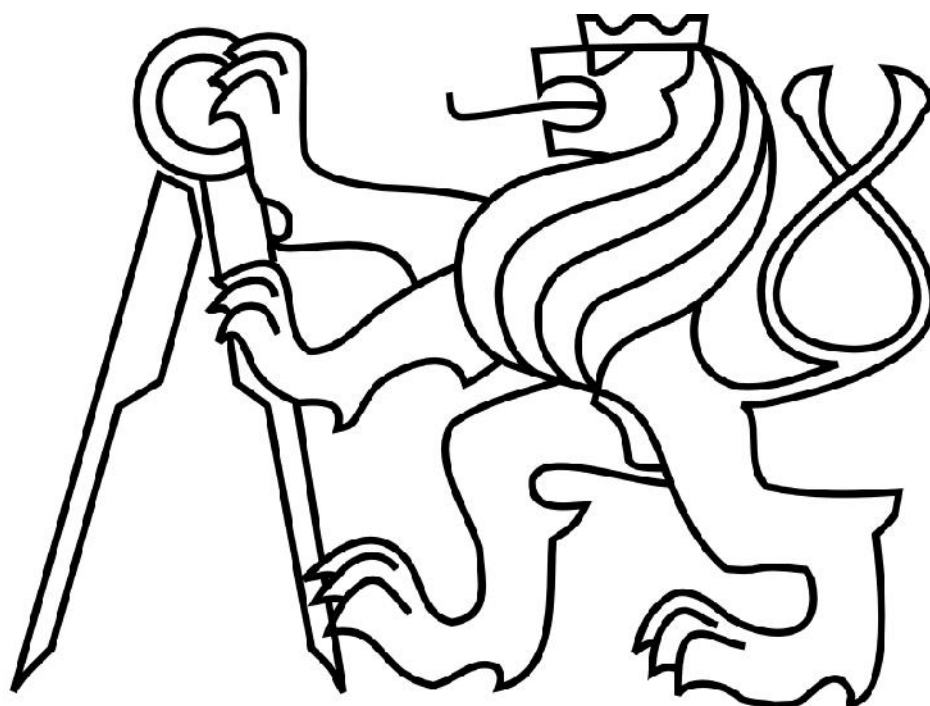


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra měření



Diplomová práce

Návrh inteligentního řízení rodinného domu na bázi WSN

Design of intelligent house control based on WSN

2015

**Autor: Bc. Marek Stehlík
Vedoucí práce: Ing. Tomáš Vítek**

Čestné prohlášení

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“ Souhlasím se zapůjčováním práce a jejím zveřejňováním.

V Praze dne 6. 5. 2015

podpis :

Marek Stehlík



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Marek Stehlík**

Studijní program: **Inteligentní budovy**

Název tématu česky: **Návrh inteligentního řízení rodinného domu na bázi WSN**

Název tématu anglicky: **Design of Intelligent House Control Based on WSN**

Pokyny pro vypracování:

Na základě výsledků práce v Projektu 2 navrhnete a realizujete komplexní systém řízení inteligentního domu na bázi bezdrátové sensorové sítě (WSN) s hvězdicovou topologií. Jednotlivé uzly/nody řešte s využitím 16bitových mikrokontrolérů TI MSP430. Uzly budou obsahovat 3 ADC vstupy, 1-wire rozhraní, 4 digitální vstupy a 5 silových výstupů. Navrhnete modul pro použití: a) na střeše - zajišťující funkci anemometru, luxmetru, měřiče atmosférického tlaku, deště, výšky sněhové pokrývky, teploty a vlhkosti; b) v obývacím pokoji - zajišťující monitoring teploty a vlhkosti, pohybu, případně další funkce jako IR ovládání televizoru, c) v koupelně - vybavený silovými výstupy pro spínání podlahového vytápění a oběhového čerpadla, senzory pro snímání teploty podlahy a vzduchu a signalizací stavů RGB LED; d) na zahradě - měření teploty, vlhkosti půdy, vzdušné vlhkosti ve skleníku a indikaci pohybu, umožňující ovládání zavlažování a osvětlení. Hlavní jednotku vybavte periferiemi pro řízení otopné soustavy. Monitoring parametrů a ovládání realizujte prostřednictvím webové stránky s autorizací uživatele. Charakterizujte hlavní funkcionality systému, demonstруйте možnost vzájemné spolupráce, vyhodnoťte výsledky, vypočtete přibližnou energetickou úsporu a předpokládanou návratnost investice.

Seznam odborné literatury:

- [1] BAŠTA, Jiří: Regulace v technice prostředí staveb. Praha: ČVUT, 2014. ISBN 97880010545
- [2] Texas Instruments. [online]. 2015. Dostupné z: <http://www.ti.com/>
- [3] LUECKE, Gerald: Analog and digital circuits for electronic control system applications: using the TI MSP430 microcontroller. Amsterdam: Elsevier, c2005, xiv, 312 s. ISBN 07-506-7810-0.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Tomáš Vítek (K13134)

Datum zadání diplomové práce: 15. ledna 2015

Platnost zadání do¹: 31. srpna 2016

Doc./Ing. Jan Holub, Ph.D.
vedoucí katedry



Prof. Ing. Pavel Řipka, CSc.
děkan

V Praze dne 15. 1. 2015

¹ Platnost zadání je omezena na dobu tří následujících semestrů.

PodĎakovanie

Touto cestou chcem poĎakovať vedúcemu bakalárskej práce Ing. Tomášovi Vítékovi, za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a podnetné návrhy k práci. Ďalej Ďakujem svojim rodičom za vytvorenie priestoru, času a pomoc pri písaní tejto práce. Ďakujem firmám Texas Instruments a Maxim Integrated za bezplatné poskytnutie vzoriek mikroprocesorov a rôznych druhov senzorov. Rovnako Ďakujem všetkým ostatným, ktorí sa akokoľvek podieľali na príprave či realizácii mojej práce.

Abstrakt

Táto práca sa zaoberá návrhom a realizáciou riadenia a inteligentnej kontroly rodinného domu v reálnom čase cez intranet a internet. Práca zahŕňa návrh a realizáciu inteligentného riadenia z hľadiska mechanickej konštrukcie aktuátorov a senzorov, konštrukcie elektronického zariadenia a programového vybavenia vrátane užívateľského rozhrania. Koncept je jednoduchý, hlavná riadiaca jednotka s web serverom cez rádiové rozhranie prijíma a vysiela príkazy do jednotlivých bezdrôtových uzlov. Sústreďuje sa prevažne na reguláciu ústredného kúrenia, ale užívatelia môžu ovládať aj mnoho iných zariadení cez web rozhranie.

Kľúčové slová

Inteligentné budovy, Bezdrôtová senzorová sieť, Domáca automatizácia, Low power, MSP430, Riadenie centrálného vykurovania, Merania a regulácia (MaR), WEB rozhranie, Ekvitermická krivka, Rádiová komunikácia, Energy harvesting

Abstract

This diploma thesis deals with the design and implementation of management and intelligent control of the family house in real time over the Intranet and Internet. The paper includes the design and implementation of intelligent control, mechanical construction of actuators and sensors, design of electronic equipment and software, including the user interface. The concept is simple, the main controller with a web server via the radio interface receive and sends commands to individual wireless nodes. It focuses primarily on the regulation of central heating, but users can also control many other devices via web interface.

KEYWORDS

Intelligent buildings, Wireless sensor network (WSN), Home automation, Central heating controll, Measurement and control, WEB interface, Equithermal curve, Radio communication, Energy harvesting

Bibliografická citácia

Stehlík, Marek. *Návrh inteligentního řízení rodinného domu na bázi WSN: diplomová práce*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Katedra měření, 2015. 86 s. Vedoucí práce Ing. Tomáš Vítek

Obsah

ÚVOD	8
1. TEORETICKÁ ČASŤ	9
1.1 HISTÓRIA A KONCEPCIA NÁVRHU	9
1.2 TEÓRIA WSN	14
1.3 TECHNOLOGIA WSN	15
1.4 SITUÁCIA NA TRHU	15
2. MIESTO INŠTALÁCIE	18
2.1 OPIS DOMU A VYKUROVACEJ SÚSTAVY	18
2.2 ZDROJE TEPLA	19
2.2.1 KOTOL ATTACK DPX25	20
2.2.2 PROTHERM MEDVEĎ 30KLO	21
2.2.3 REGULUS ELEKTRICKÁ ŠPIRÁLA 3 KW	21
2.3 SPÔSOB REGULÁCIE	22
2.3.1 EKVITERMICKÁ REGULÁCIA SO SPÄTNOU VÄZBOU S PI REGULÁTOROM	24
2.4 PARAMETRE REGULÁTORA	26
2.5 HLAVNÁ RIADIACA JEDNOTKA S MERACOU DOSKOU	30
3. NÁVRH A FUNKCIE WSN NOD-OV	33
3.1 MODULOVÝ SYSTÉM	33
3.1.1 MODUL V KÚPEĽNI	33
3.1.2 MODUL V ZÁHRADE	34
3.1.3 MODUL NA STRECHE	35
3.1.4 MODUL V OBÝVACEJ IZBE	36
3.1.5 MODUL V ROZVODNEJ SKRINI	37
4. PRAKTICKÁ ČASŤ	38
4.1 VOĽBA KOMPONENTOV	38
4.1.1 RÁDIOVÉ MODULY RF110L S CC110L	38
4.1.2 MSP430G2553 TSSOP28	41
4.1.3 STELLARIS LAUNCHPAD LM4F120XL	41
4.1.4 MODUL CONNECTONE NANO SOCKETLAN	42
4.2 SENZORY A AKTUÁTORY	44
4.2.1 MAXIM DS18B20	44
4.2.2 MAXIM 31850 S TERMOČLÁNKOM TYPU K	46
4.2.3 LAMBDA SONDA BOSCH LSM11.	46

4.2.4	LM35 A LM335	48
4.2.5	VLHKOSŤ DHT11 A AM2031	48
4.2.6	INTENZITA OSVETLENIA BH1750	49
4.2.7	ATMOSFÉRICKÝ TLAK BMP180	49
4.2.8	ULTRAZVUK HC-SR04	50
4.2.9	ANEMOMETER	51
4.2.10	DAŽĎOVÝ SENZOR	51
4.2.11	RGB LED	52
4.2.12	SENZOR 230V	52
4.2.13	PLYNY MQ-135 A MQ-2	52
4.2.14	POHYBOVÉ SENZORY	54
4.2.15	DETEKTOR DYMU A POŽIARU	54
4.2.16	PRÚDOVÁ CIEVKA	55
4.2.17	NAPÁJANIE A ENERGY HARVESTING	56
4.3	REALIZÁCIA	58
4.3.1	NÁVRH A VÝROBA DPS	58
4.3.2	HLAVNÁ MERACIA DOSKA	59
4.4	ŠIFROVANIE KOMUNIKÁCIE	67
4.4.1	AES	67
4.4.2	ECC	67
4.4.3	XTEA NAJVHODNEJŠÍ	67
4.5	MOŽNOSTI SYSTÉMU A REÁLNE FUNGOVANIE	68
5.	EKONONICKÁ NÁVRATNOSŤ SYSTÉMU	69
<hr/>		
ZÁVER		73
<hr/>		
POUŽITÁ LITERATÚRA		75
<hr/>		
ZOZNAM SYMBOLOV, VELIČÍN A SKRATIEK		77
<hr/>		
ZOZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKOV, VZORCOV A TABULIEK		78
<hr/>		
ZOZNAM POUŽITÝCH KOMPONENTOV A ICH CENA		80
<hr/>		
FOTODOKUMENTÁCIA		82
<hr/>		
PRÍLOHY		86

Úvod

Cieľom tejto práce je skonštruovať funkčnú univerzálnu platformu na snímanie hodnôt zo senzorov a ovládanie rôznych aktuátorov v dome podľa aktuálnych požiadaviek užívateľov s možnosťou ľubovoľne meniť parametre. Hlavným zámerom je viacúčelovosť a maximálna konfigurovateľnosť podľa budúcich požiadaviek užívateľa.

Sieť ovládacích prvkov sa skladá z jednotlivých uzlov (nod-ov) s dôrazom na veľmi nízku spotrebu, založených na mikroprocesore MSP430. Prvým krokom bolo zistenie hlavných, prípadne doplnkových požiadaviek užívateľov a nákras pôdorysu s umiestnením WSN nod-ov. Zariadenie má byť čo najjednoduchšie na ovládanie a cenovo prístupné. Má mať nízku spotrebu elektrickej energie, vysokú spoľahlivosť a rýchlu konfiguráciu. Pri návrhu a realizácii tejto práce som vychádzal z výsledkov projektov 1. a 2. v predchádzajúcich semestroch.

Prvá kapitola sa zaoberá opisom histórie vzniku bezdrôtových senzorových sietí a ich praktickým využitím v dnešnej dobe. Ďalej obsahuje opis súčasnej situácie na trhu a možnosti užívateľov zadovážiť si takýto inteligentný riadiaci systém pre svoj dom.

V druhej kapitole je opísaný skutkový stav domu a vykurovacej sústavy, výkony vykurovacích telies. Tepelné zdroje sú regulované podľa ekvitermickej krivky s premennými parametrami ako aj riadenie ďalších prvkov, bez ktorých by táto sústava nebola plne funkčná. Ďalej sú tu stručne opísané ich vlastnosti, fungovanie, výhody a nevýhody. Príloha obsahuje nákresy, ktoré zobrazujú súčasný reálny stav a zapojenie vykurovacej sústavy. Zaoberá sa taktiež umiestnením WSN nod-ov a hlavnej riadiacej jednotky.

Ďalšia kapitola sa zaoberá možnosťami použitia jednotlivých senzorov a aktuátorov pre kontrolu domu. Ako najvhodnejšiu som zvolil STAR topológiu rozloženia senzorov s jednou hlavnou riadiacou jednotkou. Uvedená topológia disponuje viacerými výhodami, a to hlavne: nižšou spotrebou bezdrôtových senzorov, jednoduchším riadením hierarchie, vyššou bezpečnosťou, ľahkým pridávaním ďalších periférií a kompatibilitou s rôznymi senzormi.

Štvrtá kapitola je zameraná na praktickú časť práce, ktorá zahŕňa návrh, výrobu, tvorbu programu pre mikrokontrolér a optimalizáciu parametrov regulátora.

V piatej kapitole sa viac zaoberám ekonomickými otázkami domácej automatizácie a porovnaním navrhovaného systému s inými komerčnými riešeniami. Užívateľ, ktorý vykonáva monitoring, môže pracovať z akéhokoľvek miesta na svete, kde má prístup na internet, prípadne monitorovať niekoľko domácností naraz. Táto skutočnosť sa odrazí na nízkych nákladoch na prevádzku, možnosti neustále a v reálnom čase sledovať aj zasahovať do automatizácie domácnosti, či privolať pomoc pri havarijnom stave.

V závere som zhodnotil výsledky práce, odôvodnil neúspechy a načrtol ďalšie možnosti vývoja a vylepšenia.

1. Teoretická část

1.1 História a koncepcia návrhu

Automatizácia v prenesenom slova zmysle „hýbe svetom“. Donedávna bola iba výsadou priemyselných odvetví a v tejto oblasti aj zaznamenávala najväčší rozvoj. V posledných rokoch sa začína automatizácia hojne využívať v technickom zariadení budov. Pod pojmom automatizácia si už v tejto súvislosti dnes nepredstavujeme len termostat umiestnený v byte spínajúci kotol ústredného vykurovania, ale veľa ďalších najrôznejších funkcií zahrnutých pod pojmom „inteligentný dom“. Predtým bolo použitie inteligentného riadenia aplikované v budovách väčšinou výsadou veľkých budov ako napríklad hotely, obchodné centrá, prevádzkarne spoločností, úrady atď., ale s rozvojom technológií určených pre riadenie budov a s poklesom cien systémov pre toto určených, sa postupne v stále väčšom meradle začínajú tieto technológie uplatňovať aj v rodinných domoch, bytoch, nízkoenergetických budovách atď.

Avšak tento pojem bol použitý už v 50-tych rokoch 20. storočia, kedy vznikla myšlienka domu vybaveného systémom automatizácie, ktorá sama riadila vykurovanie, roboty na čistenie podláh, audio a video systémy atď. Isté náznaky smerujúce k tejto myšlienke možno nájsť už skôr, aj v našom okolí, kde už v roku 1930 bola dokončená unikátna vila Tugendhat. V tejto luxusnej stavbe bolo použité mimoriadne nadčasové vybavenie domu, prevádzkové a technické zázemie, ktoré o desiatky rokov predišlo dobu.

20. storočie - technologická revolúcia

V 20. storočí sa uskutočnila dramatická revolúcia v domácich technológiách, revolúcia, ktorá vyvrcholila na konci storočia vznikom predtým nepredstaviteľného konceptu inteligentných budov. Technológie sa v priebehu 20. storočia zmenili na nepoznanie, pričom prvým a najdôležitejším impulzom tejto zmeny bolo zavedenie elektriny do domácností v prvej štvrtine storočia. Dostupnosť energie spôsobila postupné vybavenie domácností spotrebičmi. Druhým významným impulzom bol rozvoj informačných technológií v poslednej štvrtine storočia. Informačné technológie vytvorili možnosti na výmenu informácií medzi ľuďmi, prístrojmi, systémami a sieťami v rámci domácností aj mimo nich.

Nasledujúce riadky stručne zachytávajú stupňujúce sa tempo a dramatický charakter vývoja v domácich technológiách naprieč 20. storočím - zmeny, ktoré pripravili pôdu pre vznik inteligentných domov.

- **1915 – 1920** V ranej fáze storočia sa rozvíjajúca stredná trieda spoločnosti musí zaoberať nedostatkom domácich sluhov. Práve vďaka tomuto nedostatku pracovnej sily sa elektricky poháňané stroje, ako vysávače, kuchynské roboty, šijacie stroje a pod. dostávajú do domu prvýkrát. Reklamné slogany hlásajú, že s pomocou technológií postačuje jedna osoba (žena), ktorá zvláda všetky domáce práce, a pritom má čas na odpočinok a záujmové aktivity. Inercia používa výroky typu „Jarné upratovanie s elektrinou vám automaticky dáva čas, robiť tie veci, ktoré chcete robiť“.

Pripojenie domov na zdroj elektrickej energie nebolo ešte všeobecne rozšírené, a tak pre väčšinu gazdiniiek zostala táto predstava high-tech fantáziou.

- **1920 – 1940** V roku 1940 stúpol podiel domácností napojených na elektrickú sieť vo Veľkej Británii na zhruba 65 percent. Veľká časť domov využívala elektrinu výhradne na osvetlenie, zatiaľ čo iné mali aj jednu 5 ampérovú zásuvku. Obyvatelia niekedy odmietali platiť dodatočné náklady za montáž zásuvky, pretože si neboli schopní predstaviť jej využitie. Postupne sa začína klásť čoraz väčší dôraz na spotrebu, reklama apeluje na psychológiu ženy v domácnosti - „pani Spotrebiteľka“. Je iróniou, že zavedenie nových domácich technológií vlastne viedlo u žien k nárastu času tráveného domácimi prácami ako kedykoľvek predtým, pretože spoločenské normy viedli k oblečeniu pranému v práčkach častejšie, a vysávače k častejšiemu čisteniu podláh.

- **1940 – 1945** V priebehu druhej svetovej vojny vládna propaganda vykresľuje ženy ako technicky spôsobilé a schopné prevziať tradične mužské pracovné miesta v spracovateľskom priemysle, a tým uvoľňovať mužov do ozbrojených síl. Ženy si zvykli pracovať mimo domova, mnohé sa stali technicky zdatné a nové úlohy sa im páčili. Na pomerne dobre platených pracovných miestach ženy dosahovali pre ne prijateľné finančné ohodnotenie a uvedomili si aj peňažnú hodnotu domácich prác.

Tieto faktory pomohli pripraviť pôdu pre prijatie domácich technológií po vojne.

- **1945 – 1959** Po druhej svetovej vojne vládna propaganda vedená snahou uvoľniť pracovné miesta pre mužov po návrate do civilného života presvedča ženy, že ich miesto je opäť v domácnosti. Dobové reklamy zobrazujú ženy v domácnosti, mávanie manželom pri odchode do práce, neskôr zameriavajú pozornosť na každodenný domáci život, boj s baktériami – „germs rather than Germans“.

Dizajn domu sa začal prispôsobovať životu po boku moderných technológií. Napríklad do kuchyne sa umiestňujú chladničky, elektrické variče a umývačky riadu, ktoré začali prenikať na trh. V Británii bol zavedený koncept „televízneho salónika“, pričom predaj televízorov masívne stúpol pred korunováciou.

- **1960 – 1980** Ideál domácej gazdinky rokov 50-tych, ktorá sa zdržiava doma, bol prekonaný v 60-tych rokoch. Rozšírením antikoncepcných piluliek a slobodným rozhodovaním o tom, či a kedy mať deti, začalo viac žien chodiť do práce. Zariadenia šetriace prácu a čas sa stali bežnou výbavou priemernej domácnosti, vrátane varných kanvíc, hriankovačov, kávovarov, kuchynských robotov, sušičov vlasov, holiacich strojčekov, umývačiek riadu, automatických pračiek, šijacích strojov, vysávačov a žehličiek. Aj iné technológie sa stali samozrejmosťou v domácnosti, napríklad ústredné kúrenie a termostaty.

- **1980 – 2000** Začiatkom 80-tych rokov mali takmer tri štvrtiny domácností v Anglicku a Walese farebnú televíziu, do konca 80-tych rokov polovica mala už aj videorekordéry. V tomto období, ktoré je príznačné zavedením bezdrôtových a mobilných telefónov pre

domáce použitie, zľudoveli okrem iného aj mikrovlnné rúry, mrazničky a sušičky. Vyrástol spotrebiteľ nových technológií pre domácu zábavu a na trh začali prenikať - káblová TV, DVD, playstation a multimedialne PC. Migrácia počítača z pracoviska do domov je zvlášť významná, pretože umožnila prácu na diaľku, stiera rozdiel medzi domovom a pracou.

Navyše tým, že počítač umožňuje prístup k internetu, pripája domácnosť k celému radu nových služieb, ako sú on-line nákupy, internetové bankovníctvo, informácie a správy, teda k službám, ktoré sú naďalej v procese rýchleho vývoja.

Z tohto stručného prehľadu histórie je zrejmé, že rozličné druhy domácich technológií boli prijaté rôzne rýchlo. Nakoľko tento fakt môže ovplyvniť prijatie inteligentných domácich technológií v budúcnosti, je dôležité identifikovať, čo ovplyvňovalo rýchlosť rozšírenia technológií v minulosti - je potrebné rozlišovať medzi spotrebičmi, ktoré čas šetria angl. „time-saving goods“ a spotrebičmi, ktoré čas spotrebúvajú, angl. „time-using goods“. [9]

Perspektíva inteligentných domácich technológií

Spotrebiče šetriace čas majú potenciál zvyšovať zásobu voľného času tým, že skráti čas potrebný na vykonanie úlohy - napríklad automatické práčky. Spotrebiče spotrebúvajúce čas sú tie, ktoré majú potenciál zlepšiť subjektívne vnímanie kvality života spotrebiteľa - napríklad televízia. Zvýšenie penetrácie trhu spotrebičmi šetriacimi čas, ako sú vysávače, chladničky a práčky trvalo niekoľko desaťročí a bolo priamo úmerné príjmom domácností. Naopak, rádio, televízia a video (čo sú čas spotrebúvajúce tovary) dosiahli ekvivalentnú hladinu rozšírenia počas niekoľkých rokov a vykazujú oveľa menšiu závislosť na príjme domácnosti.

Pri úvahách o budúcnosti inteligentných domácich technológií stojí za zmienku fakt, že spotrebiče šetriace a spotrebiče spotrebúvajúce čas budú súťažiť o množstvo času pridelené na ich použitie. Stále väčšie množstvo času ľudia trávia sledovaním televízie a zaznamenávame výraznú redukciu času tráveného domácimi prácami, ktorých objem predtým postupne po celé roky rástol, napr. nároky na hygienické štandardy. V tomto môžeme hľadať historické ponaučenie.

20. storočie teda bolo svedkom rastúceho tempa zmien domácich technológií a ukázalo pripravenosť prijať technológie šetriace čas. Na konci tohto storočia pripojilo mnoho domácností svoje PC k informáciám a službám mimo domova. Tým boli splnené základné predpoklady konceptu inteligentných domov. [9]

Hlavné benefity inteligentných domácich technológií

Popri finančných úsporách vyplývajúcich z tohto spôsobu domovej inštalácie je hlavným účelom inteligentných budov zvýšiť komfort ich užívania pre obyvateľov. Pojem inteligentná budova sa v súčasnosti často používa pre široké spektrum rôzne vybavených budov - od domov s inštalovaným kamerovým systémom a jednoduchou štruktúrovanou kabelážou (rozvody pre počítačovú sieť atď.) až po ukážkové domy, ktoré slúžia na demonštráciu najmodernejších technológií.

Pojem inteligentný dom

Inteligentný dom je pre zjednodušenú predstavu akákoľvek budova vybavená automatizačnou technikou, ktorá reaguje na okolité vplyvy a potreby obyvateľov zvýšiť ich komfort, pohodlie a v neposlednom rade tiež znížiť spotrebu energií. Koncept automatizovaného domu je takým konceptom, ktorý sám riadi prevádzku tepelnej stability v dome, osvetlenia, žalúzií a rôznych elektrospotrebičov. Zároveň je prepojený so zabezpečovacou technikou, protipožiarnym systémom a ochranou majetku. Inteligentný dom s rýchlym nástupom automatizačnej techniky sľubuje možnosť úplnej zmeny v spôsobe spolužitia s technológiami v domácnosti.

Pritom sa stále ponúka otázka, či pre obytné domy nie je tento druh inštalácie zbytočným luxusom alebo „módnym výstrelkom“. Najväčší podiel na rýchlom rozvoji inteligentných budov má rozvoj komunikačných technológií, ktoré využívajú ethernet, bezdrôtové a rôzne ďalšie siete a zbernice. Ďalším významným prvkom sú aj možnosti jednotlivých senzorov, akčných členov a zabezpečovacích systémov. V neposlednom rade je veľmi dôležitým faktorom rastúca cenová dostupnosť všetkých týchto prvkov.

Tieto technológie sa hojne využívajú v „pasívnych“ alebo tiež „nízkoenergetických“ domoch, pričom tieto budovy majú opláštenie realizované tak, aby dochádzalo k minimálnym stratám energie. Preto je zároveň nutné vykonávať riadenú ventiláciu, často spojenú s rekuperáciou tepla. Ako už bolo povedané, jedným z najväčších prínosov inteligentného domu je užívateľský komfort, prejavujúci sa rôznymi užitočnými detailmi, ktoré závisia od konkrétneho prevedenia, najčastejšie od riešenia elektroinštalácie a tomu zodpovedajúcemu programu. Príkladom môže byť použitie infračervených senzorov pohybu PIR, ktoré môžu uľahčiť orientáciu po chodbách, schodiskách atď. V miestnostiach možno ovládať osvetlenie a ďalšie spotrebiče pomocou logických súvislostí, máme možnosť využiť multifunkčné ovládacie prvky tým, že rozlišujeme funkciu jednoduchého, dvojitého, krátkeho alebo dlhého stlačenia. Nastavenia jednotlivých charakteristík domu možno ľahko zmeniť do želaného stavu použitím predprogramovaných scenárov a udalostí napríklad pri vstupe alebo odchode z budovy alebo bytovej jednotky. Výhodou je, že stav, v ktorom sa systém nachádza, možno ľahko monitorovať použitím prístupu z PC alebo pomocou operátorských panelov. Využiť možno aj alternatívne zdroje energie.

Zaujímavou výzvou je dosiahnuť takýto cieľ pri čo najnižších obstarávacích nákladoch jednotlivých komponentov.

Miera automatizácie domu

Mieru automatizácie a inteligencie domu možno vysvetliť na niekoľkých príkladoch:

a) Dom obsahuje samostatné inteligentne fungujúce zariadenia a systémy pracujúce nezávisle od ostatných. Príkladom môže byť systém riadenia osvetlenia alebo zavlažovania. Pomocou snímača prítomnosti osoby a snímača úrovne osvetlenia rozsvieti svetlá pri vstupe človeka do miestnosti iba v prípade, že vonkajšie osvetlenie nie je dostatočné. Alebo napr. zavlažuje, ak nie je dostatok vlhky v pôde a nedetekuje pohyb vonku.

b) Dom obsahuje inteligentne fungujúce zariadenia a systémy, ktoré si z dôvodu zdokonalenia svojej činnosti vymieňajú informácie a správy medzi sebou. Napríklad po zamknutí vchodových dverí sa automaticky zapne bezpečnostný systém domu, ktorý vyšle príkaz na zhasnutie všetkých svetiel, vypnutie hudby a TV, nastavenie kúrenia na úsporný režim alebo simuláciu prítomnosti osoby.

c) Dom prepojený pomocou vnútornej a vonkajšej komunikačnej siete. Umožňuje interaktívne vzdialené ovládanie domu a nastavenie parametrov systému. Prístup k monitorovaniu odkiaľkoľvek z domu aj mimo neho. Napríklad pri detekcii narušenia bezpečnosti sa rozsvietia všetky svetlá v interiéri a exteriéri, vytiahnu sa rolety, pošle sa informácia na PCO, užívateľovi umožní vzdialený prístup ku kamerám alebo priamo pošle fotografie prostredníctvom MMS alebo emailom.

d) Učiaci sa dom zaznamenáva aktivity v dome do databázy a používa nahromadené údaje pre samočinné ovládanie automatizácie podľa historických potrieb užívateľov. Príkladom môže byť ovládanie svetiel a kúrenia podľa obvyklého denného režimu. Na tomto stupni je zaujímavé, že nie je nutné programovanie a nastavovanie riadiaceho systému inteligentného domu, ale užívatelia sami naučia systém svojim zvyklostiam.

e) Pozorný dom sleduje aktivity a okamžitú polohu ľudí. Neustále vyhodnocuje a samočinne riadi technológie podľa predvídaných potrieb. Na rozdiel od predchádzajúceho stupňa, kde sú používané historické údaje, tu všetko prebieha v reálnom čase.

Tieto stupne na seba navzájom nadväzujú, každý stupeň v sebe automaticky zahŕňa schopnosti všetkých nižších. **[9]**

Najspoľahlivejším a najviac používaným spôsobom komunikácie jednotlivých uzlov v systéme riadenia inteligentného domu je komunikácia po zbernici (RS485, KNX, RS232, Modbus, ...). Je to najlepšie riešenie s prijateľnou cenou a bezproblémovou otázkou napájania po zbernici alebo cez ďalšie žily vodiča. Avšak inštalácia takéhoto systému si vyžaduje rozsiahlu slaboprúdovú a silnoprúdovú kabeláž. Toto riešenie je vhodné najmä pre novostavby, kde už pri projektovaní možno kabeláž vytvoriť. V úplne inej situácii je majiteľ staršieho alebo už zariadeného domu/bytu, ktorý sa rozhodne prejsť na inteligentnú elektroinštaláciu.

Inštalácia vhodných dátových vodičov (UTP, KNX, CAT7 kábla) a následné napojenie jednotlivých spotrebičov na samostatné silnoprúdové vodiče už z rozvodnej skrine je významný zásah do hotovej stavby a náročná záležitosť z viacerých hľadísk, najmä ak je nutné drážkovanie muriva, železobetónu a podobné náročné operácie. Investora môže takáto inštalácia napokon stáť aj viac ako dvojnásobok v porovnaní s novostavbou.

Preto väčšina záujemcov plánuje prechod na inteligentnú inštaláciu obvykle až pri veľkej rekonštrukcii obývaného priestoru. Väčšinu používateľov tento fakt odradí a zároveň čakajú na zníženie cien rôznych ovládacích systémov.

Kvôli vyššie spomenutým faktorom som sa rozhodol vybudovať kompletný bezdrôtový systém, aby som všetky vyššie spomenuté nevýhody vylúčil alebo aspoň v maximálnej miere obmedzil.

1.2 Teória WSN

Vývoj týchto sietí, v angličtine nazývaných "Wireless Sensor Networks", začal na konci deväťdesiatych rokov a celosvetovo sa pre tento typ sietí ujala skratka WSN. Prvotný impulz k vývoju WSN prišiel, ako u väčšiny moderných technológií, z vojenského prostredia. Tu vznikla požiadavka na sledovanie fyzikálnych veličín v jednotlivých miestach rozľahlého územia. Náhodne rozosiate veľké množstvo senzorov po okolí vyhodnocuje zmenu teploty, vibrácií a tlaku a včas informuje o presunoch nepriateľských vojsk. Popri vojenskom využití technológia vzájomne komunikujúcich senzorov čoskoro našla uplatnenie aj v civilnom sektore, kde sa podobná myšlienka uplatňuje napr. v monitoringu rozľahlých lesných porastov pre včasnú detekciu požiaru či nelegálneho výrubu dreva alebo v poľnohospodárstve proti zlodejom, či na meranie vlhkosti pôdy, vzduchu a teploty. Okrem environmentálnych aplikácií sa v dnešnej dobe technológie WSN používajú aj v spojení s akčnými členmi pre sledovanie a ovládanie pomaly sa meniacich veličín v automatizácii budov, výrobných procesoch, doprave, ale napríklad aj v biomedicínskych aplikáciách.

Potenciál WSN sietí láka veľké množstvo inžinierov a veľa vedeckých tímov sa zaoberá práve problematikou súvisiacou s WSN sieťami. Oblasť výskumu je veľa, od návrhu samotných senzorových uzlov, bezdrôtových rozhraní a vlastných snímacích zariadení, cez výskum oblasti komunikácie, smerovania, lokalizácie až k otázkam bezpečnosti aplikácií využívajúcich WSN senzory. V dôsledku veľkého množstva senzorov, ktoré väčšinou WSN sieť obsahuje, je na tieto jednotlivé zariadenia kladená aj požiadavka prijateľnej ceny. To má spolu s požiadavkou miniaturizácie veľký vplyv na obmedzujúce faktory bezdrôtových uzlov, ku ktorým patrí predovšetkým výpočtová a pamäťová kapacita, šírka pásma použiteľná pre komunikáciu a v dôsledku absencie externých zdrojov napájania tiež obmedzený zdroj energie.

V posledných desaťročiach sa senzory stali súčasťou mnohých kancelárskych, predajných aj obytných priestorov. Umožňujú monitoring rôznych veličín vďaka cenovo dostupným miniatúrnym bezdrôtovým senzorom, ktoré umožňujú všetko hlásiť centrálnemu serveru. Technológie potrebné pre senzorové siete dozrievajú práve teraz a je predpoklad veľkého rozšírenia spolu s poklesom ceny za komponenty. Potenciál využitia aj zneužitia senzorových sietí najmä v kombinácii RFID je značný. Senzorové siete využívajúce RFID môžu v budúcnosti poskytovať informácie, ktoré bude stačiť len prečítať a preniesť do počítača.

Topológia dnes najviac používaných WSN systémov sa väčšinou skladá zo senzorov pripojených k centrálnej jednotke zberu dát, ktorá je pripojená k PC. Tu sa dáta spracovávajú a zobrazujú. Systémy vyššej úrovne sú autonómne a centrálna jednotka zahŕňa spracovanie signálov, zobrazovaciu jednotku, prípadne priamo vyhodnocuje namerané údaje a štatistiky.

1.3 Technológia WSN

Bezdrôtovú senzorovú sieť tvoria uzly, takzvané nody (z angl. Node). Tento uzol sa všeobecne skladá zo senzorovej časti, výpočtovej časti, napájania a rádiového modulu. Základnou myšlienkou WSN je maximálna úspora energie a vysoká flexibilita - tomu je podriadený celý systém, rovnako výpočtový výkon uzla a programové prostriedky ako aj prenosové protokoly. Uzol využíva rôzne hladiny "spánku"(LPM mód), keď je výkon procesora, pamätí a periférií riadený podľa aktuálnej potreby (snímanie veličín, spracovanie dát, komunikácia, nečinnosť atď.). Rozľahlosť takejto siete môže byť od niekoľkých uzlov až po teoreticky neobmedzené množstvo. Sieť je možné v základnom usporiadaní prevádzkovať vo všeobecne známom hviezdicovom usporiadaní, ale najväčším prínosom systémov WSN je tvorenie sietí typu AD-HOC, MESH a MULTI-HOP.

Význam týchto pojmov znamená, že sieť nemá pevnú infraštruktúru, ktorá by predpisovala, ktoré dva uzly budú spojené (každý uzol má rovnakú prioritu, na rozdiel od modelu s pevnou štruktúrou master - slave). V prípade pridania nového uzla dôjde k nadviazaniu spojenia s akýmkoľvek okolitým uzlom, a tým sa dynamicky zmení topológia siete.

Spomínané vlastnosti neumožňujú, aby bola technológia WSN použitá pre meranie rýchlych dejov v reálnom čase. Táto skutočnosť však pre rad aplikácií nie je významná. To platí aj v prípade nasadenia WSN v priemysle pre sledovanie stavu strojov. Aby bolo možné takýto systém vytvoriť, hľadajú sa nové riešenia v rôznych oblastiach technického vývoja spojených s WSN. Medzi tieto oblasti patrí tvorba komunikačných štandardov, koexistencia jednotlivých bezdrôtových technológií, rušenie a EMC, bezpečnosť, riadenie energetickej spotreby, napájacie zdroje, miniaturizácia, distribúcia vhodných metód spracovania signálov medzi uzlami a centrálnym bodom siete, výber vhodných algoritmov pre výpočtovo jednoduché zariadenie - uzly siete, fúzia dát v skupine senzorov (uzlov), klasifikácia chýb a bezpečnosti systému...

Vlastnosti WSN, ako je rozľahlosť siete, nízka energetická spotreba a obmedzená výpočtová a prenosová kapacita, vyžadujú vhodné metódy spracovania signálov, ktoré by dokázali v reálnom čase detekovať neštandardné správanie mechanizmu, a pritom by ich bolo možné implementovať do výpočtovo jednoduchých zariadení. Metódy, ktorými sa zaoberáme, sú detekcia zmien v signále (vykonávaná lokálne v uzle napr. prebudenie pri zmene hodnoty), komprimácia informácie, fúzia dát, zostavenie klasifikátorov hodnotiacich prioritu informácie, či autodiagnostika celej sústavy.

1.4 Situácia na trhu

Ako všetko premeniť na účinný funkčný systém? Určite na trhu pôsobia firmy, ktoré všetko vytvoria na zákazku, podľa predstáv zákazníka. Dôležité je vopred si rozmyslieť očakávania od takéhoto systému, ďalej je potrebné zvážiť, čo všetko bude naša inteligentná domácnosť obsahovať. Aké spotrebiče chceme pomocou nej riadiť,

práve pri tom budeme asi najviac limitovaní prostriedkami, ktoré sme ochotní do systému investovať. Zaujímavá je samozrejme na druhej strane suma, ktorú budeme schopní vďaka nášmu systému usporiť.

Niekoľko posledných rokov diametrálne zmenilo pohľad bežných užívateľov na inteligentný dom. Vyžadujú stále pokročilejšie funkcie inteligentného domu a ich technické povedomie razantne stúplo. Mnoho výrobcov investovalo značné prostriedky do vývoja a do uvedenia výrobkov a zariadení domácej automatizácie na trh. Obvykle proprietálne systémy, ktoré nemajú definovaný celosvetový štandard, sú lacnejšie a niekedy majú aj viac funkcií. Komponenty viacerých výrobcov spĺňajúce štandardy, ktoré sa ujali celosvetovo a mnoho firiem ich využíva (napr. KNX, X10, EnOcean, Zigbee), spolu dokážu bez problémov komunikovať. Nevýhodou je pomalý vývoj štandardov oproti technickým možnostiam súčasnosti a vysoká cena za certifikáciu, ktorú v konečnom dôsledku musí zaplatiť zákazník. Preto sa využívajú hlavne v rozsiahlych inštaláciách, kde sa rozdelia do jednotlivých línii (napr. O2 aréna s 25000 zariadeniami).

Nespornou výhodou týchto štandardizovaných systémov na automatizáciu a zároveň dôvodom ich pomalého vývoja, je zachovanie spätnej kompatibility. Dodnes neexistujú všeobecne zaužívané, celosvetovo rozšírené štandardy, ktoré by upresňovali metódy komunikácie, šifrovania a overovania. Preto je a zákazník nútený zakúpiť si výrobky výhradne rovnakej firmy, od ktorej je celá inštalácia.

Systémy inteligentného riadenia môžeme rozdeliť na dve skupiny: drôtové a bezdrôtové. Snažil som sa vybrať príklady výrobkov s prijateľným pomerom cena / funkcia vzhľadom na finančné možnosti a požiadavky užívateľa.

Medzi drôtovými, ktoré pracujú vo väčšine prípadov na zbernicovom princípe, sú napr.:

Ego-n od firmy ABB - ideálny pre menšie inštalácie, teda viacposchodové rodinné domy. Dokáže ovládať všetky štandardné funkcie ako regulácia osvetlenia, žalúzie a rolety, vykurovanie a klimatizácia, spínanie zásuviek a svetiel, snímanie pohybu, meranie a kontrola spotreby, spolupráca s **EZS** (elektronickým zabezpečovacím systémom) a protipožiarnym zabezpečením EPS, vzdialené ovládanie a vizualizácia na smartphone prostredníctvom webového prehliadača, možnosť pripojiť Ego-n s multimediálnym systémom od firmy **CONTROL4**. [1]

Inels od firmy Elko a **Foxtrot** od spoločnosti TECOMAT sú v zásade veľmi podobné a líšia sa hlavne v miere komfortu programovania a cene za rôzne funkčné komponenty.

Loxone je najlepším drôtovým variantom automatizácie, pretože táto firma sleduje požiadavky trhu a neustále ponúka vylepšenia a nové moduly. Cena komponentov zodpovedá reálnej funkčnosti a výrobným nákladom s nízkymi maržami.

Dokonca má v ponuke blok na reguláciu vykurovania podľa ekvitermickej krivky a automatické určenie odozvy, čo je jeden z hlavných predpokladov úspor v chladení a vykurovaní budov. Ponúka aj plne bezdrôtovú verziu Loxone AIR Miniserver GO, ktorá je určená hlavne pre domy už s hotovou elektroinštaláciou, komunikuje na frekvencii 868 MHz a štatistické údaje sa ukladajú na 16 GB SD kartu. Loxone ponúka online prístup

k web rozhraniu s automatickou optimalizáciou podľa rýchlosti internetového pripojenia a zdarma aplikácie pre Android a iOS. Vzorový projekt, na Web stránke výrobcu, pre 5 izbový byt pozostáva z Loxone miniservera, 2x extension, 1-wire extension, 5x senzor prítomnosti, 5x elektrotermická hlavica, senzor vetra, set 1-wire senzorov teploty, zdroj 24v, dažďový senzor, služba cloud caller na 1 rok.

Kalkulácia nákladov podľa aktuálnych cien v Loxone webshope je 73531 Kč (2. 3. 2015), cena nezhrňa dodatočné náklady na silnoprúdovú inštaláciu a slaboprúdovú kabeláž. [2]

Z-Wave je bezdrôtový komunikačný protokol navrhnutý pre domácu automatizáciu, špeciálne pre aplikácie na diaľkové ovládanie v obytných a úžitkových prostrediach. Táto technológia využíva nízkopríkonovú subgigahertzovú komunikáciu elektronických zariadení a systémov, ako je osvetlenie, riadenie prístupu, riadenie domácich spotrebičov a multimediálnych systémov.

Z-Wave pracuje na 868 Mhz v európskom frekvenčnom pásme na jedinom kmitočte s moduláciou frequency-shift keying (FSK). Priepustnosť je až 100 kbit/s (9600 bit/s staršia verzia čipov) Je vhodný hlavne pre kontrolné a senzorové aplikácie. Každá Z-Wave sieť môže obsahovať až 232 uzlov. Skladá sa z dvoch druhov uzlov: master a slave. Uzly môžu byť nakonfigurované tak, aby opakovane vysielali správu z ostatných uzlov a bola zaručená konektivita v zložitom prostredí obytného domu, kde prevažuje multicestné šírenie.

Priemerný dosah komunikácie medzi dvoma uzlami je 30 m a so schopnosťou správ až štyrikrát preskočiť medzi uzlami, poskytuje dostatočné pokrytie pre väčšinu obytných domov. Členmi Z-wave aliancie je viacero firiem ako Honeywell, LG, Bosch, Danfoss a veľa ďalších. Výhodou je otvorenie tohto štandardu aj pre hobby užívateľov, a tak vzniklo niekoľko projektov, kde sa využíva štandardný univerzálny hardware na zriadenie Z-wave siete v domácom prostredí.

Príkladom je router **Asus WL500G** do ktorého stačí nahráť špeciálny upravený firmware a zapojiť VERA USB stick a stane sa z neho ovládacia centrála s web serverom. Podobne projekt **RaZberry** vyžaduje stiahnutie aplikácie z-way-server do Raspberry PI a pripojenie RaZberry daughter board. [3]

Komerčné možnosti domácej automatizácie uzavrieme použitím **ARM** (Advanced RISC Machine) minipočítača Raspberry PI a tisíckami projektov na automatizáciu a inteligentné ovládanie, dokonca s hlasovým ovládaním a čítaním správ.

Napríklad open-source projekt **Home assistant** je na vysokej úrovni spracovania s podporou zariadení a komunikačných protokolov: Philips Hue, Nest thermostats, WeMo switches, Google Cast, protokol X10. Obvyklou prekážkou masového rozšírenia je nutná znalosť elektroniky a hlavne programovania, ak vyžadujeme pokročilé funkcie, ktoré ani niektoré komerčné systémy neposkytujú. Odmenou je nízka cena za realizáciu, modifikovateľnosť podľa našich predstáv a hlavne dobrý pocit z vlastnej práce. [4]

2. Miesto inštalácie

V prvej časti tejto kapitoly je opísaný skutkový stav domu a hlavne jeho vykurovacej sústavy. V prílohe sú presné nákresy zobrazujúce súčasný reálny stav a zapojenie sústavy. Pôvodné plány boli vypracované v roku 1990.

Tepelné zdroje a ich regulácia je rozpisovaná v druhej časti kapitoly spolu s riadením ďalších prvkov, bez ktorých by táto sústava nebola plne funkčná. Ďalej sú tu stručne opísané vlastnosti prvkov, ich fungovanie, výhody a nevýhody.

V tretej časti je navrhnutá správna metóda riadenia a regulácie vykurovania s podrobne rozpísanými algoritmi riadenia.

2.1 Opis domu a vykurovacej sústavy

Rodinný dom postavený v 50-tych rokoch 20. storočia, rekonštrukcia, prístavba a nadstavba realizovaná v 90-tych rokoch. Jedná sa o podpivničený rodinný dom zo zmiešaného muriva s dvoma nadzemnými podlažiami bez využitého podkrovia pod sedlovou vetranou strechou krytou hliníkovým plechom. Nosný systém je stenový pozdĺžny, tvorený obvodovou nosnou stenou hrúbky cca 450 mm a štyrmi vnútornými nosnými stenami hrúbky 450 mm. Ďalšie dispozičné riešenie je tvorené priečkami hrúbky cca 100 - 150 mm. Výplne otvorov sú drevené dvere s presklením z izolačného dvojskla, staršie dvojité drevené okná a aj drevené „eurookná“ s izolačným dvojsklom. Stropy tvorí monolitická železobetónová spojitá doska, ktorá je votknutá do železobetónového venca obvodového muriva s hrúbkou cca 300 mm. Dom je sčasti zateplený polystyrénom hrúbky 8 cm a lisovanou doskou Nobasilu hrúbky 3 cm.

Vykurovacia sústava je dvojrúrová s núteným obehom vody. Celá je zhotovená z ocele, s kombinovaným vertikálnym i horizontálnym rozvodom. Pôvodne bola vykurovacia sústava navrhnutá na prirodzený obeh. Po realizácii nadstavby druhého podlažia bol inštalovaný plynový kotol s čerpadlom a na túto sústavu sa napojil stúpačkami nový vykurovací okruh.

V lete 2013 prebehla rekonštrukcia kúrenia s centrálnou prípravou teplej vody (ďalej len TV). Bol zmenený primárny zdroj tepla na pyrolitický (splyňovací) kotol na drevo.

Všetky zdroje tepla sú pripojené do akumuláčnej nádrže s objemom 1000 l a nerezovým výmenníkom na ohrev TV s plochou 3,2 m². Pre budúcnosť je možné uvažovať s rezervou - oceľovým výmenníkom pre solárne panely v spodnej časti nádrže. Nádrž je izolovaná minerálnou vatou s hrúbkou 250 mm, vo vrchnej časti až 400 mm ($\lambda = 0,04 \text{ W/mK}$). Najväčšie úniky tepla sú spôsobené pripojovacím potrubím a spodnou časťou nádrže. Nádrž slúži na vyrovnávanie spotreby tepla a jeho výroby - aby mohol predovšetkým splyňovací kotol pracovať na maximálny výkon, dosiahnuť čo najvyššiu účinnosť, a tým aj úsporu paliva.

Výrobca udáva, že sústava s akumuláčnou nádržou dosahuje úsporu 20–30 % za rok v porovnaní so sústavou bez nej, kedy sa kotol často vypína. [5]

Sústava pozostáva prevažne z panelových vykurovacích telies a zo starších plechových rebrových vykurovacích telies. Objem sústavy je 1300 l. Všetky komponenty majú povrchovú úpravu bielou radiátorovou farbou Novochema SYNRAD. Izolácia potrubia v suteréne je tvorená textilným obalovacím pásom doplneným Mirelonom s hrúbkou 10 mm. Mirelon je oblepený striebornou samolepiacou plastovou páskou. Rozvody v interiéri nie sú izolované.

Maximálny pracovný pretlak sústavy je 250 kPa. Na tento tlak sú dimenzované aj poistné ventily. Tlaková stabilita je zaistená automatickým expanzomatom Flexcon C200, ktorý je úmyselne predimenzovaný, a tak zaisťuje perfektnú tlakovú stabilitu a aj tlakovú rezervu v prípade poruchy. Momentálne má sústava pracovný pretlak približne 100 kPa.

Regulácia zatiaľ prebieha výhradne kapilárovými termostatmi umiestnenými v jímkach nádrže a digitálnym priestorovým termostatom s týždenným programom EMOS T105, kde je nastavená prevádzková teplota 21 °C a teplota redukovanej prevádzky (nočný útlm) 18°C. Priemerná spotreba zemného plynu v rokoch 2009 – 2013 bola 2300 m³/rok. Po prepočítaní výhrevnosti vychádza orientačná spotreba dreva (smrek, 20% vlhkosť) 19 prn. Z dôvodu optimalizácie a zvýšenia účinnosti vykurovacej sústavy, som sa rozhodol pridať ekvitermickú reguláciu teploty vykurovacej vody. Preto je potrebné vypočítať tepelné straty objektu, návrhovú teplotu a správne umiestniť senzor vonkajšej teploty.

Jedná sa o stredne ťažkú stavbu z kombinovaného materiálu čiastočne zaizolovanú na prvom poschodí. Únik tepla bol najprv zistený pokusne spotrebou plynu pri priemernej teplote 0°C v exteriéri počas doby 3 dní. Po započítaní účinnosti kotla (95 %) a výhrevnosti zemného plynu (10,6 kWh/m³), vyšla tepelná strata domu približne 6 kW/h. Tento údaj je orientačný a vypovedá o priemernej spotrebe tepla za zimu.

Potreba tepla je podľa normy totožná s celkovou tepelnou stratou objektu. Norma stanovuje tepelné straty pre najnižšiu vonkajšiu výpočtovú teplotu vzduchu v danej oblasti. Pre Rajec a okolie je táto teplota $T_{e, \text{ výpočet}} = -18$ °C. Dvojpodlažný rodinný dom sa nachádza v občianskej zástavbe, má štyri okná orientované na východ, tri orientované na juh, jedno presklenie na schodoch, jedno dvojité okno orientované na západ a sedem malých okien na sever.

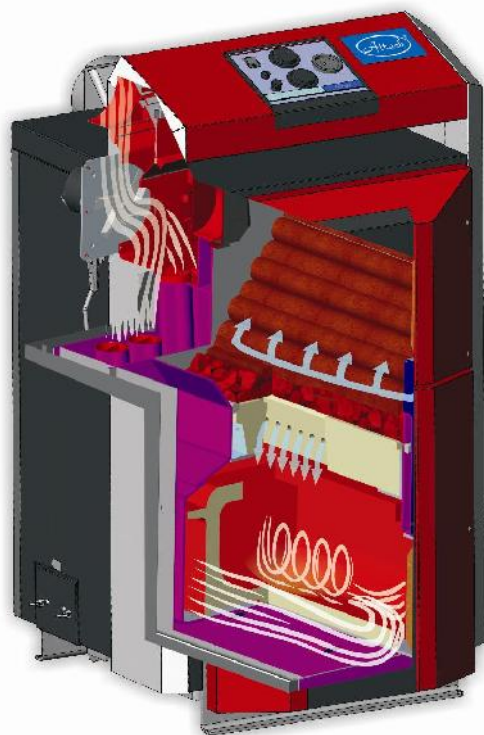
Nominálne parametre vykurovacích telies boli určené z katalógu výrobcu KORADO a pre staršie telesá z technických tabuliek pre projektantov, kde boli údaje uvedené pre parametre 90/70/20°C a bolo ich nutné prepočítať na štandardné 75/65/20°C. Pri ekvitermickej regulácii sa však teplota vody bude dynamicky meniť, a preto je nutné počítať s tým, že výkon telies bude úmerný aktuálnemu teplotnému spádu.

2.2 Zdroje tepla

Výber kotla ústredného kúrenia dnes podlieha čoraz náročnejším kritériám. Veľký dôraz je kladený na mieru komfortu pri obsluhu kotla. Užívateľský komfort súvisí so samotným ohrevom vykurovacej vody za predpokladu maximálnej regulovateľnosti s dôrazom na úsporu paliva, čiže efektívnosť spaľovania. Preto som vybral nasledujúce zdroje tepla s najlepším pomerom účinnosti, servisu a ceny.

2.2.1 Kotel ATTACK DPX25

Pyrolitický kotel určený na spaľovanie kusového, prevažne mäkkého dreva (smrek, ...). Splyňovaním vznikajú horľavé plyny (napríklad vodík alebo metán). Proces splyňovania má za následok čiastočné horenie tuhého paliva, ktoré vzniknutým teplom vytvára zmes



Obrázok 1: Rez kotla ATTACK DPX [5]

vplynov s vysokou energetickou hodnotou. Splyňovanie je v kotloch dosiahnuté obmedzeným prístupom kyslíka. Pri neúplnom horení vzniká CO a uvoľnený vodík sa nespája len s kyslíkom, čoho výsledkom je vznik vody, ale do vzduchu je uvoľňovaný čistý plyn - H₂. Proces je sprevádzaný uvoľňovaním ďalších zložiek ako uhlík, NO_x a pod. (dym). Neúplné horenie štiepi väzby uhľovodíkových atómov. Splyňovací proces je v oblasti vykurovania opodstatnený najmä teplom, ktoré vzniká v kotle bez nutnosti energetického zásahu zvonku. Pri splyňovacích kotloch sa oplatí zdôrazniť, že svojou technológiou spaľovania sa diametrálne líšia od bežných kotlov na pevné palivá. Teplota dosahovaná pri splyňovaní dosahuje hodnoty okolo 1000 °C. Horenie je regulované na dvoch miestach. Ventilátor v kotle smeruje primárny vzduch do ohniska. Sekundárny vzduch je vháňaný do trysky. Vysoká účinnosť splyňovacích kotlov môže ušetriť podstatnú časť nákladov na palivo v porovnaní s bežnými kotlami.

Podmienkou správnej prevádzky splyňovacích kotlov je nízka vlhkosť paliva. Splyňovacie kotly pracujú efektívne s palivom, ktoré dosahuje maximálnu relatívnu vlhkosť 20 %.

Elektronická riadiaca jednotka umožňuje plynulú reguláciu výkonu kotla od 50 % do 100 % pomocou regulácie otáčok odťahového ventilátora. [5] Táto jednotka má užívateľsky príjemné rozhranie, ale zistil som niekoľko nedostatkov, ktoré sa podarilo odstrániť. Pri dohorení kotla sa vypína spalinový odťahový ventilátor a vo vopred nastavenej dobe (štandardne 20 min) sa vypne i obehové čerpadlo. Kotel na displeji zobrazí správu „FUEL“, ale obvykle je v splyňovacej komore ešte stále nedohorené drevo, ktoré ohrieva kotlovú vodu. Riadiaca elektronika kotla by pri teplote 90 °C mala zapnúť obehové čerpadlo, ale táto teplota je blízko aktivácie dochladzovacieho okruhu alebo užívateľ by mohol vypnúť hlavný vypínač. Ak by teplota prekročila 95 °C, aktivuje sa dochladzovací okruh. Ako ochrana pred vyvarením kotla je už dnes štandardne montovaný dochladzovací okruh automaticky aktivovaný termoventilom Danfoss BVT5.

Preto som inštaloval kapilárový termostat, ktorý aj po vypnutí riadiacej jednotky zapne kotlové obehové čerpadlo, aby voda cirkulovala do akumuláčnej nádrže. Ďalší nebezpečný stav je prílišný nárast teploty spalín pri použití malých kusov dreva alebo

otvorení dvířek na delší dobu (1–3 min). Ak teplota presiahne 250 °C, hrozí zničenie odťahového ventilátora a pri ešte vyšších teplotách sa začne deformovať dymovodné potrubie a hrozí vznietenie sadzí v komíne. Aj preto som sa rozhodol merať termočlánkom teplotu spalín priamo v dymovodnom potrubí a pri zvýšení teploty nad 200 °C sa okamžite vypína odťahový ventilátor s hysteréziou 10 °C.

Z užívateľského hľadiska nie je komfortné neustále vizuálne kontrolovať proces spaľovania. Preto som riadiacu jednotku kotla naprogramoval tak, aby v prípade vyhorenia paliva alebo stavu poruchy zopla prídavný výstupný kontakt. Tento signál sa bezdrôtovo prenesie do modulu inštalovaného v interiéri a informuje tak užívateľa o nutnosti doplniť palivo.

2.2.2 Protherm Medved' 30KLO

Nízkoteplotný plynový liatinový kotol s elektronickým zapáľovaním. Služi ako záloha pri nedostatku dreva alebo pri opustení domu prechodom na plne automatickú prevádzku. V letnom období je využívaný hlavne na ohrev TV. Jeho základné vlastnosti sú: dvojstupňová regulačná armatúra, systém kontroly komínového ťahu, možnosť pripojenia externého zásobníka pre ohrev TV, regulačné prvky na čelnej strane kotla chránené krytom proti náhodnej alebo neoprávnenej manipulácii, možnosť ovládania izbovým programovateľným termostatom, možnosť ovládania režimu kotla na ovládacom paneli - v letných mesiacoch ohrev TV, v prechodnom období znížený výkon, v zimnom období plný výkon aj ohrev TV. Kotol má zabudovaný termostat čerpadla, ktorý spustí čerpadlo až po dostatočnom ohriatí vykurovacej vody - úspora paliva a ochrana proti kondenzácii, dobeh čerpadla vykurovacej vody, protimrazová ochrana kotla, ochrana čerpadla proti zablokovaniu, ochrana proti prehriatiu, vybavený spoľahlivými dvojstupňovými plynovými ventilmi pre možnosť voľby výkonu kotla, možnosť prevádzky na zemný plyn aj propán-bután, max. tepelný príkon - zemný plyn G20: 28,5 W, maximálny pracovný tlak: 3 bar. [6]



Obrázok 2: Predný panel elektrickej špirály

2.2.3 Regulus elektrická špirála 3 kW

Jednofázová špirála s termostatom a ovládaním signálom z HDO. Je našraubovaná priamo v nádrži 6/4" závitom s ohrevom len na konci špirály. Má integrovaný prevádzkový a havarijný termostat, ovládací stykač a niekoľko možných spôsobov zapojenia. Služi hlavne ako záložný zdroj tepla pri poruche alebo odstávke kotlov. Použitá môže byť aj ako doplnkový zdroj tepla k solárnym kolektorom v letných mesiacoch.

Prevádzka je ale neekonomická, a preto je trvale odpojená.

2.3 Spôsob regulácie

V súčasnosti tvorí chladenie a vykurovanie budovy jednu z najväčších položiek v rodinnom rozpočte. Preto je legitímna snaha o čo najlepšiu optimalizáciu regulácie, a tým i nákladov. Podstatnou úsporou v prípade nášho miesta inštalácie bola zmena zdroja tepla z plynového kotla na pyrolitický kotol na kusové drevo, ktoré sa dá v našej oblasti zakúpiť za veľmi priaznivú cenu. Ďalšiu možnosť úspory teda vidím v pravidle, že najlacnejšie teplo je teplo nevyrobené.

Preto som sa rozhodol navrhnúť a vypočítať parametre regulátora, ktorý by docielil výraznú úsporu paliva a zároveň neznižil tepelnú pohodu.

V každom objekte sú miestnosti, ktoré nie sú využívané po celý deň alebo ich teplota z hľadiska užívateľského komfortu nie je taká dôležitá ako v iných miestnostiach. Ako prioritné miestnosti som si určil na prvom podlaží spálňu (miestnosť 107) a kuchyňu (108), ďalej obývaciu izbu (201), detskú izbu (208) a pracovňu (207). Tieto miestnosti sú využívané počas celého dňa, a teda aj regulácia by mala byť tomu prispôbená.

Vychádzam z predpokladu, že v akumuláčnej nádrži bude vždy dostatočná teplota, aby bol dosiahnutý potrebný výkon na vykurovanie – neuvažujem teda o stave, ku ktorému občas dochádza, že býva nedostatočná teplota vody v nádrži. Ďalej predpokladám, že tepelné straty domu zodpovedajú inštalovanému výkonu vykurovacej sústavy a neberiem do úvahy solárne zisky budovy, pretože táto veličina sa nepredvídateľným spôsobom mení v čase a je veľmi zložitá ju integrovať do regulátora.

Dôležité pre túto sústavu je vybrať správny spôsob regulácie, aby sa správala čo najúspornejšie a zároveň dosahovala tepelnú pohodu pre užívateľov. V nasledujúcich odsekoch sú popísané najbežnejšie druhy regulátorov a ich vlastnosti ako aj možnosť využitia v tomto projekte.

Regulátory môžeme rozdeliť:

Podľa energie:

- **priame regulátory** - nepotrebujú pre svoju funkciu žiadnu externú energiu, ale používajú všetku potrebnú energiu pre svoju prevádzku priamo zo sústavy. Priamy regulátor teploty je napríklad termostatický ventil, kapilárový termostat. Výhoda je nezávislosť na dodávke energie, robustnosť, dlhá životnosť.

- **nepriame regulátory** - pracujú vždy s pomocnou, externou energiou. Používajú sa hlavne pri vyšších nárokoch na presnosť regulácie. Podľa druhu pomocnej energie sa regulátory delia na elektrické, pneumatické, hydraulické a kombinované. Obvykle majú kratšiu životnosť, veľkú variabilitu, rôzne možnosti konfigurácie, závislosť na externej dodávke energie...

Podľa druhu regulácie:

- **nespojité** - je regulácia, pri ktorej aspoň jeden člen regulačného obvodu pracuje nespojito (prenáša signál len v určitých časových okamžikoch alebo pri dosiahnutí určitej hodnoty). Pri regulácii vykurovacích sústav sú veľmi rozšírené. (viď [7]) Najčastejšie sa z nich používajú dvojpohové regulátory s hystereziou. Tento druh regulátora sa používa väčšinou tak, že dolná medzná hodnota akčnej veličiny má hodnotu 0 (vypnuté) a horná

medzná hodnota akčnej veličiny hodnotu 1 (zapnuté). Keďže vykurované objekty sú sústavami kapacitnými, s nezanedbateľným dopravným oneskorením, prekračuje regulovaná veličina T medzné hodnoty T_1 a T_2 a v sústave dochádza k osciláciám okolo žiadanej hodnoty. Amplitúda týchto oscilácií je tým väčšia, čím vyššia je zotrvačnosť a dopravné oneskorenie sústavy.

- **spojitá** - je regulácia, pri ktorej všetky členy regulačného obvodu pracujú spojitou, t.j. výstupné signály sú spojitými funkciami vstupných signálov. Pri vyšších požiadavkách na kvalitu regulácie tepelných sústav sa používajú spojité regulátory, u ktorých je akčná veličina nepretržitou funkciou regulačnej odchýlky. Pri regulácii tepelných javov sa obvykle používajú regulátory typov :

- **P** - proporcionálny regulátor - je charakterizovaný konštantným pomerom výstupnej a vstupnej veličiny v každom okamihu činnosti regulátora. Nevýhodou regulátora typu P je, že regulačná odchýlka v ustálenom stave je nenulová,

- **PI** - proporcionálne integračný regulátor zaisťuje, aby regulačná odchýlka v ustálenom stave bola nulová,

- **PID** - proporcionálny integračne derivačný regulátor má oproti predchádzajúcemu typu regulátora navyše blok, ktorý umožňuje reagovať na intenzitu zmeny regulačnej odchýlky, hlavne pre reguláciu rýchlych dejov.

- **regulácia na konštantnú hodnotu** - je druhom automatickej regulácie, pri ktorej je žiadaná hodnota regulovanej veličiny konštantná,

- **programová regulácia** - je druhom automatickej regulácie, pri ktorej je žiadaná hodnota regulovanej veličiny funkciou času podľa vopred známeho programu,

- **vlečná regulácia** - je druhom automatickej regulácie, pri ktorej sa žiadaná hodnota regulovanej veličiny mení v závislosti od inej dôležitej veličiny. [7]

Ekvitermická regulácia

Regulátory všeobecne regulujú (znižujú) výkon tak, že znižujú teplotu vykurovacej vody, a tým aj výkon vykurovacej sústavy. Hlavnou úlohou regulátorov je nájsť rovnováhu medzi dodávaným výkonom a tepelnou stratou objektu, t.j. snažia sa nájsť optimálnu teplotu vykurovacej vody. Priestorová teplota je potom závislá od teploty cirkulujúcej vykurovacej vody. Pretože tepelná strata objektu nie je zatiaľ merateľná veličina, musí sa nahradiť inou veličinou. Ak ju nahradíme vonkajšou teplotou, od ktorej je závislá, hovoríme o regulátore s ekvitermickej reguláciou.

Výsledok ekvitermickej regulácie je závislý od vykurovacej krivky . Vykurovací krivka vyjadruje závislosť medzi vonkajšou teplotou a teplotou vykurovacej vody. Fyzikálne opisuje vykurovaný priestor a vykurovací systém.

Existuje veľké množstvo vykurovacích kriviek, ktoré sú charakterizované svojou strmostou. Tá sa potom zadáva do regulátora. Ak je zadaná strmost vykurovacej krivky vyššia než vyžaduje vykurovaný priestor, dochádza k trvalému prekurovaniu vykurovaného objektu. Táto vlastnosť sa používa pri predregulácii pre väčší počet

uživatelův, pričom priestory sú ešte dodatočne doregulované, napr. termostatickými ventilmi na vykurovacích telesách. Priebeh vykurovacích kriviek je platný iba za predpokladu, že užívateľ svoje priestory vykuruje na 20 °C. Akonáhle užívateľ nastaví inú priestorovú teplotu alebo podľa vykurovacieho programu nastane útlm, dôjde k posunu vybranej vykurovacej krivky.

Výsledkom posunu vykurovacej krivky je zmena teploty vykurovacej vody pri rovnakých vonkajších podmienkach, a tým aj zmena teploty v miestnosti. Voľba vykurovacej krivky sa vykonáva s ohľadom na návrhovú vonkajšiu teplotu (napr. -18 °C) a vykurovací systém (vykurovacie teleso 75/65 °C alebo podlahové kúrenie 50/40 °C). Zdroj tepla (kotel), pracuje pri aplikácii kvantitatívnej regulácie autonómne - podľa teploty a prietoku média, všeobecne je napr. riadený kotlovým termostatom.

Súbežná aplikácia ekvitermickej a kvantitatívnej regulácie je v zásade možná, priebeh ekvitermickej regulácie je však nutné zmeniť tak, aby bola vždy k dispozícii dostatočná regulačná rezerva potrebná pre individuálnu kvantitatívnu reguláciu. Bez tohoto opatrenia by individuálne regulátory pracovali iba ako limity a v čase útlmu by nemohli byť naplno vykurované zvolené miestnosti.

Uvedená úprava predstavuje ekvitermickú predreguláciu, ktorá môže mať svoj význam predovšetkým pri väčších zdrojoch tepla a pri dodávke tepla na väčšie vzdialenosti. Ak má vykurovaný objekt nízke tepelné straty (vonkajšia teplota s veľkým oneskorením ovplyvňuje teplotu v objekte), je výhodné použiť iba priamu reguláciu vnútornej teploty. Jedná sa predovšetkým o nízkoenergetické domy. V našom prípade je v objekte inštalovaný priestorový termostat a ekvitermická regulácia bude mať zmysel ako predregulácia.

2.3.1 Ekvitermická regulácia so spätnou väzbou s PI regulátorom

Vzhľadom na vonkajší a vnútorný tepelný zisk vstupuje do ekvitermickej regulácie spätná väzba z priestoru. Regulátor meria aktuálnu teplotu v referenčnej miestnosti a koriguje vyššie popísaný systém ekvitermickej regulácie. Vplyv teploty miestnosti je možné rozdeliť do dvoch kategórií, a to:

dlhodobý - regulácia na základe spätnej väzby z priestoru dokáže prispôbiť (adaptovať) odhadom zadanú vykurovaciu krivku vlastnostiam vykurovaného objektu (zmena strmosti vykurovacej krivky a paralelný posun). Teda sa tu jedná o adaptívnu reguláciu.

krátkodobý - na základe zistenej teplotnej odchýlky v priestore regulátor účelovo koriguje žiadanú priestorovú teplotu podľa vopred určeného vzorca.

Uvádza sa, že ekvitermická regulácia zabezpečuje rovnováhu medzi výrobou a spotrebou tepla. Je to skutočne pravda, ale táto rovnováha je závislá na určitom predpoklade, ktorý sa nazýva vyladená vykurovacia krivka. To je jeden z dôvodov vyšších

úspor. Další důvod je ten, že se vyrobí iba teplo potrebnej kvality (teplota vykurovacej vody). Požiadavky na teplotu vykurovacej vody vždy smerujú od spotreby tepla (vykurovacia krivka a vplyv teploty v priestore) k zdroju tepla (kotel). Je to z toho dôvodu, aby sme mohli nezávisle riadiť viac vykurovacích okruhov, ktoré majú rôzny odber tepla v čase a iné požiadavky.

Základná myšlienka adaptivity na korekciu ekvitermickej krivky je založená na overenom postupe pre správne zoradenie klasickej ekvitermickej regulácie pri jej použití v praxi, t.j. na nastavení vhodného posunu a sklonu krivky pre komfortnú teplotu.

Princípom adaptivity na korekciu je zistenie požadovanej korekcie pre doby vykurovania a útlmu na základe skutočných korekcií z PI regulátora pre tieto režimy vykurovania v minulosti. Adaptivita sa potom pripočíta ku korekcii z PI regulátora a vlastne pomáha regulátoru na začiatku prechodu do príslušného režimu vykurovania, teda pri zmene žiadanej teploty v miestnosti.

Na ekvitermickú reguláciu bez snímania vnútornej teploty sa v rodinnom dome nedá spoľahnúť, pretože pri intenzívnom vetraní, varení alebo pri iných nepredvídaných udalostiach by regulátor nereagoval. Preto je v interiéri inštalovaný bezdrôtový termostat s týždenným programom EMOS T103. Hysteréziu riadenia má 1 K, výhodou je prenosnosť do ľubovoľnej miestnosti a rýchle nastavenie požadovanej teploty v interiéri.

Z hľadiska spoľahlivosti je dôležité, aby vykurovací systém fungoval aj po výpadku napájania alebo pri poruche elektronickej regulácie, ktorej spoľahlivosť, ako ukázala prax, sa po niekoľkých rokoch dramaticky znižuje. Preto som navrhol riadiaci systém s možnosťou prevádzkovania aj bez pokročilej elektronickej regulácie. Na spínanie som zvolil kapilárové termostaty REGULUS 0-90 °C umiestnené v jímkach akumuláčnej nádrže a v splyňovacom kotle. V praxi sa ukázali ako veľmi spoľahlivé so stálymi parametrami aj počas 20 rokov.

Prvú vykurovaciu sezónu bol vykurovací systém prevádzkovaný len s týmto systémom riadenia a ten sa ukázal ako dostačujúci.

Termostat **C1** spína plynový kotel, ak teplota poklesne pod 60 °C,

C2 vypína obehové čerpadlo, aby pod určitú teplotu zbytočne necirkulovala voda a nádrž sa neochladila tak, že bude nedostatok TV,

C3 chráni proti prehriatiu vody v AKU nádrži nad 83 °C tak, že zopne obehové čerpadlo (by-pass).

C4 slúži na ochranu kotla pred varom vody. *Vid'. schéma kotolne v prílohe.*

2.4 Parametre regulátora

3-cestný zmiešavací ventil som osadil so servopohonom, ktorý s ním umožňuje pohybovať podľa vopred nastavených parametrov časovej konštanty servopohonu. Regulátor zmiešavania, ktorý ovláda priestorový termostat, sa aktivuje len vtedy, ak beží čerpadlo za armatúrou.

Teplotný senzor vykurovacej vody je umiestnený v jímke s teplovodivou pastou za čerpadlom, aby mal čo najrýchlejšiu reakciu. Po rozbehu riadiaca jednotka čaká na ustálenie teploty, následne pohne zmiešavacím ventilom do polohy, ktorú si približne vypočíta. Opäť čaká určitý časový interval na ustálenie a upravuje postupne teplotu.

Algoritmus je stále vo vývoji, aby dokázal zamedziť kmitaniu servopohonu, a tak sa výrazne zvýšila jeho životnosť. Senzor vonkajšej teploty je umiestnený tesne pod



Obrázok 3: Servo na zmiešavacom ventile, merač spotreby tepla

omietkou severnej steny vo výške 2,3 m aby ho neovplyvňovali rýchle zmeny teploty vzduchu. V regulátore sa dajú zmeniť výpočtové parametre ekvitermickej krivky: vonkajšia výpočtová teplota: $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, geometrická priemerná teplota pre stredne ťažkú stavbu, sklon a posun krivky, exponent krivky štandardne 1,33 pre doskové telesá, ale pretože táto sústava má kombinované telesá, zvolil som koeficient 1,30; vnútorná požadovaná teplota, časová konštantka regulácie, časový plán vykurovania podľa dennej doby (normálna prevádzka / režim útlmu) a niektoré ďalšie menej podstatné parametre. Regulátor meria aj teplotu iných bodov v systéme - teplotu nádrže, kotlovej vody, beh čerpadiel, atď.

Zálohou pri poruche snímania teplôt alebo poruche celého systému je ručné ovládanie zmiešavacieho ventila. Jednotka má aj integrované bezpečnostné funkcie na zistenie závažných chýb systému - poškodenie teplotných senzorov, detektory požiaru a dymu, samohasiace zariadenie, detekciu úniku vody alebo zatopenia prípadne úniku zemného plynu.

Aby sa pri poruche alebo experimentoch dalo jednoducho prepnúť z automatickej regulácie na manuálnu, je na čelnom kryte umiestnený dvojpohový prepínač MAN/AUTO. Servopohon trojcestného ventila má tiež možnosť manuálneho pootočenia trojpolohovým prepínačom.

Fázový posun teploty v interiéru oproti exteriéru je zohľadnený v koeficiente geometrického priemerovania m aktuálnej vonkajšej teploty.

Štandardne je nastavený na hodnotu 4 (3 historické hodnoty plus aktuálna).

$$t_e = (t_{e1} \cdot t_{e2} \cdot \dots \cdot t_{en})^{1/m}$$

Rovnica 1: Geometrický priemer

Hodnota teploty vykurovacej vody na prívode do vykurovacej sústavy sa počíta zakaždým podľa vzorca ekvitermickej krivky. Je to veľké plytvanie výpočtovým výkonom procesora, pretože by stačilo vypočítať raz look-up tabuľku a šetril by sa tým výkon.

Ale vzhľadom na predpoklad častejšej zmeny parametrov ako T_i , T_e , T_{off} , n je výhodnejšie počítať túto rovnicu zakaždým.

$$t_{w1} = 0,5 \cdot a \cdot \left[(T_1 + T_2 - 2 \cdot T_i) \cdot \left(\frac{T_i - t_e}{T_i - T_e} \right)^{1/n} \cdot \frac{T_i - T_2}{T_i - T_e} \cdot (T_i - t_e) \right] + T_i + T_{off}$$

Rovnica 2: Výpočet t_{w1} [8]

a - zmena sklonu krivky (1)

T_1 - nominálna teplota vody prívod (75°C)

T_2 - nominálna teplota vody spiatočka (65°C)

T_i - výpočtová teplota interiéru (20°C)

t_e - geometrická teplota exteriéru

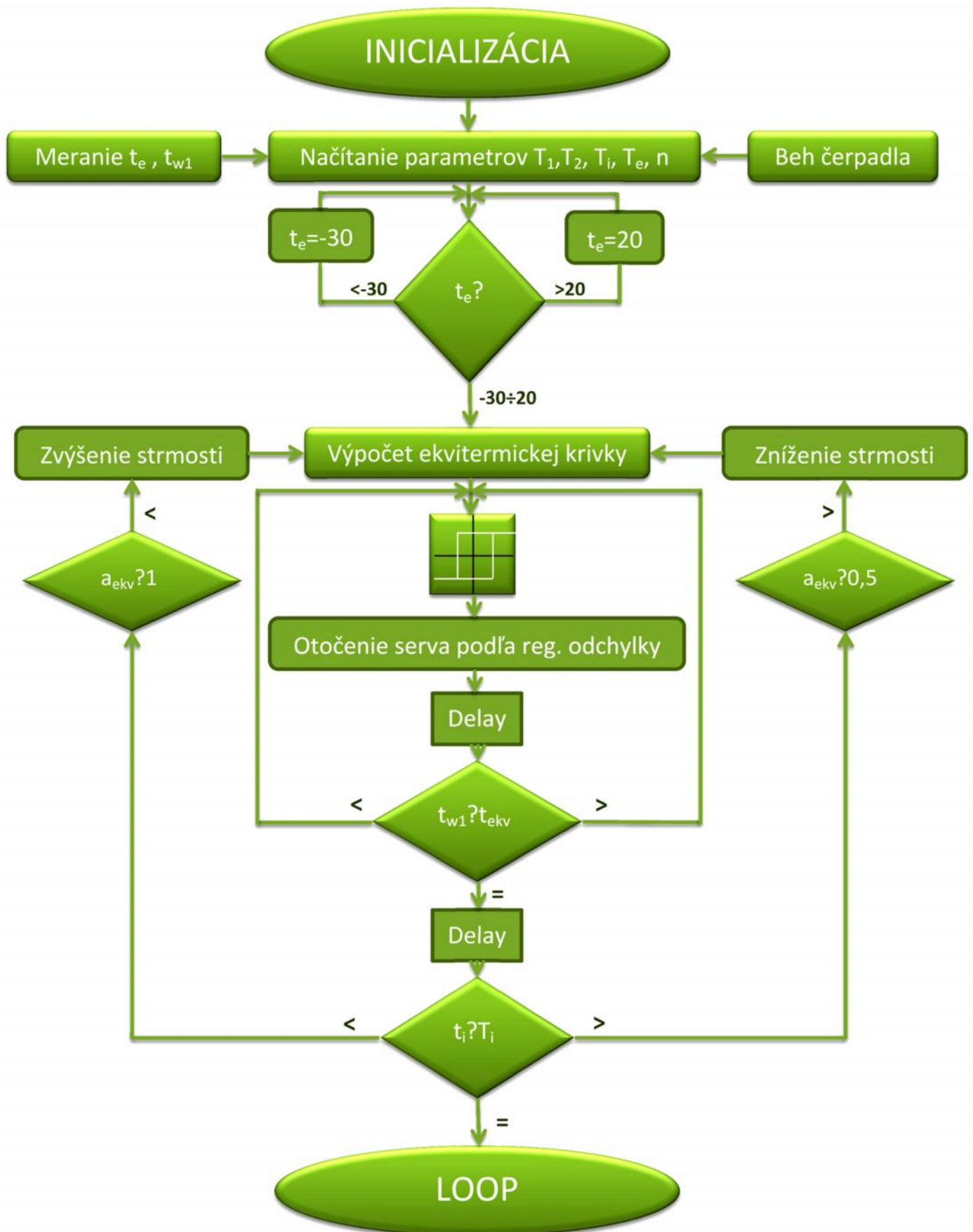
T_e - výpočtová teplota exteriéru (-18°C)

n - teplotný exponent sústavy (1,3)

T_{off} - offset teploty vody, lineárny posun krivky (1°C)

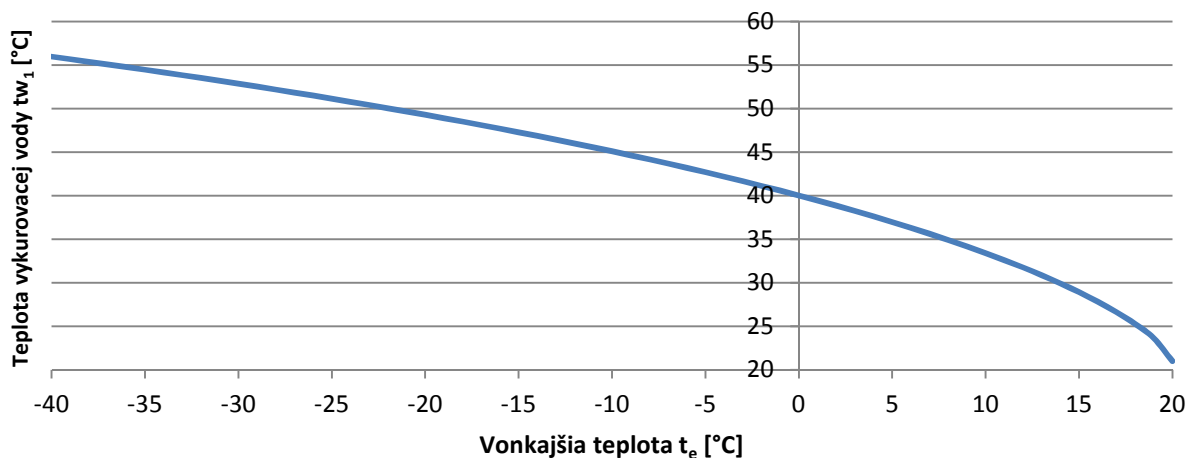
t_{w1} - vypočítaná teplota vykurovacej vody prívod

t_i - zmeraná teplota interiéru

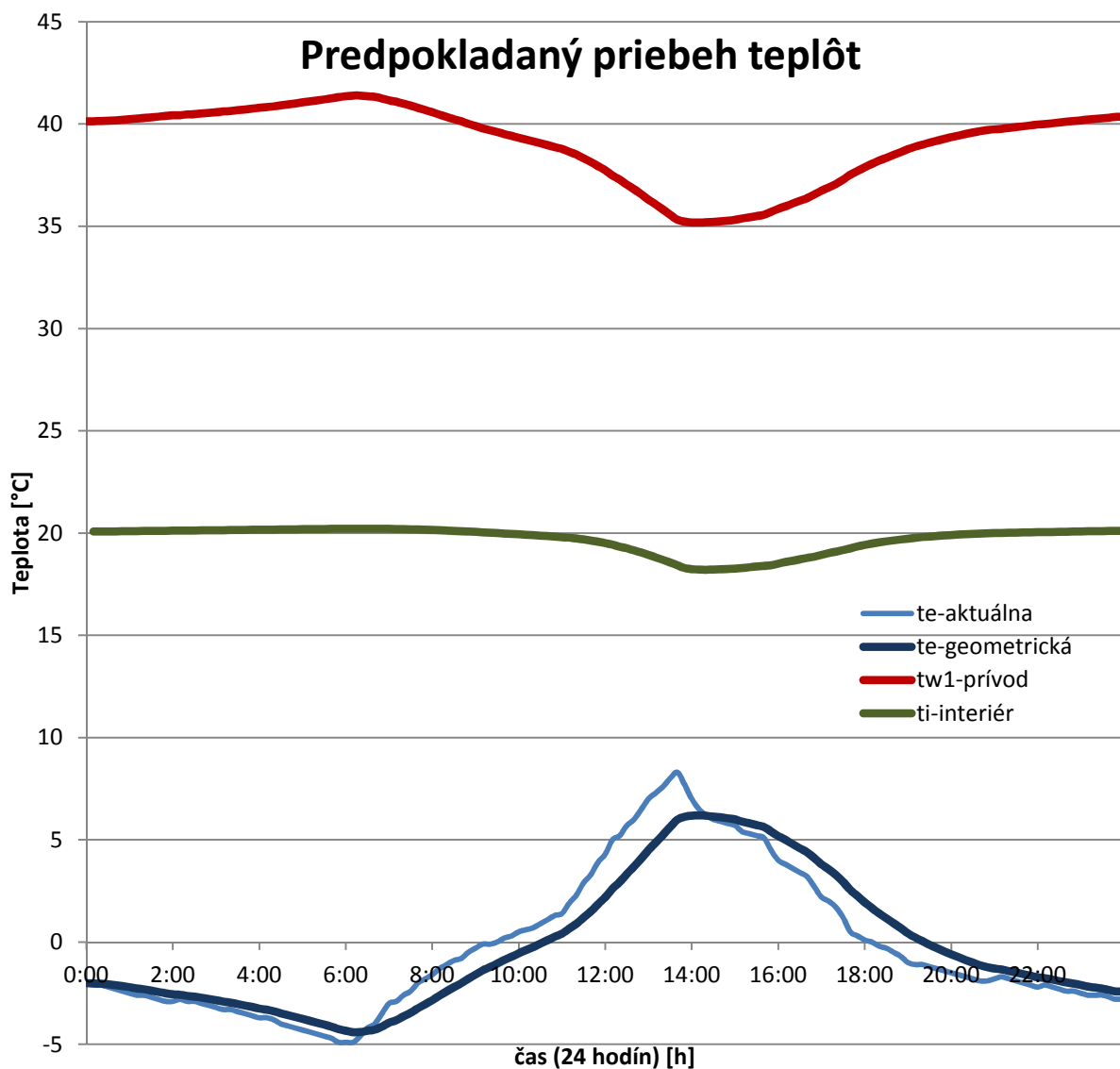


Obrázok 4: Vývojový diagram autoadaptívnej ekvitermickej regulácie

Ekvitermická krivka



Graf 1: Teoretický priebeh ekvitermickej krivky podľa vyššie spomenutých parametrov



Graf 2: Priebeh teplôt t_e , t_{w1} , t_i počas modelového dňa

2.5 Hlavná riadiaca jednotka s meracou doskou

Pretože sa sústredím prevažne na reguláciu vykurovania, hlavná riadiaca jednotka je umiestnená v suteréne blízko tepelných zdrojov a akumuláčnej nádrže. Hlavným dôvodom je eliminácia inštalácie dlhých vodičov od senzorov a aktuátorov a celkové zjednodušenie inštalácie.

Cieľom môjho úsilia je návrh meracej dosky s rôznymi vstupmi a výstupmi, operačnými zosilňovačmi, napájanie na troch úrovniach 12 V, 5 V a 3,3 V. Každý výstup bude samostatne istený, aby sa dodržala selekcia porúch a aby skrat na koncovom stupni neovplyvnil dosku ako celok. Výstupy sú riešené bezpotenciálovým reléovým spínaním alebo tranzistormi MOSFET s veľmi malým spínacím odporom R_{DS} . Digitálne vstupy sú oddelené optočlenmi, analógové sú chránené zenerovými diódami proti prepätiu a RC článkom, aby vzorkované napätie bolo stabilnejšie a odrušené. Na hlavnej riadiacej doske sú umiestnené všetky dôležité komponenty na riadenie celého vykurovacieho systému a v prípade výpadku alebo poruchy rádiového spojenia s ostatnými modulmi. Úlohy hlavnej riadiacej jednotky by som mohol zatriediť do troch skupín:

a) Monitorovanie – slúži na prehľad, nie je nevyhnutné, zabezpečuje zobrazovanie hodnôt zo senzorov na web stránke. Patrí sem teplota v spaľovacej komore a komíne; teploty v akumuláčnej nádrži a kotloch; signalizácia kotla, že dohorelo palivo; monitorovanie behu čerpadiel, špirály a iné.

b) Prevádzka – hodnoty zo senzorov sú nevyhnutné pre správnu reguláciu a chod automatizácie. Pri poruche niektorého zo senzorov alebo akčných členov pocíti užívateľ zníženie komfortu, prípadne až nefunkčnosť centrálného vykurovania. V prípade výpadku automatizovaného riadenia je náhradným riešením samozrejme manuálna prevádzka, aby nezostali obyvatelia domu bez teplej vody a vykurovania. Najdôležitejšie sú: teplota v exteriéri, teplota vody prúdiacej do sústavy, obsah kyslíka v spalinách, beh čerpadla do sústavy, zadymenie suterénu a iné menej podstatné.

c) Kritické – prevažne poruchové stavy, ktoré vyžadujú zásah do riadiacej jednotky od užívateľa, Napr.: únik vody, resp. požiar v suteréne, dlhší výpadok sieťového napájania, detekcia úniku plynu. Riadiaca jednotka dokáže reagovať na tieto stavy uzatvorením hlavného vodovodného ventilu, otvorením elektromagnetického solenoidového ventilu na prívode vody do sprinklerovej hlavice umiestnenej nad zásobami dreva (praskne pri 68 °C), zapnutím ventilátora na odvetranie a vypnutím kotlov.

Z dôvodu častej manipulácie s kusovým drevom, pri ktorej sa môže stať, že sa sprinklerova hlavica rozbije a nastane neželaný únik vody, je v prívodnom potrubí len tlakový vzduch, kým sa neotvorí solenoidový ventil.

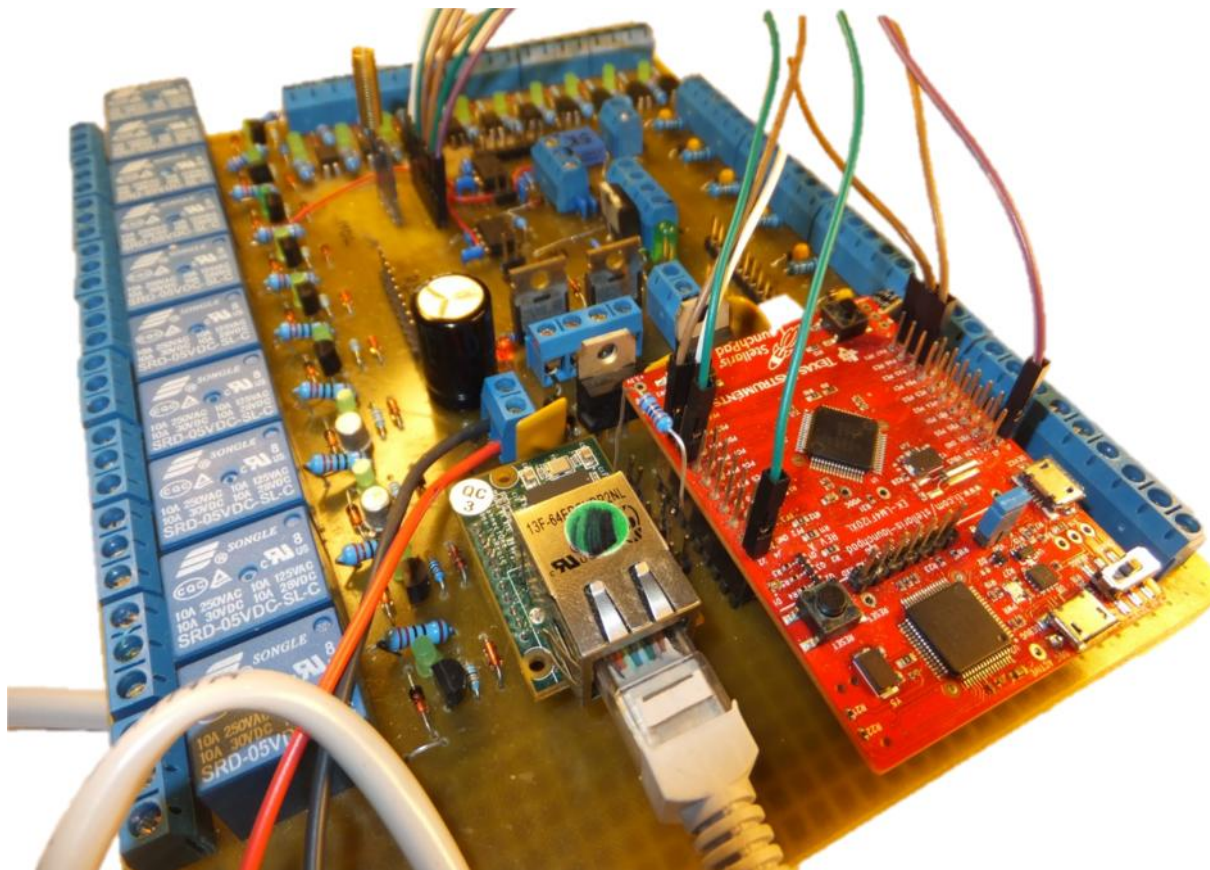
Na meranie dvoch najdôležitejších teplôt som použil analógové záložné senzory teploty LM35 a LM335, aby v prípade poruchy digitálnych senzorov teploty DS18B20 alebo prerušení zbernice 1-Wire bola ekvitermická regulácia stále funkčná.

Pokiaľ sa hodnoty týchto dvoch senzorov nelíšia o viac ako 0,7 °C, prednostne sa používa hodnota z digitálnych senzorov, v prípade väčšieho rozdielu má prioritu hodnota z analógového senzora.

Port	Typ zariadenia	Meno	Popis	Rozmer
0.ADC	1-Wire zbernica: MAX31850	KOMI	teplota termočlánok výstup do dymovodu (komín)	<i>uint32</i>
	MAX31850	KOTO	kotel spaľovacia komora	<i>uint32</i>
	DS18B20	AKU1	teplota AKU nádrž 1000l hore	<i>uint16</i>
	DS18B20	AKU2	teplota AKU nádrž 1000l 3/4	<i>uint16</i>
	DS18B20PAR	AKU3	teplota AKU nádrž 1000l 1/4	<i>uint16</i>
	DS18B20PAR	AKU4	teplota AKU nádrž 1000l dolu	<i>uint16</i>
	DS18B20PAR	KINN	teplota vody do kotla na drevo	<i>uint16</i>
	DS18B20	KOUT	teplota vody z kotla na drevo	<i>uint16</i>
	DS18B20PAR	TTUV	teplota teplej vody	<i>uint16</i>
	DS18B20	TINT	teplota v interiéri kuchyňa prízemie	<i>int8</i>
	DS18B20 + LM335	TEXT	teplota exteriér	<i>int16</i>
	DS18B20	TPLY	teplota na výstupe plyn. kotla	<i>uint16</i>
	DS18B20 +LM35	TRAD	voda do sústavy	<i>uint16</i>
	DS18B20PAR	TPIV	teplota v suteréne	<i>int16</i>
1.ADC	LM35	TRAD	voda do sústavy	<i>uint16</i>
2.ADC	BOSCH LSM11	LAMB	obsah kyslíka v spalinách	<i>uint8</i>
3.ADC	MQ-2	VZDU	horľavé a výbušné plyny	<i>uint8</i>
4.ADC	LM335	EXTE	teplota exteriér v Kelvinoch 10mV/K	<i>int16</i>
5. ADC	4x vypínač	SW14	16 kombinácií, ručné ovládanie	<i>uint16</i>
6.ADC	Potenciometer	POTC	regulovanie osvetlenia 0–3,3 V	<i>uint8</i>
1.PWM	MOSFET	PWM1	osvetlenie v pivnici 0–100 %	<i>uint8</i>
2.PWM	MOSFET	PWM2	PWM 0–100 %	<i>uint8</i>
0.OUT	Relé 230 V	KDRE	spínanie kotla na drevo	<i>bool</i>
1.OUT	Relé 12 V	SERZ	servo 3-cestný ventil zavri	<i>bool</i>
2.OUT	Relé 12 V	SERO	servo 3-cestný ventil otvor	<i>bool</i>
3.OUT	Relé 230 V	ESPI	stýkač El. špirála AKU nádrž	<i>bool</i>
4.OUT	Relé 230 V	PLYN	zopnutie plyn. kotla	<i>bool</i>
5.OUT	Relé 24 V	VENT	ventilátor na odvetranie suterénu	<i>bool</i>
6.OUT	Relé 230V	CRAD	spínanie čerpadla do sústavy	<i>bool</i>
7.OUT	Relé 12 V	VODZ	servo ventil uzavretie prívodu vody	<i>bool</i>
8.OUT	Relé 230 V	CTUV	obehové čerpadlo TV	<i>bool</i>
9.OUT	Relé 12 V	HASE	solenoid hasenie sprinklerom	<i>bool</i>
OUT	MOSFET 12V	OLAM	vyhrievanie lambda sondy na 350 °C	<i>bool</i>
0.IN	senzor 230V	CDRE	čerpadlo kotel drevo	<i>bool</i>
1.IN	senzor 230V	CPLY	čerpadlo kotel plyn	<i>bool</i>
2.IN	senzor 230V	ICRD	beh čerpadlo do sústavy	<i>bool</i>
3.IN	senzor 230V	ESPR	elektrická špirála zapnutá	<i>bool</i>
4.IN	senzor dymu IR	DYMM	dym v suteréne	<i>bool</i>
5.IN	UV LED a CO senzor	POZI	požiar v suteréne alebo CO	<i>bool</i>
6.IN	záplavový senzor	ZAPL	únik vody suterén	<i>bool</i>
7.IN	kotel UNI výstup	PRIL	prilož, porucha signalizácia	<i>bool</i>
8.IN	PIR senzor	POHY	pohyb suterén	<i>bool</i>
9.IN	senzor 230V	NAPA	výpadok sieťového napájania	<i>bool</i>

Tabuľka 1: Parametre riadiaca doska

Tabuľka vyššie demonštruje, koľko rôznych parametrov obsahuje riadiaca jednotka a ich bitový rozmer. Samozrejme obsahuje aj parametre z bezdrôtových dosiek, aby sa aktuálne hodnoty mohli posielat' do web servera.



Obrázok 5: Meracia doska osadená LAN modulom a vývojovou doskou Stellaris

Na osvetlenie chodby a suterénu alebo iných priestorov je vhodné regulovateľné osvetlenie s dostatočným výkonom. Klasické žiarovky sú neúčinné a na ich reguláciu sú potrebné špeciálne stmievače. Výborná a moderná možnosť je LED osvetlenie, ktoré má vysokú účinnosť a regulovať sa dá jednoduchým spínaním tranzistora.

Celý suterén je zo stropu osvetlený bielymi LED pásikmi v celkovej dĺžke 18 m. Výkon pásov je 4,8 W/m, sú napájané 150 W spínaným LED zdrojom s možnosťou plynulej regulácie pomocou N kanálového MOSFETu IRFZ44N, ktorý má do gate privedený PWM signál cez budič IR4427 z dosky Stellaris.

3. Návrh a funkcie WSN nod-ov

Cieľom je navrhnuť viacúčelovú dosku, ku ktorej je možnosť pripojiť aj viac senzorov a aktuátorov naraz, a tak šetriť ako energiu, priestor, aj finančné prostriedky.

Základnou funkciou a dnes už samozrejmosťou je meranie teploty. Teplotu potrebujeme merať v rôznych bodoch budovy. Mikrokontroler má v sebe integrovaný polovodičový teplomer, ktorý ale nemusí byť úplne presný a zároveň potrebujeme merať teplotu v rôznych bodoch budovy. Optimálnym variantom sa zdá použitie linearizovaných polovodičových senzorov s digitálnym (DS18B20) alebo analógovým (LM35) výstupom.

Samozrejme je možné pripojiť množstvo ďalších senzorov a aktuátorov, niektoré z nich popíšem nižšie. Vychádzal som z konceptu STAR topológie, pretože distribuované systémy, napr. MESH, vyžadujú 3-fázové overovanie a majú omnoho vyššie nároky na správu siete a energetickú spotrebu.

3.1 Modulový systém

Modul alebo „node“ má presne definovanú hardwarovú štruktúru, ktorá pozostáva z ultra low-power mikroprocesora, komunikačného rádiového modulu s vyvedenými konektormi na I2C, 1-Wire, SPI. Tiež obsahuje 4 digitálne a 3 analógové vstupy, 5 výstupov s výkonovými MOSFETmi a možnosťou nízkofrekvenčného spínania záťaže. S externými budičmi a napájaním 12V je možné spínať rádovo desiatky ampérov s frekvenciou viac než 35 kHz. Takáto rozmanitosť vstupno-výstupných portov postačuje na drvivú väčšinu potrieb automatizácie v domácnosti. Výhodou je stála štruktúra modulov, takže užívateľ nemusí študovať dokumentáciu ku každému špecifickému modulu zvlášť. Nevýhodou je, že ak chceme umiestniť modul do veľmi malej alebo dizajnovej krabičky, musíme navrhnuť znovu špeciálnu DPS.

Modul sa bude programovať vždy na špecifický účel, pridaním daných softwarových knižníc podľa pripojených senzorov a akčných členov. Dôležité je tiež vypracovať a uchovávať dokumentáciu parametrov, aby pri programovaní centrálného modulu a WEB stránok nevznikol problém pri rozpoznávaní a spracovaní prijatých dát.

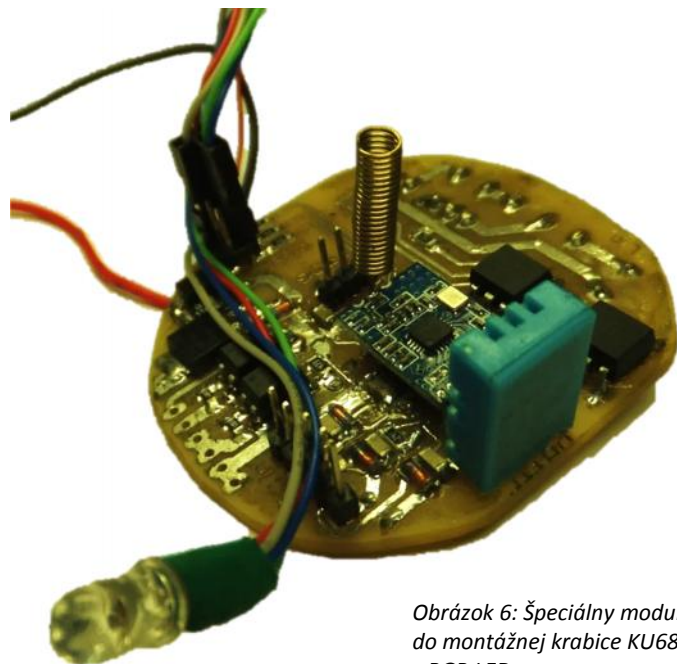
3.1.1 Modul v kúpeľni

Primárnym účelom tohto modulu je ovládanie elektrického podlahového vykurovania. Z každého okruhu je vyvedený trojžilový kábel, ktorý sa pripojí na výstupy ovládacej dosky. Digitálne vstupy sú oddelené tranzistorovými optočlenmi z dôvodu bezpečnosti a rušenia.

Silová časť je riešená optočlenom oddelenými budičmi tyristorov MOC3041, ktorý spína v nule sínusovky. Samotné spínanie prebieha výkonovými tyristormi BT136. Existuje teoretická možnosť posielat' na vstup budiča PWM modulovaný signál, a tým plynule regulovať výkon vykurovania. Spínanie v nule zaisťujú budiče. Podlahové vykurovanie sa používa ako pružné s čo najkratším časom na dosiahnutie žiadanej teploty podlahy, preto možnosť plynulej regulácie stráca zmysel a reguluje sa len proporcionálne.

Port	Typ zariadenia	Meno	Popis	Rozmer
0.ADC	LM35	TUMY	teplota podlahy umývadlo	<i>uint8</i>
1.ADC	LM35	TSPR	teplota podlahy sprcha	<i>uint8</i>
2.ADC	internal MSP430	TKUP	Teplota vzduchu kúpeľňa	<i>uint16</i>
0.OUT	tyristor	TYR1	podlaha umývadlo, ON/OFF	<i>bool</i>
1.OUT	tyristor	TYR2	podlaha sprcha, ON/OFF	<i>bool</i>
0.IN	zvončekový vypínač	OBEH	pri stlačení na 2–5 sec	<i>bool</i>
1.IN			rezerva	
2.OUT	RGB red LED	LKUR	LED kúpeľňa červená, PWM	<i>uint8</i>
3.OUT	RGB green LED	LKUG	LED kúpeľňa zelená, PWM	<i>uint8</i>
4.OUT	RGB blue LED	LKUB	LED kúpeľňa modrá, PWM	<i>uint8</i>
WIRE	DHT11	HUM	vlhkosť vzduchu kúpeľňa	<i>uint8</i>

Tabuľka 2: Parametre kúpeľňa



Obrázok 6: Špeciálny modul do montážnej krabice KU68 s RGB LED

3.1.2 Modul v záhrade

Pre účely riadenia domu nemá praktický význam. Slúži predovšetkým na zvýšenie komfortu pri pestovaní rastlín v záhrade. Dokáže pracovať aj ako plne autonómna jednotka bez komunikácie s okolím. Ovláda podpovrchové zavlažovanie s nadväznosťou na senzor vlhkosti pôdy a týždenný program. Meria vlhkosť a teplotu vzduchu vo fóliovníku, aby užívateľ predchádzal vzniku plesní a hniloby.

Relé modul spína solenoidový ventil, ktorým samospádom, z 1000 litrovej zbernej nádrže dažďovej vody, tečie voda do perforovanej hadice, zahĺbenej v blízkosti koreňov pestovaných rastlín.

Ultrazvukový alebo laserový detektor pohybu spína orientačné osvetlenie, 50 W RGB diódu. Na zabezpečenie priestoru pred nezvaným návštevníkom sa v neskorých nočných hodinách pri narušení priestoru stroboskopicky rozblíka výkonová RGB LED a narušiteľ zostane dezorientovaný. Ďalším využitím modulu môže byť aj automatizované kŕmenie domácich zvierat.

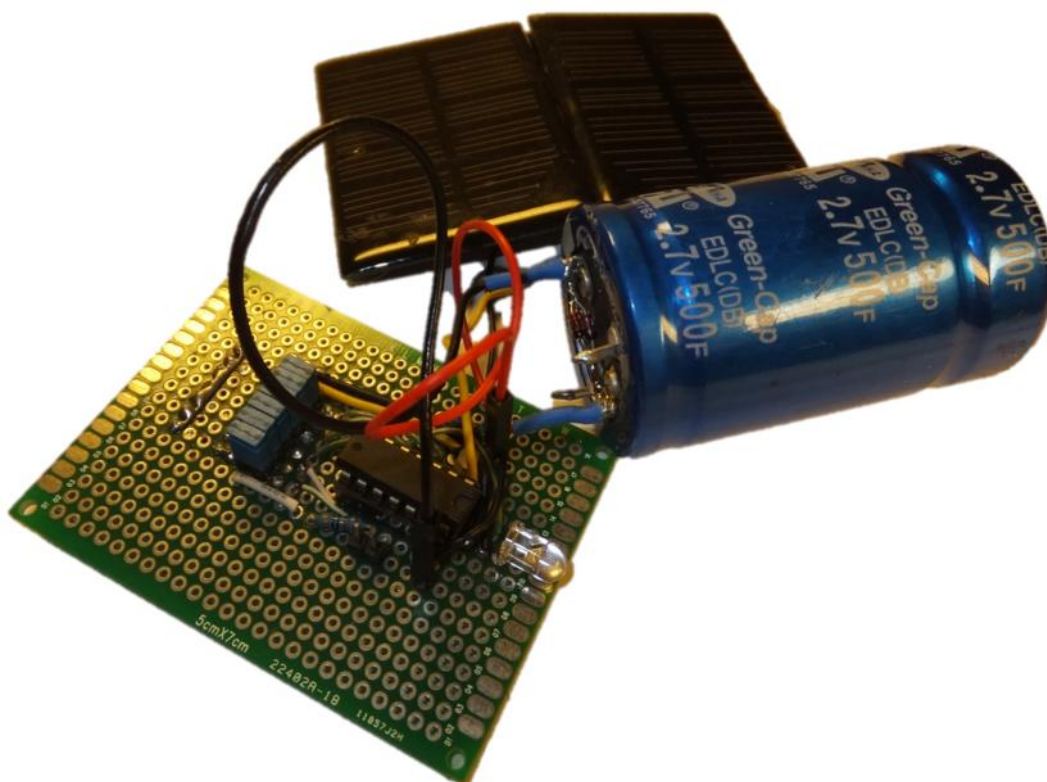
Port	Typ zariadenia	Meno	Popis	Rozmer
0.ADC	antikorová tyč	HUMP	vlhkosť pôdy	<i>uint8</i>
1.ADC	LM335	TZAH	teplota vzduchu	<i>int16</i>
2.ADC	odporový delič	BATZ	1,8–3,6 V lítiová batéria napätie	<i>uint16</i>
0.OUT	MOSFET 12V	POLI	polievanie	<i>bool</i>
WIRE	DHT11	HUMZ	vlhkosť vzduchu záhrada	<i>uint8</i>
0.IN	laserová optobrána	POHZ	Pohyb osoby	<i>bool</i>
1.OUT	RGB red LED	LZAR	LED záhrada červená PWM	<i>uint8</i>
2.OUT	RGB green LED	LZAG	LED záhrada zelená PWM	<i>uint8</i>
3.OUT	RGB blue LED	LZAB	LED záhrada modrá PWM	<i>uint8</i>

Tabuľka 3: parametre záhrada

3.1.3 Modul na streche

Svojimi funkciami pripomína meteostanicu s rozšírenými možnosťami. Z dôvodu eliminácie nutnosti viesť problematicky vodiče na strechu som zvolil variant alternatívneho napájania pomocou solárneho kolektora prípadne anemometra. Aby zariadenie fungovalo aj v noci, je zálohované 500F superkapacitorom. Batéria má malú životnosť a pri výkyvoch teploty veľmi rýchlo stráca kapacitu.

Keďže rotačný anemometer používame na meranie rýchlosti vetra len v krátkych intervaloch, zvyšný čas sa dá využiť na produkciu energie. Počas merania rýchlosti vetra sa odpojí nabíjanie superkapacitora, aby namerané hodnoty neboli skreslené zaťažením. Jednosmerný motor s DC-DC meničom a obmedzovačom prúdu na výstupe dobíja superkapacitor na maximálne napätie 2,7 V.



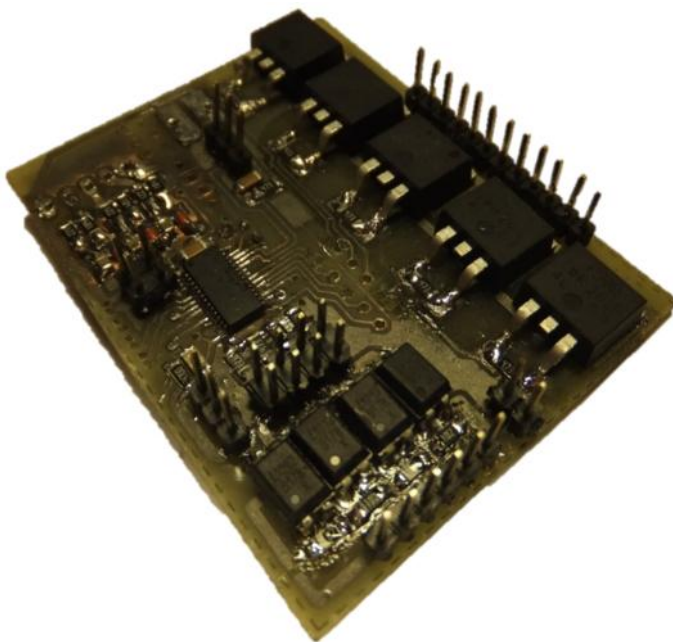
Obrázok 7: Testovacie zapojenie superkapacitoru

Port	Typ zariadenia	Meno	Popis	Rozmer
0.ADC	PCB	RAIN	odporový senzor dažďa	<i>bool</i>
1.ADC	vrtuľa	ANEM	anemometer rýchlosť vetru 0–3,3 V	<i>uint8</i>
2.ADC	LM35	TKOM	teplota spalín na konci komínu do 150 °C	<i>uint8</i>
I2C	teplota BMP180	TSTR	teplota vzduchu strecha $\pm 0,1$ °C	<i>int8</i>
I2C	BMP180	PRES	atmosférický tlak hPa	<i>uint16</i>
I2C	BH1750FVS	LUXX	intenzita osvetlenia max. 65535 Lx	<i>uint16</i>
WIRE	DHT21	HUMS	vzdušná relatívna vlhkosť 0–100 %	<i>uint8</i>
OUT+IN	HC-SR04	SNOW	vrstva snehu ultrazvuk 0–120 cm	<i>uint8</i>

Tabuľka 4: Parametre strecha

3.1.4 Modul v obývacej izbe

Na korekciu sklonu ekvitermickej krivky a hodnotenie tepelnej pohody slúži presné meranie teploty vzduchu ($\pm 1/16$ °C) v obývacej izbe. Podľa orientačného merania vlhkosti sa môžeme rozhodnúť o použití zvlhčovača vzduchu v zimnom období. Potenciometrom



Obrázok 8: Univerzálna doska s MSP430

zmeníme okamžite požadovanú teplotu bez nutnosti sa prihlasovať do web rozhrania. Obývacía izba priamo susedí s kuchyňou, kde je vyvedený externý záplavový senzor. Kvalita vzduchu či prípadný požiar sa dá sledovať senzorom kvality vzduchu MQ-135.

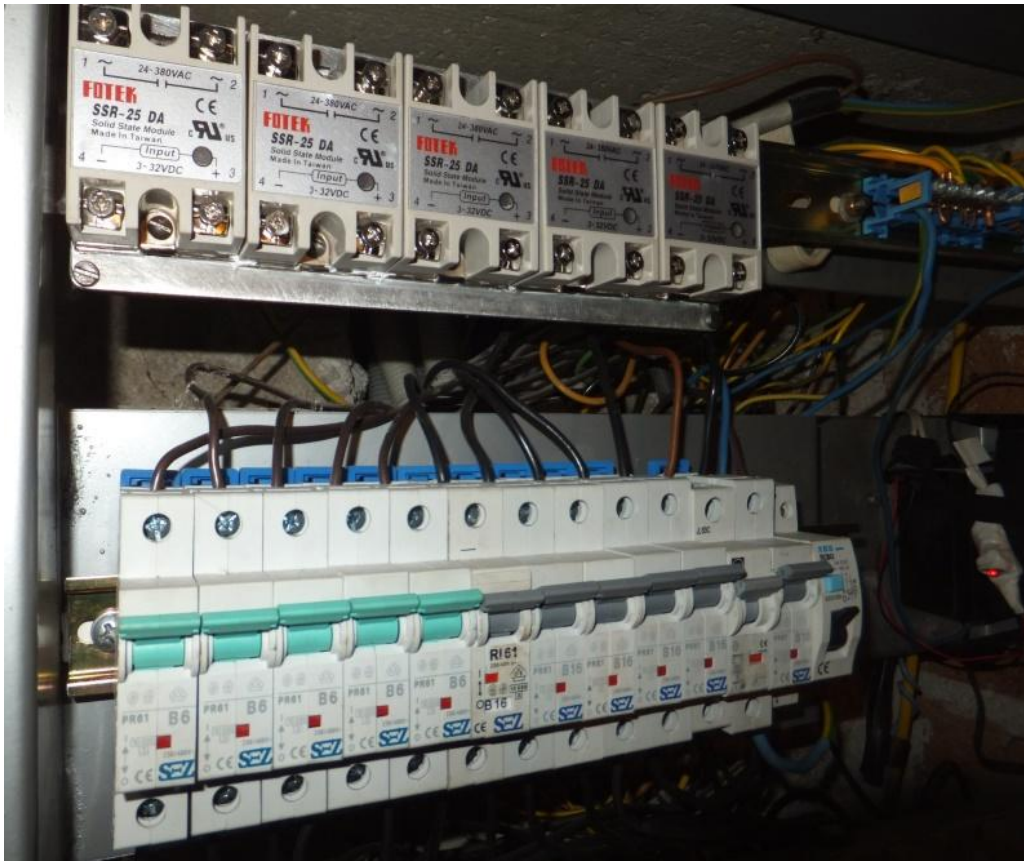
Na úsporu elektrickej energie slúžia senzory prítomnosti a osvetlenia, ktoré v prípade zabudnutého zapnutého osvetlenia vyšlú príkaz na vypnutie svetelného okruhu v rozvodnej skrini. Pri odchode z domu je možné na diaľku vypnúť TV alebo Hi-Fi.

Port	Typ zariadenia	Meno	Popis	Rozmer
0.ADC	LM35	TRAO	teplota vykurovacie teleso	<i>uint8</i>
1.ADC	potenciometer	TSET	nastavenie teploty od 19 do 23 °C	<i>uint8</i>
2.ADC	MQ-135	QUAL	CO ₂ , organické plyny	<i>uint8</i>
0.IN	Antikor plech	VODO	únik vody kuchyňa	<i>bool</i>
1-WIRE	DS18B20	TOBY	teplota miestnosti presnosť 12bit	<i>uint16</i>
WIRE	DHT11	HUMO	vlhkosť vzduchu	<i>uint8</i>
1.IN	PIR	POHO	pohyb obývačka	<i>bool</i>
0.OUT	IR LED	TVOF	IR vypnutie TV	<i>bool</i>
1.OUT	IR LED	TVON	IR zapnutie TV	<i>bool</i>
2.IN	KP101	LIGO	fototranzistor, svetlo v obývacej izbe	<i>bool</i>

Tabuľka 5: parametre obývačka

3.1.5 Modul v rozvodnej skrini

Sledovanie aktuálnej spotreby elektrickej energie cez tri prúdové cievky a ovládanie piatich SSR (Solid-state Relay) na DIN lište. Snímanie havarijných stavov: záplava, požiar a vysoká teplota. V rozvodnej skrini je presne 5 svetelných okruhov a 5 SSR relé, takže si môžeme zvoliť medzi ovládaním zásuviek alebo svetiel. SSR sú ovládané cez MOSFET-ty, aby spínacia úroveň dosahovala 12V, pretože 3,3 V nestačí na dostatočne strmé zopnutie tyristoru a spôsobuje to veľké úbytky a zahrievanie.



Obrázok 9:
Hlavný
rozdávač

Port	Typ zariadenia	Meno	Popis	Rozmer
0.ADC	prúdová cievka	CUR1	aktuálny prúd L1 0–20 A	<i>uint16</i>
1.ADC	prúdová cievka	CUR2	aktuálny prúd L2 0–20 A	<i>uint16</i>
2.ADC	prúdová cievka	CUR3	aktuálny prúd L3 0–20 A	<i>uint16</i>
0.OUT	SSR relé	SSR1	IN DC 3–32 V, max. 380V 25 A	<i>bool</i>
1.OUT	SSR relé	SSR2	IN DC 3–32 V, max. 380V 25 A	<i>bool</i>
2.OUT	SSR relé	SSR3	IN DC 3–32 V, max. 380V 25 A	<i>bool</i>
3.OUT	SSR relé	SSR4	IN DC 3–32 V, max. 380V 25 A	<i>bool</i>
4.OUT	SSR relé	SSR5	PWM 0–100%	<i>uint8</i>
0.IN	Magnet. kontakt	OTVS	otvorenie rozvodnej skrine	<i>bool</i>
1.IN	Antikorový plech	VODS	voda v rozvodnej skrini	<i>bool</i>
2.IN	UV LED	POZS	požiar v rozvodnej skrini	<i>bool</i>
3.IN	Magnet. kontakt	OTVD	otvorenie vchodových dverí	<i>bool</i>
ADC	interný v MSP430	TSKR	teplota $\pm 0,5$ °C	<i>int16</i>

Tabuľka 6: Parametre rozvodná skriňa

4. Praktická časť

4.1 Voľba komponentov

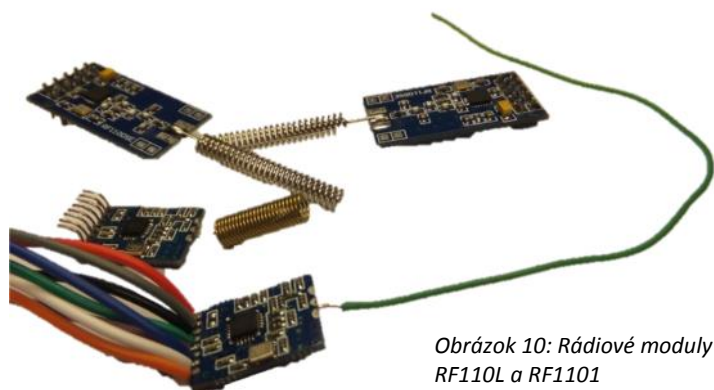
V časovom predstihu a dôkladne som hľadal vhodné hardwarové vybavenie na realizáciu inteligentného riadenia domu. Výber komponentov podlieha čoraz náročnejším kritériám. Veľký dôraz je kladený na spotrebu energie a dlhodobú spoľahlivosť. Užívateľský komfort súvisí so samotným programovým rozhraním za predpokladu maximálnej konfigurovateľnosti a s rešpektom k úspore energií, čiže efektívite modulov. Po zvážení pomeru ceny, funkčnosti a náročnosti programovania som zvolil nasledujúce komponenty.

4.1.1 Rádiové moduly RF110L s CC110L

Je to sub-gigahercový modul založený na one chip solution CC110L od Texas Instruments. Frekvenciu si môžeme voľiť od 315 do 915 MHz. Pre účely tohoto návrhu riadenia sú použiteľné len dve frekvenčné pásma, a to 433 a 868 MHz, z dôvodu dodržania zákona o elektronických komunikáciách. Podľa zvolenej frekvencie musia byť navrhnuté aj RLC filtre na výstupe a správne impedančne prispôsobená anténa. Predmetný čip má nespočetné množstvo rôznych kombinácií konfigurácie registrov. Od nosnej frekvencie, šírky pásma, modulácie, vysielacieho výkonu až po veľkosť RX/TX bufferu. Simulovať, testovať a meniť tieto hodnoty sa dá v programe SmartRF Studio 7. Na pripojenie k mikroprocesoru využíva SPI a ďalšie dva vstupy GDO 0 a GDO 2. CC110L zaisťuje komunikáciu na 433Mhz a najvyššiu citlivosť a robustnosť dosahuje pri rýchlosti 1,2 kb/s. To je dôvod, pre ktorý som zvolil túto najmenšiu prenosovú rýchlosť. Ďalšou alternatívou je modul NRF905 s voliteľnou frekvenciou od 400 do 915 Mhz. Tento má horšie parametre a vyššiu cenu.

Pri aplikácii väčšieho počtu kusov by som zvolil integrované riešenie od TI CC430Fxxxx. Jedná sa o spojenie 16bit RISC procesora s low-power vysielateľom v sub-gigahercovom pásme. Výhodou je, že má hardwarovú podporu AES128, UART, 2xSPI, I2C a IrDA, driver na 96 segmentový display a 10bit ADC. Pri amatérskej výrobe je problematické osadenie jeho puzdra, preto sa hodí viac na sériovú výrobu na profesionálnej osadzovačke.

Z dôvodu otestovania možností, spoľahlivosti a dosahu rádiovkej komunikácie modulov som realizoval tri pokusy v rôznych prostrediach šírenia signálu. Rádiové moduly som osadil štvrtlínovou dipólovou anténou s dĺžkou 16,4 cm a zapojil prepojovacími káblíkmi s vývojovými doskami. Do oboch mikroprocesorov som nahral testovací program,

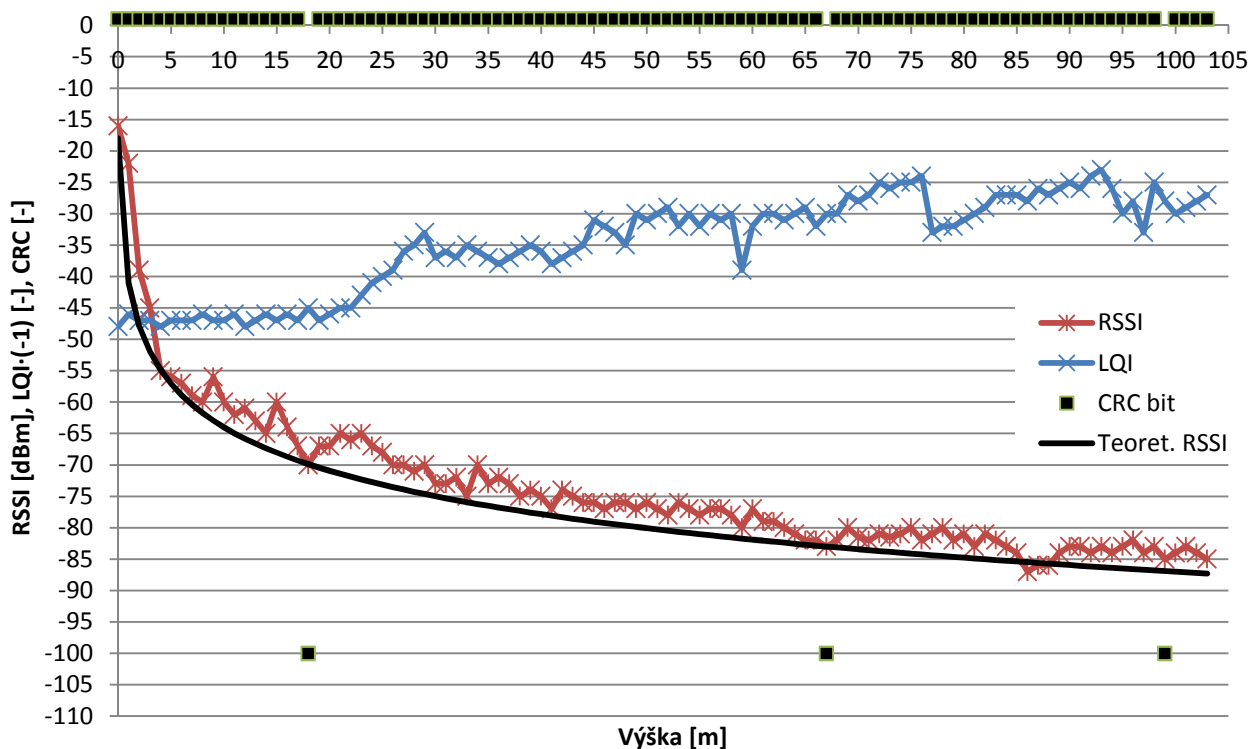


Obrázok 10: Rádiové moduly RF110L a RF1101

ktorý posiela vždy 9 paketov z každého modulu a zisťuje parametre spojenia. Hlavné údaje sú RSSI (Received Signal Strength Indication) - sila signálu približne v dBm. LQI (Link Quality Indicator), podľa ktorého môžeme zistiť viaccestné šírenie signálu, zle navrhnutú anténu alebo nesprávne zvolenú moduláciu. Posledným údajom je CRC bit, ktorý má mať hodnotu 1, inak sú údaje v pakete poškodené a defaultne som zvolil, aby sa paket zahodil.

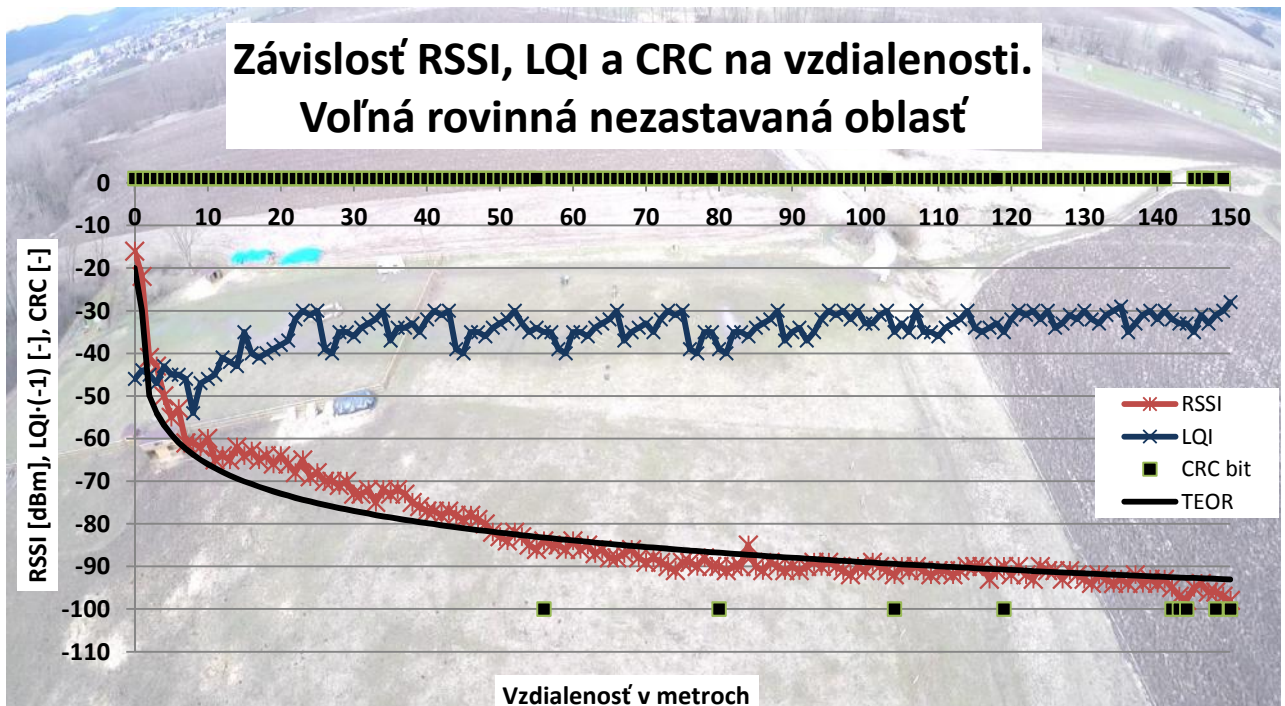
Prvý pokus pozostával zo šírenia signálu vo voľnom vertikálnom priestore. Na spodnú časť kvadrokoptéry som upevnil hliníkovú fóliu na odtienenie rušenia z ESC a BLDC motorov. V strede bola umiestnená vývojová doska MSP430 launchpad s modulom RF110L a jedným článkom lítiovej batérie. Na zemi som mal k notebooku pripojenú dosku Stellaris so zhodným modulom a cez UART posielal údaje do sériového terminálu na notebooku. Vzlietol som do výšky 10 m a skontroloval telemetrické údaje. Na lietanie s modelárskym dronom nie je potrebné povolenie, ale je potrebná opatrnosť. Pribúda prípadov kolízií s inými leteckými prostriedkami, preto som skontroloval letovú prevádzku a vzlietol výšky 100 m, ktorú zákon povoľuje. Vhodnejšie by bolo meranie uskutočniť v noci, kedy sa niektoré výkonné vysielacie vypínajú a utícha aj prevádzka všeobecne rozšíreného a obľúbeného WiFi spojenia. Lietanie v noci letecký zákon zakazuje. Vzlietnuť sa smie len za úplnej viditeľnosti. Technické parametre modulu (dosah) a kvadrokoptéry (vzlietnutie do výšky 800 m) umožňujú väčší rozsah pokusu. Ten bol limitovaný právnymi normami, rizikom kolízie s lietadlom, resp. rizikom havárie kvadrokoptéry. Vytvoril som graf zo zaznamenaných údajov, sila signálu a kvalita v závislosti na výške.

Závislosť RSSI, LQI a CRC na vzdialenosti. Vertikálne šírenie signálu



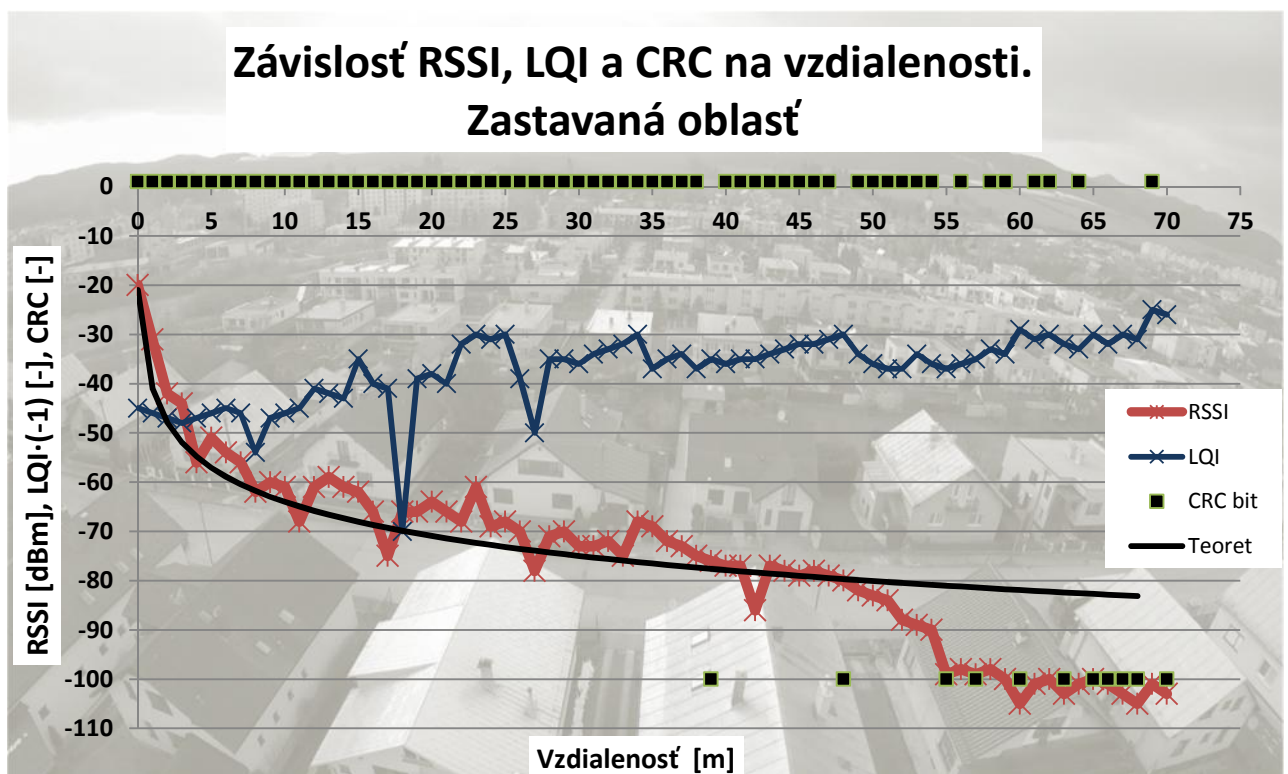
Graf 3: Šírenie signálu vertikálne vo voľnom prostredí, empiricky zistený priebeh

Ďalším pokusným meraním bolo meranie závislosti na zemi. Pokus bol realizovaný na približne rovnom povrchu - pozemku bez zástavby. Zaznamenané údaje pozíciu, silu a kvalitu signálu zobrazuje graf 4.



Graf 4: Šírenie signálu horizontálne vo voľnom prostredí

Tretím pokusom bolo šírenie signálu v zástavbe. Údaje o sile signálu sa v zástavbe dynamicky menili, dôvodom bolo pravdepodobne viaccestné šírenie signálu a rôzne odrazy od budov.



Graf 5: Šírenie signálu horizontálne v zástavbe

4.1.2 MSP430G2553 TSSOP28

Je to v súčasnosti jeden z najlepších a na daný účel dobre použiteľných mikroprocesorov. S architektúrou RISC sa ľahko programuje a je ideálny aj pre začiatočníkov.

Rodina MSP430 ponúka viac ako 150 nízkonákladových mikrokontrolerov. Poskytuje vynikajúci výkon a nízku spotrebu pre široké spektrum aplikácií vrátane bezpečnosti, medicíny, vesmíru a dotykového snímania. Rad MSP430 z pohľadu zákazníka významne znižuje pomer cena/výkon, ponúka 16bitový výkon, prevádzku až do 16 MHz a integrované inteligentné periférie.

- 16-bitová RISC architektúra s časom inštrukčného cyklu 62,5µs
- Nie sú potrebné žiadne externé komponenty pre tvorbu oscilátora
- Pre viac displejov nepotrebujeme externý MUX
- Každý displej môže priamo slúžiť ako vstup s kapacitným snímaním
- Veľký rozsah napájacieho napätia: 1,8 ~ 3,6 V
- Aktívny režim: 220 uA pri 1 MHz, 2,2 V
- Pohotovostný režim: 0,5 uA
- Režim "LPM" (zachovanie RAM): 0,1 uA
- Ultrarýchle prebudenie z pohotovostného režimu <1 µs
- Sériové programovanie bez nutnosti externého napájania

MSP430 LaunchPad: je veľmi jednoduchá vývojová doska ako pre začiatočníkov, tak aj pre pokročilých programátorov. Je to ten najjednoduchší a tiež najlacnejší spôsob ako napríklad naprogramovať blikanie LED diód, otáčanie servomotorčekov alebo zautomatizovať dielňu či domácnosť. Doska obsahuje precíznu päťicu DIP20 pre mikroprocesor, skúšobné LED (červenú LED1 a zelenú LED2), testovacie tlačidlo (S2), otvory pre pripájkovanie dutinkových líšt (sú súčasťou balenia), a tým ešte ľahšie prepojenie s nepájivým poľom. Komunikácia medzi mikroprocesorom a počítačom je zabezpečená po sériovom porte na doske. Rôzni nadšenci aj firmy navrhujú pre launchpad tzv. Boosterpacks, ktoré sa len nasunú, sú veľmi dobre zdokumentované a existuje k nim veľa ukážkových programov a knižníc. Cena je len 10 USD. [12]

4.1.3 Stellaris Launchpad LM4F120XL

Slúži ako hlavný bod inštalácie. Stellaris Launchpad LM4F120XL - je to vývojová doska, ktorej základom je 32 bitový procesor ARM Cortex M4F s maximálnou frekvenciou 80 Mhz. Má 256 KB flash pamäť a 2 KB EEPROM na uloženie informácií aj po vypnutí napájania. Životnosť 500 000 programovacích cyklov a dáta spoľahlivo vydržia v tejto pamäti uložené 10 rokov. Pri prevádzke s požiadavkou na nízku spotrebu ju môžeme znížiť spánkom len na 1,7 uA. Veľkou výhodou je 6 hardwarových timerov, veľké možnosti konektivity USB 2.0, 8-UART,4I2C,4-SSi/SPI,CAN a floating point unit.

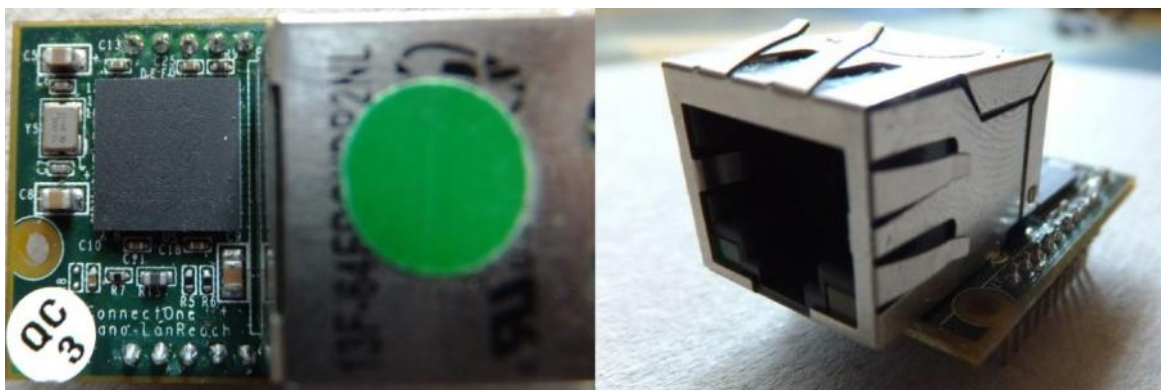
V projekte sú využiteľné dva 1 MSPS 12bitové AD prevodníky, ktoré majú široké možnosti použitia: 12 zdieľaných vstupov, jednotlivé alebo diferenčné meranie, interný teplotný senzor, 4 programovateľné vzorkovacie sekvencery. Obsahuje i hardwarové

priemerovanie na zníženie vzorkovacieho šumu, 2 analógové a 16 digitálnych komparátorov.

Alternatívou je veľmi podobná doska s ARM procesorom TIVA má dve verzie 80 a 120 MHz. Z praktických dôvodov (knižnice sú kalibrované na 80 MHz) bola použitá verzia 80 MHz. Tento mikroprocesor je pre potreby Návrhu riadenia dostatočne výkonný a obsahuje aj veľa funkcií, s ktorými som sa zatiaľ ani nemal čas zoznámiť. Avšak pri rozširovaní a ďalšom vývoji tento typ mikroprocesora zabezpečuje dostatočnú výkonovú, pamäťovú a funkčnú rezervu, aby mohli byť pridané ďalšie rozširujúce funkcie ako ukladanie dát na SD kartu, pridanie bluetooth, WiFi modulu alebo pripojenie PC pomocou USB rozhrania. [12]

4.1.4 Modul ConnectOne Nano SocketLan

LAN modul Nano SocketLan je elektronická súčiastka (modul) umožňujúca pripojenie akéhokoľvek zariadenia komunikujúceho po sériovej linke do internetu. V konštrukcii modulu je využitý IPchip CO2144. Obvod je integrovaný do puzdra LFBGA-144 a obsahuje 32 bitové jadro ARM7TDMI a 256kB rýchlu pamäť SRAM. Ďalej je modul vybavený 2MB programovateľnou Flash pamäťou obsahujúcou operačný systém iChipOS. Modul je určený pre pripojenie do klasickej siete ethernet typu 10/100BaseT. Nie sú potrebné žiadne sieťové ovládače či vyžadovaná zložitá konfigurácia modulu. Po jednoduchej konfigurácii je modul okamžite pripravený poskytnúť svojej nadradenej aplikácii plnú konektivitu do siete internet. Komunikácia s okolím je možná prostredníctvom niekoľkých štandardných sériových komunikačných liniek. K dispozícii sú navzájom oddelené linky typu **UART**, **SPI**, a **USB**.



Obrázok 11: Pohľady na Nano socket LAN

Nano Socketan je možné nakonfigurovať do nasledujúcich režimov:

- a) **SerialNET** - transparentný most medzi sériovým UART a Ethernetom
- b) **Full Internet Controller mode** –procesor sa dá jednoducho pripojiť na internet a využiť plne možnosti modulu napr.: FTP, E-Mail, SSL, zabudovaný web server.
- c) **PPP** – umožňuje pripojiť existujúcu aplikáciu (napr. s LTE modemom) používajúcu PPP.

Podporované protokoly: DNS, UDP, ARP, SMTP, ICMP, IP, TCP, DHCP, NTP, POP3, MIME, HTTP, TELNET, FTP, bezpečnostné protokoly: SSL3/TLS1, HTTPS, FTPS, RSA, AES-128/256, 3DES, RC-4, SHA-1, MD-5 [10]

Konfigurácia modulu

Modul obsahuje dve štandardné webové stránky uložené v jeho neprepisovateľnej pamäti. WEB stránka môže obsahovať viacero prelinkovaných stránok, externé linky, grafiku a obrázky, javascript, atď. Druhá stránka je určená na konfiguráciu a správu nastavenia modulu. Špeciálna funkčnosť umožňuje týmto web stránkam obsahovať odkazy na interné premenné modulu Nano SocketLan.

Modul sa dá konfigurovať aj textovo pomocou AT+i príkazov (často využívané na komunikáciu s GSM modulmi). Napr. AT+iDIP="10.10.1.15" nastaví pevnú IP adresu modulu. Po zapnutí web servera je možné konfigurovať modul cez web rozhranie.

Parametre modulu Nano SocketLan a hostujúceho procesora Stellaris sú zobrazené v aplikačných web stránkach pomocou „Parameter Tag“. Po umiestnení „Parameter Tag“ do aplikačnej web stránky je na jeho miesto zaslaná modulom SocketLan aktuálna hodnota odkazovaného parametra. Syntakticky je „Parameter Tag“ názov parametra uzavretý medzi dvoma znakmi „~“. Napr. hodnota „AT+iOUT1=1“ parametra môže byť použitá vo web stránke ako „~OUT1 ~“, je to vyhodnotené ako názov premennej a na web stránke sa nahradí a zobrazí automaticky (vrátane vlnoviek) aktuálna hodnota premennej teda „1“.

Upload web stránok prebieha nasledujúcim postupom: v programe iChipConfig klikneme na funkciu *Site Pack* a vyberieme adresár s pripravenými súborami pre webové stránky. Pri voľbe *Platform* vyberieme možnosť CO2128 a klikneme na tlačítko *Pack*. V hornej pravej časti okna programu je nutné zadať maximálnu veľkosť jednotlivých premenných „*Fill selected parameters with value*“ (maximálna veľkosť je 256) a klikneme na tlačidlo *Fill*. Následne kliknutím na tlačidlo *Save program* vygeneruje image webstránky a ponúkne jeho uloženie v súborovom formáte .img.

Výsledný súbor uploadujeme cez vlastné webové rozhranie modulu, ktoré je dostupné na adrese: <http://<IP adresa modulu>/ichip>.

Aby bol LAN modul schopný sa pripojiť k internetu a bol prístupný aj z vonkajšej siete internet, je nutné správne zadať parametre a nastaviť ADSL router s verejnou IP adresou.

AT+iDIP="192.168.1.20" - defaultná IP adresa modulu

AT+iIPG="192.168.1.1" - východzia brána (gateway)

AT+iSNET="255.255.255.0" - maska podsiete

AT+iIPA="192.168.1.20" - priradená IP adresa

AT+iHIF=1 - rozhranie hostujúceho procesora USART0

AT+iBDRF=9 - nastavenie baudovej rýchlosti na 115200

AT+iLTYP=2 - interface LAN Ethernet

AT+iCPF=1 - aktívna komunikačná platforma LAN

AT+iBRM=0 - deaktivácia módu bridge, kvôli web serveru

AT+iAWS=3 - HTTP web server (6 socketov) sa po reštarte aktivuje automaticky,

ak nastavíme hodnotu AWS=100 spustí sa HTTPS zabezpečený web server

AT+iNTOD=1 - iChip sa pripojí k NTP (network time server) a aktualizuje čas

AT+iNTS1="207.223.123.18" - primárny NTP server, wolfnisttime.com

AT+iNTS2="96.226.242.9" - sekundárny NTP server, nist.time.nosc.us, Carrollton, Texas

AT+iGMT0=1 – časové pásmo GTM+1

AT+iHSTN="DOMA" - definuje Hostname

AT+iWWW:3 - okamžite aktivuje web server (6 socketov)

AT+iARS=0 - deaktivácia Auto Router Start

AT+iWPWD=""* - nie je nutné sa prihlasovať pri vstupe do web rozhrania

AT+iRPG=""* - pri zmene nastavenia modulu nebude požadované heslo

Na to, aby zariadenia vo vnútri lokálnej siete boli prístupné aj z vonkajšej siete, t.j. internetu, treba nastaviť prekladanie portov. NAT prekladač je štandardne nakonfigurovaný tak, aby zariadenia vnútri siete neboli „vidieť“ z vonku. Je to zároveň aj súčasť zabezpečenia pred vonkajšími útokmi.

Aby sme mohli pristupovať k web rozhraniu z internetu, je nutné nakonfigurovať NAT prekladanie portu na IP adresu modulu, to znamená, že adresy z lokálnej siete sa preložia na jedinečnú adresu, ktorá slúži pre vstup do inej siete. Prekladanú adresu si router uloží do tabuľky pod náhodným portom. Pri odpovedi si v tabuľke vyhledá port a pošle pakety na IP adresu priradenú k danému portu.

Pretože náš ISP (internet service provider) ponúka určitú množinu verejných IP adries, ktorú náhodne prideluje zákazníkovi v určitých časových intervaloch, je potrebné pri zmene aktualizovať verejnú IP adresu. Práve preto router obsahuje službu dynamickej DNS adresy. Po zaregistrovaní sa do služby no-ip.org alebo dyndns.com zadáme prihlasovacie údaje do routera, a ten aktualizuje svoju verejnú IP adresu v pravidelných intervaloch. Tým sa zaisťujú pohodlný neustály prístup cez URL odkaz.

Výhoda web rozhrania je univerzálnosť použitia, neustála aktualizácia dát, spätná kontrola vykonania príkazov, kompatibilita so všetkými dostupnými zariadeniami oproti rôznym aplikáciám špeciálne určeným pre konkrétny operačný systém a vykresľovanie histórie hodnôt do grafov cez Google charts API.

4.2 Senzory a aktuátory

K viacúčelovej doske je možné pomocou 3 analógových a 4 digitálnych vstupov a 5 digitálnych výstupov pripojiť teplotné senzory pracujúce na rôznych princípoch; spínanie rôznych typov záťaží; snímače vlhkosti, osvetlenia, atmosférického tlaku. Hlavná riadiaca doska obsahuje 10 digitálnych vstupov a výstupov, 12 analógových vstupov UART a SPI. Preto má omnoho väčšie možnosti konektivity a v suteréne na regulovanie vykurovacej sústavy sú aj plne využité. Samozrejme je možné pripojiť veľké množstvo ďalších senzorov a aktuátorov pomocou expandérov. Na snímanie rôznych veličín a spínanie som použil čo najmodernejšie zariadenia, niektoré z nich popíšem nižšie.

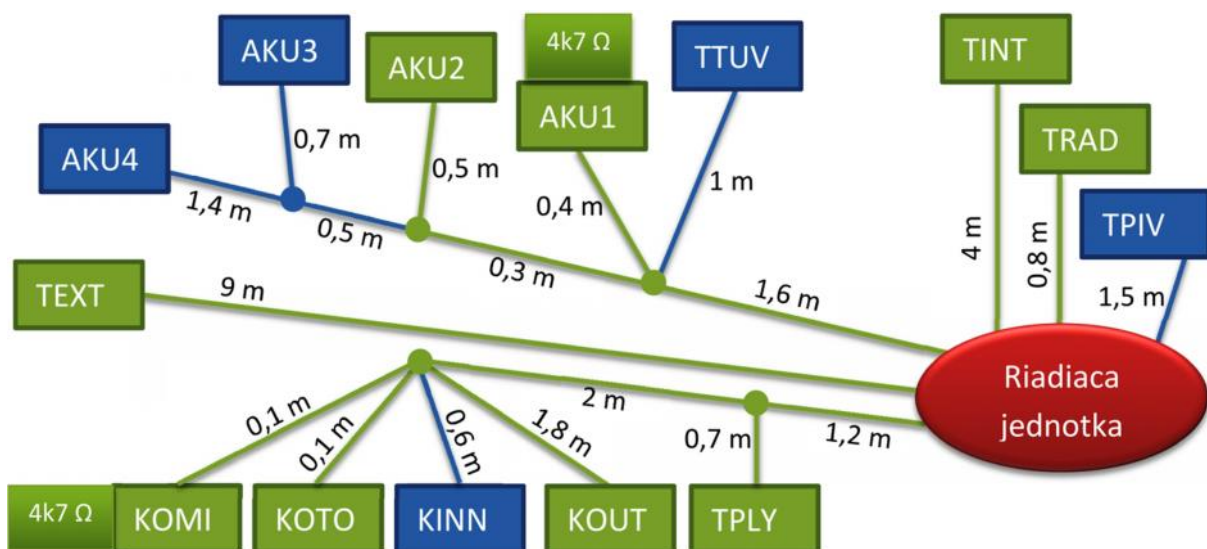
4.2.1 Maxim DS18B20

Senzorová sieť založená na senzoroch teploty, ktoré komunikujú patentovaným proprietárnym protokolom OneWire. Protokol 1-Wire® bol pôvodne navrhnutý s cieľom uľahčiť komunikáciu so zariadeniami na krátku vzdialenosť. Je to tiež spôsob, ako pridať prídavnú pamäť, ktorá komunikuje cez jediný pin mikroprocesora.

Veľkosť siete je limitovaná schopnosťou dostatočne rýchleho vybitia a nabitia dátových vodičov, aby nezmenili tvar a dĺžku impulzu signálu. Pri dĺžkach v rádoch desiatok metrov sa podstatne prejavujú kapacitné a indukčné väzby, preto je nutné použiť správny kábel s tienením proti impulznému elektromagnetickému rušeniu. Použil som štandardizovaný UTP 5E twisted pair kábel rozdelený na jednotlivé páry a spletený s ďalším vodičom, aby som dosiahol 3 vodičovú kombináciu so správnou impedanciou potrebnú pre štandardné senzory. Tienenie som zabezpečil upevnením vodičov na trubky s dvojitou vrstvou alumínovej samolepiacej pásky, takže vodiče sú obalené s každej strany.

Pre DS18B20PAR s parazitickým napájaním sú potrebné len 2 vodiče a spojený pin VCC s pinom GND. Počas AD konverzie teploty je potrebné priame napájanie 3,3V na DQ pine, pretože každý senzor môže vyžadovať až 1,5 mA, pullup odpor takúto záťaž neunesie a senzory vykazujú chybné hodnoty. Pre takúto malú sieť stačí aj prúd priamo z mikroprocesora (max. 20 mA). Túto sieť som použil v suteréne, aby som sa vyhol rušeniu na dlhých vodičoch pri použití analógových senzorov teploty. Jednoduchý pullup odpor (2-6 k Ω) zapojený na DQ pin (DATA IN/OUT) má obmedzenie vzdialenosti asi 200m, ale sofistikovanejší spôsob zapojenia s aktívnym pullup pomocou mosfetu a ďalšieho pinu mikroprocesora dokáže prekonať toto obmedzenie a predĺži maximálnu podporovanú vzdialenosť na vyše 500 m, kde sa už prejavuje aj oneskorenie signálu. Druhý spôsob je 3 vodičové zapojenie (VCC, GND, DQ), ktoré je spoľahlivejšie a používa sa pri väčších sieťach. Aby som šetril procesorový čas, príkaz na meranie teploty a konverziu je vyslaný mikroprocesorom broadcastom a všetky teplotné senzory začnú naraz.

Využívam plné 12 bitové rozlíšenie, a preto konverzia trvá až 750 ms. Pri použití 9 bitového rozlíšenia sa čas skrúti na jednu osminu, teda približne 94 ms. Topológia siete v tomto návrhu je kombinovaná STAR a LINEAR, kde senzory napojené na hlavnú líniu nie sú vzdialené viac ako ako 3 m. Celkový počet zariadení na OneWire zbernici je 14. Na obrázku nižšie je zobrazená kompletná topológia so vzdialenosťami a typom senzorov spolu s pullup odpormi. Modrým sú vyznačené senzory s parazitickým napájaním ku ktorým sú vedené len 2 vodiče. Názvy odpovedajú parametrom z Tabuľky 1. [13]



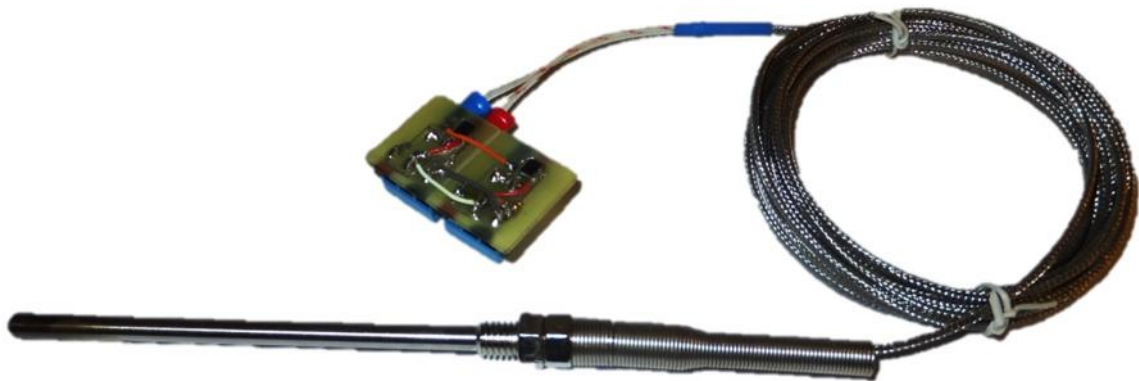
Obrázok 12: Topológia 1-Wire siete s vzdialenosťami od meracej dosky

4.2.2 Maxim 31850 s termočlánkom typu K

Na meranie vysokej teploty v spaľovacej komore a teploty spalín vychádzajúcich z kotla do dymovodu som sa rozhodol použiť termočlánku typu K s rozsahom od -40 do 1250°C . Predtým som experimentoval s odporovým senzom PT1000. Absolútne maximum tohoto senzora je 400°C a cena kompletného senzora uloženého v nerezovej tyči s dlhými tienenými prírodnými vodičmi je cca 450 Kč oproti 70 Kč za termočlánok.

Pracoval som na verzii s nízkošumovým operačným zosilňovacom OP07 s veľmi malým ofsetom, ktorý v tomto prípade netreba kompenzovať, avšak zosilnenie som musel nastaviť, aby som v plnom rozsahu využil AD prevodník mikroprocesora (0–3,3 V).

Z dôvodu dosiahnutia požadovanej presnosti by som musel kalibrovať prevodnú charakteristiku v niekoľkých bodoch s iným veľmi presným teplomerom spolu ponoreným v kvapaline.



Obrázok 13: Termočlánok typu K, 3 m prírodný tienený vodič zapojený do DPS s MAX31850

Keďže firma Maxim Integrated mi poskytla vzorky integrovaného prevodníka MAX31850K, mohol som použiť termočlánku a vyhol som sa riešeniu komplexných analógových obvodov. Zároveň je komplikované odfiltrovať rušenie produkované ventilátorom, čerpadlami a ostatnými elektrickými spotrebičmi.

Termočlánky umiestnené v spaľovacej komore a dymovode sú zapojené práve na dosku s integrovaným obvodom MAX31850, ktorý zaisťuje všetky potrebné kompenzácie termočlánku (studený koniec), zosilnenie a prevod malého napätia termočlánku 14bitovým AD prevodníkom na digitálnu hodnotu, ktorú môžeme prečítať cez OneWire rozhranie. Taktiež sa dajú diagnostikovať poruchy ako skrat, nezapojené svorky alebo spojenie výstupov termočlánku so zemou.

4.2.3 Lambda sonda BOSCH LSM11.

Do dymovodu som frézou z rýchloreznej ocele vyfrézoval otvor a umiestnil som do otvoru lambda sondu s predĺženou charakteristikou na prebytok kyslíka. Táto sonda je často používaná na snímanie obsahu kyslíka v spalínach odvádzaných z kotla, ale aj pri tuningu áut, pretože jej charakteristika je rozšírená na stranu s prebytkom kyslíka. Ideálny percentuálny obsah kyslíka v spalínach pri spaľovaní dreva je približne 10 %.

Pri spaľovaní s nadbytkom kyslíka pri vysokej teplote v spaľovacej komore pyrolitického kotla oxidujú nebezpečné a škodlivé plyny (CO , NO_x , SO_2) na menej škodlivé. Súčasne sa pri tomto type spaľovania redukuje emisia jemného prachu do ovzdušia približne na polovicu v porovnaní so štandardným kotlom. Preto kvalitne navrhnuté a regulované pyrolitické kotly na drevo spĺňajú najprísnejšie normy zaoberajúce sa znečistením ovzdušia. Konkrétne kotel ATTACK DPX má 25 násobne nižšiu koncentráciu škodlivých emisií v spalinách ako povoľuje norma EN303-5.

Vyspelejšia verzia kotla s označením Lambda má takmer dokonalé riadenie pomocou regulovania primárneho a sekundárneho vzduchu servomotormi. Avšak cena tohto vylepšenia je neúmerná, približne dvojnásobná oproti verzii Profi. Keďže všetky kovové časti sú rovnaké, rozhodol som sa takúto pokročilú reguláciu spaľovania doplniť. Predpokladaná úspora paliva alebo zvýšenie účinnosti nie sú významné.



Obrázok 14: Lambda sonda spolu s termočlánkom umiestnené v dymovode kotla

Hlavným benefitom je zníženie produkcie škodlivín vypúšťaných do ovzdušia.

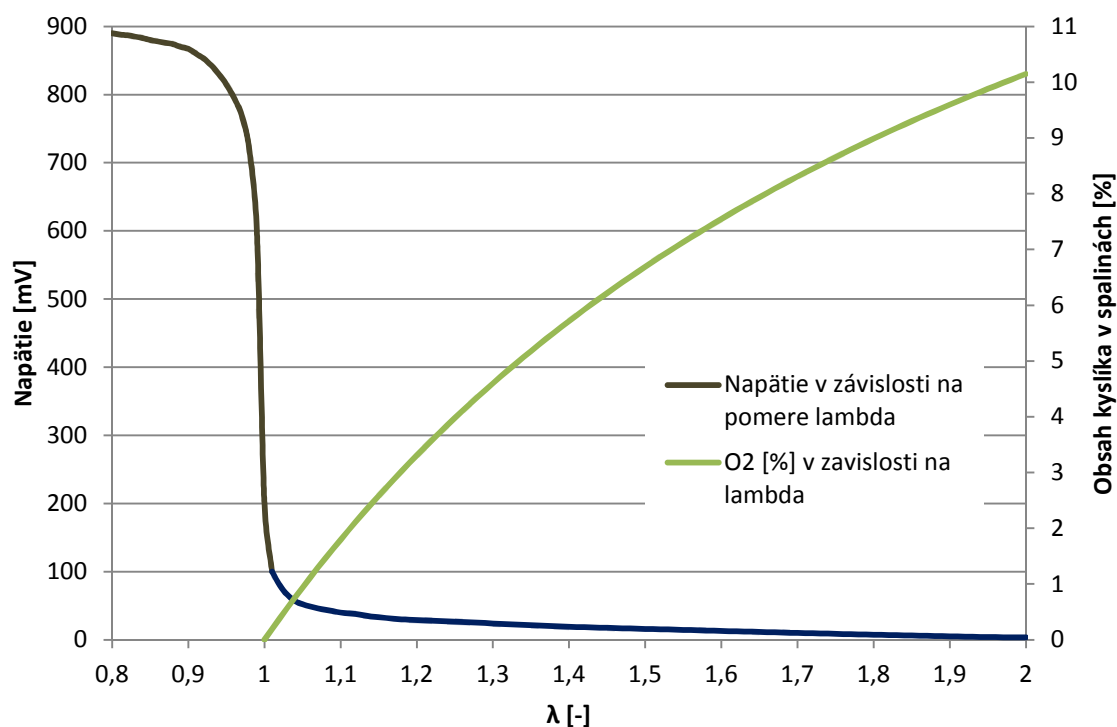
Aktívny snímač lambda sondy je keramický (ZrO_2), zahrieva sa zvnútra pomocou samoregulačného keramického wolframového ohrievača tak, aby teplota snímača zostávala nad 350°C a funkcia nebola obmedzená, bez ohľadu na teplotu spalín. Špeciálny dizajn Lambda snímača umožňuje meranie až do pomeru $\lambda = 2,0$. Signál je zosilnený operačným zosilňovačom OP07 so zosilnením $A=33$, aby sme dosiahli plné rozlíšenie AD prevodníka. Percentuálny obsah kyslíka vypočítame podľa tohto vzťahu.

$$x_{\text{O}_2} [\%] = \frac{3 \cdot (\lambda - 1)}{(1 + 3 \cdot k \cdot \lambda)} \quad k = 4,76; 4,77 \quad \text{Rovnica 3: Koncentrácia kyslíku}$$

Z toho vyplýva iteračným výpočtom správna hodnota $\lambda = 1,97$ pre 10% obsah kyslíka v spalinách. Teda násobná spotreba vzduchu oproti ideálnemu stechiometrickému pomeru pri spaľovaní.

V grafe je modrou čiarou vyznačená pracovná oblasť správneho fungovania.

Napätie a obsah O₂ v závislosti na λ



Graf 6: Napätie a obsah O₂ v závislosti na λ

4.2.4 LM35 a LM335

Polovodičové senzory LM35 a LM335, ktoré sú linearizované (od -40 do 115°C) a ich teplotná závislosť je 10mV/K. Ich výstup je analógový a hodnota napätia je kalibrovaná buď v Kelvinoch (LM335 2,95 V pri 22°C), alebo v °C (LM35 0 V pri 0 °C). Sú umiestnené čo



Obrázok 15: LM35 a LM335

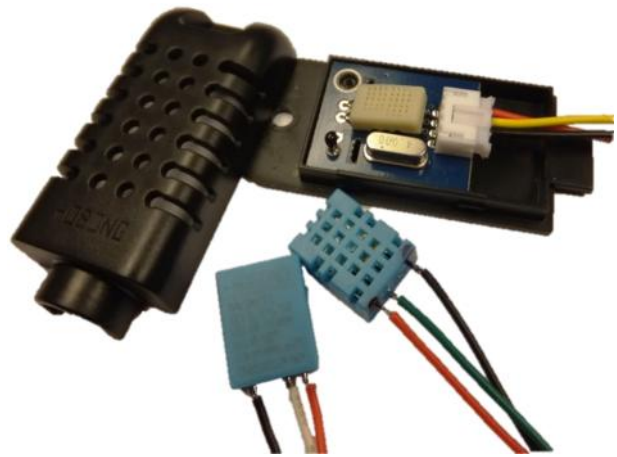
najbližšie k objektu ktorého teplotu chceme merať a je na nich nanosená teplovodivá pasta, aby meranie teploty bolo čo najpresnejšie. Teplotný pracovný rozsah je pre LM335 od -40 do 100 °C a pre LM35 je -55–150 °C. Nevýhodou LM35 je, že potrebuje zdroj záporného napätia alebo zvýšenie napäťového potenciálu na pine GND oproti uzemneniu mikroprocesora. Teda vo výsledku bude analógový signál zo senzora superponovaný o 0,55 V oproti štandardnému zapojeniu.

4.2.5 Vlhkosť DHT11 a AM2031

DHT11 je jednoduchý lacný snímač teploty a vlhkosti, má vysokú spoľahlivosť a vynikajúcu dlhodobú stabilitu. Používa kapacitný senzor vlhkosti a termistor pre meranie teploty okolitého vzduchu. Výstupom je digitálny signál na dátovom pine, na ktorý je potrebné zapojiť pull-up odpor. Jeho pomerne jednoduché ovládanie ale vyžaduje starostlivé načasovanie komunikácie v mikroprocesore na zachytenie dát.

Jedinou skutočnou nevýhodou tohto senzora je, že namerané údaje môžu byť až 2 sekundy staré. Výrobca udáva presnosť $\pm 5\%$ RH (relative humidity) a dlhodobú stabilitu $\pm 0,5\%$ RH za rok.

Formát dát single-wire zbernice používa pre komunikáciu a synchronizáciu medzi MCU (Micro Controller Unit) a DHT11 senzorom 40 bitov dlhý reťazec. Snímač vysiela vyšší dátový bit ako prvý. Údaje sa skladajú z high a low byt-ov v desiatkovej sústave a neoddeliteľnou súčasťou je posledný kontrolný byte. Formát dát: 8bit integer RH + 8bit decimal RH + 8bit integer teplota + 8bit decimal teplota + 8bit kontrolný súčet. Jeden komunikačný cyklus trvá približne 4 ms. Senzor AM2031 pracuje na rovnakom princípe, pričom má menší rozptyl hodnôt ($\pm 2\%$ RH) a rozsah merania až 0–100 % RH.



Obrázok 16: Sensory vlhkosti DHT11 a AM2031

4.2.6 Intenzita osvetlenia BH1750

BH1750FVI je senzor, ktorý sníma svetelnú intenzitu okolia pomocou fotodiódy a 14 bitovým ADC ju mení na digitálnu hodnotu kalibrovanú v luxoch. $\text{Lux} = 1 \text{ Lm/m}^2$.



Lumen je definovaný ako svetelný tok vyžarovaný do priestorového uhla 1 steradián bodovým zdrojom, ktorého svietivosť je vo všetkých smeroch jedna kandela. Komunikuje prostredníctvom I2C zbernice s taktom 400 kHz. I2C je synchronne dvojdrátové rozhranie, SDA prenáša dáta, zatiaľ čo SCL prenáša hodinové impulzy, ktoré sa používajú na sledovanie dát. Je možné detekovať široké spektrum svetla vo vysokom rozlíšení 1–65535 lx. Výhody tohto snímača sú: veľmi nízka spotreba, napájanie priamo 3,3 V, potlačenie 50/60 Hz rušenia, podpora 3 módov presnosti rozlíšenia (0,5; 1; 4 Lux). Je možné zvoliť si dva typy slave I2C adresy.

Obrázok 17: Senzor intenzity osvetlenia BH1750, bez stabilizátoru 3,3 V

4.2.7 Atmosférický tlak BMP180

Bosch BMP180 (novšia verzia od BMP085) je vysokokvalitný snímač barometrického tlaku s rozsahom merania medzi 30–110 kPa, spotrebou elektrickej energie len 3 μA a presnosťou ± 2 Pa. Z dôvodu častého využitia tohto senzora v meteorologických staniách má BMP180 tiež presné meranie teploty ako bonus. Zároveň sú tieto údaje

použité pri výpočte kalibrácie tlaku. Údaje o tlaku sa dajú využiť aj na jednoduchú predpoveď počasia, ak poznáme štandardný tlak v našej polohe a nadmorskej výške.

BMP180 má digitálne rozhranie I2C s frekvenciou 400 kHz, to znamená, že je viac odolné voči elektromagnetickému rušeniu, ako keby mal analógový výstup a vzorkoval by sa ADC v mikroprocesore. Každý senzor sa osobitne pri výrobe kalibruje a tieto konštanty sú zapísané do neprepisovateľnej pamäti EPROM. Pred meraním a výpočtom je potrebné tieto údaje raz prečítať a uložiť do pamäte mikroprocesora. Následne pošleme príkaz na meranie a opýtame sa na hodnoty teploty a tlaku. Aby bol program čo najefektívnejší, vyhol som sa použitiu floating point matematických operácií a namiesto toho som využil bitwise operácie, ktoré sú mnohokrát rýchlejšie a šetrnejšie k pamäti.



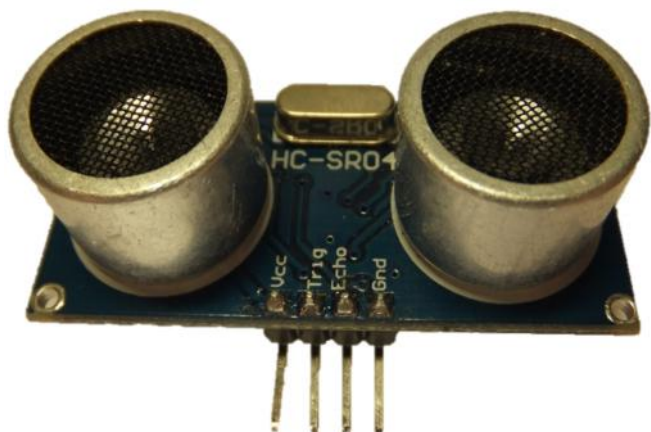
Obrázok 18: Tlakomer Bosch BMP180

Preto som musel zmeniť niektoré výpočty v knižnici do tejto formy:

```
up = (((unsigned long) msb << 16) | ((unsigned long) lsb << 8) |
      (unsigned long) xlsb) >> (8-oversampling);
b6 = b5 - 4000;
x1 = (b2 * (b6 * b6)>>12)>>11;
x2 = (ac2 * b6)>>11;
b3 = (((((long)ac1)*4 + x1 + x2)<<oversampling) + 2)>>2;
x1 = (ac3 * b6)>>13;
x2 = (b1 * ((b6 * b6)>>12))>>16;
b4 = (ac4 * (unsigned long)(((x1 + x2) + 2)>>2) + 32768))>>15;
b7 = ((unsigned long)(up - b3) * (50000>>oversampling));
if (b7 < 0x80000000)p = (b7<<1)/b4; else p = (b7/b4)<<1;
x1 = (p>>8) * (p>>8);
x1 = (x1 * 3038)>>16;
x2 = (-7357 * p)>>16;
p += (x1 + x2 + 3791)>>4;
```

4.2.8 Ultrazvuk HC-SR04

Tento jednoduchý a lacný modul som zvolil na meranie vzdialenosti alebo vrstvy snehovej pokrývky. Umožňuje meranie vzdialenosti 2–400 cm s rozlíšením 3mm pri správnej kalibrácii teploty a vlhkosti vzduchu. Pracuje na jednoduchom princípe: na pin TRIG pošleme impulz trvajúci aspoň 10 ms, modul automaticky vyšle osem pulzov s frekvenciou 40 kHz a čaká na detekciu odrazeného pulzu.



Obrázok 19: Ultrazvukový modul na meranie vzdialenosti

Akonáhle sa odrazený signál detekuje, na pine ECHO sa objaví logická jednotka v TTL logike časovo proporcionálne závislá na vzdialenosti predmetu. Mikroprocesorom zmeriame trvanie logickej jednotky a podľa tohto jednoduchého vzťahu 4 spočítame vzdialenosť predmetu od ultrazvukového modulu. Rýchlosť zvuku sa mení prevažne s teplotou vzduchu, takže si ju musíme najskôr vypočítať.

$$c \approx 331,3 + (0,6 \cdot t [^{\circ}\text{C}]) \quad d [m] = \frac{\Delta t [s] \cdot c \left[\frac{m}{s}\right]}{2}$$

Rovnica 4: Výpočet vzdialenosti

Zvýšená vlhkosť vzduchu zapríčiňuje nárast rýchlosti o 0,1–0,6%.

4.2.9 Anemometer



Obrázok 20: Anemometer z antikorových naberačiek

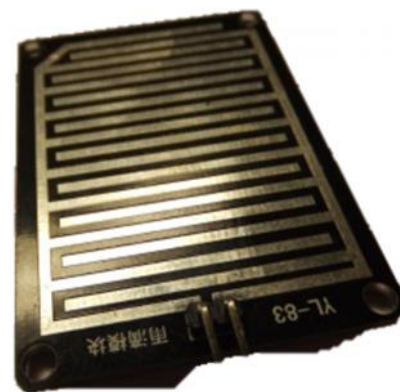
Na približné meranie rýchlosti vetra som vyrobil miskový anemometer, v ktorom sa vyhodnocuje počet otáčok úrovnou napätia DC motora pracujúceho v generátorickom režime. Polguľovité misky sa roztočia v dôsledku rôzneho odporu dutej a vypuklej časti voči prúdeniu vzduchu v okolí. Na vyrovnanie zvlneného napätia je použitý elektrolytický kondenzátor s kapacitou 1000uF. Kalibrácia prebiehala amatérskym, ale funkčným spôsobom. Anemometer som upevnil na tyč, ktorú som vystrčil z okna

automobilu, aby prúdenie vzduchu nebolo ovplyvnené vírivými prúdmi v okolí karosérie. Podľa presného GPS snímača som určoval aktuálnu rýchlosť vozidla v bezvetří. Zapísal som si údaje do korekčnej tabuľky následne uloženej do mikroprocesora, aby prevod úrovne napätia na rýchlosť vetra bol čo najpresnejší.

Anemometer plánujem využiť aj ako obnoviteľný zdroj elektrickej energie pre WSN node na streche. Nevýhodou tohto typu anemometra je mechanický odpor. Na jeho roztočenie je potrebná väčšia rýchlosť vetra. Na meranie malých rýchlostí vetra a jeho smeru bude vhodnejší krížový ultrazvukový anemometer, ktorý plánujem zostrojiť.

4.2.10 Dažďový senzor

Princíp je založený na DPS s pocínovanými hrebeňovými cestami. Keď na ne dopadne dažďová voda, zvýši sa vodivosť medzi nimi. Mikroprocesor cez analógový vstup navzorkuje hodnotu napätia a s hystereziou sa určí zrážková činnosť. Senzor musí mať určitý sklon, aby kvapky vody po ukončení zrážkovej činnosti odtiekli. Po čase sa môže vytvoriť na povrchu vrstva minerálov a nečistôt, ktoré zmenia vodivosť, a preto je nutné občasné čistenie.



Spôľahlivejším riešením je snímanie zmeny kapacity na doske. Obrázok 21: DPS dažďového senzoru

To ale vyžaduje generátor presnej frekvencie a čítač pulzov, čo je podstatne energeticky a hardwarovo zložitejšie riešenie. Snímanie zrážkovej činnosti spolu s atmosférickým tlakom a rýchlosťou vetra môžeme použiť pri riadení žalúzií, automatického zavlažovania s predikciou počasia na niekoľko hodín vopred, aby sa zavlažovanie nespustilo pred dažďom.

4.2.11 RGB LED

Na osvetlenie dvora a záhrady som zvolil výkonovú 50 W RGB LED diódu s napájaním 35 V a 1,5 A. Aby som zbytočne neprodukoval tepelnú energiu a predĺžil životnosť, znížil som prúd na 1 A. Diódy sú napájané DC-DC UP konvertorom a ďalej LED driver-om - teda zdrojom konštantného prúdu s možnosťou PWM riadenia mikroprocesorom.

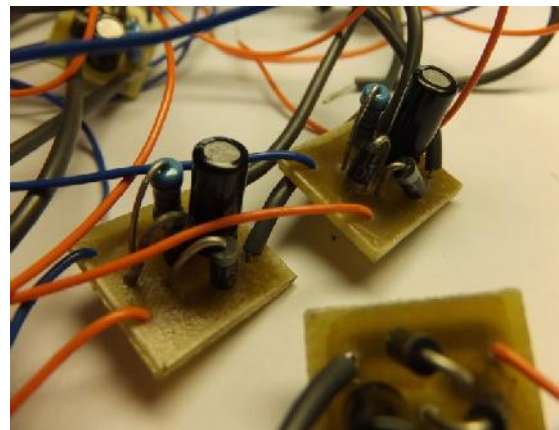


Obrázok 22: 10W a 50W RGB LED s drivermi

Vyrobil som 9 kusov týchto dosiek, teda pre tri RGB diódy. Výstupný prúd môžeme zmeniť snímacím odporom. Základom je integrovaný obvod PT4115 spolu s cievkou, usmerňovacou diódou a „Low ESR“ kondenzátormi na vyhladenie výstupného napätia.

4.2.12 Senzor 230V

Z dôvodu snímania behu čerpadiel, ventilátora, elektrickej špirály alebo výpadku elektrickej siete som navrhol jednoduchý obvod, ktorý usmerní a zmenší striedavý prúd na približne 1,2 V s prúdom len 2 mA. Beh čerpadiel je vhodné snímať priamo magnetickým snímačom otáčok, aby sme zistili prípadné zablokovanie čerpadla či ventilátora.



Obrázok 23: Detektory 230V

To by ale vyžadovalo zložitejší mechanický zásah alebo osadenie magnetometra a vyhodnocovanie alternujúceho elektromagnetického poľa. Snímanie je teda obmedzené na prítomnosť 230 V a signál je vedený do optočlena na meracej doske s elektrickou pevnosťou do 7000 V.

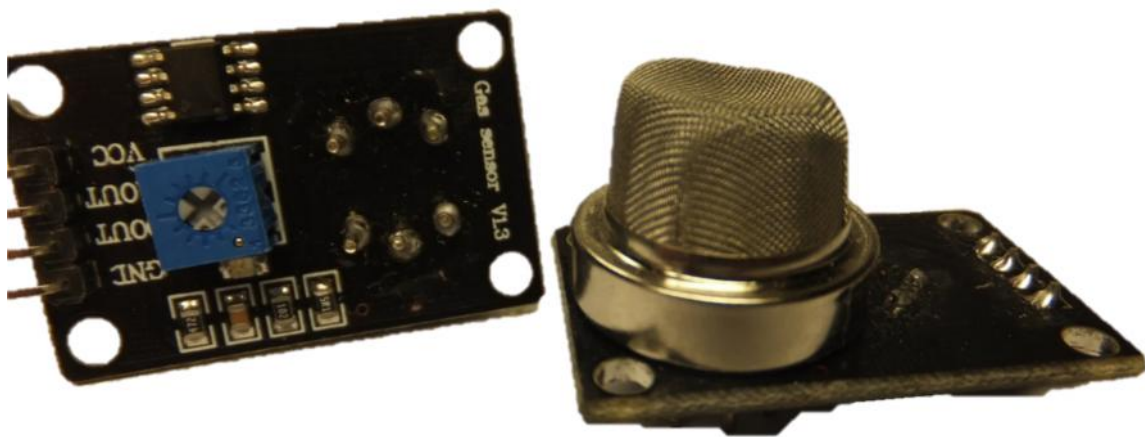
4.2.13 Plyny MQ-135 a MQ-2

Séria MQ senzorov plynov používa malý samoregulačný ohrievač vo vnútri spolu s elektrochemickým senzorom. Sú citlivé na rôzne plyny a používajú sa v interiéri pri izbovej teplote. Pretože senzor neobsahuje žiadne elektronické súčiastky vo vnútri, môže byť použité AC aj DC napätie do ohrievača, v našom prípade je to 5 V.

Zahriať sa môže na 50–60 °C. Výstupom je analógový signál, ktorý je navzorkovaný a filtrovaný plávajúcim priemerom v mikroprocesore. Veľmi dôležitá je hodnota záťažového odporu na analógovom výstupe pre nastavenie správnej citlivosti snímača. Taktiež je možné využiť premenný odpor a manuálne nastaviť správnu hodnotu, ale vo väčšine prípadov sa využíva pevný odpor podľa doporučení výrobcu.

Jeho hodnota môže byť od 2 do 47 k Ω . Nižšia je hodnota odporu znižuje citlivosť a naopak, čím vyššia je hodnota, tým menej presné je meranie pri vyššej koncentrácii daného plynu. Ak sa meria iba jeden konkrétny plyn, zaťažovací odpor môže byť kalibrovaný použitím známej koncentrácie plynu v ovzduší (napr. koncentrácia CO₂ je 400 ppm). V prípade, že senzor používame na meranie viacerých látok (napr. v detektore kvality ovzdušia), odpor je nastavený na hodnotu približne 1V na výstupe s čistým vzduchom v miestnosti.

Po zapnutí senzora je dôležité počkať po dobu 3–5 minút (burn-in time), než ohrievač zahreje celý senzor a vyrovnajú sa teplotné gradienty a elektrochemické procesy. Potom začne analógový výstup dávať stabilné hodnoty. U niektorých typov senzorov je odporúčané „zahorenie“, to znamená, aby sa namerané hodnoty snímača stali viac konzistentné, po dobu 12 alebo 24 hodín necháme senzor zapnutý v štandardných podmienkach teda 22 °C, vlhkosť do 70% a neznečisteným vzduchom v okolí.



Obrázok 24: Snímač kvality ovzdušia a snímač výbušných plynov

MQ-2 je citlivý na horľavé a výbušné plyny ako metán, bután, LPG, dym. Je vhodný na použitie pri detekcii úniku zemného plynu z kotla alebo plynového sporáka.

MQ135 sa používa na meranie kvality ovzdušia v budovách alebo exteriéri. Je citlivý na benzén, amoniak, NO_x, CO₂, alkohol, dym. Preto ho použijeme na riadenie vetrania v obývacej izbe, WC, spálni alebo inej miestnosti, kde sa zdržuje väčší počet ľudí. Ohrievač potrebuje 5 V a približne 40 mA, preto nie je príliš vhodný na batériovú prevádzku.

Senzory z radu MQ sú finančne nenáročné na nákup, ale časovo dlhodobo nestabilné. Preto sa v profesionálnych riešeniach používajú omnoho drahšie senzory založené na princípe odrazu infračerveného svetla od molekúl napríklad CO₂. **COZIR Ambient** by bol ideálnym riešením s veľmi nízkou spotrebou a zabudovanou kompenzáciou okolitých vplyvov, žiaľ jeho cena začína od 110 dolárov.

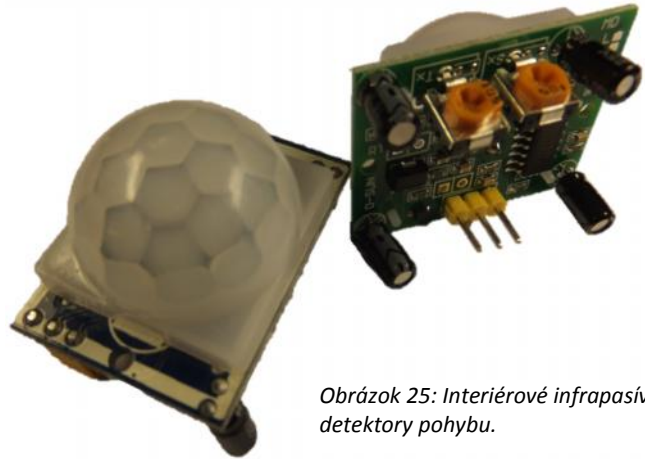
4.2.14 Pohybové senzory

V návrhu sú použité dva systémy detekcie pohybu osôb a zvierat. Do interiéru sú vhodnejšie infrapasívne detektory s hyperbolickou kupolovitou fresnelovou šošovkou. Tieto detektory sú schopné na základe analýzy teplôt v miestnosti spoľahlivo detekovať pohyb človeka v priestore. Pre rôzne aplikácie sa používajú PIR detektory s odlišnou charakteristikou, vhodné napríklad pre štandardné priestory, pre dlhé chodby alebo detektory odolné voči menším domácim zvieratám.

Do prostredia exteriéru je vhodnejší systém ktorý odoláva rôznym spôsobom rušenia (tepelné žiarenie zo slnka, vietor a zrážky), preto som zvolil laserovú optobránu s modulovaným koherentným svetelným lúčom.

V kombinácii s ultrazvukovým alebo mikrovlnným detektorom priblíženia by tvorili nepreniknuteľnú sieť. Logické výstupy so senzorov v TTL logike plánujem pripojiť k jednotlivým WSN uzlom a využiť na spínanie hlavného alebo orientačného osvetlenia.

V prípade opustenia domu môžu byť využité na stráženie ako alarm.

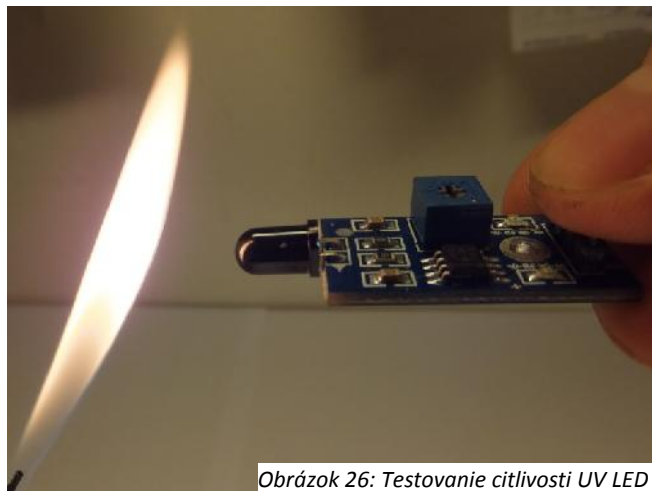


Obrázok 25: Interiérové infrapasívne detektory pohybu.

4.2.15 Detektor dymu a požiaru

UV fotodióda s komparátorom na snímanie plameňa je umiestnená v suteréne tak, aby sa pri náhlom požari bez vzniku dymu okamžite otvoril elektromagnetický ventil na hasenie. Trimrom som nastavil správnu citlivosť a zapojil som TTL výstup poplachu cez optočlen na digitálny vstup procesora.

Senzor dymu pracuje na princípe tmavej bezodrazovej komory s IR žiarením, v ktorej sa odrážajú IR lúče do fototranzistora na miniatúrnych časticiach dymu. Citlivejšie a rýchlejšie sú senzory na princípe ionizácie vzduchu slabou rádioaktivitou (Americium 241), ktoré dokážu detekovať aj menšie častice ako IR, ale tie boli v priestore Európskej únie vytlačené z trhu z obavy pred rádioaktívnym žiarením.



Obrázok 26: Testovanie citlivosti UV LED

Štandardným zabezpečením domácnosti je aj ochrana pred nebezpečenstvom požiaru alebo výbuchu spôsobeným únikom horľavých látok. Najmä ak plynové spotrebiče používa staršia osoba alebo deti, u ktorých je preukázateľná vyššia frekvencia nehôd. Preto by malo byť samozrejmosťou umiestnenie detektora úniku plynu na vhodné miesta

(plynový šporák, kotol). Najmodernejšie typy umožňujú detekciu všetkých druhov výbušných plynov a v prípade zvýšenia koncentrácie plynu nad nastavenú bezpečnú hranicu aktivujú sirénu a zároveň rozpoja kontakty výstupného relé.

4.2.16 Prúdová cievka

Prúdová cievka TAK17-02 zaliata v epoxide s pomerom 2000:1. Sekundárne vinutie je zaťažené odporom $33\ \Omega$, aby sme prúdový výstup 0–10 mA premenili na napäťovú úroveň $\pm(0-1,5)$ V. Ak by sme tento odpor odpojili, na svorkách sekundárneho vinutia by sa mohli objaviť až tisícky voltov úmerné pretekajúcemu prúdu primárnym vinutím. Keďže prúd alternuje, je potrebné strednú úroveň zvoliť tak, aby sme využili celý rozsah AD prevodníka. Toho sme docielili superponovaním sínusoidy za použitia odporového deliča s dvoma rovnakými odpormi $15\ k\Omega$.

Na zaťažovacom odpore sa tvoria kladné a záporné polovlny a vychylujú strednú hodnotu (sčítanie alebo odčítanie napätí). Pri vzorkovaní s referenčnou hodnotou 3,3 V nesmieme prekročiť kladné $>3,6$ V alebo záporné $< -0,2$ V napätie, aby sme nezničili mikroprocesor. Preto som pripojil paralelne na prúdovú cievku ochranné zenerove diódy.

Po navzorkovaní numericky prevrátim zápornú polovlnu na kladnú, aplikujeme LOW PASS filter, aby sme odfiltrovali rušivé vzorky (vyššie harmonické frekvencie) a odčítali offset (1,65 V). Ďalej nájdeme, kedy priebeh prúdu dvakrát prešiel cez hodnotu 0 a ostatné vzorky vyhodíme. Takto sme našli jednu periódu (50 ms). Každú vzorku umocníme na druhú, spravíme z nich celkový súčet, ktorý vydělíme počtom vzoriek. Nakoniec toto číslo odmocníme a vynásobíme pokusne zistenou hodnotou napätia U_{rms} , v ktorej je už zahrnutá aj hodnota účinníka. Na veľmi presné meranie by bolo potrebné aj súčasné meranie napätia a 24 bitové AD externé prevodníky.

Meranie výkonu som kalibroval pomocou **Power meter H9755EU** pri rôznych typoch záťaží, aby sme správne zvolili kompenzáciu účinníka a hodnoty výkonu sa líšili len o jednotky wattov. Orientačné meranie pretekajúceho prúdu je potrebné kvôli monitorovaniu bežnej spotreby domácnosti a rovnomernému rozloženiu záťaže na 3 fázy. Často sa stáva, že užívatelia používajú elektrickú rozvodnú sieť v dome inak ako bola pôvodne naprojektovaná a preťažujú jednu z fáz. V dôsledku toho sa vypína hlavný istič, hoci nenastal skrat, ale súčet odberu prúdu z jednej fázy prekročil 25 A a tepelná ochrana ističa sa za jednotky až desiatky minút zohreje a vybaví istič. Detailné monitorovanie je výhodné aj z hľadiska zistenia poruchy nejakého elektrického spotrebiča napr.:



Obrázok 27:
Kalibrácia merania výkonu

časté cyklovanie kompresora chladničky, veľké prúdy pri zapnutí alebo úniky prúdu spôsobené zlou izoláciou. Užívateľ má prehľad aj o celkovej spotrebe zariadení v stand-by režime či zabudnutých zapnutých svetlách. MSP430 má priamo určenú knižnicu na meranie a počítanie výkonu. K tomu je ale potrebné neustále snímať alternujúci priebeh prúdu, napätia a počítať z neho hodnotu RMS. Preto, aby mohol procesor spať, som zvolil radšej variant merania len jednej periódy. Tak sa procesor na krátku dobu zobudí, pošle hodnoty a na určitú dobu sa zase uspí. V prípade záujmu je možné snímať vyššie frekvenčné zložky, spraviť FFT (Fast Fourier transform) a analyzovať aktuálne rušenie v sieti vyššími harmonickými frekvenciami.

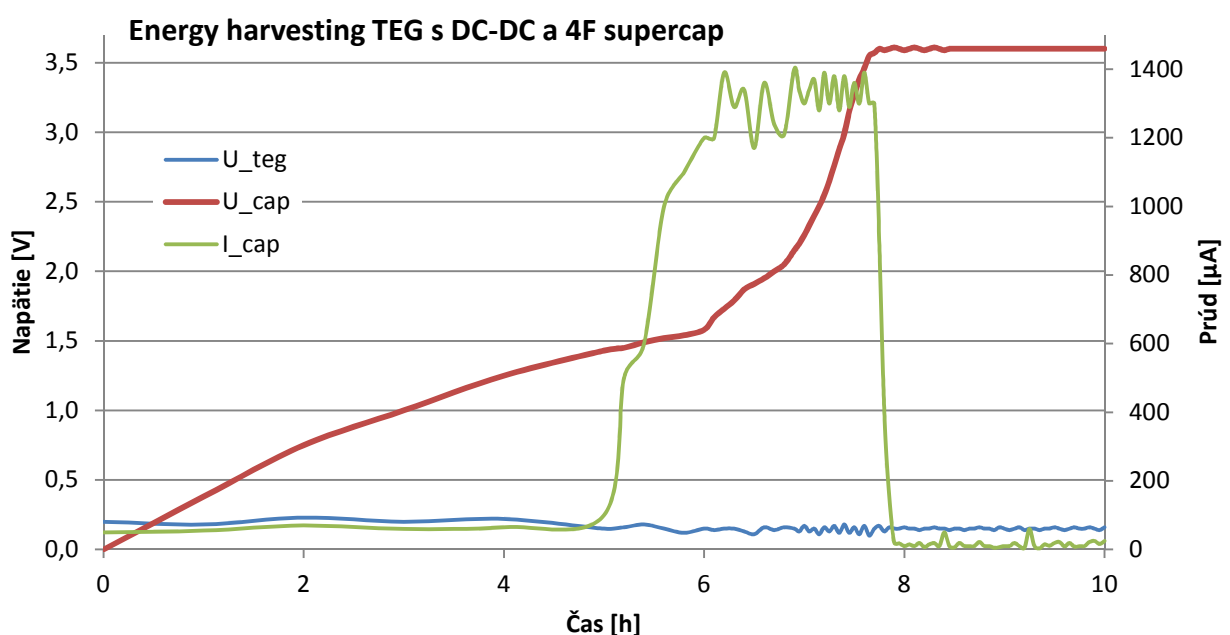
4.2.17 Napájanie a Energy harvesting

Vibrácie, mechanické namáhanie, svetlo, teplo, elektromagnetické polia, slnečný svit, vietor alebo voda. Všetky tieto energie sa dajú využiť na napájanie WSN nodov.

Z princípu veci však v praxi musíme pracovať s dosť obmedzenými úrovňami, ktoré trvalú spotrebu nášho systému pokrývajú len zriedka. Vývojári nenechávajú svoje zariadenia energiou zbytočne plytvať. Za zmienku stojí úvaha, koľko z celkového času WSN uzol strávi aktívnou činnosťou a ako často sa nechá uspať do Low Power Mode.

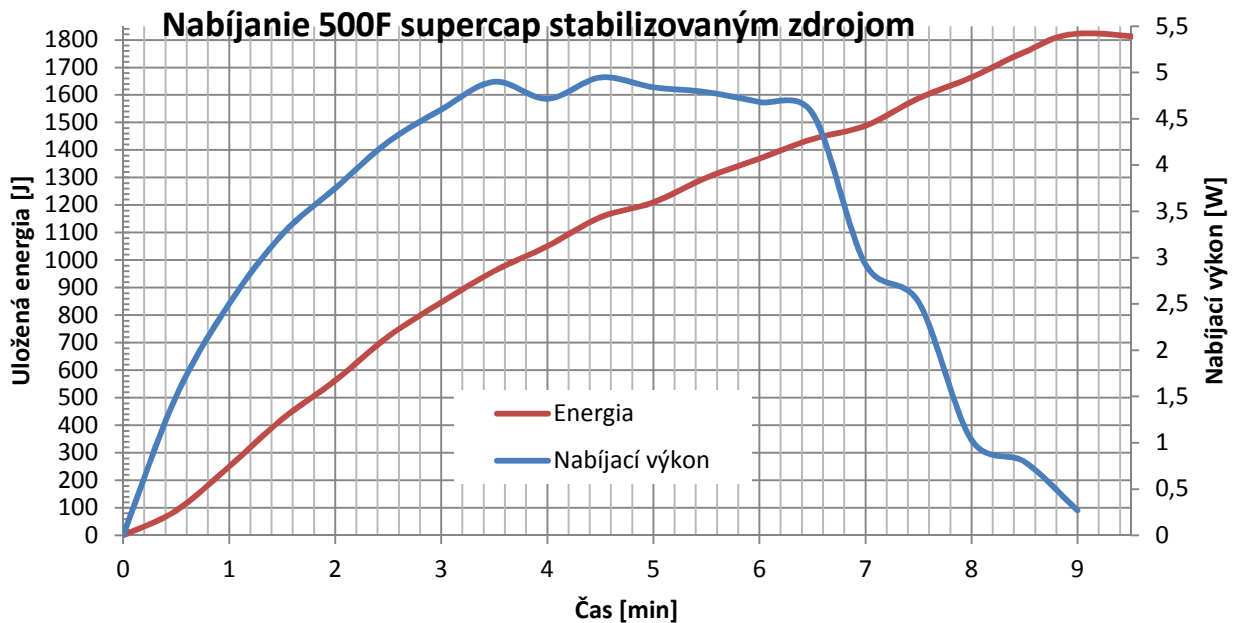
Prítomnosť batérie už potom nie je nutná, jej periodická výmena odpadá. Ak nejaký z miniatúrnych dobíjajúcich článkov napriek tomu použijeme, poslúži nám skôr k vykryvaniu prúdových špičiek v čase vysielania.

Osobne som naklonený grafénovým superkapacitorom, ktoré majú omnoho pomalšiu degradáciu v čase ako napríklad Li-pol články. Výhodou je že nemusíme pravidelne meniť batérie vo WSN node alebo sa báť nízkych teplôt. Na pokusy a merania som použil peltierove články ako TEG (thermoelectric generator) alebo malý fotovoltaický článok a ultra low power boost converter BQ25504. Tento integrovaný obvod má už aj zabudovanú funkciu MPPT, aby nabíjanie bolo čo najefektívnejšie.

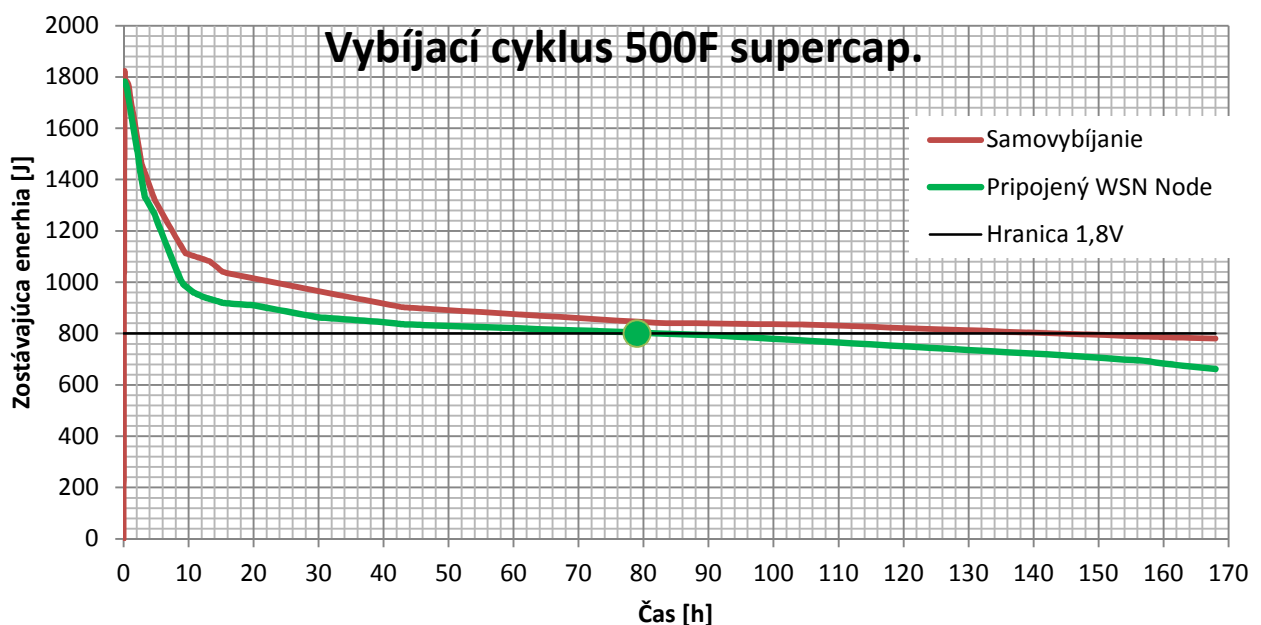


Graf 7: Priebeh napätí a prúdu pri nabíjaní supercap z TEG

Nabíjal som superkapacitor s parametrami 5 V/4 F na maximálne napätie, keď prestane dobíjať 3,6V (max. napájacie napätie mikroprocesora). Výsledky boli uspokojivé, ale až po dosiahnutí aspoň čiastočného nabitia superkapacitora (1,5 V) Dovtedy mal menič veľmi nízku účinnosť a nabíjanie trvalo neúmerne dlho. Pracovnú oblasť som stanovil od 1,8 až 3,6 V. Peltierov článok plánujem upevniť na vykurovacie teleso alebo potrubie aby vznikal výrazný teplotný gradient a produkoval, čo najviac elektrickej energie.



Graf 8: Rýchle nabíjanie 500F superkapacitoru



Graf 9: Dlhodobé vybíjanie počas 7 dní

Aby som v praxi overil výdrž bez dobíjania z alternatívnych zdrojov (najhorší možný prípad), nabil som superkapacitor laboratórnym zdrojom na maximálne napätie (2,7 V) a meral pokles v závislosti na čase. Paradoxne samovybíjanie tvorí majoritnú zložku straty energie. S malou rezervou dokáže WSN node pracovať 75 hodín bez vonkajšieho zdroja energie. To by malo stačiť na preklopenie bezveterných a zamračených dní.

4.3 Realizácia

Na realizáciu som si vyhradil predpokladaný potrebný čas, aby som predišiel časovému sklzu. Niektoré komponenty mali dodaciu dobu aj viac ako mesiac, pretože sa aktuálne nenachádzali na sklade, ale tento fakt výrazne neovplyvnil výsledok práce. Môj zámer sa vo veľkej miere aj podarilo uskutočniť a väčšinu DPS a komponentov som stihol vyrobiť, osadiť a oživiť v plánovanom termíne.

Samotné programovanie už nešlo podľa predpokladného časového harmonogramu a trvalo mi o mesiac dlhšie ako som odhadoval. Keďže už som predtým programoval jednoduché mikroprocesory TI radu MSP430G s architektúrou RISC v Code Composer Studio, predpokladal som, že pokročilejšie funkcie ako čítanie cez 1-Wire a Single-Wire, softwarové I2C, čítanie zo senzora BMP180 a podobné funkcie sú voľne dostupné na internete. Po niekoľkých dňoch márnej snahy som ale zistil, že skopírované funkcie a knižnice ich autori neodladili alebo napísali pre iný rad mikroprocesorov.

Prioritou bolo sfunkčniť rádiovú komunikáciu medzi modulmi, čo sa mi nedarilo písaním klasického nízkoúrovňového kódu.

Preto som prešiel k užívateľsky prívetivejšiemu programovaciemu prostrediu Energia IDE, kde sú pokročilejšie funkcie riešené voľne dostupnými knižnicami. Zaujala ma hlavne knižnica Anaren AIR430BoostEuropeETSI, ktorá pokrýva všetky funkcie potrebné na nastavenie a komunikáciu s rádiovým modulom RF110L. Počas konštrukcie som sa zaoberal ďalšími marginálnymi problémami, ktoré popíšem nižšie. Následné pospájanie jednotlivých komponentov už netrvalo dlho a po niekoľkých pokusoch sa podarilo nájsť správnu výslednú kombináciu a zariadenie bez problémov fungovalo.

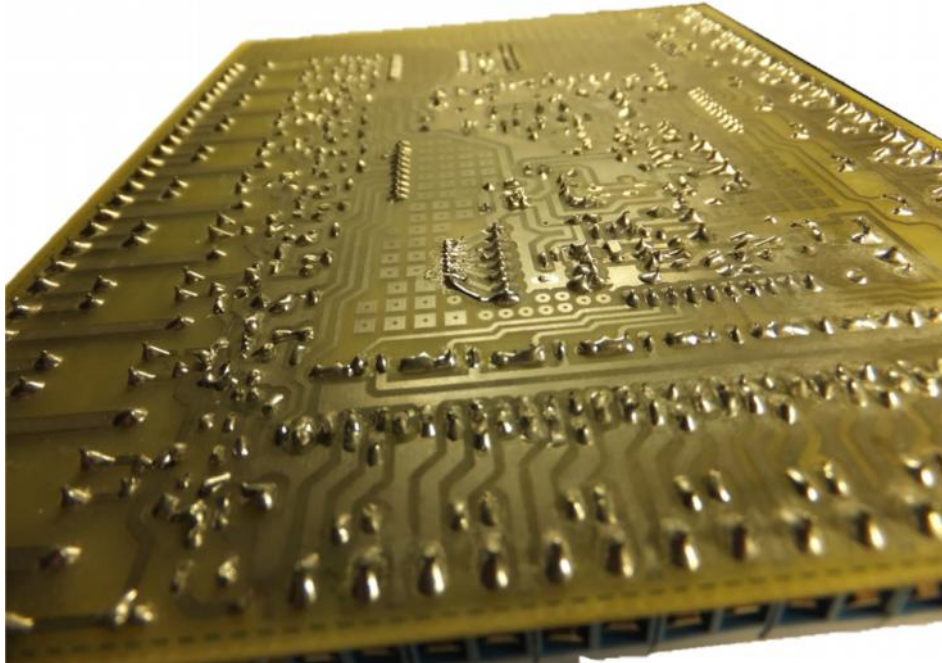
4.3.1 Návrh a výroba DPS

Schému a predlohu pre výrobu DPS som sa rozhodol nakresliť v programe Eagle, s ktorým som mal už v minulosti skúsenosti. Je to veľmi praktický program. Jeho najväčšou výhodou je, že má takmer všetky štandardné súčiastky integrované v knižniciach alebo sa dajú dohľadať na internete. Na účely projektu plne postačuje a práca v tomto programe je rýchlejšia ako v niektorých profesionálnych programoch.

Na realizáciu som zvolil klasický jednovrstvový plošný spoj (na WSN uzly som zvolil dvojvrstvový) z materiálu FR4 s nanosenou fotocitlivou vrstvou. Väčšinu plošných spojov mi pomohol vyrobiť vedúci práce a ja som realizoval len menšie doplnkové, ktoré som navrhol až počas realizácie práce.

Na laserovej tlačiarňi som v najvyššej kvalite vytlačil predlohu a umiestnil nad nádobu s acetylénom, aby sa toner scelil. Aby som dosiahol menšiu difúziu svetla cez pauzovací papier a kratší čas osvetľovania, natrel som ho olejom Loctite SblocTite. Fotocuprexit som umiestnil na dno papierovej škatule, položil som naň fóliu s predlohou a na zaťaženie som použil plexisklo. Klasické draselné sklo totiž filtruje 98 % UV žiarenia. Ožaroval som ho „horským slnkom“, kde je ortuťová výbojka s príkonom 125 W. Tým sa skrátil potrebný čas na osvetlenie len na 1,5 minúty. Potom som fotocuprexit opatrne dal do kadičky s 1% roztokom hydroxidu sodného, aby sa umyl osvetlený UV fotocitlivý lak.

Opláchol som ho destilovanou vodou a prichystal na vyleptanie v alkalickom roztoku katalyzovanom kyslíkovými bublinkami. Po vyleptaní a očistení plošného spoja som na vyznačené miesta navrtal osadzovacie otvory priemeru 0,8 a 1 mm. Následne som všetky vodivé cesty pocínovať kvôli ochrane pred oxidáciou a jednoduchšiemu osadeniu.



Obrázok 28: Pocínovaná a osadená meracia doska

Chemické pocínovanie prebiehalo v zahriatom roztoku ELICHEMCO CL-1, čo sa neskôr ukázalo ako chyba. Po niekoľkých týždňoch pocínovaná vrstva na povrchu oxidovala a bol problém so spájkovaním, musel som zoxidovanú vrstvu mechanicky očistiť. Do budúcnosti budem na pocínovanie DPS používať len klasický cín a kolofóniu.

Osadenie všetkých diskretných a integrovaných súčiastok som spravil doma v amatérskych podmienkach s mikros pájkou značky KADA 936D+ pri teplote 320 °C s použitím olovnatého cínu a kolofónie rozpustenej v etanole. Menší problém nastal len pri osadzovaní puzdier TSSOP 28, TDFN 10 a 16QFN. Použité lacné tavidlo spôsobilo nesprávne spojenie nožičiek s podkladom a po premeraní vykazovali spoje nezvykle vysoký alebo nekonečný odpor, musel som súčiastky odstrániť z DPS teplovzdušnou pištoľou a očistiť od cínu a tavidla.

S pomocou jemnej hodinárskej pinzety, zväčšovacieho skla a stabilných rúk som nakoniec súčiastky úspešne osadil. Do MSP430 som nahral jednoduchý program, ktorý každú sekundu zmenil stav všetkých pinov na LOW/HIGH, čím som otestoval nepoškodenosť mikroprocesora a dokončil som osadzovanie ostatných súčiastok na dosku.

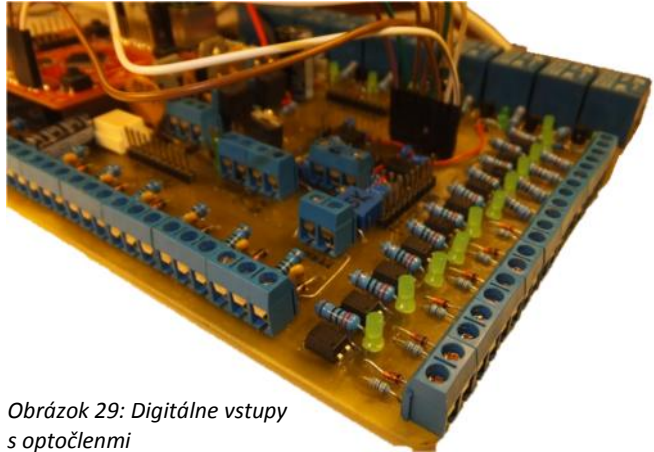
4.3.2 Hlavná meracia doska

Je to akýsi prostredník medzi LAN modulom, procesorom, senzormi a aktuátormi, ktorý pomáha spracovať signály alebo spína silové časti. Zaisťuje riadenie celého vykurovacieho systému a komunikáciu s okolím, čím plní funkciu centrálného prvku, preto som si dal na jej konštrukcii záležať. Poskytuje napájanie na napäťových úrovniach 12 V pre spínanie

MOSFET-ov a budič, vyhrievanie lambda sondy; 5 V na napájanie teplotných senzorov, cievok relé, operačných zosilňovačov; 3,3 V pre mikroprocesor, LAN modul a optočleny. Všetky vstupno-výstupné časti sú chránené proti prepäťovým špičkám.

Na upevnenie dosky do krabice slúžia 4 montážne otvory, do ktorých sa vložia skrutky, prípadne sa zacvakne na dištančné stĺpiky.

LAN modul je zasunutý v montážnych lištách Molex 10 pin a doska Stellaris v dvoch S2G20 obojstranných kolíkoch, čo by pri opatrnom zaobchádzaní mohlo stačiť. Celé zariadenie je umiestnené do upraveného plastového boxu, aby



Obrázok 29: Digitálne vstupy s optočlenmi

bolo chránené pred poškodením a ďalšími nepriaznivými vplyvmi.

Kedže som zvolil STAR topológiu, tento mikroprocesor s meracou doskou je jej stredom. Všetky dáta musia byť prijaté v ňom, čo je síce výhodné z hľadiska spracovania dát, ale je to zároveň "Point of failure". Rádiový modul je zatiaľ vybavený dočasnou anténou typu „spring“, po dokončení zapojenia ostatných súčastí ho vybavím dipólou anténou, aby som zlepšil kvalitu príjmu signálu.

Jednotlivé piny som na LAN module zapojil nasledovným spôsobom.

Vcc +3,3V napájanie
GND zem
RxD Tx UART vstup dát (3,3V logika)
TxD Rx UART výstup dát (3,3V logika)
RESET nezapojený alebo Vcc
CTS, RTS nezapojené alebo spojené spolu

Napájanie zariadenia

Na to, aby každé elektronické zariadenie mohlo pracovať, potrebuje stabilný elektrický prúd. Ako zdroj som použil spínaný sieťový adaptér 230/12V 6A a ďalej lineárne stabilizátory napätia pre napájanie LAN modulu a mikroprocesora a ostatných periférií. Zdroj má vysokú účinnosť - medzi 89–95% a správa sa ako „tvrdý“ zdroj konštantného napätia pri dodržaní maximálnej prúdovej zaťažiteľnosti.

Popri týchto kladných vlastnostiach má aj nedostatky, a to mierne zvlnenie napätia na výstupe, ktoré som filtroval 1000uF kondenzátormi. Pri zapnutí sa môže objaviť napäťová špička a poškodiť citlivú elektroniku, preto je vstup chránený transilom a za každým lineárnym stabilizátorom je ochranná zenerova dióda. Pri štandardnom chode by odber prúdu nemal prekročiť 0,5 A.

Výnimku tvorí prípad, keď sa zopne vyhrievanie lambda sondy alebo LED osvetlenie.

Táto aplikácia je kritická a nemôžeme si dovoliť, aby výpadok sieťového napájania obmedzil funkčnosť alebo zapríčinil kompletný „blackout“. Predpokladám, že zálohovať treba mnou navrhnuté zariadenie, ADSL router, senzory a aktuátory, orientačné osvetlenie a v zimných mesiacoch kotol a čerpadlá.

Po preskúmaní viacerých variantov a niekoľkých pokusoch som zistil, že najvhodnejším a najbezpečnejším variantom bude kombinácia batériového záložného



zdroja a benzínovej elektrocentrály. Meracia doska disponuje vlastnou LiPol batériou 7,4V/500mAh, ktorá stačí na 3 hodiny zálohy.

Na zálohu čerpadiel a iných zariadení pracujúcich na 230 V slúži záložný zdroj zložený z oloveného akumulátora 12V/44Ah a invertora 12/230V 300W. Tento menič je zároveň použitý i v benzínovej elektrocentrále. Prakticky som odmeral reálny čas zálohovania s novým

Obrázok 30: Zálohovacie LiPol články s ochranným obvodom oloveným štartovacím akumulátorom AKUMA 12V/44Ah, ktorý bol približne 3,5h. Po tomto čase napätie akumulátora pokleslo na hraničnú úroveň bez poškodenia, 1,75 V na článok. Akumulátor je neustále dobíjaný stabilizovaným zdrojom 13 V a 250 mA.

Predpokladám, že zálohovací olovený akumulátor bude časom degradovať a jeho kapacita poklesne, tým sa môže dramaticky skrátiť zálohovací čas potrebný pre fungovanie čerpadla a regulácie vykurovacej sústavy.

Oživovanie

Po hardwarovom zapojení všetkých komponentov som začal postupne merať hodnoty napätia na rôznych miestach plošného spoja. Zistil som, že zapojenie funguje bez väčších problémov. Zmenil som iba niektoré hodnoty odporov. Najväčšiu pozornosť som venoval stabilizátoru napätia a správne zapojeniu pinov na LAN module, pretože vyžaduje presné napätie $3,3V \pm 10\%$ a impulzovú prúdovú zaťažiteľnosť až 1 A.

Pri vývoji som používal prepojovacie káblíky typu „DuPont“. Tento typ zapojenia spôsoboval, že pri pohnutí sa stratil kontakt, čo bolo zdrojom nemalých problémov pri programovaní. Bola nutná neustála kontrola na identifikáciu toho, či je chyba v programe alebo v „studenom“ spoji. Preto som sa snažil tento druh spojov v maximálnej miere eliminovať a tam, kde bola možnosť, nahradiť spoľahlivými spájkovanými spojami.

LAN modul vykazoval neštandardné správanie, odpovedal na príkazy a PING, ale web server sa nespustil. Mal som možnosť si zapožičať druhý zhodný modul, jeho funkcia bola pri rovnakých nastaveniach bezchybná. Ani po konzultácii s distribútorom sme neidentifikovali príčinu a interný webový server nefunguje doteraz.

Túto poruchu prisudzujem nezistenej softwarovej chybe, ktorá ani po opätovnom nahraní firmwaru neodznela. Predpokladám, že identifikácia chyby bude vyžadovať prestavenie všetkých parametrov (asi 140) na defaultné hodnoty, ak sa automaticky neprestavili po tvrdom resete. To je časovo náročné, výrazne by to ovplyvnilo časový plán spracovania, a preto som to odložil do ďalšej fázy.

Programovanie

Celý vývoj ovládacieho programu prebiehal v prostredí Energia IDE 13, čo je integrované vývojové prostredie pre procesory od Texas Instruments. Obsahuje niekoľko modulov, z ktorých najzákladnejšie sú: samostatný compiler pre každú rodinu procesorov, pokročilý editor zdrojového kódu, debugger, simulátor kódu a veľa ďalších. Najnovšia verzia 15 obsahuje aj RTOS (Real-time operating system) a multivláknový beh programu pre najnovší rad unikátnych ARM mikroprocesorov MSP432 s RISC architektúrou. [11]

Niekoľko základných funkcií je už defaultne pridaných, ale pre pokročilé funkcie a uľahčenie programovania si treba určite pridať knižnicu Stellarisware. Je to vlastne súbor knižníc na ovládanie vstupno-výstupných častí. Zároveň je k tomu dodávaná obsiahla dokumentácia s veľkým množstvom ukážkových a demo projektov. Výhodou je uľahčenie práce pri programovaní a redukcia výslednej veľkosti programu, pretože tieto funkcie sú už integrované v ROM.

Základné integrované funkcie sú: ADC diferencial alebo single ended, Rx a Tx pre UART, CAN, I2C a SPI. Zjednodušuje aj použitie timerov, generovanie PWM, interputy a priamy zápis a čítanie z ROM. No aj napriek tomu má výsledný kód programu asi 4000 riadkov.

Samotný program sa skladá z niekoľkých blokov:

Konfigurácia pinov

Každý pin treba priradiť k určitému účelu, inak ostane v defaultnom stave ako ho vopred definoval výrobca. Pomocou príkazov som nakonfiguroval účel jednotlivých pinov.

```
pinMode(INN0, INPUT_PULLDOWN/ INPUT_PULLUP);
```

```
pinMode(OUT0, OUTPUT/INPUT);
```

V _{CC} 3,3 V	1	21	V _{BUS}
INN7	2	22	GND
OUT0	3	23	INN4
OUT1	4	24	ADC6
INN5	5	25	ADC 5
INN6	6	26	ADC 4
ADC 10	7	27	ADC 2
RF110L MOSI	8	28	ADC 1
RF110L GDO2	9	29	A0, 1-Wire
RF110L GDO0	10	30	PWM1 RED

BLUE PWM2	40	20	GND
GREEN PWM3	39	19	OUT2
OUT3	38	18	ADC 3
OUT4	37	17	INN0
OUT5	36	16	RESET
OUT6	35	15	OUT9
OUT7	34	14	OUT8
INN1	33	13	RF110L MISO
INN2	32	12	INN3
RF110L CSN	31	11	RF110L SCK

Tabuľka 7: Kompletný zoznam konfigurácie účelu pinov na doske Stellaris Launchpad

Nasledujúcu funkciu používam na zisťovanie logického binárneho stavu pinov: `digitalRead(INN0)`; Debouncing kontaktov som zaistil čítaním stavu 5 krát po sebe a spojením logickou funkciou `&` (AND).

Spínanie výstupov prebieha príkazom: `digitalWrite(ledPin, HIGH/LOW)`;

MSP430 vo WSN node má zapojený aj presný hodinový kryštál (32,768 kHz, frekvenčná tolerancia 10 ppm). Príkaz `BCSCTL3 = XCAP_3`; priradí 12,5 pF rezonančný kondenzátor v mikroprocesore na vstupy XIN, XOUT a nemusíme používať externé kondenzátory.

ADC

Nastavil som hardwarové priemerovanie (zníženie vzorkovacieho šumu) na hodnotu 64 krát. AD prevodník Stellaris má rozlíšenie 12 bitov, to znamená 4096 hodnôt. MSP má menšie rozlíšenie 10 bit t.j. 1024 hodnôt.

Referenčná hodnota napätia sa dá nastaviť na 3,3 V alebo 2,5 V. Výpočet vstupnej hodnoty v milivoltch potom prebieha nasledujúcim spôsobom.

```
ADC_data = analogRead(sensorPin);
ADC_data=(ADC_data*(3,3/4096)*1000+1);
T_sprcha = ((analogRead(ADC_SPRCHA)/1023)*3300)-2732; //výpočet teploty zo senzora LM335
```

Jeden z pinov slúži na 1-Wire rozhranie, maximálny prúd je 20mA potom sa automaticky obmedzí. Preto rozsah 1-Wire siete s parazitickým napájaním senzorov je obmedzený na 13 jednotiek.

Rádiová komunikácia

V knižnici Anaren Boosterpack ETSI som upravil hodnoty registrov, ktoré som si predtým nasimuloval v SmartRF Studio 7, aby modul vysielal s frekvenciou 433 MHz, šírkou pásma 5 kHz a výkonom 12 dbm. Upravil som aj rozloženie pinov a deaktivoval funkciu sledovania 0,1 % striedy vysielania za hodinu, ktorá zamedzuje častejšiemu vysielaniu. Definoval som si adresy jednotlivých modulov, aby vysielanie prebiehalo UNICAST-om.

```
#define ADDRESS_STELLARIS    0x01 //hlavný centrálny modul v pivnici
#define ADDRESS_KUPELNA     0xA2 // kúpeľňa
#define ADDRESS_STRECHA     0xB3 // modul na streche
#define ADDRESS_ZAHRADA     0xC4 //modul umiestnený v záhrade
#define ADDRESS_OBYVACKA    0xD5 //modul v obývacej izbe
#define ADDRESS_ROZVOD_SKRINA 0xE6 //modul v rozvodnej skrini
```

Inicializácia, nastavenie adresy a výkonu rádiového modulu RF110L. Cez sériový terminál sa uistíme, že inicializácia prebehla v poriadku a RF modul plne komunikuje.

```
Radio.begin(ADDRESS_STELLARIS, CHANNEL_1, POWER_MAX);
Serial.println("Radio started");
```

Definujeme znakové pole na odosielanie a prijímanie paketov. Pri prijímaní si môžeme zvoliť timeout, kedy sa preruší čakanie na paket, program pokračuje ďalej, a minimálny počet prijatých znakov.


```
unsigned char receive[59]={'/0','/0','/0','/0','/0','/0'};
unsigned char transmit[59]={0x01,'A','I','R',' ','O','N','/0'};
Radio.transmit(ADDRESS_BROADCAST, transmit, sizeof(transmit));
while (Radio.busy()); // čeká kým sa správa odošle
if (Radio.receiverOn(receive, sizeof(receive), 1000) > 0)
{ if(Radio.getCrcBit() == 1){
  Serial.println((char*)receive); // kontrola prijatého paketu
  if (receive[0] == ADDRESS_KUPELNA) // kúpeľňa bathroom
  { Serial.println("kupelna");
    // ďalší kód na spracovanie hodnôt
  }
}
```

Hlavný cyklus – nekonečný cyklus

Po inicializácii a spustení všetkých potrebných súčastí počká mikroprocesor na LAN modul, aby sa plne zapol. Tento stav indikuje blikaním RGB LED rôznymi farbami, následne sa inicializuje aj Stellaris a odošle konfiguračné príkazy.

Definujú sa globálne premenné, priradia sa piny a vynulujú sa počítadlá.

Aby som nemusel po každom zapnutí vyhľadávať senzory 1-Wire, definoval som pole s 15-timi 64 bitovými adresami senzorov, a tak sa prevod a čítanie teplôt skrátilo na 1 sekundu.

Následne program prejde do nekonečného cyklu, v tomto cykle neustále číta stavy vstupných pinov a posieľa hodnoty do LAN modulu. Následne sa dopytuje na zmenu parametrov vo web rozhraní príkazmi s názvom premennej a otáznikom napr. *AT+iSSR1?*. LAN modul vráti buď číselnú hodnotu premennej alebo v prípade zaškrtávacích políček *checked/ ' '*. Testoval som aj univerzálny príkaz *AT+iWNXT*, ktorý vráti meno a hodnotu hocijakého zmeneného parametru ešte neprevzatého z LAN modulu, ukázal sa ale ako nespoľahlivý. Pri zmene viacerých hodnôt naraz je problém rozlíšiť správne poradie hodnôt. Na konci sa zmenia stavy vstupno-výstupných zariadení podľa webového rozhrania a odošlú sa príkazy do WSN nodov.

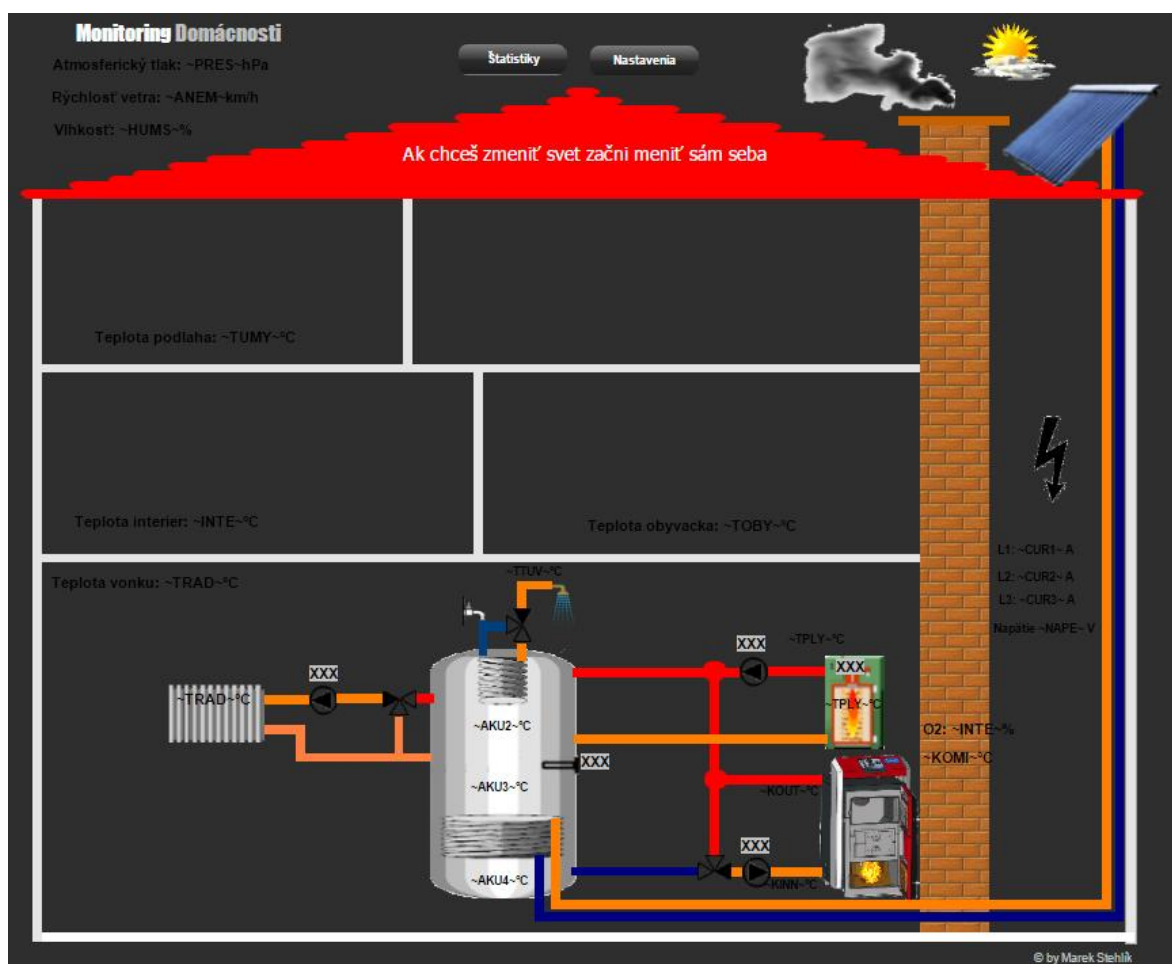
RTOS

Tesne pred dokončením vývoja ovládacieho programu a počas písania tejto práce vyšla aktualizácia vývojového prostredia implementujúca multitasking a prácu v reálnom čase. To zásadne zmenilo moje plány na ďalší vývoj ovládacieho programu. Predtým bežal program takzvané lineárne v nekonečnom cykle, čo bolo časovo neekonomické hlavne pri funkcii *delay()*; Preto bude mať každá z významných úloh svoje vlastné vlákno. Napr.: rádiová komunikácia, ovládanie vstupov a výstupov, riadenie vykurovania. Hlavná funkcia *loop()* obsahuje kritické aplikácie a vedľajšie funkcie obstarávajú komunikáciu, monitoring a iné menej dôležité.

Na zvýšenie spoľahlivosti plánujem pridať externý jednoduchý mikroprocesor MSP430 ako „watchdog“ sledujúci komunikáciu cez UART. Pokiaľ komunikácia ustane na dlhší čas než 10 sekúnd, resetuje buď LAN modul alebo Stellaris, podľa toho, ktorý z nich prestal komunikovať.

WEB rozhranie a konfigurácia

Web stránky na monitorovanie a ovládanie sú veľmi simplistické z dôvodu obmedzenej maximálnej veľkosti (250 kB) a výkonu LAN modulu. Sú písané v jednoduchom HTML kóde a časť je napísaná v Javaskripte. Prostredie je jednoduché, prehľadné a kompatibilné s najpoužívanejšími internetovými prehliadačmi Google Chrome, Mozilla Firefox, Internet Explorer a Opera. Vo web rozhraní je zobrazený zjednodušený symbolický plán domu a jednotlivých miestností. V každej miestnosti je umiestnený aspoň jeden špecifický senzor na snímanie buď teploty, pohybu, úniku vody, výpadku napájania, atď. Tieto senzory sú symbolicky znázornené a ich stav sa zobrazuje v malých poliach vedľa obrázkov. V prípade analógovej hodnoty sa zobrazí číslo, napríklad teplota. Pri dvojstavových hodnotách sa zobrazí krátky text napríklad zapnuté/vypnuté alebo v štvorci sa objaví "✓".



Obrázok 31: Jednoduché GUI pre užívateľa

Uložená energia v kWh v akumulačnej nádrži sa spočíta Java skriptom podľa vzťahu $Math.floor(((\sim AKU1\sim - 40) \cdot 233 + (\sim AKU2\sim - 35) \cdot 233 + (\sim AKU3\sim - 30) \cdot 349 + (\sim AKU4\sim - 20) \cdot 349) / 1000)$; Pričom počítam s tepelnou kapacitou vody 1,163 Wh/kg·K. Sumou diferencií celkovej energie uloženej v nádrži zistíme množstvo vyrobeného tepla za zvolené obdobie. Merač spotreby tepla POLUX PolluCom 2 meria aktuálnu a súhrnnú spotrebu tepla na vykurovanie do sústavy.

Kvantitu tepelnej energie spotrebovanej na ohrev TV a straty akumuláčnej nádrže zistíme odčítaním hodnôt celkového vyrobeného a spotrebovaného tepla na vykurovanie.

Tieto funkcie plánujem implementovať pomocou Google Charts API, aby som nemusel vytvárať vlastný databázový server. Zatiaľ som len pokusne vykreslil graf naplnený skúšobnými hodnotami uloženými v obmedzenej internej pamäti LAN modulu. Hodnoty sa ukladajú každých 20 minút (dokáže zaznamenať 65 hodín) a následne sa postupne cyklicky prepisujú. V grafe sa vykresľujú teploty exteriéru, interiéru, prívodu do sústavy, akumuláčnej nádrže. Zároveň je zaznamenaný beh čerpadla.

Celkovo potrebujeme 1755 miest premenných z 1840 dostupných.

```
<script type="text/javascript" src="https://www.google.com/jsapi"></script>
<script type="text/javascript">
  google.load("visualization", "1", {packages:["corechart"]});
  google.setOnLoadCallback(drawChart);
  function drawChart() {
    var data = google.visualization.arrayToDataTable([
      ['ČAS', 'Vonku', 'Prívod', 'Nádrž', 'Vnútri', 'Čerpadlo'],
      ['0:00', ~EXTE1~, ~TRAD1~, ~AKUM1~, ~INTE1~, ~ICRD1~],
      ['0:20', ~EXTE2~, ~TRAD2~, ~AKUM2~, ~INTE2~, ~ICRD2~],
      ['0:40', ~EXTE3~, ~TRAD3~, ~AKUM3~, ~INTE3~, ~ICRD3~],
      ...
      ['16:40', ~EXTE195~, ~TRAD195~, ~AKUM195~, ~INTE195~, ~ICRD195~],
    ],);
    var options = { title: 'HISTÓRIA TEPLŔT', curveType: 'function' };
    var chart = new google.visualization.LineChart(document.getElementById('chart_div'));
    chart.draw(data, options);
  }
</script>
```

Ďalšia záložka je venovaná nastaveniam domu, kde sú umiestnené jednotlivé tlačidlá a formuláre. Zobrazené sú tam základné údaje ako aktuálna IP adresa, brána a MAC adresa LAN modulu. Zároveň sú tu umiestnené nastavenia, ktoré sa nevošli do schémy domu a nemenia sa tak často napr.: teplota spínania plynového kotla, parametre emailových notifikácií a nastavenie prístupového hesla. Emailové notifikácie sa mi zatiaľ ešte nepodarilo sprevádzkovať.

Vo web rozhraní je taktiež integrovaná záložka IP kamera pre pozorovanie záznamu v reálnom čase a sledovanie diania pred vchodovými dverami. S kamerou je možné pohybovať vždy o jeden krok po kliknutí na jeden z odkazov RIGT, LEFT, UP a DOWN.

Nastavenia parametrov

IP adresa: ~IPA~
 Maska siete: ~SNET~
 Brána: ~IPG~
 MAC adresa: ~MACA~

Nastavenie emailov:

SMTP server: ~SMTP~

Prihlasovacie meno SMTP: ~SMU~

Prihlasovacie heslo SMTP: ~SMP~

Adresa pop3 serveru: ~POP3~

Prihlasovacie meno POP3: ~MBX~

Prihlasovacie heslo POP3: ~MPWD~

Meno odosielateľa: ~FROM~

Predmet správy: ~SH.I~

Adresa prijmateľa REA: ~REA~

Adresa prijmateľa TOA: ~TCA~

Teplota spínania plyn kotlu: ~TPLY~

Spínacia diferenciacia plyn kotlu: ~DPLY~

Nastavenie hesla pri zmene parametrov:

WEB heslo: ~V/PWI~

Heslo pre parametre: ~RPG~

Obrazok 32: Rozšírené možnosti nastavenia parametrov

4.4 Šifrovanie komunikácie

S rastúcim počtom inteligentných inštalácií sa zvyšuje aj počet úspešných útokov na tieto siete. Preto je vhodné sa pozastaviť aj nad bezpečnosťou inteligentného riadenia, hlavne ak je bezdrôtové. Existuje niekoľko možných implementácií zabezpečenia od filtrovania správ podľa HW adresy vysielača až po vojenské aplikácie niekoľkoveštvového šifrovania. Mojou snahou bolo nájsť optimálny kompromis, aby bola zabezpečená dostatočná odolnosť pri primeranom výpočtovom výkone s ohľadom na charakter „low-power“.

4.4.1 AES

Dnes najpoužívanejšie, považované za bezpečnostný štandard obvykle s dĺžkou kľúča 128 až 512 bitov. Správa je považovaná za bezpečnú, pokiaľ na prelomenie nepoužijeme super alebo kvantový počítač. Keďže vybraný mikroprocesor nemá HW podporu, implementácia by bola pamäťovo a energeticky náročná. Bola by zbytočne náročná, pretože pakety budú krátke a podporu HW AES šifrovania má len Stellaris. [14]

4.4.2 ECC

Zatiaľ jedna z najbezpečnejších metód, ktorá by mohla odolať aj kvantovým počítačom. Jej odladené, podstatne zrýchlené a vylepšené varianty sú pod ochranou patentov rôznych spoločností. Využíva sa tu obtiažnosť diskretného logaritmu na bodoch eliptickej krivky. V zásade ide o problém, ako k dvom bodom G a Y patriacich eliptickej krivke $Y = k \cdot G$ nájsť číslo k.

Výpočtovo je menej náročná a 160 bitový kľúč je bezpečnosťou ekvivalentom RSA 2048 bitového kľúča. Zatiaľ neexistuje štandardná HW podpora tohto šifrovania a zašifrovanie alebo dešifrovanie paketu by trvalo môjmu mikroprocesoru 5–15 sekúnd podľa veľkosti kľúča. Navyše nepočítam handshake na začiatku komunikácie. Ak by som v budúcnosti navrhoval WSN uzly s výkonnými ARM procesormi, určite by som túto metódu použil.

4.4.3 XTEA najvhodnejší

Je to algoritmus vyvinutý práve pre mikroprocesory kvôli svojej jednoduchosti, možnosti zmeny počtu cyklov šifrovania a nízkej náročnosti na pamäť. Od toho sa odvíja aj miera bezpečnosti. XTEA používa 64-bitový blok a symetrickú Feistelovu šifru s 128-bitovým kľúčom a odporúčanými 64 cyklami šifrovania. Čím viac cyklov, tým je potrebný dlhší čas na dešifrovanie. Jediný známy úspešný útok bol pri použití známeho plaintextu (2^{35} plaintextov) a maximálny počet šifrovacích cyklov bol 27, nájdenie kľúča vyžadovalo 2^{120} dešifrovacích operácií. [15], [16]

Samotné šifrovanie a dešifrovanie prebieha len na 3 riadkoch kódu.

```
for (x=0; x < (1<<XTEA_ROUNDS); x++)
{
    v0 += (((v1 << 4) ^ (v1 >> 5)) + v1) ^ (sum + k[(sum & 3)]);
    sum += delta;
    v1 += (((v0 << 4) ^ (v0 >> 5)) + v0) ^ (sum + k[(sum>>11) & 3]);
}
```

Na zašifrovanie používam 9 až 255 rolovacích klíčův, rozlišujú sa vždy podľa posledného bytu na konci 57 bytového paketu. 8 znakov má šifrovaný blok, 16 znakov klíč.

Toto šifrovanie je prakticky neprelomiteľné v primeranom čase, pretože na prelomenie by sme potrebovali, aby sa správa šifrovala maximálne 26 cyklami, asi 200 GB nachytaných paketov a poznať ich pôvodný obsah tzv. plaintext. To v prípade neustále meniacich sa hodnôt sensorov nemôžeme zistiť. Ak by sa hodnoty nejakého senzora príliš nemenili, môžeme doplniť priestor náhodne vygenerovanými znakmi. Táto šifra má najlepší pomer výpočtový výkon/bezpečnosť, najmä za použitia náhodne generovaných rolovacích klíčův.

4.5 Možnosti systému a reálne fungovanie

Systém funguje zatiaľ len v testovacom režime a ovláda sa cez web rozhranie. V budúcnosti bude napojený na internet a prístupný z ľubovoľného miesta na svete a zároveň napojený na databázový server na ukladanie štatistických dát. Pretože užívateľská stránka zatiaľ nie je chránená šifrovacím SSL certifikátom, neriskoval som možnosť útoku a z tohto dôvodu som neumožnil prístup z „vonku“.

Hlavná riadiaca doska neustále čaká na prijaté pakety zo siete bezdrôtových sensorov. WSN node pošle paket v náhodný čas a čaká na odpoveď. Moduly na streche, v záhrade a v kúpeľni vysielajú približne každých 5 minút. Častejšie vysielajú moduly v obývacej izbe a rozvodnej skrini - asi raz za minútu. V odpovedi je ACK (acknowledgement – potvrdenie prijatia) a ďalšie parametre pre zmenu výstupov OUT, nastavenej teploty a pod., na konci je čas, za koľko sa má senzor znovu prebudiť a poslať aktuálne hodnoty. Ak modul nezachytí odpoveď, počká náhodnú dobu 1s-3s a pokúsi sa znovu o nadviazanie komunikácie. Takto je ošetrovaná prípadná interferencia s ostatnými modulmi, prípadne zariadeniami pracujúcimi na rovnakej frekvencii a subkanále.

Namerané dáta sú zašifrované XTEA algoritmom, ktorý slúži zároveň proti podstrčeniu nepravdivých údajov. CRC musí byť v poriadku a po dešifrovaní paketu sa podľa názvov premenných určí, či bol šifrovaný správnym klíčom. Aby som zamedzil prelomeniu šifrovania, každý modul vysielal pakety šifrované rolovacím klíčom. Pri zapnutí modulu sa pošle synchronizačný paket zašifrovaný spoločným známym klíčom. Po každej ďalšej výmene paketov sa klíč zmení podľa vopred definovanej funkcie. Pri dostatku pamäti si môžem uložiť pole s klíčkmi do non-voltaickej pamäti ROM. Po korektnom prijatí paketu, dešifrovaní a rozpoznaní premenných MCU Stellaris vykoná dané príkazy, odošle dopyt na zmenu parametrov na užívateľskej web stránke a pošle nové aktuálne hodnoty do WSN nodu a LAN modulu.

Na PC môžeme spustiť diagnostiku spojenia, aby sme zistili kvalitu a stratovosť paketov. PC pošle niekoľko paketov, aby zistil, koľko z nich bolo korektné prijatých, aká je kvalita linky (LQI) a sila signálu (RSSI). Maximálna dĺžka paketu je určená veľkosťou bufferu vysielacieho modulu CC110L a tá je 59 znakov.

5. Ekononická návratnost systému

Z komerčne dostupných komplexných systémov pre automatizáciu domu a inteligentné riadenie, som vybral som 2 najpodobnejšie systémy, ktoré spĺňajú podobné parametre a požiadavky ako mnou navrhovaný systém.

Sme svedkami výrazného poklesu cien regulačných prvkov a naopak rastu cien energií rastú, hoci tie sa mierne ustálili kvôli obchodu na medzinárodných trhoch. Z toho dôvodu má zmysel venovať sa stále dokonalejším systémom regulácie. Pre investora je spravidla určujúcim faktorom cena, s ktorou úzko súvisí i návratnosť a poskytovaný servis. Návratnosť určujem ako čas, za ktorý sa vráti suma vynaložená na daný lepší systém oproti najlacnejšiemu riešeniu.

Na trhu je mnoho výrobcov a predajcov systémov MaR. Medzi českých a slovenských výrobcov patria napr. firmy ATTACK, REGULUS, ETATHERM, TRASCO, BMR, MER, PEVEKO, ZPT a zo zahraničných zmienim HONEYWELL, JOHNSON&CONTROLS, SIEMENS, SALUS, VAILANT a mnoho iných.

Tabuľka zobrazuje porovnanie cien bežného termostatu s pokročilejšími regulátormi.

Názov zariadenia	cena [Kč]	Rozdiel ceny oproti obyč. termostatu [Kč]
termostat SARV105	1285	
ATTACK Regumax	18980	17695
REGULUS IR 12	24200	22915
SALUS TC UNI 2	6100	4815
HONEYWELL SMILE	11000	9715
ELEKTROBOCK R3V	4900	3615
KOMEX THERM RVT	5900	4615
SIEMENS RVA	11900	10615

Z porovnania je zrejme výrazné cenové rozpätie ekvitermických regulátorov. Ich reálny prínos na šetrení energie je otázný a vo veľkej miere závisí od používateľa a od správneho nastavenia. Môj osobný názor je, že regulátory vyššej cenovej úrovne majú takú dlhú dobu návratnosti, že ich kúpa nie je rentabilná. Samozrejme môžu osloviť zákazníka svojím dizajnom, čo je podstatný aspekt predaja.

Aby som porovnal nami navrhovaný WSN systém inteligentného riadenia s komerčnými riešeniami, vypracoval som kompletný zoznam komponentov pre každý zo systémov s približnou cenovou ponukou. Na záver som porovnal z môjho pohľadu kľúčové vlastnosti ako obstarávacia cena, jednoduchosť inštalácie, bezpečnosť, energetická náročnosť a užívateľská pohodlnosť.

Prvým z vybraných systémov je zostava rakúskej firmy Loxone. Je založená na jednom hlavnom miniserveri a ďalších rozširujúcich moduloch prepojených buď zbernicou alebo bezdrôtovo. [2]

Název zariadenia	Počet ks	Funkcie	Cena [Kč]
LOXONE MINISERVER	1	8xIN, 8xOUT, 4xADC, RGB, LAN	13619
ZDROJ	1	24 V 1,3 A	1176
MULTI EXTENSION AIR	1	12xIN, 8xOUT, 4xPWM, 1-WIRE,	12962
AIR BASE EXTENSION	1	frekvencia: 868 MHz, 150 mW	2707
SENZOR PRÍTOMNOSTI	2	360° až do 8 m, osvetlenie 5–2000 lx	6885
TEPLOTA a VLHKOŤ AIR	1	2xIN, teplota: -20–70°C	2264
DETEKTOR DYMU AIR	1	princíp optický, siréna >85dB(A)/3m	2461
SMART SOCKET AIR	3	meranie výkonu, spotreby; spínanie	4920
SENZOR VETRA 24V	1	5–120 km/h, 1 Pulz/s za km/h	2402
OKENNÝ KONTAKT	2	magnetický, max. 0,5 A/100 V	650
ULTRAZVUKOVÝ SENZOR	1	rozsah 35–600 cm, odber <60mA	6888
SENZOR CO2/Temp/HUM	1	0–2000 ppm, infračervené lúče	7544
SENZOR TEP. a VLHKOSTI	1	vonkajší, ±2 % RH, -30–120 °C	4919
DAŽĎOVÝ SENZOR 24V	1	det. snehu, dažďa, hmly; vyhrievanie	1900
SENZOR JASU 0-10V	1	rozsah 0–100 klx, fotodióda BAW21	2622
SNÍMAČ HLADINY VODY	1	spínací výkon max. 0,75 W	558
SPOLU			74477

Konečná cena by mala ešte obsahovať káble, inštalačný materiál, a niektoré aktuátory. Výhodou oproti konkurencii je bezplatné poskytnutie konfiguračného softwaru Loxone Config 6 a mobilných aplikácií. Inštaláciu zvládne technický zdatnejší užívateľ za niekoľko dní vzhľadom na ovládanie silových častí a nutné ťahanie signálnych vodičov. V podstate zahŕňa všetky funkcie ako nami navrhovaný inteligentný systém a dosahuje vyššej softwarovej vybavenosti. Hlavný rozdiel je v cene senzorov, ktorá sa mi zdá v niektorých prípadoch prehnaná. Hlavné prednosti vidím v kombinácii zbernicového systému s bezdrôtovým a možnú integráciu KNX, EnOcean, RS485, Modbus, DMX. Konfigurácia sa veľmi podobá programovaniu PLC. Na meranie viac ako 3 teplôt sa oplatí investovať do 1-Wire prevodníku s ktorým je možné naraz čítať až 30 senzorov teploty, napätia batérie alebo iButton prístupového systému.

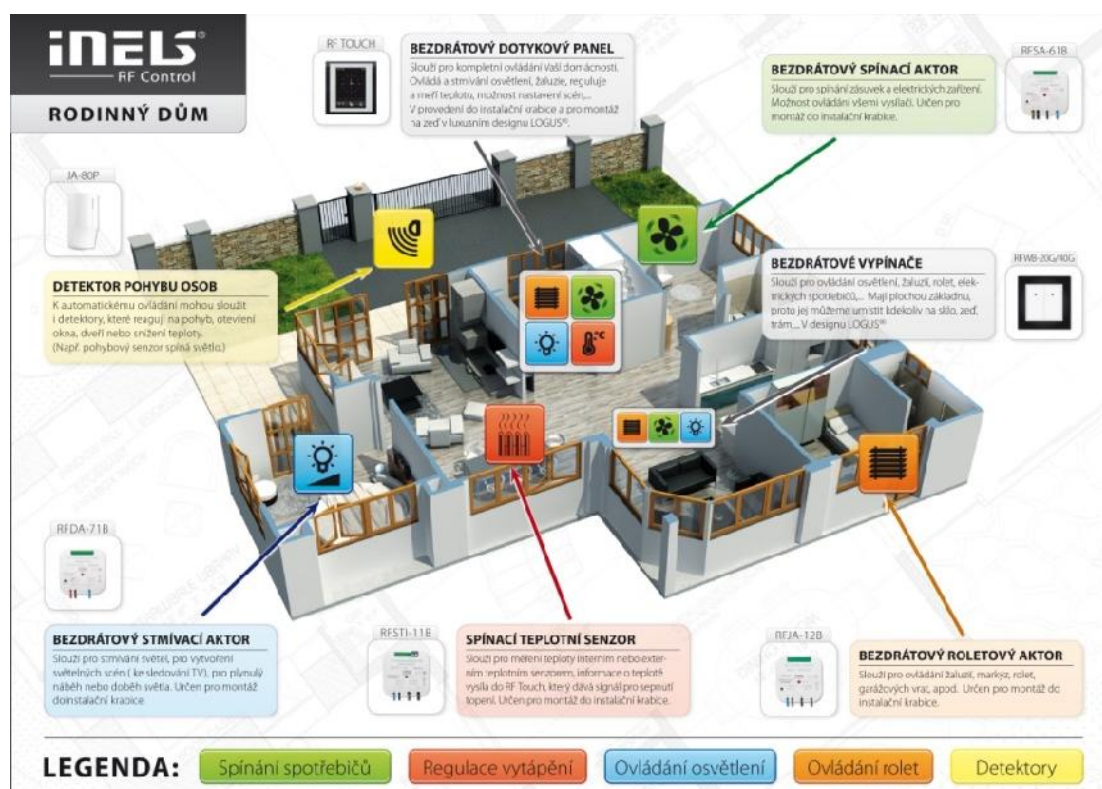
Druhým variantom je systém INELS RF Control od českej firmy ELKO. Obrovskou výhodou oproti konkurencii je decentralizácia riadenia, takže pri poruche hlavnej riadiacej jednotky alebo jedného z aktuátorov sa nestane celý systém nefunkčný.

Inštalácia je bezproblémová, voľne rozšíriteľná a zvládne ju takmer každý. [22]

Název zariadenia	Počet ks	Funkcie	Cena v Kč
eLAN-RF-003	1	šikovní RF box, LAN, internet	4827
RFDAC-71B	1	analóg. regulátor s výstupom 0–10V	1654
RFSA-61B	1	spínací prvok (multifunkčný)	1308
RFUS-11	1	spínací prvok vonkajší, IP65	1452
RFSA-62B	2	spínací prvok (vstavaný), 2 výstupy	2816
RFSTI-11/G	2	spínací RF aktuátor s tep. senzorom	3708
RFIM-40B	1	bezdrôtový ovládač - 4 tlačidlá, 3 V	992

RFDA-73M	2	RGB stmívač, 3x 5 A	4814
RFSS-1B	2	Bezdrôtový záplavový detektor	2152
RFSA-66M	2	spínací bezdrôtový prvok, 6 výstupov	6582
RFSOU-1	1	bezdrôtový súmrakový spínač	1331
MPW SS 304 /1/2	1	Elektromagnetický ventil 7 Bar nerez	1038
TC-3	15	teplotný senzor, NTC 12K, 0–70 °C	3765
TZ-6	5	NTC 12K, -40–125 °C	1820
FP-1	2	externá záplavová sonda	626
RFPM-2	1	spotreba energie, prúdové cievky	3617
RFTI-10B	16	teplotný bezdrôtový senzor Int/Ext	22528
Meteostanica	1	Giom 3000, vietor, vlhkosť, tlak	6037
AN-E	2	dĺžka kábla 3m, citlivosť 5dB	546
RFAP/USB	1	USB wireless manager	4235
SPOLU			75848

Konečná cena je porovnateľná s ponukou systému Loxone, ale investora môže zaskočiť. Obdivuhodná vlastnosť je kompletne bezdrôtová inštalácia, ideálna do existujúcej stavby a elektrických rozvodov. Vlastníci smart televízie ocenia aplikáciu, ktorou môžu ovládať dom z pohodlia obývacej izby. Podľa zbežného skúmania, systému absentuje vyššia inteligencia, komplexnejšie regulačné bloky a obmedzuje sa na jednoduché spínanie/stmievanie a svetelné scény. Pri rekonštrukcii bez stavebných zásahov, s požiadavkami len na detekciu pohybu, ovládanie svetiel, zásuviek, žalúzií a reguláciu teploty je ideálnym riešením. Zníženie nákladov o 22000 Kč by sa dalo dosiahnuť modulom na čítanie 16-tich teplôt súčasne. Ďalšie zníženie prvotných nákladov by bolo obstaranie modulov, ktoré majú viac ako dva vstupy/výstupy.



Obrazok 33: Ukázkový projekt INELS RF Control [22]

Ako som už spomínal, Loxone obsahuje aj blok na reguláciu pomocou ekvitermickej krivky, a preto bude pravdepodobne dosahovať rovnakú mieru úspory ako mnou navrhovaný systém, rozdiel bude ale v počiatkových investičných nákladoch.

Z dôvodu demonštrácie praktického úžitku sa pokúsím odhadnúť ročnú úsporu, a tým časovú rentabilnosť. V rodinnom dome som sledoval režim svietenia v jednotlivých izbách a všade, kde sa svietilo viac ako 1,5 h denne, som nainštaloval LED žiarovky alebo pásiky. V kúpeľni sa znížil príkon zo 400 W (halogénové bodové žiarovky) na 75 W s LED žiarovkami. V miestnostiach ako WC, špajza, technická miestnosť som ponechal klasické žiarovky, pretože zvládajú väčší počet cyklov ako LED, ktoré majú od výrobcu garantovanú životnosť 40000 cyklov OFF/ON.

LED osvetlenie sa používa v rámci možností racionálne a zároveň nevidím ďalšie možnosti úspor elektrickej energie, keďže televízia, satelitný prijímač spolu s PC sa pri nečinnosti vypínajú na predlžovacom kábli.

Možnosti úspory teda vidím hlavne vo vykurovaní a ohrievaní TV. Predpokladám vykurovaciu sezónu od októbra do marca, čo je 6 mesiacov. Priemerná potreba energie za toto obdobie bola 31800 kWh, podľa spotreby plynu v predchádzajúcich sezónach.

Pri daných systémoch regulácie som vypočítal návratnosť podľa predpokladanej úspory a potrebnej investície. Pri vykurovaní kusovým drevom (smrek) celú sezónu som vypočítal podľa aktuálnej ceny paliva a ročnej spotreby cenu za 1 kWh = 0,32 Kč.

Pri **Loxone miniserver** počítam s ročnou úsporou 30 % t.j. 3050 Kč za rok pri vykurovaní drevom. Doba návratnosti je neuveriteľných 24 rokov.

Inels RF Control nemá takú pokročilú reguláciu, a preto počítam s úsporou len 16 %, tento systém je úplne nerentabilný (46 rokov).

Mnou navrhované zariadenie po hardwarovej stránke oceňujem na 9700 Kč, takže návratnosť bude 3 roky. Moju manuálnu prácu a programovanie je zložité oceniť. Úplne iná situácia výpočtu návratnosti by bola pri vykurovaní plynom počas celej sezóny. Zatiaľ je plynový kotol použitý len na letné ohrievanie TV.

Pre vyššiu úsporu plánujem do budúcnosti vymeniť čerpadlo do sústavy za Grundfos Alpha2 s elektronickou reguláciou, konštantným dopravným tlakom a vysokou účinnosťou, prípadne zapojiť solárny systém, ktorý bude hlavne v letnom období ohrievať TV. V prechodnom období sa môže použiť ako doplnkový zdroj tepla.

Zároveň plánujem inštaláciu fotovoltaického panela s malým výkonom 200–500 W na napájanie kotolne a iných malých spotrebičov, pretože, ako sa ukázalo, kotolňa má vo vykurovacom období spotrebu okolo 100W asi 19 hodín denne.

Záver

Vybudoval som sieť bezdrôtových senzorov na univerzálnych doskách, kde je možné podľa potreby zapojiť rôzne periférie - napríklad senzor vlhkosti vzduchu a pôdy, rýchlosti vetra, teploty v miestnosti a exteriéri, spínanie rôznych typov záťaží a snímanie analógových a digitálnych vstupov.

Jednou z úloh tejto práce bolo zistiť aktuálnu situáciu na trhu a navrhnúť systém, ktorý by sa svojimi vlastnosťami vyrovnal ponuke na trhu. Za najvhodnejšiu považujem STAR topológiu komunikácie senzorov s jednou hlavnou radiacou jednotkou umiestnenou v suteréne a zdieľanou množinou šifrovacích kľúčov.

Zakreslil som reálny stav vykurovacej sústavy, približne odhadol tepelné straty objektu a určil výkony všetkých vykurovacích telies. Na základe týchto výpočtov boli zistené limity a možnosti riadenia vykurovania rodinného domu.

Určil som najvhodnejšie miesta merania vonkajšej i vnútornej teploty a k nim vhodné senzory. Primárnym elementom regulácie je zmiešavacia armatúra (trojcestná zmiešavacia klapka) a servopohon s regulátorom.

Kritériá výberu správneho typu regulátora boli: celková energetická náročnosť, tepelná pohoda, komfortné ovládanie a v neposlednom rade aj cena za realizáciu. Ako najlepší sa ukázal ekvitermický regulátor s autoadaptívnou PI kompenzáciou podľa vnútornej teploty, ktorý kombinuje priame aj spätnoväzbové riadenie. Meracia a regulačná doska s ostatnými komponentami je umiestnená v elektroinštalačnej krabici blízko zdrojov tepla, aby boli vodiče čo najbližšie pri senzoroch a nedochádzalo k rušeniu.

V nadchádzajúcom vykurovacom období budem merať stabilitu a odozvu regulátora a prípadne upravovať parametre tak, aby sa docielila maximálna tepelná pohoda bez kmitania, s čo najväčšou úsporou energie. Zároveň získame reálne štatistické podklady pre analýzu a výpočet úspory paliva oproti jednoduchej regulácii.

Praktická realizácia zahŕňala výrobu DPS, ich osadenie a implementáciu zariadení. Všetky súčasti boli nakoniec otestované a bezproblémovo fungovali. Pri konštrukcii som zistil, že teoretické návrhy a niektoré vypočítané hodnoty sa líšili od praxe, ale po korekcii hodnôt niekoľkých súčiastok je zariadenie funkčné.

Skonštruované zariadenie spĺňa požiadavky kladené zadaním tejto práce.

Zaškolený užívateľ je schopný toto zariadenie kompletne obsluhovať prostredníctvom web stránok, nastavovať digitálne výstupy, teploty a komplexne monitorovať dianie v interiéri a exteriéri nehnuteľnosti. Na web stránkach je zobrazený symbolický plán domu a miestností s aktuálnymi hodnotami zo senzorov a formulármi na zadávanie hodnôt. Funkčnosť bola overená pripojením modulu k internetu a testovaním vyššie popísaných funkcií.

Ďalším dielčím cieľom práce bolo poukázať na to, ako optimálne regulovaná vykurovacia sústava zvyšuje komfort, znižuje náklady a nakoľko výhodná je inštalácia takéhoto systému. Už pri výbere témy projektu bolo zrejmé, že touto problematikou sa zaoberá široké spektrum firiem, čím môže byť ovplyvnená inovatívnosť diplomovej práce.

Preto piata kapitola obsahuje stručné porovnanie komerčných systémov oproti nami navrhnutému systému. Podľa mojich zistení žiadna z firiem na trhu neponúka otvorenú hardwarovú platformu, kde by si technicky zdatný užívateľ mohol ľubovoľne meniť parametre. Pri regulátoroch, ktoré firmy prezentujú ako „inteligentné“, je cena tak vysoká, že predstavuje ekvivalent ceny paliva na 3–4 vykurovacie obdobia.

Problematika tejto diplomovej práce ma veľmi zaujala a rád by som pokračoval vo vývoji a vylepšovaní zariadenia. Mojmým prvým krokom v ďalšom vývoji bude implementácia externého úložiska (SD karty), na ktorom by sa ukladala história nameraných hodnôt. Ďalším krokom bude výroba profesionálnej dosky na WSN nody, na ktorú by sa osadili všetky komponenty vrátane mikroprocesora s rádiovým vysielačom CC430 a zmenšili by sa tým rozmery.

V blízkej budúcnosti plánujem navrhnutý systém rozšíriť o mnoho ďalších funkcií: časový kalendár udalostí a ich správa cez web rozhranie, zasielanie hodnôt zo senzorov v pravidelných intervaloch do Google spreadsheet a zobrazovanie niekoľkoročných štatistík, informovanie užívateľov o aktuálnych hodnotách na OLED displeji, prípadne emailovú či SMS notifikáciu pri poruchovom stave.

Použitá literatura

- [1] Ego-n. *ABB s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www117.abb.com/index.asp?thema=10215>
- [2] *Loxone* [online]. 2015 [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.loxone.com/>
- [3] Z-wave Alliance. *Z-wave* [online]. 2015 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.z-wave.com/>
- [4] SCHOUTSEN, Paulus. *Home assistant* [online]. 2015 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <https://github.com/balloob/home-assistant>
- [5] *ATTACK* [online]. 2015 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.attack.sk/splynovacie-kotly/>
- [6] *Protherm* [online]. 2015 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: http://www.protherm.sk/pre-nasich-zakaznikov/produkty/vsetky-produkty/medved-plo-770.sk_sk.html
- [7] BAŠTA, Jiří. *Regulace v technice prostředí staveb*. Praha: ČVUT, 2014. ISBN 9788001054550.
- [8] MATZ, Václav. Ekvitermní regulace. *Tzb-info.cz* [online]. 2010 [cit. 2014-03-30]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermni-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapani>
- [9] HARPER, Richard. *Inside the smart home*. New York: Springer, 2003, xi, 264 p. ISBN 18-523-3688-9.
- [10] *Programmers Manual* [online]. ConnectOne, 2008 [cit. 2015-05-1]. Dostupné z http://www.connectone.com/wp-content/uploads/2012/06/ATi_Programmers_Manual_8_40.pdf
- [11] *Energia* [online]. 2015 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://energia.nu/>
- [12] Texas Instruments. TI [online]. 2015 [cit. 2015-01-08]. Dostupné z: <http://www.ti.com/>
- [13] *Reliable 1-Wire Network* [online]. 2008 [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/148>
- [14] Asymetrická kryptografie v bezdrátových senzorových sítích. In: *Asymmetric Cryptography in WSN* [online]. 2009 [cit. 2015-01-08]. Dostupné z: <http://access.fel.cvut.cz/view.php?cisloclanku=2009110005>
- [15] *Tiny Encryption Algorithm*. Derekwilliams.us [online]. 2008 [cit. 2015-01-08]. Dostupné z: <http://derekwilliams.us/docs/CPSC-6128-TEA-Encryption.pdf>

[16] Related Key Differential Attacks. Center for Information Security Technologies [online]. 2004 [cit. 2015-01-08]. Dostupné z: <https://www.iacr.org/archive/fse2004/30170298/30170298.pdf>

[17] LUECKE, Gerald. Analog and digital circuits for electronic control system applications: using the TI MSP430 microcontroller. Amsterdam: Elsevier, c2005, xiv, 312 s. ISBN 07-506-7810-0.

[18] CHARVÁT, David. Řízení vytápění rodinného domu. Praha, 2012. Diplomová práce. ČVUT.

[19] Energie je všude: Obvody pro Energy Harvesting. In: HW.cz [online]. 2014 [cit. 2015-01-08]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/napajeni/energie-je-vsude-obvody-pro-energy-harvesting-aby-jeden-hledal-2-dil.html>

[20] WOJCIASZYK, Petr. Smart Sensors and Wireless Networks [online]. 2005 [cit. 2015-01-08]. Dostupné z: <http://akce.fs.vsb.cz/2005/asr2005/Proceedings/papers/519.pdf>. Příspěvek. VŠB-TU Ostrava.

[21] MAYER, Edgar. 2009. Energetická hospodárnosť. *Building Experts* [online]. [cit. 2015-05-03]. Dostupné z: <https://www.buildingexperts.info/sk/slovenskemu/paper/title/energeticka-hospodarnost-prostrednictvom-inteligentnej-regulacnej-techniky.html>

[22] *INELS* [online]. 2015. [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.inels.com/products/inels-rf-control>

Zoznam symbolov, veličín a skratiek

AD prevodník - (analogovo-digitálny) elektronické zariadenie na prevod analogového signálu na digitálny signál

ADSL - (Asymmetric Digital Subscriber Line) asymetrické digitálne účastnícke vedenie / linka / prípojka.

DPS - (doska plošných spojov) tvorená nevodivým substrátom, na ktorom sú vytvorené vodivé spoje

Firmware - používa sa na označenie fixných malých programov, ktoré riadia rôzne elektronické zariadenia

HTTP – (hypertext transfer protocol) je protokol pre prenos html dokumentov medzi servermi a klientmi služby WWW

IP – (internet protocol) je dátovo orientovaný komunikačný protokol sieťovej vrstvy

LAN - (local area network) lokálna počítačová sieť, spájajúca počítače a ďalšie zariadenia

MOSFET - (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) je poľom riadený tranzistor

Paket - blok prenášaných dát v počítačovej sieti

PWM - (Pulse-width modulation) diskretná modulácia pomocou dvojúrovňového signálu

RGB - (Red Green Blue) kombinácia základných farieb

SD karta - (Secure Digital) pamäťová karta používaná v prenosných zariadeniach, komunikuje SPI

Smartfón – zaužívané označenie pre mobilný telefón s OS a pokročilými funkciami

SPI - (Serial Peripheral Interface) sériové periférne rozhranie pre komunikáciu medzi mikroprocesormi a ostatnými zariadeniami

UART - Universal asynchronous receiver/transmitter, univerzálny asynchrónny prijímač/vysielač

USB - (Universal Serial Bus) univerzálna sériová zbernica

MaR - Meranie a regulácia

boolean - logická hodnota nadobúda 2 stavy: true/false alebo 1/0

uint8 - 8 bitový dátový typ s rozsahom 0–255

uint16 - 16 bitový dátový typ, rozsah 0–65535

long int - 32 bitový dátový typ, množina celých kladných a záporných čísel ± 2147483647

float - číselný typ s plávajúcou desatinnou čiarkou, 1^{-37} až 1^{+37} (6 desatinných miest)

Zoznam použitých obrázkov, vzorcov a tabuliek

Obrázok 1: Rez kotla ATTACK DPX [5]	20
Obrázok 2: Predný panel elektrickej špirály	21
Obrázok 3: Servo na zmiešavacom ventilu, merač spotreby tepla	26
Obrázok 4: Vývojový diagram autoadaptívnej ekvitermickej regulácie	28
Obrázok 5: Meracia doska osadená LAN modulom a vývojovou doskou Stellaris	32
Obrázok 6: Špeciálny modul do montážnej krabice KU68 s RGB LED	34
Obrázok 7: Testovacie zapojenie superkapacitoru	35
Obrázok 8: Univerzálna doska s MSP430	36
Obrázok 9: Hlavný rozvádzač	37
Obrázok 10: Rádiové moduly RF110L a RF1101	38
Obrázok 11: Pohľady na Nano socket LAN	42
Obrázok 12: Topológia 1-Wire siete s vzdialenosťami od meracej dosky	45
Obrázok 13: Termočlások typu K, 3 m prírodný tieneny vodič zapojený do DPS s MAX31850	46
Obrázok 14: Lambda sonda spolu s termočlánkom umiestnené v dymovode kotla	47
Obrázok 15: LM35 a LM335	48
Obrázok 16: Sensory vlhkosti DHT11 a AM2031	49
Obrázok 17: Senzor intenzity osvetlenia BH1750, bez stabilizátoru 3,3 V	49
Obrázok 18: Tlakomer Bosch BMP180	50
Obrázok 19: Ultrazvukový modul na meranie vzdialenosti	50
Obrázok 20: Anemometer z antikorových naberačiek	51
Obrázok 21: DPS dažďového senzoru	51
Obrázok 22: 10W a 50W RGB LED s drivermi	52
Obrázok 23: Detektory 230V	52
Obrázok 24: Snímač kvality ovzdušia a snímač výbušných plynov	53
Obrázok 25: Interiérové infrapasívne detektory pohybu.	54
Obrázok 26: Testovanie citlivosti UV LED	54
Obrázok 27: Kalibrácia merania výkonu	55
Obrázok 28: Pocínovaná a osadená meracia doska	59
Obrázok 29: Digitálne vstupy s optočlenmi	60
Obrázok 30: Zálohovacie LiPol články s ochranným obvodom	61
Obrázok 31: Jednoduché GUI pre užívateľa	65
Obrázok 32: Rozšírené možnosti nastavenia parametrov	66
Obrázok 33: Ukázkový projekt INELS RF Control [22]	71
Graf 1: Teoretický priebeh ekvitermickej krivky podľa vyššie spomenutých parametrov	29
Graf 2: Priebeh teplôt t_e , t_{w1} , t_i počas modelového dňa	29
Graf 3: Šírenie signálu vertikálne vo voľnom prostredí, empiricky zistený priebeh	39
Graf 4: Šírenie signálu horizontálne vo voľnom prostredí	40
Graf 5: Šírenie signálu horizontálne v zástavbe	40
Graf 7: Napätie a obsah O ₂ v závislosti na λ	48
Graf 8: Priebehy napätí na prúde pri nabíjaní supercap z TEG	56
Graf 9: Rýchle nabíjanie 500F superkapacitoru	57
Graf 10: Dlhodobé vybíjanie počas 7 dní	57

<i>Rovnica 1: Geometrický priemer</i>	27
<i>Rovnica 2: Výpočet t_{w1} [8]</i>	27
<i>Rovnica 3: Koncentrácia kyslíku</i>	47
<i>Rovnica 4: Výpočet vzdialenosti</i>	51
<i>Tabuľka 1: Parametre riadiaca doska</i>	31
<i>Tabuľka 2: Parametre kúpeľňa</i>	34
<i>Tabuľka 3: parametre záhrada</i>	35
<i>Tabuľka 4: Parametre strecha</i>	36
<i>Tabuľka 5: parametre obývačka</i>	36
<i>Tabuľka 6: Parametre rozvodná skriňa</i>	37
<i>Tabuľka 7: Kompletný zoznam konfigurácie účelu pinov na doske Stellaris Launchpad</i>	62

Zoznam použitých komponentov a ich cena

Krátený zoznam komponentov, vynechané sú odpory, diódy a iné triviálne súčiastky

Názov a typ	Počet kusov	Cena za kus v Kč
Connectone nano SocketLan	1	950
EK-LM4F120XL Launchpad	1	300
MSP430 Launchpad	1	130
MSP430G2553 TSSOP28	5	TI sample
Stabilizátor 3,3V LF33CV	2	25
Optočlen BPC-817C	30	3
Relé HK3FF DC12V, 230V/10A	4	20
LM7805	1	8
Zdroj 230/12V 6A	1	150
Konektory AK500	40	2
UTP kábel CAT-5E	150 m	300
DC/DC menič 1,5-40 V	2	40
Olovený akumulátor 12 V/44 Ah	1	1200
Vodiče ku senzorum 100m	1	300
50W výkonová RGB LED	1	130
Senzor pohybu PIR	2	60
Dutinková lišta 10 pin	2	10
Prepojovacie káblíky Dupont	50	3
IVAR MIX3 DN25 kv=12	1	720
Servo pohon na 3-cestný ventil	1	Oprava nefunkčného
DS18B20	10	Maxim sample
LM335	2	20
LM35DZ	5	TI sample
MOSFET IRFZ44N	3	45
Relé 12V JS-M1	15	152
Superkapacitor 5,5 V 4 F	4	142
Superkapacitor 2,7 V 500 F	1	220
Tranzistor BC337	10	5
Budič IR4427	1	34
OZ OP07	2	23
Konektory DIP 10	9	32
Poistka Polyswitch	3	35
Zenerova dióda BZX55	22	27
Senzor vlhkosti DHT11, DHT21	3	40
3-polohový prepínač 230V 2A	1	28
Senzor teploty PT1000	1	66
Elektroinštalačná lišta	20 m	zásoby
Vodič CYKY 3x2,5	30 m	700
Elektroinštalačná krabica	2	680
Chránička	10 m	zásoby

Transil 18 V, 15 V	6	7
Kryštál 32769Hz SMD 10ppm	4	8
Mosfet IRF220N	3	25
MOSFET IRF3706	16	18
prúdová cievka 2000:1	3	80
Peltierov článok 36W	4	50
Cuprexit FR4 500x600mm	1	200
Transil 2,4 V	3	6
Zener 5,6V	3	1
Fototranzistor	2	10
Výkonová IR LED	1	8
Vlhkosť pôdy, antikorové tyčky	1	zásoby
Senzor dymu optický	3	150
Solenoidový ventil hasenie voda 12V	1	120
senzory plyn MQ-2, kvalita vzduchu MQ-135	1	70
senzor zatopenia	3	zásoby
Kolíková lišta S1G40	12	11
Kolíková lišta S2G20	8	6
Potenciometer 5K	2	16
Stabilizátor 9V 7809	2	7
BMP180	1	36
BH1750FVI	1	40
HC-SR04	2	40
PIR senzor	3	60
Červený laser 1mW	1	50
Doska RF110L 433 Mhz	5	140
Tlmivka 47uH	10	2
LED driver PT4115	10	5
Cievka 22mH	6	11
Servoventil voda 12V	1	350
SSR relé Fotek 25 A	5	90
Hliníkový Chladič	1	zásoby
Teplovodivá pasta	1	30
Transformátor 230V/12V 1 A	1	zásoby
Zásuvka IP44	4	130
Magnetický kontakt	3	zásoby
Vypínače a tlačidlá	9	13
UV LED s komparátorom	2	20
DC motor 5 V 0,5 A	1	zásoby
Krokový motor s prevodovkou	1	zásoby
Hydraulická hadica a tesnenia	1	zásoby
Sprinklerová hlavica ½", 68 °C	1	147
Drobný inštalačný materiál		1500

Fotodokumentácia



DS18B20 meranie teploty vody na výstupe z kotla



Regulácia sekundárneho vzduchu krokovým motorom



Termočlánok v spaľovacej komore so žiaruvzdorného betónu, teplota sa môže vyšplhať až na 1100 °C

Elektromagnetický ventil na privode vody



Sprinklerová hlavica na automatické hasenie v prípade požiaru (banka praskne pri 68 °C)



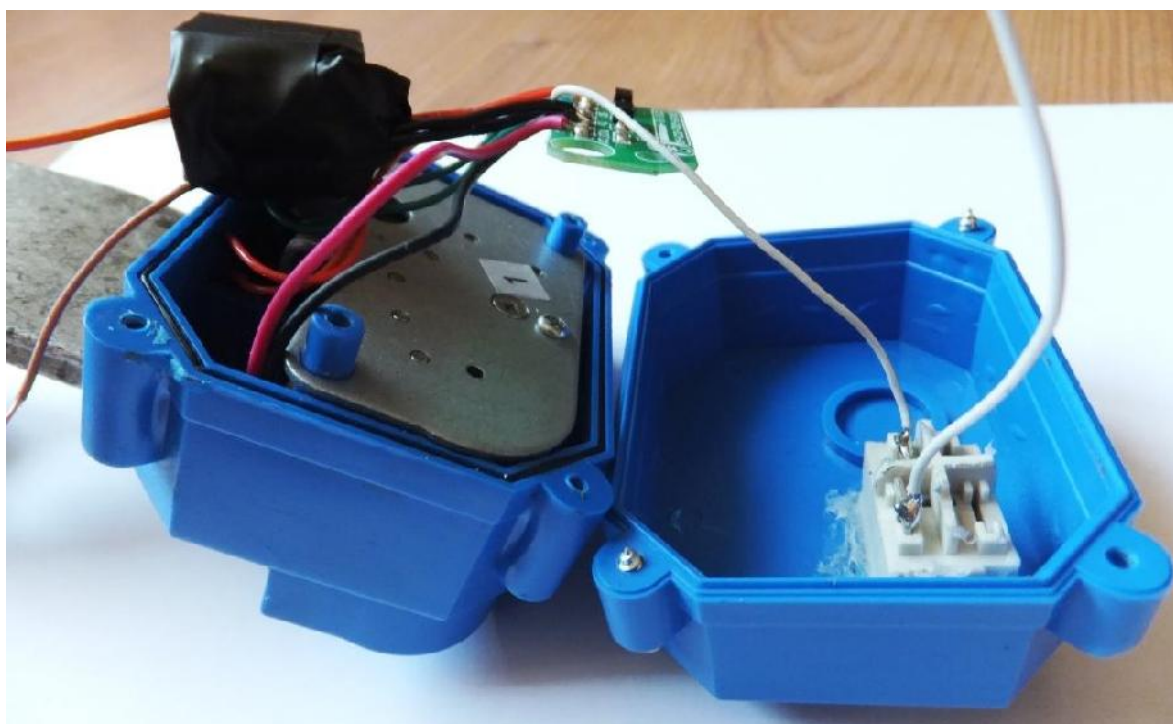
1-Wire síť akumulčná nádrž



Predný panel AKU nádrž



Testovanie šírenia signálu v suteréne



Rozložený servoventil na uzavretie hlavného prívodu vody s pridaným manuálnym ovládaním



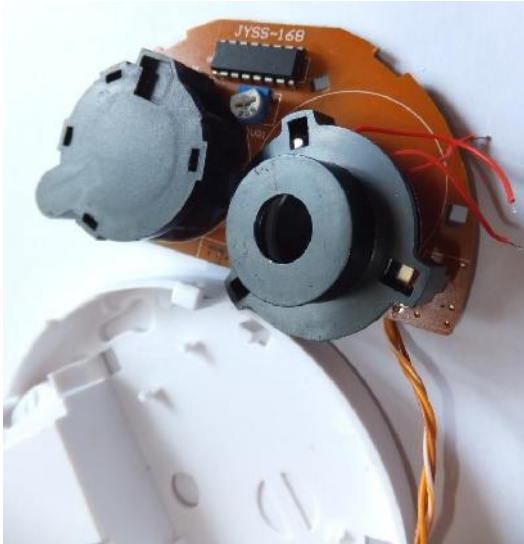
Benzínová elektrocentrála s antikorovým výfukom vedúcim do dymovodu.
Kvôli bezpečnosti sa štartuje manuálne

Predný kryt hlavnej riadiacej dosky s ovládacími prvkami.

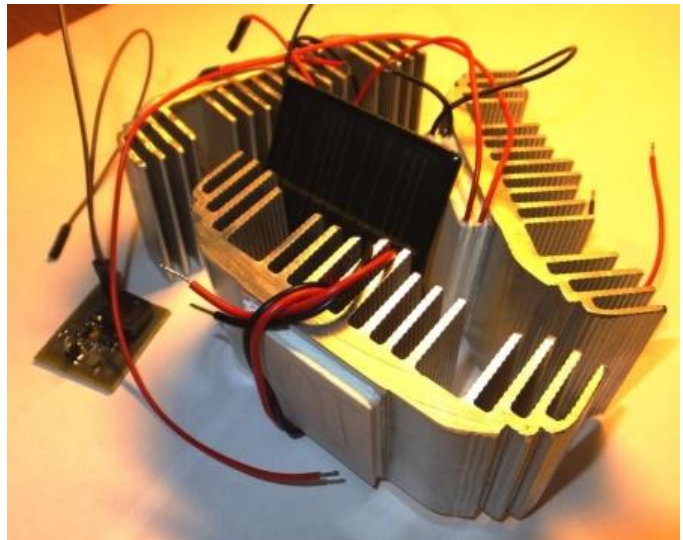


Obehové čerpadlo TV so zmiešavacím ventilom chrániacim pred oparením





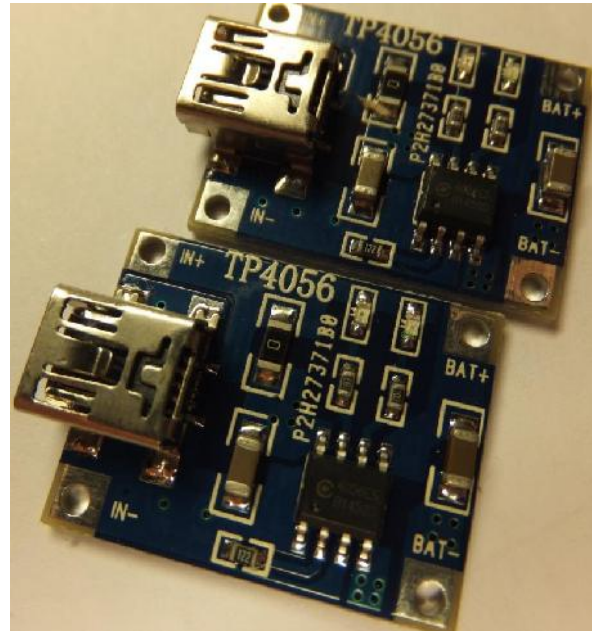
Optický detektor dymu s bezdrázovou komorou a piezoelektrickým meničom



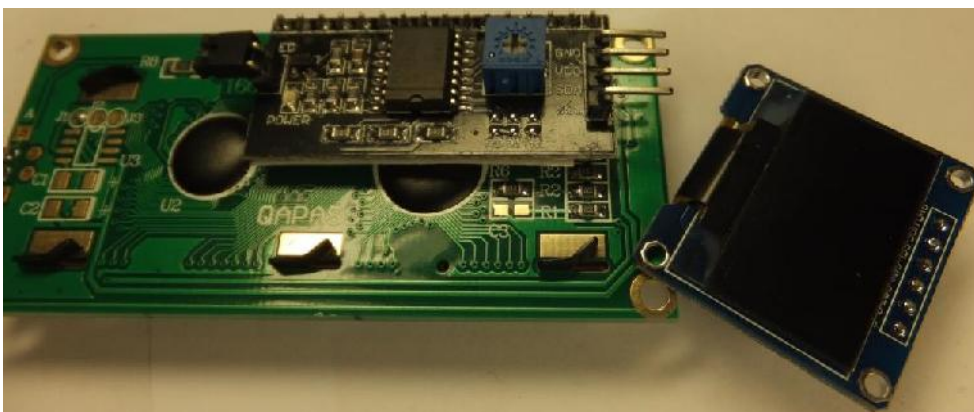
Peltierove články s chladičmi použité ako TEG



DC/DC UP a DOWN meniče použité na nabíjanie Supercap a LiPol článkov



Integrovaný nabíjací obvod TP4056 pre lítiové články



LCD podsvietený display 16x2 s I2C rozhraním a biely OLED grafický display 128x64

Prílohy

Na CD: diplomová práca v .pdf súbore, výkresy, fotografie, zdrojové kódy

Výkresy:

Suterén

Prízemie 1.NP

Poschodie 2.NP

Detailný náskres kotolne

Schémy a návrhy DPS:

Hlavná riadiaca doska

Univerzálna doska MSP430

Špeciálny WSN modul do kúpeľne

Energy harvesting

LED driver

Obvod na vyhodnocovanie teploty termočlánku

Prúdová cievka

Detektor 230 V