

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

SYSTÉM PRO ZÁZNAM A VYHODNOCENÍ DAT Z TERMOSTATŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

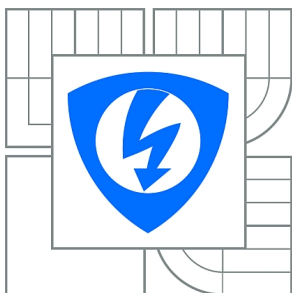
LUKÁŠ TRIZNA

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

SYSTÉM PRO ZÁZNAM A VYHODNOCENÍ DAT Z TERMOSTATŮ

THERMOSTAT DATA ACQUISITION AND PROCESSING SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

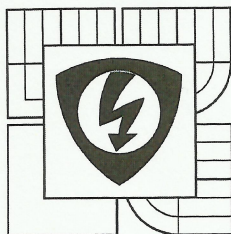
LUKÁŠ TRIZNA

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. STANISLAV PIKULA

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav automatizace a měřicí techniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Automatizační a měřicí technika

Student: Lukáš Trizna

Ročník: 3

ID: 146981

Akademický rok: 2013/14

NÁZEV TÉMATU:

Systém pro záznam a vyhodnocení dat z termostatů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je návrh a realizace systému pro online získávání, zpracování a vyhodnocení dat z termostatů testovaných v teplotní komoře.

Zadání lze shrnout do následujících bodů:

- 1) Uveďte stručně problematiku testování termostatů v teplotních komorách,
- 2) popište stávající řešení vyčítání dat z termostatů a diskutujte jeho problémy,
- 3) navrhnete systém pro online získávání, zpracování a vyhodnocení dat z termostatů (zvažte jak klasické drátové řešení, tak bezdrátovou komunikaci - Wi-Fi, RedLink, ...),
- 4) zvolte vhodný systém získávání dat z termostatů a volbu náležitě zdůvodněte,
- 5) při využití dostupných hardwarových a vhodných softwarových prostředků systém realizujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Termín zadání: 10.2.2014

Termín odevzdání: 26.5.2014

Vedoucí práce: Ing. Stanislav Pikula

Konzultanti bakalářské práce: Adam Němček

doc. Ing. Václav Jirsík, CSc.

předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Abstrakt

Cieľom práce je vytvorenie systému monitorovania a vyhodnocovania dát zo snímačov teploty pre testovanie termostatov v teplotných komorách. Zvoleným riešením je rozšírenie softwarovej verzie na procesore G35 o obrazovky nastavenia vzdialeného sledovania teploty a vytvorenie UDP SysLog klienta na procesore G25, ktorý predáva poslané správy z procesora G35 k UDP SysLog serveru. Tento server je sprostredkovaný aplikáciou na externom PC, ktorá je napísaná v programovacom jazyku C#.

Aplikácia ukladá teplotné dáta do súboru a vykresľuje do grafu, ktoré sú predmetom nášho záujmu. Tento systém je reálne používaný pri vývoji termostatov spoločnosti Honeywell s.r.o. Výsledný systém automatizuje testovanie, uľahčuje prácu operátorovi a poskytuje operátorovi okamžitú odozvu o priebehu testu

Kľúčové slová

Teplotné testovanie, termostat, C#, Wi-Fi.

Abstract

The aim of this bachelor thesis is to design a system for monitoring and evaluating data from temperature sensors during thermostat testing in thermal chambers. The designed solution involves an extension of the G35 processor software by additional remote monitoring setting screens. An UDP SysLog client at the G25 processor forwards messages from G35 processor to an UDP SysLog server. The server is implemented by an application running on a PC written in C# language.

The thermal data are saved to a file and drawn in a graph by the application. The designed system is used as a part of the thermostat development in the Honeywell s. r. o. company. The system enables test automation, helps the operator and provides immediate feedback about the running tests.

Keywords

Thermal testing, thermostat, C#, Wi-Fi.

Bibliografická citácia:

TRIZNA, L. *Systém pro záznam a vyhodnocení dat z termostatov*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014. 48s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Stanislav Pikula.

Prehlásenie

Prehlasujem, že som svoju bakalársku prácu na tému „Systém pro záznam a vyhodnocení dat z termostatů“ vypracoval samostatne pod vedením vedúceho bakalárskej práce a s použitím odbornej literatúry a ďalších informačných zdrojov, ktoré sú všetky citované v práci a uvedené v zozname literatúry na konci práce.

Ako autor uvedenej bakalárskej práce ďalej prehlasujem, že v súvislosti s vytvorením tejto bakalárskej práce som neporušil autorské práva tretích osôb, najmä som nezasiahol nedovoleným spôsobom do cudzích autorských práv osobnostných a majetkových a som si plne vedomý následkov porušenia ustanovenia § 11 a nasledujúcich autorského zákona č. 121/2000 Sb., vrátane možných trestnoprávných dôsledkov vyplývajúcich z ustanovenia časti druhej, hlavy VI. dielu 4 Trestného zákonníka č. 40/2009 Sb.

V Brne dňa: **24.5.2014**

.....
podpis autora

Pod'akovanie

Ďakujem vedúcemu bakalárskej práce Ing. Stanislavovi Pikulovi, konzultantom Adamovi Němčekovi a Jiřímu Krausovi za odborné vedenie, konzultácie, trpezlivosť a ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej bakalárskej práce.

V Brne dňa: **24.5.2014**

.....
podpis autora

Obsah

Úvod.....	10
1 Testovanie termostatov.....	11
1.1 Termostat	11
1.2 Rozdelenie termostatov	11
1.2.1 Drôtové – reléové termostaty	12
1.2.2 Drôtové termostaty s dátovou komunikáciou.....	12
1.2.3 Bezdrôtové termostaty	13
1.2.4 Drôtové reléové termostaty vybavené bezdrôtovým modulom	14
1.3 Súčasný trend vo vývoji termostatov	14
1.4 Príklady súčasných termostatov	15
1.4.1 Honeywell	15
1.4.2 Konkurenčné spoločnosti Honeywell.....	16
1.5 Úvod do problematiky testovania	17
2 Súčasná riešenie	19
2.1 Úvod.....	19
2.2 Procedúra testovania	19
2.3 Teplotná komora (Thermal Chambers).....	20
2.4 Nevýhody súčasného riešenia	20
3 Návrh nového systému	22
3.1 Drôtové riešenie	22
3.2 Bezdrôtová komunikácia a využitie protokolu RedLink.....	23
3.2.1 RedLink.....	23
3.2.2 Popis návrhu.....	25
3.3 Využitie bezdrôtového Wi-Fi modulu.....	26
4 Voľba riešenia	28
4.1 Zhodnotenie riešení.....	28
4.2 Výber riešenia	28
4.3 Wi-Fi termostat od spoločnosti Honeywell.....	28
4.3.1 Termistor MURATA.....	29
5 Realizácia systému	31
5.1 Úprava procesoru G35	31
5.1.1 Nadefinovanie nových správ protokolu RedLink	33
5.1.2 SysLog	33

5.2	UDP SysLog Klient na procesore G25	35
5.3	Aplikácia UDP SysLog servera na počítači	35
5.3.1	Popis asynchrónnej úlohy ReadUdpAsync	36
5.3.2	Popis asynchrónnej úlohy ReadSerialLineAsync.....	41
6	Záver.....	46

Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Rozdelenie termostatov	11
Obrázok 2: Drôtový - reléový termostat	12
Obrázok 3: Drôtový termostat s dátovou komunikáciou	13
Obrázok 4: RedLink Internet Gateway [1].....	13
Obrázok 5: Bezdrôtové termostaty.....	14
Obrázok 6: Drôtové reléové termostaty s bezdrôtovým modulom	14
Obrázok 7: Wi-Fi Thermostat with Voice Control [2].....	16
Obrázok 8: Nest Thermostat [3].....	16
Obrázok 9: The ecobee Smart Thermostat [4]	17
Obrázok 10: Súčasné riešenie vyhodnotenia dát z termostatu	19
Obrázok 11: Bloková schéma teplotnej komory	20
Obrázok 12: Drôtové riešenie	23
Obrázok 13: Použitie RedLink technológie [5]	23
Obrázok 14: OSI 7 vrstvový komunikačný model.....	24
Obrázok 15: RedLink zariadenia [5].....	24
Obrázok 16: Architektúra komunikácie RedLink	25
Obrázok 17: RedLink riešenie	26
Obrázok 18: Riešenie s Wi-Fi modulom.....	27
Obrázok 19: Bloková schéma termostatu s Wi-Fi modulom	29
Obrázok 20: Bloková schéma navrhnutého a realizovaného systému	31
Obrázok 21: Menu termostatu Temp Data Upload	32
Obrázok 22: Obrazovka termostatu Temp Data Upload Settings	32
Obrázok 23: Obrazovka termostatu Enter Upload IP.....	32
Obrázok 24: APP-TUNNEL 0xD1 - Teplotné dáta	34
Obrázok 25: Blokový model aplikácie.....	36
Obrázok 26: Vývojový diagram asynchrónnej úlohy ReadUdpAsync	38
Obrázok 27: Správa obsahujúca teplotné dáta zo šiestich termistorov	38
Obrázok 28: Výstupný súbor Test1.txt obsahujúci teplotné dáta vo formáte CSV.....	40
Obrázok 29: Výstupný súbor Log.txt obsahujúci všetky prijaté správy od UDP klienta.....	41
Obrázok 30: Graph - výsledná aplikácia	41
Obrázok 31: Výstupný súbor Serial.txt obsahujúci všetky prijaté správy zo sériovej linky	43
Obrázok 32: Communication - výsledná aplikácia	44
Obrázok 33: Vývojový diagram asynchrónnej úlohy ReadSerialLineAsync	45

ÚVOD

Obchodná spoločnosť Honeywell má veľké zastúpenie produktov na trhu. Jedným odvetvím je vývoj termostatov. Vývoj termostatov má zložitú hierarchiu. Jednou neoddeliteľnou časťou vývoja je testovanie termostatov. Testovaním získajú vývojári spätnú väzbu o tom, či navrhnuté prevedenie je na takej úrovni ako požaduje manažment. Predmetom tejto práce je návrh a realizácia systému, ktorý priamo súvisí a pomáha spoločnosti Honeywell pri vývoji termostatov.

Táto bakalárska práca je pokračovaním semestrálneho projektu, v ktorom sme sa zoznamovali so súčasným riešením testovania termostatov. Preskúmala sa komunikácia s termostatom a zvažili nevýhody súčasného riešenia vyhodnocovania dát z termostatov. Ďalej bude práca rozšírená o možné návrhy systému pre online získavanie, spracovanie a vyhodnotenie dát z termostatov a následne realizácia vybraného navrhnutého systému.

V úvodných kapitolách bude opísané testovanie termostatov a vysvetlené základné pojmy. Bude popísané súčasné riešenie a nevýhody súčasného riešenia. V ďalších kapitolách budú popísané možné riešenia systému pre vyhodnocovanie dát, ktoré pripadajú do úvahy. Následne bude vybrané také riešenie, aby zjednodušilo proces získavania dát a ušetrilo čas v prípade nepriaznivého vývoja v priebehu testovania. Zvolené riešenie bude zahŕňať tri časti, z toho dve časti treba vykonať na procesoroch Wi-Fi termostatu a to úprava aplikácie na procesore G35 a naprogramovanie UDP klienta na procesore G25. Poslednou časťou bude vytvorenie aplikácie spracovania, vyhodnotenia a vykreslenia prijatých teplotných dát online do grafu. K vytvoreniu aplikácie bude využívaný programovací jazyk C# a vývojové prostredie Microsoft Visual Studio 2012.

Návrh tohto systému bude pomáhať vývojárom pri testovaní či už správnosti regulácie teploty a vlhkosti vo vykurovaných priestoroch ako aj správnosti merania teploty v okolí termostatu.

1 TESTOVANIE TERMOSTATOV

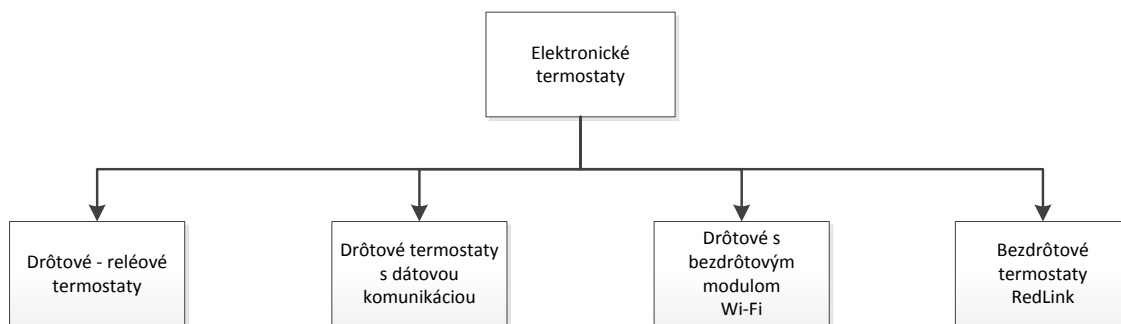
1.1 Termostat

Termostat je zariadenie, ktoré slúži k regulácii vnútorného prostredia budov. Dokáže na požadovanej úrovni udržiavať teplotu, prípadne tiež vlhkosť. Môže taktiež riadiť vetranie, teda výmenu vzduchu.

Samotný termostat dokáže zmerať teplotu a vlhkosť v mieste jeho inštalácie. Na to, aby termostat dokázal ovplyvňovať teplotu a vlhkosť potrebuje ďalšie zariadenie, teda akčný člen, ktorý bude zvyšovať a znižovať teplotu a vlhkosť podľa pokynov termostatu. Akčným členom môže byť napríklad kotol, tepelné čerpadlo, rôzne druhy konvektorov, klimatizácia atď.

1.2 Rozdelenie termostátov

V tejto podkapitole je rozdelenie termostátov, podľa komunikácie s vykurovacím zariadením.



Obrázok 1: Rozdelenie termostátov

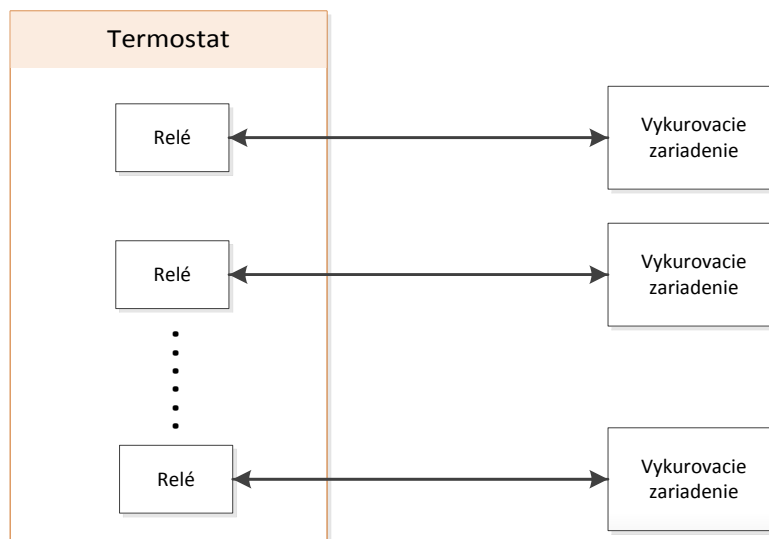
V zásade rozdeľujeme termostaty na elektronické termostaty a termostaty s jednoduchým bimetalovým kontaktom. Z dôvodu návrhu systému pre monitorovanie elektronických termostátov počas testovania v teplotných komorách sa naďalej budeme zaoberať iba elektronickými termostatmi. Rozdelenie elektronických termostátov môžete vidieť na Obrázok 1: Rozdelenie termostátov.

Elektronické termostaty môžeme deliť na:

- Drôtové – reléové termostaty
- Drôtové termostaty s dátovou komunikáciou
- Drôtové s bezdrôtovým modulom Wi-Fi
- Bezdrôtové termostaty RedLink

1.2.1 Drôtové – reléové termostaty

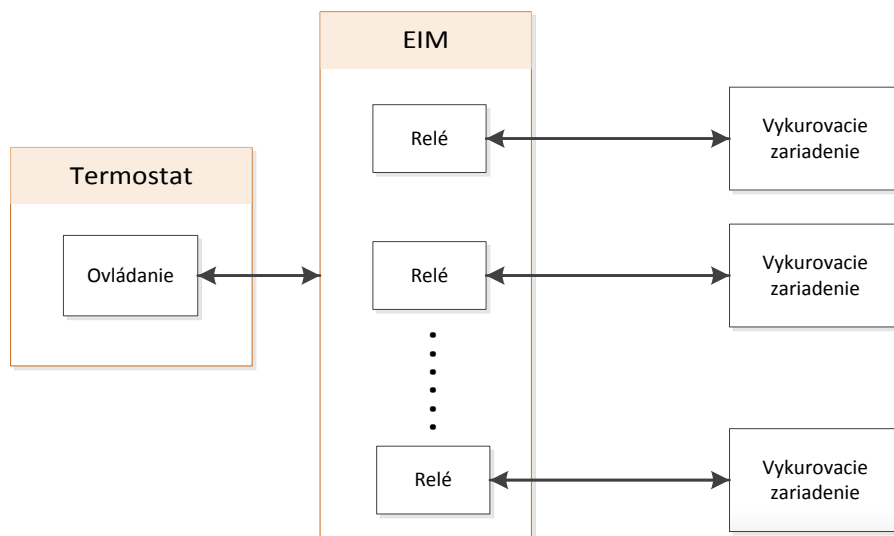
Obsahujú jedno alebo viacej relé a pripájajú ovládacie napätie priamo k spínaciemu prvku vo vykurovacom, prípadne chladiacom zariadení (kotol, klimatizácie, poprípade konvektory) vid'. Obrázok 2.



Obrázok 2: Drôtový - reléový termostat

1.2.2 Drôtové termostaty s dátovou komunikáciou

Spravidla sú k nim privedené tri vodiče a to 2 pre pripojenie napájania a 1 pre prenos dát. Termostat komunikuje obvykle cez sériové rozhranie s ovládacím zariadením, ktoré potom ovláda vykurovacie či chladiace zariadenia. Takéto ovládacie zariadenie (EIM – Equipment Interface Modul) môže spracovať požiadavky aj viacerých termostatov vid'. Obrázok 3. Tieto termostaty je možné použiť vo väčších objektoch ako sú kancelárske budovy, obchodné centrá, nemocnice a podobne. Samozrejme je možné ich použiť tiež v obytných domoch ako predošlé typy.



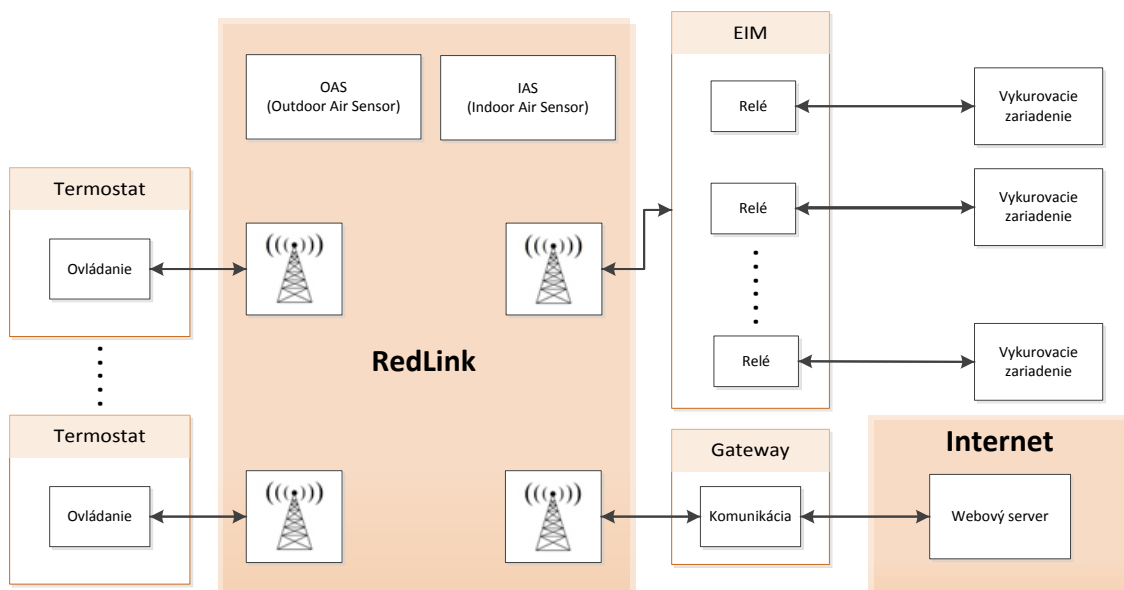
Obrázok 3: Drôtový termostat s dátovou komunikáciou

1.2.3 Bezdrôtové termostaty

Sú podobné ako drôtové termostaty s dátovou komunikáciou. Bezdrôtové termostaty komunikujú s ovládacím zariadením avšak pomocou bezdrôtového modulu vid'. Obrázok 5. Pre bezdrôtovú komunikáciu, v prípade spoločnosti Honeywell využívajú RedLink protokol. Túto zostavu je možné doplniť o zariadenie tzv. Gateway vid'. Obrázok 4, ktoré vytvára rozhranie medzi internetom a RedLink protokolom. Opäť môžu byť použité ako v malých, tak i v stredných a veľkých objektoch.



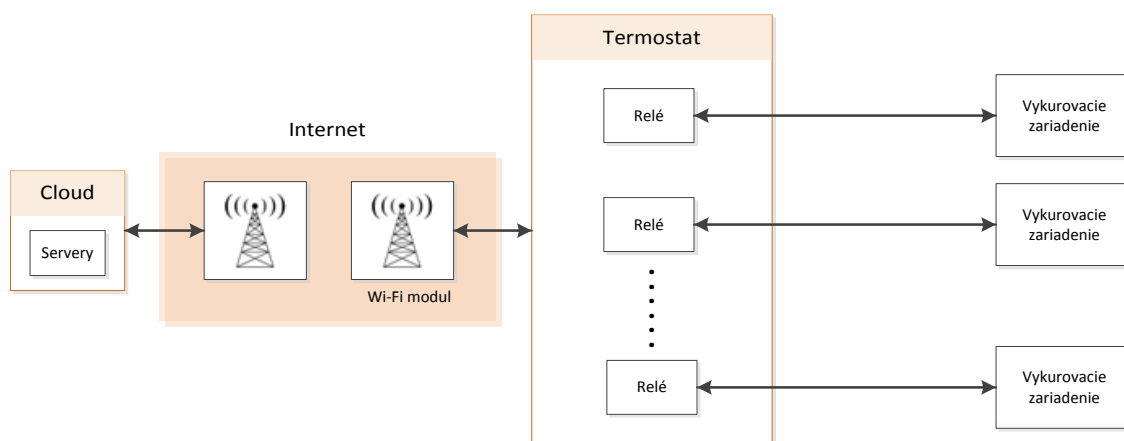
Obrázok 4: RedLink Internet Gateway [1]



Obrázok 5: Bezdrôtové termostaty

1.2.4 Drôtové reléové termostaty vybavené bezdrôtovým modulom

Bezdrôtový modul môže byť rôznych typov (napr. Wi-Fi, Z-wave apod.) vid'. Obrázok 6. Výhodou oproti predošlému typu je možnosť ich ovládania cez internet, či komunikácia s inými zariadeniami, slúžiacimi k automatizácii vnútorného prostredia (senzory dymu, bezpečnostné systémy a podobne).



Obrázok 6: Drôtové reléové termostaty s bezdrôtovým modulom

1.3 Súčasný trend vo vývoji termostatov

V súlade s požiadavkami trhu, teda zákazníkov, dnešné elektronické termostaty majú farebný displej, dotykové ovládanie, prípadne rozpoznávajú hlasové povely. Disponujú

možnosťami vzdialeného nastavovania cez webový server alebo cez aplikáciu, ktorá má podporu na operačných systémoch ako je Android a iOS® od spoločnosti Apple. Veľmi dobrou vlastnosťou termostátov je preprogramovanie rozvrhu vykurovania. Termostat sleduje užívateľské príkazy a čas ich nastavenia a podľa týchto postrehov neustále preprogramuje rozvrh vykurovania, tak aby prispôbil rozvrh potrebám zákazníka. Termostat sa naučí znížiť alebo zvýšiť teplotu bez pokynov zákazníka.

1.4 Príklady súčasných termostátov

1.4.1 Honeywell

Predstaviteľom moderného termostatu spoločnosti je „Wi-Fi Thermostat with Voice Control“ vid'. Obrázok 7.

Tento termostat je vytvorený ako prvý termostat pre detekciu užívateľových hlasových príkazov. Slúži ako aplikácia pre monitorovanie a riadenie termostatu na diaľku kedykoľvek a kdekoľvek. Hlasovými príkazmi si zákazník dokáže nastaviť požadovanú teplotu v miestnosti. Informácie, ako vnútorná teplota, vonkajšia teplota a vlhkosť, sú zobrazené priamo na hlavnom displeji termostatu. Novou funkciou pre zákazníka je nastavenie farby pozadia displeja. Zákazník si nastaví hraničné hodnoty teploty a vlhkosti. Termostat reguluje aktuálnu teplotu v miestnosti, tak aby bola medzi nastavenými hraničnými hodnotami. Termostat pri prekročení týchto hodnôt zobrazí upozornenie na obrazovke termostatu. Užívateľ si môže nastaviť, aby dostal upozornenie, ak zlyhá komunikácia s termostatom. Nastavenie termostatu sa prenesie a zobrazí v aplikácii pre diaľkové monitorovanie. Ochranu zariadenia zabezpečujú rozšírené nastavenia uzamknutia dotykovej obrazovky. Zákazník má možnosť si naprogramovať časový plán kúrenia na celý týždeň a tým zabezpečiť zníženie ročných nákladov na kúrenie. Termostat je kompatibilný s rôznymi tepelnými čerpadlami. Samotný termostat obsahuje niekoľko termistorov pre snímanie teploty v priestore, v ktorom je nainštalovaný. Je potrebné mať viac snímačov pre presnejšie učenie statického teplotného poľa. Na základe tohto poľa vieme kompenzovať elektronické prvky, ktoré počas rôznych režimov vyprodukujú viac tepla [2].



Obrázok 7: Wi-Fi Thermostat with Voice Control [2]

1.4.2 Konkurenčné spoločnosti Honeywell

1.4.2.1 Nest

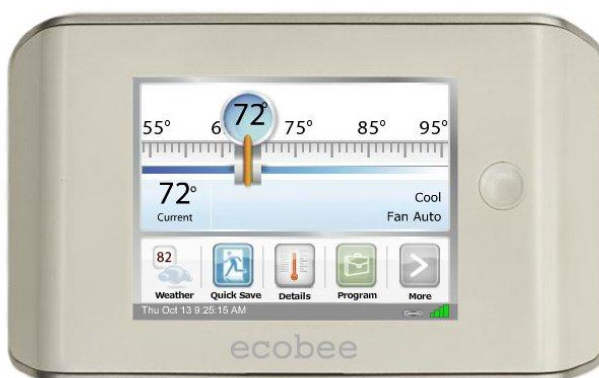
Spoločnosť Nest sa zaoberá domácou automatizáciou. Vytvárajú termostaty s Wi-Fi pripojením, ktoré sa dokážu sami preprogramovať. Ďalším rozšírením sú senzory dymu. Najnovší termostat sa volá Nest Thermostat vid'. Obrázok 8. Veľa ľudí pri odchode z domu zabudne zmeniť teplotu na termostate. Nest Thermostat sa naučí rozvrh zákazníka a podľa toho sa naprogramuje. Zákazník môže kontrolovať nastavenie termostatu priamo zo svojho telefónu. Termostat pomáha zákazníkovi znížiť ročné náklady na vykurovanie [3].



Obrázok 8: Nest Thermostat [3]

1.4.2.2 Ecobee

Spoločnosť Ecobee pomáha zákazníkom šetriť energiu, preto vyvíjajú termostaty, na ktorých si zákazník môže naprogramovať rozvrh vykurovania. Vytvárajú energetické riešenia, ktoré umožňujú jednoduchšie manažovať a redukovať vplyv na životné prostredie. Najnovší termostat vyvinutý spoločnosťou Ecobee je The ecobee Smart Thermostat, ktorý môžete vidieť na The ecobee Smart Thermostat Obrázok 9: The ecobee Smart Thermostat. Po zakúpení termostatu zákazník dostane vlastný prístup do zabezpečeného webového portálu na manažovanie termostatu. Nezáleží kde sa zákazník nachádza, jediné čo potrebuje je pripojenie na internet. Na webovom portáli zákazník dokáže sledovať predpoveď počasia, správy z vykurovania termostatom a vzniknuté problémy [4].



Obrázok 9: The ecobee Smart Thermostat [4]

1.5 Úvod do problematiky testovania

V súlade súčasného trendu vývoja termostátov, dnešné elektronické termostaty majú farebný displej, dotykové ovládanie, prípadne rozpoznávajú hlasové povel.

Tieto nároky sa negatívne odrážajú vo výrazne zvýšenom stratovom výkone vo vnútri termostatu (trvalé podsvietenie, výkonné procesory, radiče displeja, bezdrôtové moduly, veľké množstvo napájacích zdrojov a ďalšie). Nadmerný vývin tepla vo vnútri termostatu má premenlivý charakter. Množstvo nežiaduceho tepla závisí na prevádzkovom stave. Napríklad úroveň nastaveného podsvietenia, činnosť bezdrôtového modulu, počet zopnutých výstupov, interakcia užívateľského rozhrania a ďalšie.

Súčasný trend priemyslového dizajnu je vyvíjať zariadenia, ak je možné, uzatvorené.

Stratové teplo, vznikajúce vo vnútri termostatu, ktorý je čiastočne alebo celkom bez vetracích otvorov potom nutne ovplyvňuje meranie teploty. A to aj cez množstvo mechanických zábran prenosu tepla do oblasti senzoru teploty ako sú napríklad plastové

priečinky doliehajúce tesne na dosku plošných spojov či vyfrézované oddeľovacie drážky v doske plošných spojov.

Aby bol termostat schopný správne regulovať teplotu (s relatívne malou hystereziou napr. 0,5 až 1 stupeň Celzia), je potrebné vplyv vo vnútri vznikajúceho tepla na meranie teploty nejako kompenzovať. Metódy kompenzácie nie sú cieľom tejto práce, preto sa nimi nebudem podrobne zaoberať.

Aplikovanú metódu kompenzácie a jej nastavenie je potrebné overiť, preto sa robia špeciálne testy, ktoré overia schopnosť termostatu merať teplotu a tiež riadiť teplotu prostredia.

Firma Honeywell k tomuto účelu používa špeciálne komory, tzv. Thermal Performance Chambers. Tieto komory a metodika testovania je duševným vlastníctvom firmy Honeywell.

Všeobecne sa dá povedať, že komora je prepojená s termostatom a reaguje na požiadavky termostatu. Ak je aktívny výstup pre kúrenie, teplota v komore s termostatom rastie s nastavenou rampou napr. 3 stupne Celzia za hodinu. Pri neaktívnom výstupe potom teplota v komore s termostatom klesá s nastavenou rampou napr. -2 stupne Celzia za hodinu. Ďalšie parametre nastavení sú rýchlosť prúdenia vzduchu, smer prúdenia vzduchu (hore a dole), úroveň záťaže jednotlivých výstupov, napájacie napätie termostatu (napr. môže byť zvýšené).

2 SÚČASNÉ RIEŠENIE

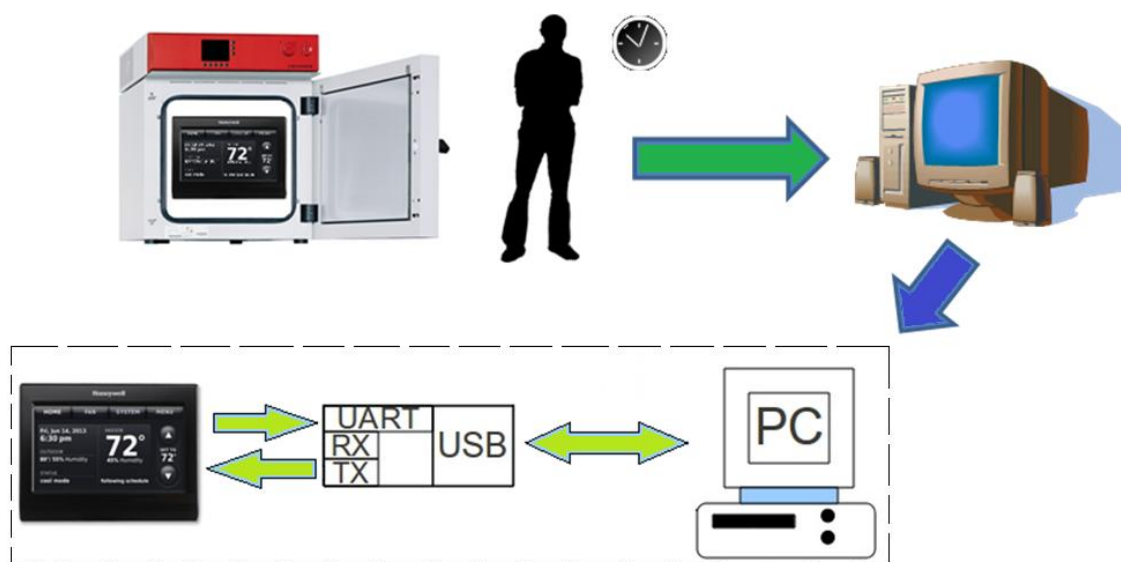
2.1 Úvod

V tejto kapitole sa zaoberám súčasným riešením vyhodnocovania a získavania dát z bezdrôtového termostatu. Popisujem princíp teplotnej komory a testovaný Wi-Fi termostat.

2.2 Procedúra testovania

Operátor prevedie počiatočné nastavenia komory a termostatu a následne spustí test. Kalibrácia a nastavenie komory sa vykonáva na stolovom počítači, ktorý je v tej istej miestnosti ako teplotná komora. Počas testovania sa operátor stará o bezpečný priebeh testu. Po ukončení testu vytiahne testovaný termostat z komory a presunie sa na pracovisko, kde má vlastný stolový počítač alebo notebook s nainštalovanými podpornými programami. Pripojenie kábla k sériovej linke procesoru je možné až po odobratí zadného krytu termostatu. Po pripojení procesoru s počítačom a oživením komunikácie dokáže operátor získať dáta potrebné na vyhodnotenie testu. Operátor získa dáta z termostatu až po ukončení testu. Tento postup môžete vidieť na Obrázok 10: Súčasné riešenie vyhodnotenia dát z termostatu.

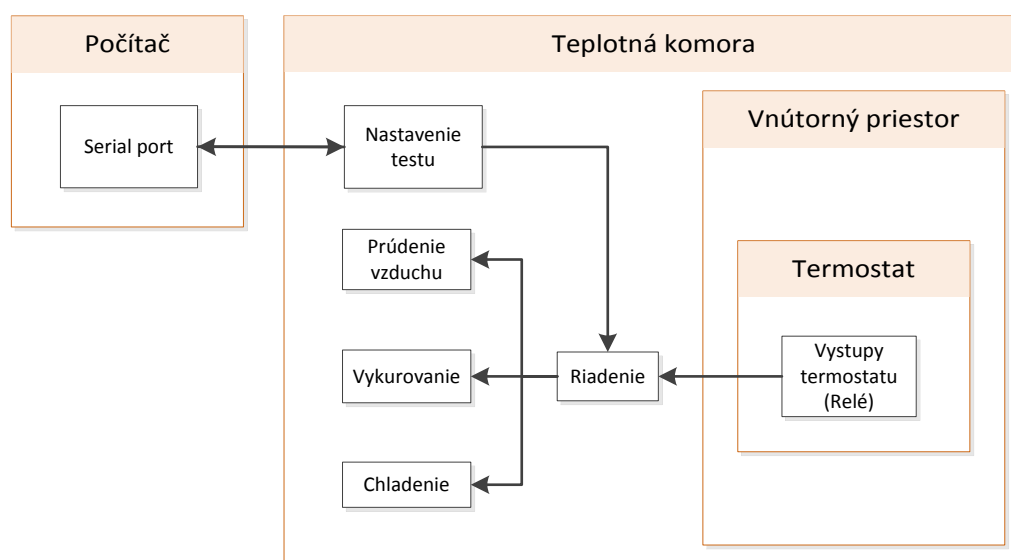
Výsledkom testovania je zistenie priebehov teplôt vo vnútri termostatu za bežnej prevádzky.



Obrázok 10: Súčasné riešenie vyhodnotenia dát z termostatu

2.3 Teplotná komora (Thermal Chambers)

Teplotná komora je skúšobné zariadenie, kde termostat musí prejsť množstvom testov predtým, ako ide do výroby. Tieto komory sú význačné veľmi rýchlou odozvou na požadované zmeny parametrov. Vykazujú veľmi malé časové odchýlky od nastavených parametrov. Teplotné komory dokážu meniť teplotu a prúdenie vzduchu v priestore pre testovanie termostatov. Samozrejmosťou je akustický a optický alarm nedovretých dverí, prekročenie alebo nedosiahnutie nastavených hodnôt teploty a vlhkosti. Do systému pre reguláciu teploty a vlhkosti je možné zadať viacej hodnôt. Prístroj má zabudovanú vnútornú pamäť pre záznam dát, ktoré je možné prenášať do PC cez rozhranie RS232 a následne v počítači spracovať. Blokovú schému môžete vidieť na Obrázok 11.



Obrázok 11: Bloková schéma teplotnej komory

Komunikácia medzi počítačom a teplotnou komorou je realizovaná cez sériové rozhranie RS232. Teplotná komora je využívaná na dva druhy testov:

1. Komora drží konštantnú teplotu po určitú dobu a operátor iba sleduje presnosť merania termostatu.
2. Prostredie v komore v priebehu testu riadi termostat a my overujeme schopnosť regulovať teplotu.

Dovolený rozsah požadovaných teplôt je 50F-120F ($\approx 10-49^{\circ}\text{C}$). Presnosť regulovania teploty je $\pm 0,2\text{F}$ ($\approx 0,1^{\circ}\text{C}$). Systém je schopný nastavovať rampy vykurovania a chladenia v rozsahu od 0.25F ($\approx 0,15^{\circ}\text{C}$) do 50F ($\approx 28^{\circ}\text{C}$) za hodinu.

2.4 Nevýhody súčasného riešenia

Po aplikovaní každej novej metódy kompenzácie vzniknutého tepla vo vnútri termostatu sa musí otestovať účinnosť tejto metódy. Súčasný riešenie je dosť nevyhovujúce,

pretože trvanie testov je rôzne, a to od 4 až do 48 hodín. Z toho vyplýva, že operátor nemá prístup k dátam počas celého priebehu testovania. Môže sa stať, že operátor urobí chybu v konfigurácii testu. Spustí test a dozerá na priebeh testu. Po celý čas testovania operátor nezistí že urobil chybu v konfigurácii, pretože nemá spätnú väzbu o priebehu testu. Po ukončení testu sa operátor pripojí k termostatu a získa namerané dáta z ktorých zistí chybu v nastavení konfigurácie. Jediná možnosť je test zopakovať. Táto metóda je dosť neefektívna a nákladná, pretože chyby vedú k niekoľkodňovému predĺženiu testovania z dôvodu nutnosti opakovať test.

3 NÁVRH NOVÉHO SYSTÉMU

Súčasnú riešenie nie je optimálne, pretože kladie nadbytočné nároky na čas a vyžaduje zásahy do riadenia. Cieľom práce je navrhnutie systému, ktorý zjednoduší proces získavania dát a ušetrí čas v prípade nepriaznivého vývoja v priebehu testu.

Takýto systém je možné realizovať viacerými spôsobmi. Napríklad vytvoriť systém, ktorý bude priamo (drôtovo) pripojený k termostatu a s využitím dostupných softwarových prostriedkov bude komunikovať s termostatom. Môžeme taktiež použiť bezdrôtové technológie a využiť ich výhody, ktoré prinášajú.

3.1 Drôtové riešenie

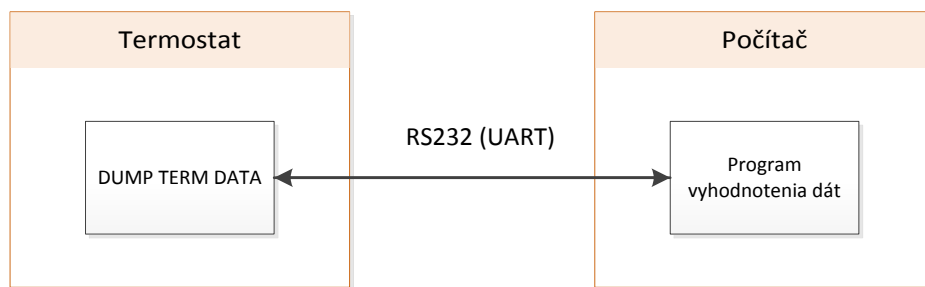
Toto riešenie je možné realizovať za určitých podmienok. Prvou podmienkou je konfigurácia termostatu (aktivácia skúšobného režimu). Druhou podmienkou je drôtové spojenie počítača a termostatu, ktoré môže byť realizované sériovým káblom vid'. Obrázok 12. Ďalšou podmienkou je vytvoriť program, ktorý bude spustený na počítači v miestnosti určenej pre testovanie. Program by zaznamenával a vyhodnocoval namerané hodnoty a vo zvolenom formáte ukladal do súboru.

Na termostate je potrebné vykonať nastavenie, kde operátor povolí posielanie hodnôt z termistorov cez sériovú linku do počítača.

Operátorovi by stačilo pripojiť procesor G35 k počítaču a zahájiť komunikáciu po sériovej linke. Priame pripojenie ku konektoru sériového rozhrania G35 je dosť zložité, keďže procesor je integrovaný na doske plošných spojov a my nemáme k nemu dosah, aby sme sa mohli pripojiť. Po upravení zadného krytu termostatu by bolo možné sa pripojiť k procesoru G35 (na zadnej strane dosky plošných spojov sú k tomu určené pripojovacie položky). Zásah do zadného krytu termostatu by mohol nepriaznivo ovplyvniť vývoj tepla vo vnútri termostatu v porovnaní s uzatvoreným termostatom.

Pre komunikáciu počítača a procesora je potrebné vytvoriť program, ktorý bude spustený v počítači. Program musí podporovať funkciu sériového klienta, aby dokázal spracovať dáta každých dvadsať sekúnd. Jednou z funkcií teplotnej komory je presné určenie aktuálnej teploty vo vnútornom priestore. Pre získanie tejto teploty v danom okamihu je potrebné vytvoriť komunikáciu medzi teplotnou komorou a počítačom.

Testovaním sa snažíme zistiť ako presne dokáže termostat zmerať teplotu, preto ako referenčnú teplotu vo vnútornom priestore budeme považovať teplotu zmeranú teplotnou komorou. Pre spracovanie nameraných hodnôt z teplotnej komory je potrebné vytvoriť druhého sériového klienta. Program by prideloval časovú stopu k nameraným hodnotám z termostatu a teplotnej komory a ukladal do súboru. Program po prijatí dát by otvoril súbor, zapísal nový riadok nameraných hodnôt a súbor zatvoril. Súbor by bolo možné otvárať aj počas testovania, aby operátor bol informovaný o priebehu testu.

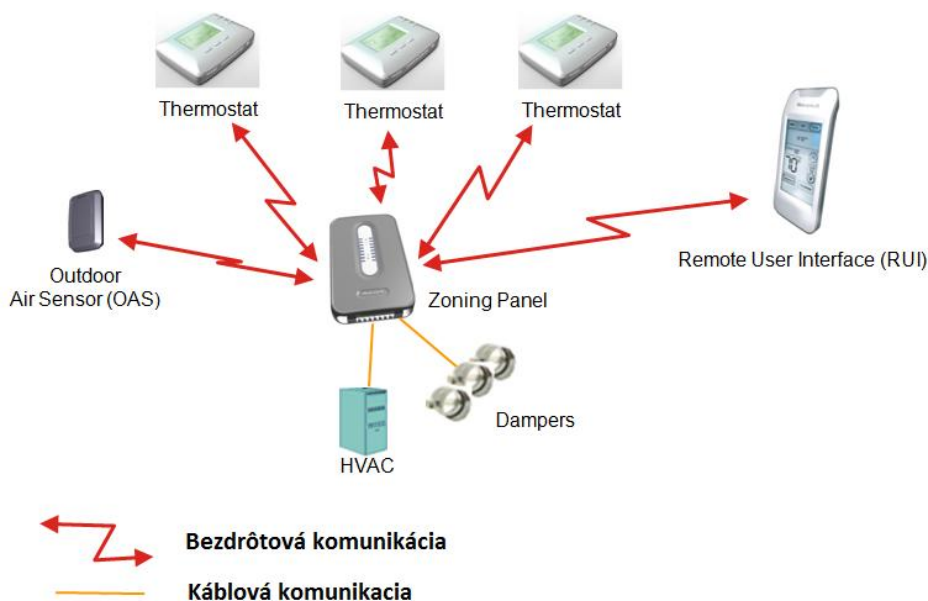


Obrázok 12: Drôtové riešenie

3.2 Bezdrôtová komunikácia a využitie protokolu RedLink

Ďalšou možnosťou je návrh systému, ktorý využíva bezdrôtovú technológiu RedLink pre komunikáciu medzi termostatmi, príslušenstvom a bránou do internetu vid'. Obrázok 13.

Firma Honeywell vytvorila systém vzdialeného monitorovania kúrenia vykurovacích objektov. Kedykoľvek a kdekoľvek si užívateľ môže nastavovať kúrenie cez počítač, telefón alebo tablet. Systém využíva vlastnú bezdrôtovú technológiu RedLink. Prehľad použitia RedLink vid'. Obrázok 13.



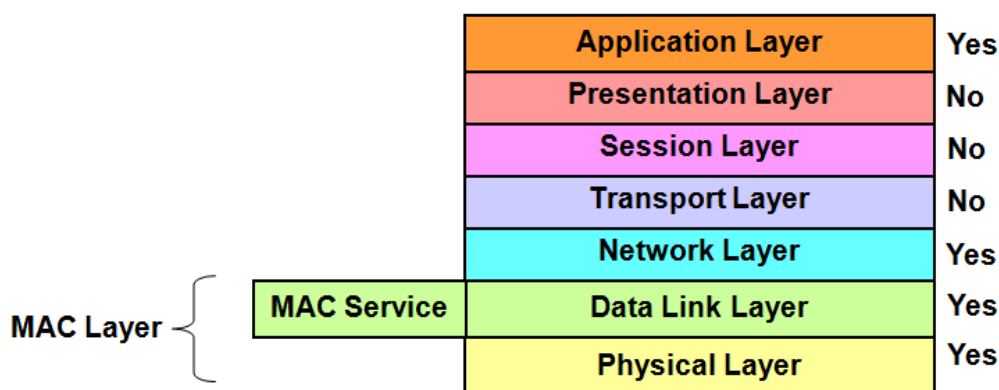
Obrázok 13: Použitie RedLink technológie [5]

Pre bližšie pochopenie technológie RedLink v ďalšej kapitole vysvetľujem čo je to RedLink, ako pracuje a na akých vrstvách pracuje.

3.2.1 RedLink

RedLink je bezdrôtová technológia, špeciálne vytvorená spoločnosťou Honeywell. Popisuje protokol komunikácie medzi zariadeniami. Hlavným dôvodom prečo vývojári prišli s nápadom vyvinúť bezdrôtovú technológiu, je eliminácia používania káblov. Tam

kde bola doteraz používaná dátová drôtová komunikácia, tam používame pre posielanie dát bezdrôtovú komunikáciu RedLink. Prinieslo to ďalšie možnosti rozšírenia pomocných zariadení ako Wireless Indoor Air Sensors (vnútorné snímače teploty a vlhkosti), Wireless Outdoor Air Sensors (vonkajšie snímače teploty a vlhkosti), Remote User Interface (vzdialený užívateľský prístup) vid'. Obrázok 15: RedLink zariadenia [5]. Spomínané zariadenia sú napájané z batérie, takže ich komunikácia musí byť čo najmenej nákladná na energiu. Napríklad posielanie asynchrónnych správ z dôvodu zmeny stavu. Keby zariadenie posielalo aktuálny stav každých 10 sekúnd aj keď sa stav nezmenil, malo by to za následok vybitie batérií. Výhodou RedLinku je, že má minimálne rušenie ostatnými zariadeniami [5].



Obrázok 14: OSI 7 vrstvový komunikačný model

Vrstvový komunikačný model zahrňuje sedem vrstiev. Protokol RedLink nezahrňuje prezentačnú, transportnú a relačnú vrstvu. Sieťová vrstva je zodpovedná za vytváranie logických spojení z viacerých fyzických pripojení. Poskytuje jednoduchý server - server opakovač. RNP (Residential Network Protocol) je použitý pre aplikačnú vrstvu, ktorý popisuje synchrónne a asynchrónne správy medzi aplikáciami. MAC vrstva zahrňuje fyzickú a spojovaciú vrstvu vid'. Obrázok 14: OSI 7 vrstvový komunikačný model.

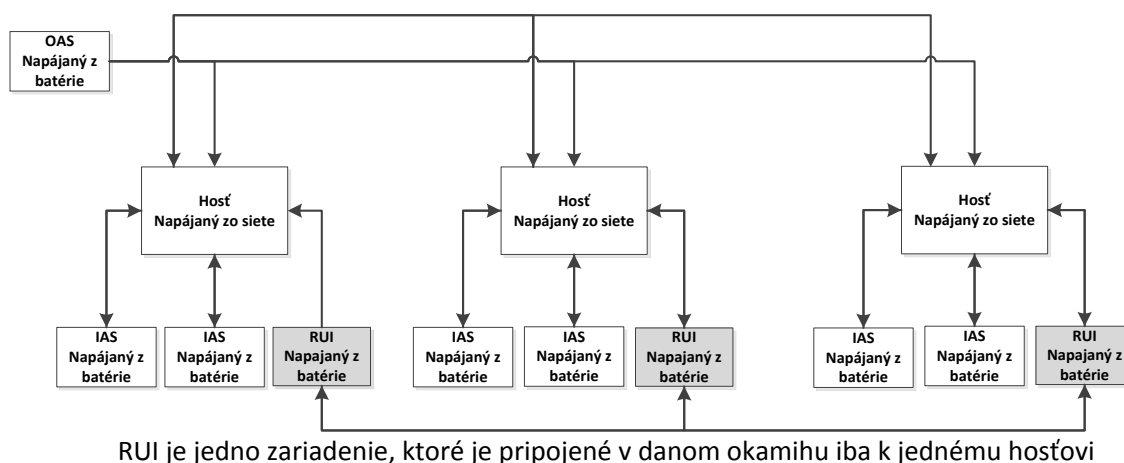


Obrázok 15: RedLink zariadenia [5]

Adresovanie v MAC vrstve

Zariadenia môžeme rozdeliť na host'ov (host) a klientov (client). Host' je vždy napájaný zo siete. Klienti môžu byť napájaní z batérie alebo zo siete. Usporiadanie popripájaných klientov na host'a sa nazýva topológia a má tvar hviezdy. Skupina je jedna hviezda a označujeme ju identifikačným číslom. Skupina musí obsahovať server a fyzicky pripojených klientov. Systém je zapojenie viacerých skupín dokopy, ktoré medzi sebou komunikujú cez ich host'ov.

Klienta môžeme rozdeliť na jednosystémového klienta, ktorý môže byť pripojený iba k jednému serveru a viacsystémového klienta (multiclient), ktorý môže byť súčasne pripojený k viacerým host'om napr. OAS (Outdoor Air Sensor), ktorý vysiela informácie všetkým host'om, ku ktorým je pripojený. Ďalší multiclient je RUI (Remote User Interface), ktorý je síce pripojený k viacerým host'om, ale komunikuje vždy iba s jedným host'om v danom okamihu. RUI je zariadenie pre diaľkové ovládanie. Názorne je to zobrazené na Obrázok 16: Architektúra komunikácie RedLink. V Amerike vysiela na frekvenciách od 902MHz do 928MHz.

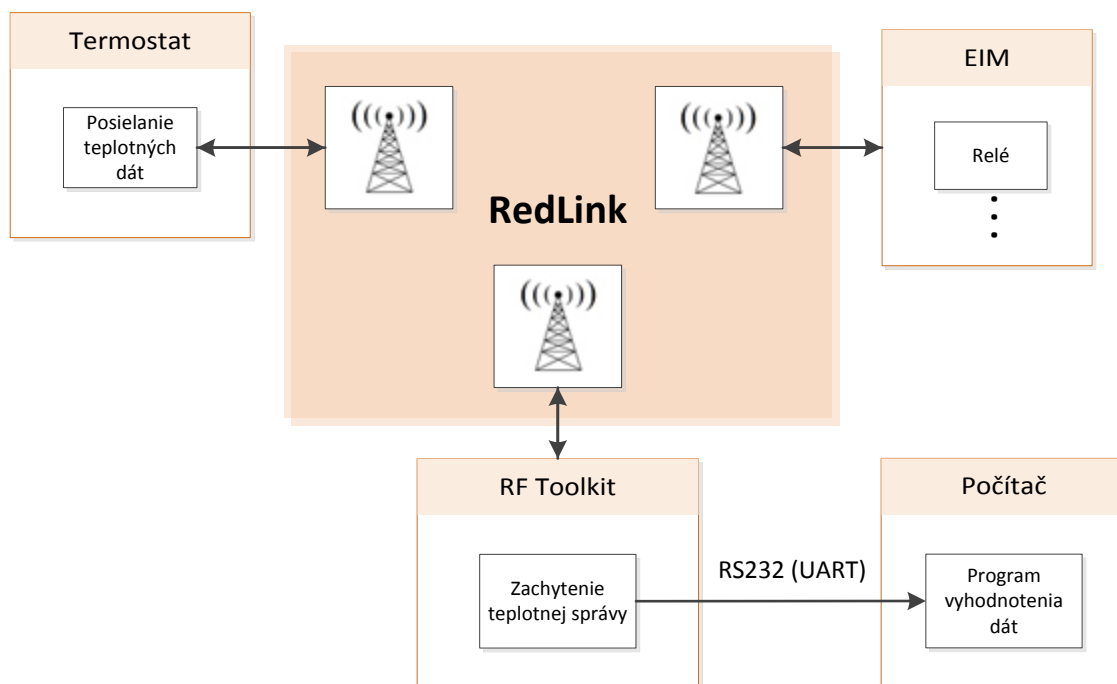


Obrázok 16: Architektúra komunikácie RedLink

3.2.2 Popis návrhu

Návrh systému s využitím RedLink je možné realizovať iba pri jednom type termostátov, a to bezdrôtové termostaty. Tieto termostaty využívajú RedLink, pre posielanie synchronných a asynchronných správ medzi termostatom a EIM (Equipment Interface Modul). Možnosťou je použitie zariadenia RF toolkit vid'. Obrázok 17, ktoré sa pripojí bezdrôtovo k EIM a zachytí všetky správy adresované EIM. Dôležité je, aby termostat v správach posielal teplotné dáta. Je potrebné dodefinovať správy posielané cez RedLink protokol. K meraniu termistormi dochádza každých dvadsať sekúnd, preto je možné posielat' správu každých dvadsať sekúnd, aby aplikácia v počítači mala aktuálne teploty. Spomínané zariadenie by malo komunikovať cez UART z programom v počítači. Úlohou tohto zariadenia je zachytiť správy, vybrať správu s nameranými

hodnotami teplôt a poslať po sériovej zbernici do počítača. Úlohou programu v počítači by bola konfigurácia komunikácie počítača so zachytávajúcím zariadením a následné otvorenie portu, príjem dát, spracovanie a vyhodnotenie nameraných hodnôt, poprípade vykreslenie do grafov a uloženie do súboru.



Obrázok 17: RedLink riešenie

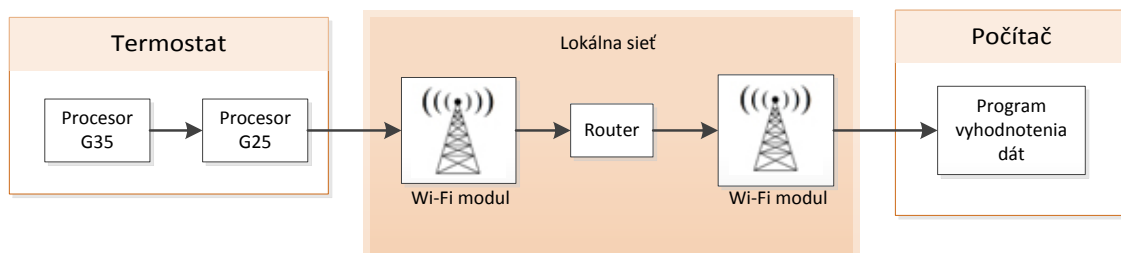
3.3 Využite bezdrôtového Wi-Fi modulu

Podmienkou fungovania návrhu je implementovaný Wi-Fi modul v termostate. Návrh je možné použiť na termostatoch s Wi-Fi modulom a to je splnené iba pri jednom type termostatov a to drôtové reléové termostaty s bezdrôtovým modulom Wi-Fi. Poskytovaným termostatom k návrhu systému môžem byť „Wi-Fi Thermostat with Voice Control“, ktorý ma implementovaný Wi-Fi modul vid'. Obrázok 19: Bloková schéma termostatu s Wi-Fi modulom.

V prípade použitia tohto termostatu je potrebné vyriešiť viacero častí. Prvou je, aby operátor mohol nastaviť typ posielaných dát a IP adresu servera, na ktorý chce posilať dáta. Je potrebné upraviť grafické užívateľské rozhranie termostatu. V druhej časti je potrebné upraviť správy vyššej vrstvy RedLink protokolu (tieto správy sú prenášané medzi procesormi G35 a G25 vo vnútri tohto termostatu), pretože súčasné správy RedLink protokolu neposielajú dáta z teplotných snímačov na doske procesora. Treťou úlohou je naprogramovať G25 tak, aby prijaté dáta archivoval a posielal cez Wi-Fi modul na operátorom zvolenú IP adresu servera. Operátor si môže zvoliť, aby procesor G25 okamžité posielal namerané dáta bezdrôtovým Wi-Fi modulom do počítača, kde bude spustený program s funkciou UDP (User Datagram Protocol) servera. Úlohou

servera je zachytávať posielané správy každých dvadsať sekúnd z Wi-Fi modulu termostatu.

Je potrebné vytvoriť miestnu bezdrôtovú komunikáciu. K tomu potrebujeme Wi-Fi router, na ktorý sa pripojí termostat a počítač. Po spustení programu operátor nakonfiguruje UDP komunikáciu a spustí test. Program spracuje namerané dáta a vyhodnotí podľa požiadavky operátora, vid'. Obrázok 18.



Obrázok 18: Riešenie s Wi-Fi modulom

4 VOLBA RIEŠENIA

4.1 Zhodnotenie riešení

Ponúkajú sa tri možnosti riešenia návrhu systému pre získavanie, vyhodnocovanie a spracovanie nameraných dát z termostatu.

Ako prvé je drôtové riešenie, kedy by sme priamo spojili termostat s počítačom. Testy by mali čo najviac priblížiť skutočnej prevádzke u zákazníka. Po úprave zadného krytu termostatu by bolo možné sa pripojiť k sériovej linke procesoru a získavať namerané hodnoty teploty v „reálnom“ čase (každých dvadsať sekúnd, vzhľadom k rovnako rýchlemu vzorkovaniu teploty), ale práve týmto otvorom by meranie bolo ovplyvnené. Z uvedeného dôvodu toto riešenie nepripadá do úvahy.

Druhým riešením je využitie bezdrôtovej technológie RedLink. Použitím bezdrôtovej komunikácie sa vyrieši problém z predchádzajúceho drôtového riešenia. Nevýhodou je že tento systém je možné použiť iba pre termostaty komunikujúce cez RedLink, a vyžaduje veľmi zložitú prípravu hardware a software.

Tretím riešením je systém, kedy termostat posiela namerané hodnoty cez dostupnú Wi-Fi miestnu sieť. Navrhovaný systém nám umožňuje okamžité použitie na aktuálne testovaný termostat spoločnosti Honeywell „Wi-Fi Thermostat with Voice Control“. Počítač je pripojený k miestnej sieti. Vyvinutý program (Windows aplikácia) je server, ktorý prijíma správy poslané z termostatu. Správy musí spracovať, vyhodnotiť a zobrazíť operátorovi.

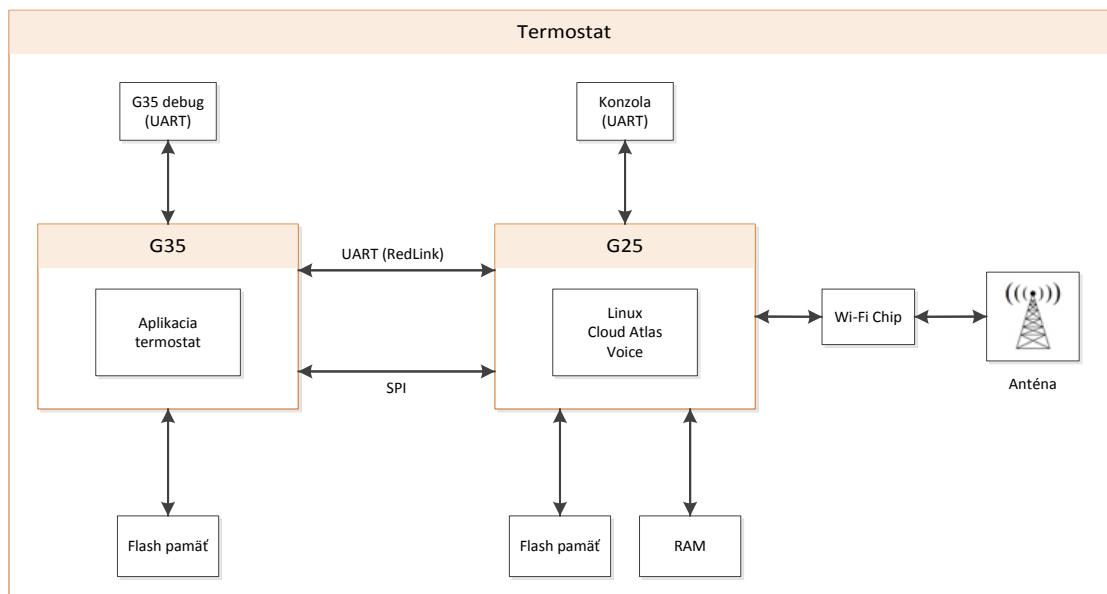
4.2 Výber riešenia

Všetky tri možnosti ponúkajú získavanie dát každých dvadsať sekúnd. Drôtové riešenie nepripadá do úvahy kvôli nutnému otvoru v kryte termostatu. Redlink je možné použiť iba u termostatov vybavených modulom RedLink. V súčasnej dobe sa žiadny nový termostat s využitím iba RedLink komunikácie nevyvíja. Ako posledné riešenie je využitie Wi-Fi rádiový modul. Toto riešenie je možné rozšíriť na väčší počet testovaných termostatov. Operátor bude mať prístup k dátam aj z vlastného pracovného počítača, keď bude pripojený do miestnej siete. Aplikácia bude slúžiť pre archiváciu nameraných hodnôt z termostatu a teplotnej komory. Ďalšou funkciou je vykreslenie grafov z nameraných hodnôt teploty a ich vzájomné porovnanie.

4.3 Wi-Fi termostat od spoločnosti Honeywell

Spoločnosť Honeywell vyvinula Wi-Fi termostat s názvom „Wi-Fi Thermostat with Voice Control“. Tento termostat je prvé zariadenie, u ktorého bude použité nové riešenie vyčítania a vyhodnotenia dát v priebehu testovania.

Wi-Fi termostat s ovládaním hlasom potrebuje pre funkčnosť dva procesory. Procesor Atmel SAM9G35 sa stará o kompletnú funkcionálnosť termostatu. Tento procesor má systém kompletného nastavenia termostatu podľa užívateľových požiadaviek. Hlavnou úlohou je regulácia teploty a vlhkosti vzduchu v obývacích priestoroch. Ukladá nastavenia a namerané hodnoty do pamäti. Cez zbernicu komunikuje s procesorom Atmel SAM9G25. Na tomto procesore beží operačný systém Linux. Zaoberá sa bezdrôtovou komunikáciou cez Wi-Fi rádio. Hlavnou funkciou je rozpoznávanie hlasových príkazov a porovnanie s príkazmi z hlasového servera.



Obrázok 19: Bloková schéma termostatu s Wi-Fi modulom

Vo vnútri termostatu je zabudovaných šesť termistorov, ktoré slúžia ako snímače teploty. Získanie týchto údajov je našim primárnym cieľom.

Aktuálny stav testovacieho procesu je taký, že nie sú sledované údaje dostupné v reálnom čase, preto počas testovania procesor G35 namerané hodnoty posiela každých dvadsať sekúnd cez UART do procesora G25, pričom tento procesor ukladá hodnoty zo všetkých termistorov každých dvadsať sekúnd do pamäti RAM. Po ukončení testovania sa termostat musí rozobrať, aby bolo možné sa pripojiť k procesoru G25 a cez konzolu následne dostať do počítača hodnoty uložené v pamäti RAM. Tieto hodnoty sa ukladajú v CSV formáte, ktorý sa dá otvoriť v MS Excel. Využitím funkcií MS Excel dokáže operátor vykresľovať grafy ľubovoľného typu a upravovať tak, aby z nameraných hodnôt získal to čo potrebuje.

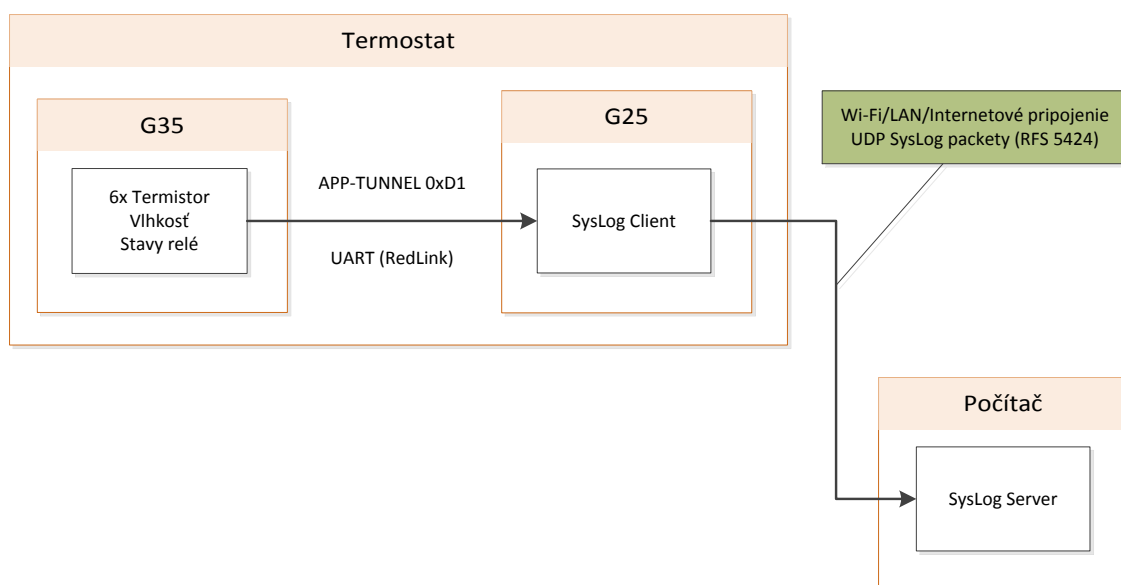
4.3.1 Termistor MURATA

Termistor je rezistor, ktorého odpor sa mení v závislosti na teplote. Zariadenie meria úbytok napätia na tomto termistore a pomocou prevodnej tabuľky získava skutočnú teplotu v mieste osadenia tejto súčiastky. Meranie sa vykonáva A/D prevodníkom v procesore G35 a výsledné digitalizované hodnoty sú predmetom nášho záujmu – dáta

z viacerých termistorov sú matematicky spracované (metóda „teplotnej kompenzácie“)
a sú použité pre zobrazenie výslednej skutočnej teploty okolitého prostredia.

5 REALIZÁCIA SYSTÉMU

V predošlej kapitole som zvolil vhodné riešenie ako realizovať systém pre vyhodnocovanie a spracovanie dát z termostatu. Riešením je použitie Wi-Fi modulu v termostate na posielanie správ, ktoré obsahujú potrebné dáta o prebiehajúcom teste. Na procesore G35 je definovaná správa, ktorá obsahuje informácie o teplote zo šiestich termistorov, vlhkosti a o stavoch relé. Procesor G35 posiela túto správu procesoru G25 cez UART. Správu prijme procesor G25, kde je naprogramovaný UDP klient, ktorý pošle dáta na zvolenú IP adresu. V počítači je naprogramovaný UDP server, ktorý dokáže poslané správy od UDP klienta prijať, spracovať, archivovať a vykresliť do grafu vid'. Obrázok 20.



Obrázok 20: Bloková schéma navrhnutého a realizovaného systému

5.1 Úprava procesoru G35

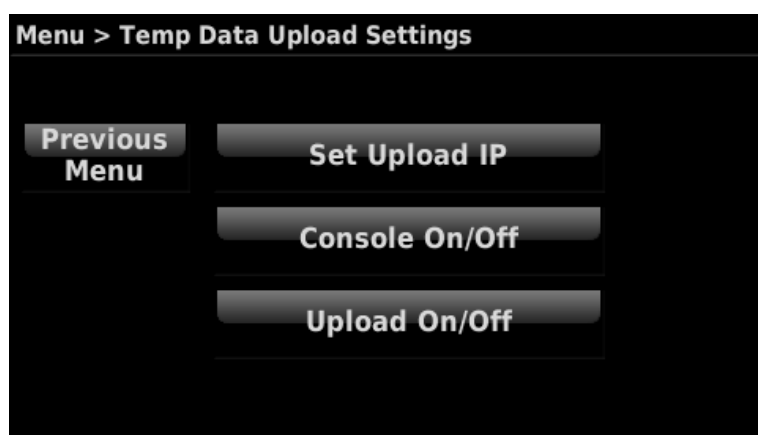
Úlohou procesoru G35 je zabezpečiť chod celého termostatu. Vykonáva meranie a reguláciu teploty a vlhkosti. Na základe zmeraných hodnôt a požiadaviek užívateľa reguluje akčný zásah. Pod akčným zásahom si môžete predstaviť spínanie relé, ktoré ovládajú tepelné čerpadlá.

Kvôli testovaniu bola vytvorená vývojármi nová verzia firmware, ktorá má tu istú funkcionality ako najnovšia verzia, ktorá je používaná u termostatov na trhu. Je rozšírená o obrazovky nastavenia vzdialeného sledovania teploty. Toto nastavenie sa skrýva v rozšírenom menu, do ktorého sa užívateľ nedostane bez hesla. Po nastavení termostatu sa objaví v menu tlačidlo Temp Data Upload vid'. Obrázok 21: Menu termostatu Temp Data Upload.



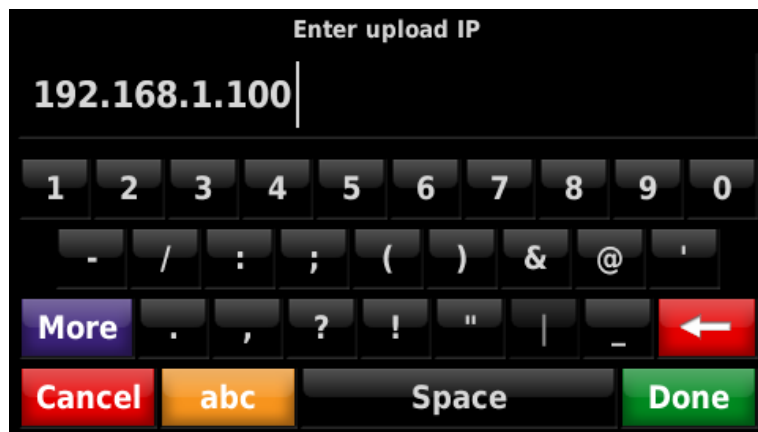
Obrázok 21: Menu termostatu Temp Data Upload

Po stlačení tlačidla Temp Data Upload sa zobrazí ďalšie nastavenie, kde operátor má možnosť nastaviť IP adresu servera (tj. PC na ktorom je spustená naša aplikácia), potvrdiť posielanie konzoly a potvrdiť posielanie teplotných dát vid'. Obrázok 22: Obrazovka termostatu Temp Data Upload Settings



Obrázok 22: Obrazovka termostatu Temp Data Upload Settings

Stlačením Set Upload IP termostat zobrazí ďalšiu obrazovku vid'. Obrázok 23: Obrazovka termostatu Enter Upload IP, na ktorej operátor nastaví IP adresu SysLog servera, na ktorý chce posilať buď namerané hodnoty alebo konzolu z procesora G25.



Obrázok 23: Obrazovka termostatu Enter Upload IP

5.1.1 Nadefinovanie nových správ protokolu RedLink

Medzi G35 a G25 je prenášaná rada rôznych RedLink správ. Tieto správy sú primárne určené pre diaľkové ovládania termostatu a pre ďalšie účely (napr. debug). Je nutné nadefinovať nové správy, pretože súčasné správy neobsahujú teplotné dáta a ani výpis z konzoly Linuxu procesoru G25. Vývojári po konzultácií nadefinovali a implementovali dve nové správy, ktoré používame na posielanie teplotných dát alebo vykonávanie výpisu konzoly:

- APP-TUNNEL 0xD0: konfiguračná správa
- APP-TUNNEL 0xD1: prevodná správa (teplotné dáta)

Hodnoty 0xD0 a 0xD1 vznikli postupným zvyšovaním indexov správ (tzv. pre každú novú správu sa index zvýši o jednotku).

5.1.1.1 APP-TUNNEL 0xD0

Konfiguračná správa zabezpečuje konfiguráciu UDP klient na procesore G25. Obsahuje IP adresu počítača, na ktorý sa posielajú dáta. Na počítači je spustený UDP SysLog server. Po stlačení tlačidla „Previous Menu“ termostat pošle správu APP-TUNNEL 0xD0 a vráti sa späť do hlavného menu. Tlačidlo sa nachádza pri nastavení Console On/Off, Upload On/Off a Set Upload IP vid'. Obrázok 22: Obrazovka termostatu Temp Data Upload Settings.

5.1.1.2 APP-TUNNEL 0xD1

APP-TUNNEL 0xD1 prevodná správa obsahuje konkrétne fyzické surové hodnoty :

Hodnoty z A/D prevodu jednotlivých termistorov

Niektoré vnútorné hodnoty z algoritmov spustených na G35 (výpočet skutočnej teploty)

5.1.2 SysLog

SysLog je RFC 5424 protokol, ktorý umožňuje prenos textových správ z klienta (G25 Linux) do serveru (PC s našou aplikáciou). Server je zvolený pomocou užívateľského menu v termostate (navolíme IP adresu, ktorá sa do G25 dostane pomocou APP_TUNNEL 0xD0 správy).

SysLog umožňuje detailnejšiu kvalifikáciu vlastných správ, pre naše účely využívame dve kategórie:

- Výpis konzoly – LOG_INFO
- Výpis teplotných dát – LOG_DEBUG

Toto rozdelenie nám umožňuje veľmi ľahko odlišenie všetkých výpisov z konzoly (obsah G25 Linux konzoly) a všetkých výpisov teplotných dát (obsah správ APP_TUNNEL 0xD1).

5.1.2.1 Výpis konzoly - LOG_INFO

Pretože G25 má spustený Linuxový systém, je k dispozícii i textová konzola (stdout, stderr). Do tejto konzoly vypisujú všetky Linuxové aplikácie svoj stav.

Pomocou správy APP_TUNNEL 0xD0 je možné prikázať systému G25, aby svoju konzolu pomocou SysLog mechanizmu odosielať na určený server.

LOG_INFO sú všetky úkony operačného systému (Linux v G25), napríklad správa a komunikácia operačného systému Linux s webovými servermi a výpis komunikácie s aplikáciou termostatu v procesore G35.

Z LOG_INFO záznamu sa dá spätne nájsť príčina vzniknutého problému napríklad keď sa stane, že termostat sa nedokáže pripojiť na webový server. V tomto zázname vývojár vidí s akými parametrami sa termostat snažil pripojiť na server a všetky informácie o pripojení.

5.1.2.2 Výpis teplotných dát – LOG_DEBUG

LOG_DEBUG obsahuje správu zakódovaných v hexadecimálnej číslícovej sústave. V tejto správe je zakódovaných 17 údajov, ktoré senzormi namerá procesor G35 a ktoré používa pre svoju funkciu. Správa je dlhá 38 bytov a vyzerá takto:

9D5DED120055003E8E28852F1229AC470082004864002C1F2631008200000001F129CF2EC52F

Obrázok 24: APP-TUNNEL 0xD1 - Teplotné dáta

Správa obsahuje 17 zakódovaných prvkov a to sú tieto:

- U32BIT timeStamp; // originates in Thermostat !
- U16BIT spCool;
- U16BIT spHeat;
- U16BIT tCool; // first three thermistors
- U16BIT tHot;
- U16BIT tHum;
- U16BIT tAmbFromComp;
- U16BIT tAmbFromOAS;
- U16BIT tDisplay;
- U16BIT upFlowIntegrator;
- U16BIT humAtSensor;
- U16BIT humAmbFromComp;
- U16BIT humFromOAS;
- U32BIT modeAndRelayStatus;
- U16BIT tExtraA; // other three thermistors
- U16BIT tExtraB;
- U16BIT tExtraC;

Najviac zaujímavých je iba šesť údajov a to hodnoty namerané zo šiestich termistorov a to sú:

tCool; tHot; tHum; tExtraA; tExtraB; tExtraC;

Ostatné hodnoty sú výstupy vnútorného algoritmu (teplotnej kompenzácie), ktorý je spustený v procesore G35 (plus ďalšie údaje, ako je stav výstupných relé). Tieto údaje

sú pre testovanie tiež zaujímavé (napr. pre overenie čidla vlhkosti, pre overenie skutočného spínania relé).

5.2 UDP SysLog Klient na procesore G25

Pracovníci firmy Honeywell urobili úpravu do Linuxu procesoru G25. Naprogramovali spracovanie správy APP-TUNNEL 0xD1 a jej posielanie cez UDP klienta. Procesor G25 je fyzicky spojený s Wi-Fi rádiovým modulom, ktorý sa používa na bezdrôtové pripojenie do miestnej siete. Procesor G25 má svoj vlastný operačný systém a tým je Linux. V Linuxe vytvorili UDP klienta, ktorý posiela správy z procesoru G35 na UDP server so špecifickou IP adresou, ktorý je spustený na počítači.

UDP protokol

UDP je protokol transportnej vrstvy. Vytvára komunikáciu medzi aplikáciami takisto ako TCP (Transmission Control Protocol). Závisí na IP (Internet Protocol) sieťovom protokole, ktorý vytvára spojenie dvoch počítačov. Z toho vzniká spojenie UDP/IP. Tento protokol na rozdiel od TCP protokolu nepotvrďuje doručenie dát. Pošle dáta a vtedy stratí nad nimi kontrolu. UDP identifikuje aplikácie pomocou takzvaného portu. UDP port je jednoznačné číslo identifikujúce aplikáciu. Podstatným rozdielom medzi UDP a TCP je že UDP nie je spojová služba, to znamená že nenadväzuje spojenie. Používam dve funkcie na posielanie a príjem dát. Na to, aby správa bola poslaná iba na jedno miesto treba vytvoriť správu, ktorá obsahuje IP adresu počítača a UDP port aplikácie. Výhodou UDP je malé zaťaženie siete, pretože sa neposiela potvrdzovanie. Jednotlivé prijaté dáta je možné rozlíšiť. Nevýhodou je nebezpečný prenos, pretože dáta sa môžu stratiť, poškodiť, duplikovať alebo sa predbiehať. Využitie UDP sa ponúka pri rôznych „Real-time“ prenosoch dát [6].

5.3 Aplikácia UDP SysLog servera na počítači

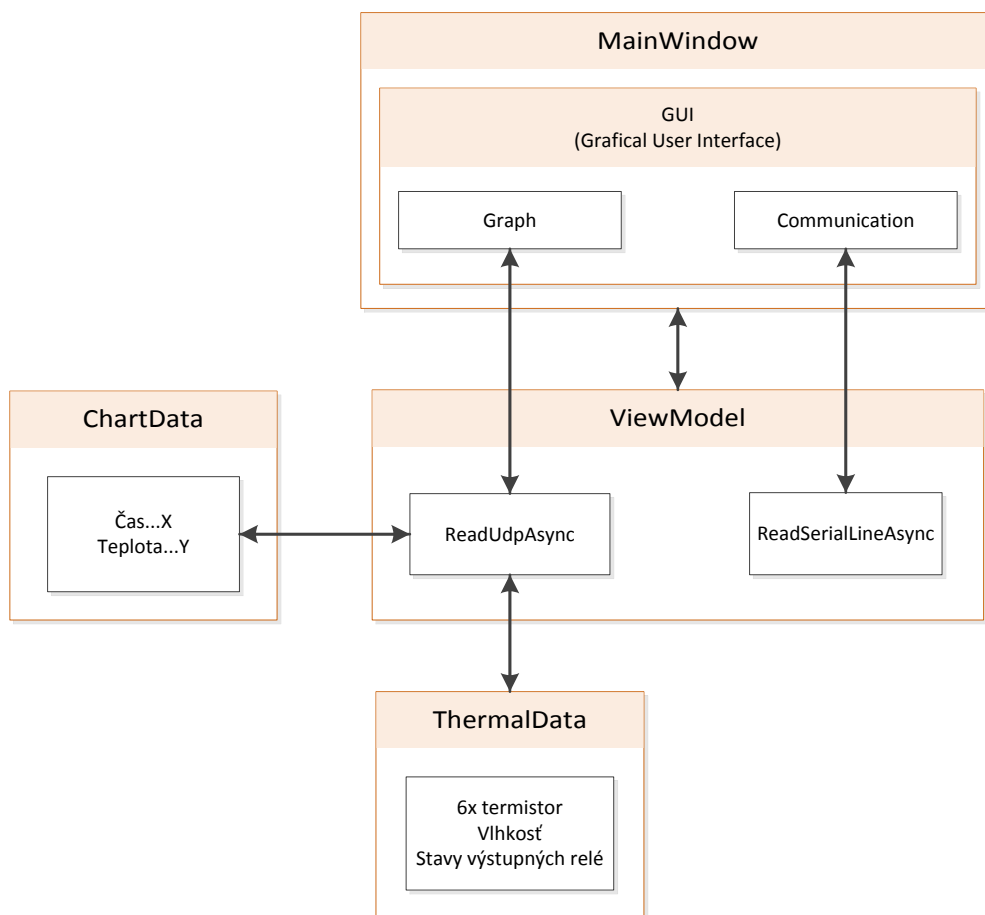
Hlavnou časťou systému vyhodnocovania dát je UDP server aplikácia. Aplikáciu som programoval v jazyku C# a vývojovom prostredí Microsoft Visual Studio 2012. Aplikácia je vytvorená v rozhraní pre návrh a zobrazenie užívateľského prostredia s názvom WPF (Windows Presentation Foundation).

Pre činnosť aplikácie sú nevyhnutné dve časti celého programu. Jednou časťou je MainWindow.xaml a druhou trieda ViewModel.cs.

MainWindow je GUI (Graficel User Interface). Do GUI som vkladal prvky a vytvoril grafické rozhranie, ktoré je rozdelené na dve časti Graph a Communication, podľa vykonávanej činnosti. Graph je prvá časť a podľa názvu vyplýva, že v tejto časti bude vykresľovaný graf nameraných hodnôt. K vykresľovaniu grafu potrebujem dve triedy, prvou je trieda ChartData, kde pridám x súradnici hodnotu času a y súradnici nameranú teplotu. Predtým ako pridám namerané teploty y súradnici, musím prijaté dáta spracovať a prideliť k názvom senzorov. Vytvoril som triedu ThermalData, ktorá

reprezentuje teploty, vlhkosti a stavy výstupných relé. ThermalData prijaté dáta spracuje, rozdelí, odkóduje a priradí prvkom triedy ThermalData. Ďalšou časťou je Communication. V tejto časti si operátor nakonfiguruje sériovú linku a zaháji komunikáciu medzi počítačom a procesorom termostatu G25.

Správnu činnosť medzi MainWindow a ostatnými triedami zabezpečuje ViewModel, v ktorom som naprogramoval logiku komunikácie cez sériovú linku (ReadSerialLineAsync) a UDP klient (ReadUdpAsync). ReadUdpAsync a ReadSerialLineAsync sú asynchrónne úlohy. K popisu ich činností sa ešte vrátim. Komunikácia medzi jednotlivými triedami, ViewModelom a GUI je znázornené na Obrázok 25: Blokový model aplikácie [7].



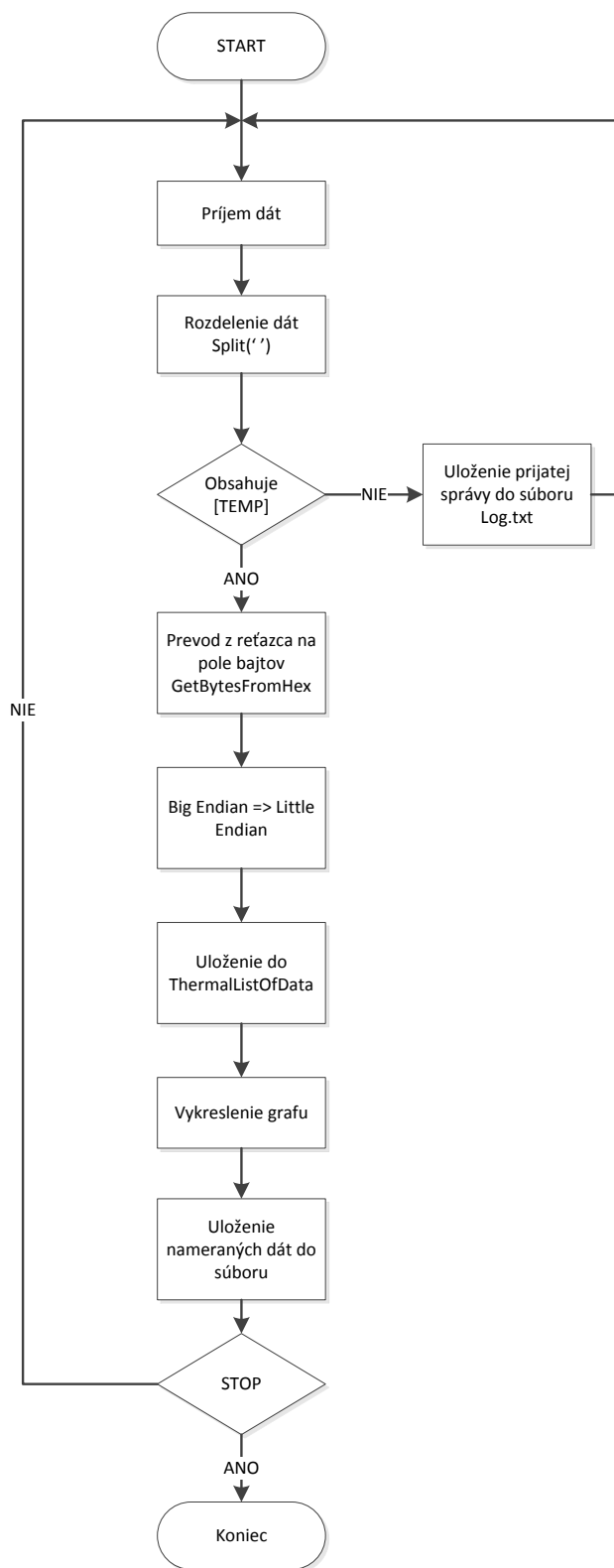
Obrázok 25: Blokový model aplikácie

5.3.1 Popis asynchrónnej úlohy ReadUdpAsync

ReadUdpAsync zabezpečuje celý proces od prijatia správy, cez spracovanie správy, vykreslenie prijatých teplotných dát do grafu, uloženie prijatej správy do súboru Log.txt a uloženie teplotných dát do súboru Test1.txt. Úloha je asynchrónna, aby nezamestnávala hlavné vlákno. Mohol by nastať stav, že hlavné vlákno prejde na príkaz, ktorý ma prijať dáta z UDP klienta. Hlavné vlákno čaká 20 sekúnd na príjem dát

a nemôže vykonávať obsluhu GUI, následkom je že operátor vidí seknutú aplikáciu až pokiaľ hlavné vlákno nespracuje príkaz na príjem dát z UDP klienta.

Činnosť ReadUdpAsync znázorňuje vývojový diagram vid'. Obrázok 26: Vývojový diagram asynchrónnej úlohy ReadUdpAsync [7].



Obrázok 26: Vývojový diagram asynchrónnej úlohy ReadUdpAsync

5.3.1.1 PRÍJEM DÁT

Vstupom do aplikácie sú teplotné dáta. Teplotné dáta sú posielané v dvoch rôznych formátoch. Prvý formát je v G25 do textovej podoby spracovaná správa APP_TUNNEL 0xD1, kde teplotné dáta sú zakódované do hexadecimálneho tvaru vid'. Obrázok 24: APP-TUNNEL 0xD1 - Teplotné dáta. Ďalším formátom sú teplotné dáta posielané po sériovej linke z procesoru G35 do aplikácie:

MST, RT1:35.36°C, RT3:35.46°C, RT4:29.25°C, RT5:27.60°C, RT6:28.62°C, RT7:34.34°C

Obrázok 27: Správa obsahujúca teplotné dáta zo šiestich termistorov

Prijatú správu APP_TUNNEL 0xD1 je potrebné spracovať a odkódovať. Správa začína špecifickými znakmi a to <134>, nasleduje dátum a čas merania, ďalšie špecifické znaky pre túto správu ako TL: [TL] [APP] [TEMP] a 76 znakov, ktoré predstavujú zakódované teplotné dáta. Tá správa môže vyzeráť napríklad takto:

<134>May 17 21:22:46 TL: [TEMP]

9368C5110055003EBC25BA29FA25674A0082004A0F00E52C2330008200000003D8253929
FB29

5.3.1.2 ROZDELENIE DÁT

Z APP_TUNNEL 0xD1 správy je potrebné oddeliť informácie o správe a namerané dáta, ktoré reprezentuje 76 znakov dlhý reťazec. Pre oddelenie som vytvoril metódu TryCreate. Úlohou tejto metódy je zistiť či prijatá správa obsahuje LOG_INFO alebo LOG_DEBUG.

```
public static bool TryCreate(string sHex, string IP, DateTime time, out ThermalData thermal)
{
    thermal = null;
    string[] elements = sHex.Split(' ');

    if (elements[5] == "[TEMP]")
    {
        var byteHexData = GetBytesFromHex(elements[6].Trim());
        var stringHex = sHex;
        thermal = new ThermalData(sHex, IP, time, byteHexData);
        return true;
    }
    return false;
}
```

Metódu split(' ') zavolám, aby som zistil, či prijatá správa obsahuje LOG_INFO alebo LOG_DEBUG. Metóda split(' ') vytvorí pole prvkov, ktoré sú oddelené

špecifickým znakom, v mojom prípade týmto znakom je medzera. V poli prvkov hľadám reťazec [TEMP], ktorý je význačný pre LOG_DEBUG.

5.3.1.3 VÝBER LOG_DEBUG A PREVOD NA POLE BAJTOV

Po overení, že správa obsahuje reťazec [TEMP], musím previesť reťazec 76 znakov na bajty. Na prevod som vytvoril metódu `GetBytesFromHex`, ktorá vráti pole bajtov získaných tak, že zoberie vždy dva znaky z reťazca a konvertuje ich na bajty.

```
public static byte[] GetBytesFromHex(string hex) //Get array of bytes from hex string
{
    var data = Enumerable.Range(0, hex.Length)
        .Where(x => x % 2 == 0)
        .Select(x => Convert.ToByte(hex.Substring(x, 2), 16))
        .ToArray();
    return data;
}
```

5.3.1.4 PREVOD BAJTOV Z BIG ENDIAN NA LITTLE ENDIAN

Po spracovaní získam pole bajtov, ktoré využijem, aby som jednotlivé bajty priradil k nameraným prvkom ako sú 6 teplôt z termistorov a vlhkosť. Konštruktor triedy `ThermalData` priradzuje hodnoty jednotlivým prvkom. Problémom je poradie bajtov, ktoré môže byť Big Endian alebo Little Endian.

Napríklad majme 4 bajtové slovo 0x21A35B4C tak:

Little Endian	4C	5B	A3	21
Big Endian	21	A3	5B	4C

Tabuľka 1: Endian

Prvky zakomponované do správy majú rôznu veľkosť. Niektoré majú veľkosť 2 bajty a niektoré 4 bajty. Súčet veľkostí všetkých prvkov je 38 bajtov, preto je správa veľká 38 bajtov a dlhá 76 znakov. Postupnosť týchto znakov nie je náhodná. Každý znak je presne určený nejakému prvkovi. Napríklad prvý prvok `U32BIT timeStamp` má veľkosť 4 bajty, čiže prvých 8 znakov patrí prvkovi `U32BIT timeStamp`. Tu sa dostávam k tomu že práve 8 znakov teda 4 bajty sú zapísané v pamäti systémom Little Endian. V rámci tohto prvkovi prevediem zapísané 4 bajty v Little Endian do Big Endian a získam správnu postupnosť bajtov. Následne hodnotu prvkovi prevediem na celočíselnú hodnotu. Túto hodnotu vydelím unikátnym celo číslom, ktoré je definované pri kódovaní prvkovi v procesore G35 [8].

Vytvoril som dve metódy napísané v C#, ktoré vykonajú tento prevod a volajú sa `FloatFromS16` a `FloatFromS32`.

5.3.1.5 VYKRELENIE GRAFU

Pre vykresľovanie grafu som siahol po externom nástroji, ktorý sa volá WPF Toolkit Charting [9]. Do hlavného okna vykresľujem čiarový graf, pod ktorým si operátor môže navoliť, ktoré prvky majú byť v grafe vykreslené. Má na výber teploty šiestich

termistorov ExtraA, ExtraB, ExtraC, Cool, Hot, Hum, vid'. Obrázok 30. Namerané teploty z jednotlivých termistorov ukladám do kolekcií. Využívam výhody ObservableCollection [7], ktorá je pozorovaná.

Obsahuje dve udalosti:

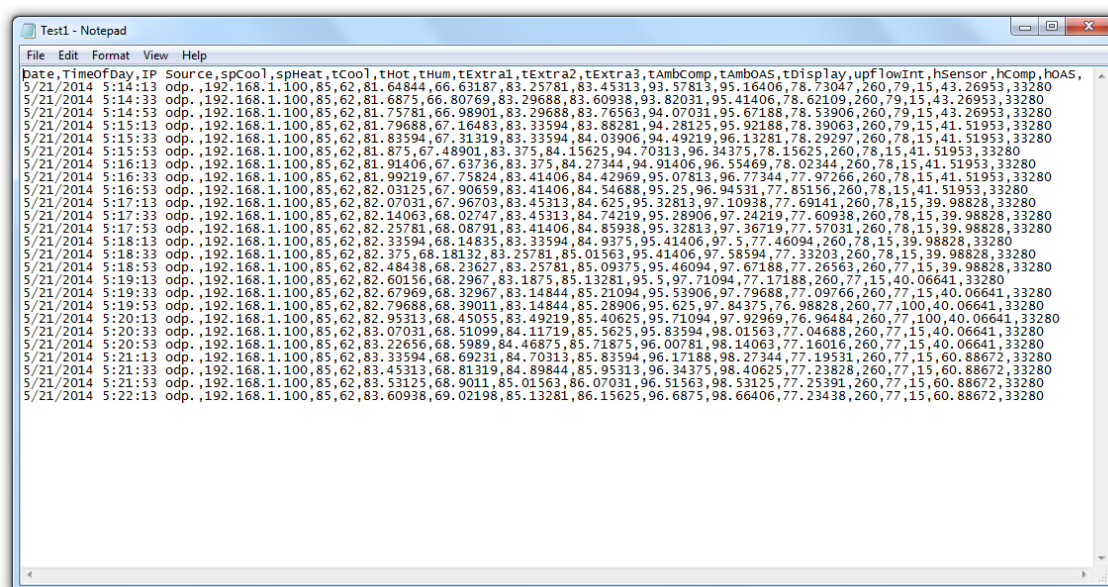
- **CollectionChanged** sa vyvolá, keď sa zmení kolekcia, napríklad po pridaní, odobratí prvku, zmene pozície prvku.
- **PropertyChanged** sa vyvolá, keď sa zmení prvok v kolekcií.

V grafickom rozhraní som vložil prvok na vykresľovanie grafu a vykonal jeho nastavenie. Vytvoril som väzbu medzi GUI a kolekciami. Táto väzba sa nazýva Binding. Práve Binding je silou WPF, pretože programátor dokáže previazať logiku s grafickým rozhraním. Po pridaní prvku do kolekcie, udalosť CollectionChanged upozorní MainWindow, že kolekcia obsahuje nový prvok, ktorý treba vykresliť do grafu. Nižšie môžete vidieť XAML kód grafu, ktorý vykresľuje teplotu zo snímača ExtraA [7].

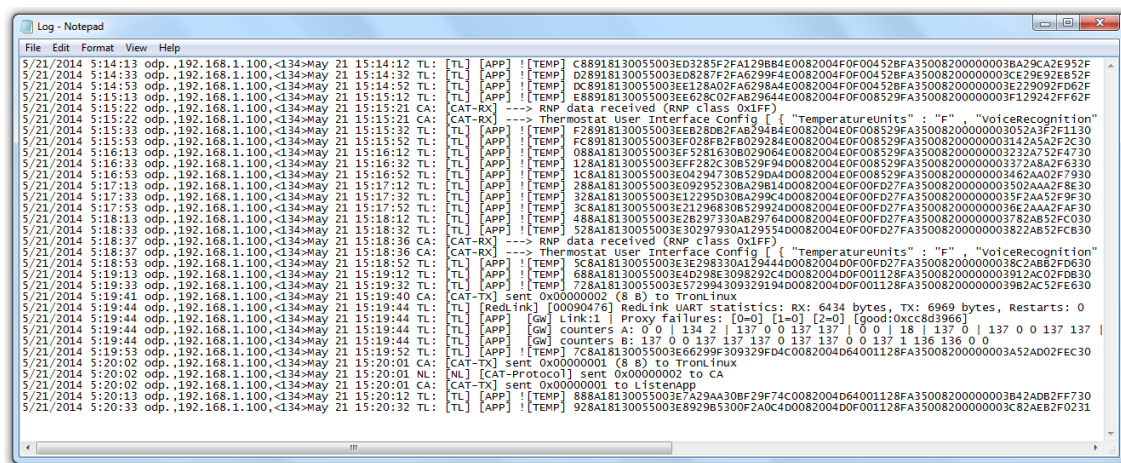
5.3.1.6 ULOŽENIE DO SÚBORU

V aplikácii vytváram počas testovania dva súbory Test1.txt a Log.txt. Ako prvý vytváram CSV súbor Test1.txt, ktorý obsahuje namerané dáta teplôt a vlhkosti oddelené čiarkou vid'. Obrázok 28. Tento súbor operátor môže otvoriť napríklad v MS Excel, kde dokáže namerané dáta spracovať a vykresľovať grafy.

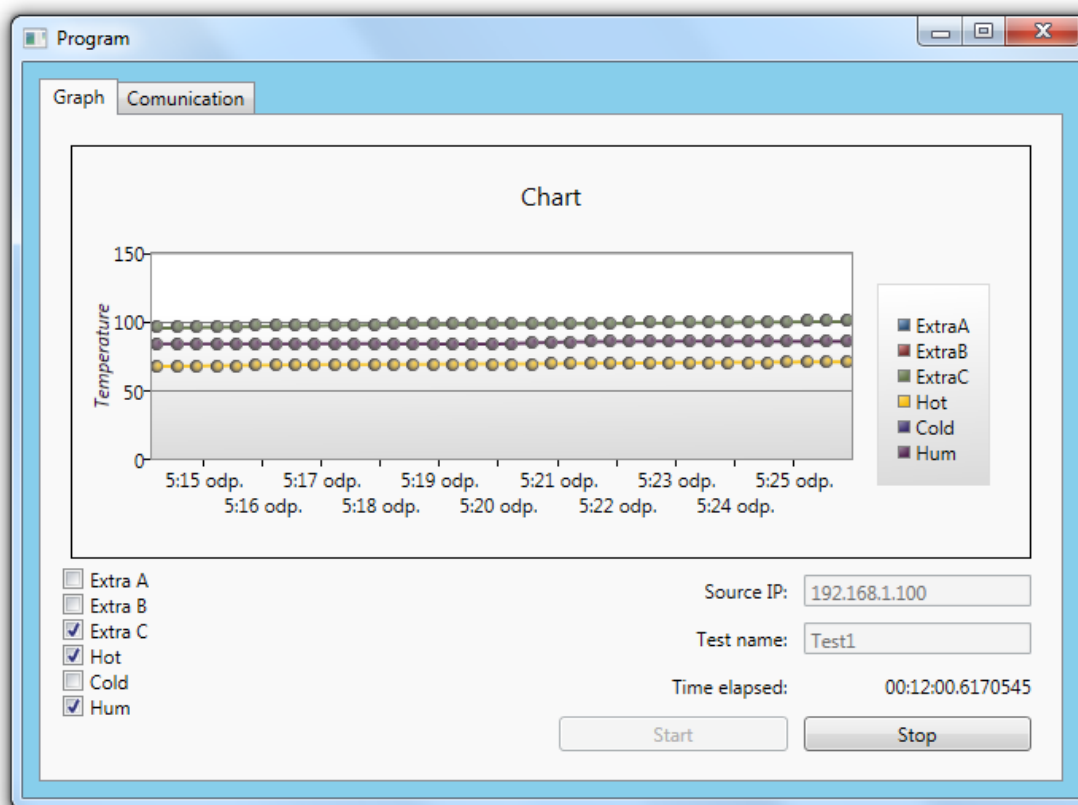
Súbor Log.txt obsahuje všetky prijaté správy UDP serverom vo formáte dátum a čas prijatia správy, IP adresa UDP klienta a posiadanú správu, vid'. Obrázok 29.



Obrázok 28: Výstupný súbor Test1.txt obsahujúci teplotné dáta vo formáte CSV



Obrázok 29: Výstupný súbor Log.txt obsahujúci všetky prijaté správy od UDP klienta



Obrázok 30: Graph - výsledná aplikácia

Činnosť UDP servera v aplikácii je názorne zobrazený vo vývojovom diagrame Obrázok 26: Vývojový diagram asynchrónnej úlohy ReadUdpAsync.

5.3.2 Popis asynchrónnej úlohy ReadSerialLineAsync

Asynchrónna úloha ReadSerialLineAsync spolupracuje s prvkami grafického rozhrania aplikácie. V hornej časti aplikácie na karte Communication operátor dokáže navoliť

konfiguráciu sériovej linky vid'. Obrázok 32: Communication - výsledná aplikácia. Operátor nastaví názov sériového COM portu, na ktorý má pripojený termostát, rýchlosť komunikácie, počet dátových bitov, počet stop bitov, paritu a dátovú komunikáciu. Pre spustenie komunikácie treba otvoriť sériovú linku stlačíme tlačidlo Open, ktoré je umiestnené na dolnom okraji aplikácie. Po prijatí teplotných dát sa zobrazia v sivom okne v strede aplikácie, tento prvok sa nazýva ListOfSerialData. Ďalej tam je tlačidlo Reset terminal, ktoré vymaže všetko čo je zobrazené v okne ListOfSerialData. Tlačidlo Close uzatvorí sériovú linku a zmení status z „Opened“ do „Closed“.

```

async Task ReadSerialLineAsync(CancellationToken token)
{
    using (var SerialLogWriter = new StreamWriter("Serial.txt"), false))
    {
        var serialLine = new SerialPort();

        serialLine.PortName = PortName;
        serialLine.BaudRate = BaudRate;
        serialLine.DataBits = DataBits;
        serialLine.StopBits = Stopbits;
        serialLine.Parity = Parity;
        serialLine.Handshake = Handshake;
        serialLine.DtrEnable = true;
        serialLine.Open();

        IsOpen = true;

        StringBuilder sb = new StringBuilder();

        while (!token.IsCancellationRequested)
        {
            sb.Append(serialLine.ReadExisting());

            if (sb.ToString().Contains("\r"))
            {
                readValues.Add(sb.ToString());
                Records = readValues.Aggregate("", (accSoFar, next) =>
                    accSoFar + next);

                //save new TD data to file
                SerialLogWriter.Write(sb.ToString());
                await Task.Delay(100);
                sb.Clear();
            }

            await Task.Delay(100);
            await SerialLogWriter.FlushAsync();
        }
        serialLine.Close();
        IsOpen = false;
    }
}

```

5.3.2.1 POPIS FUNKCIE ReadSerialLineAsync

Správy z procesoru G35 prichádzajú po sériovej linke v pravidelnom intervale 20 sekúnd. Metóda ReadExisting() prečíta všetky okamžité dostupné bajty na sériovej linke.

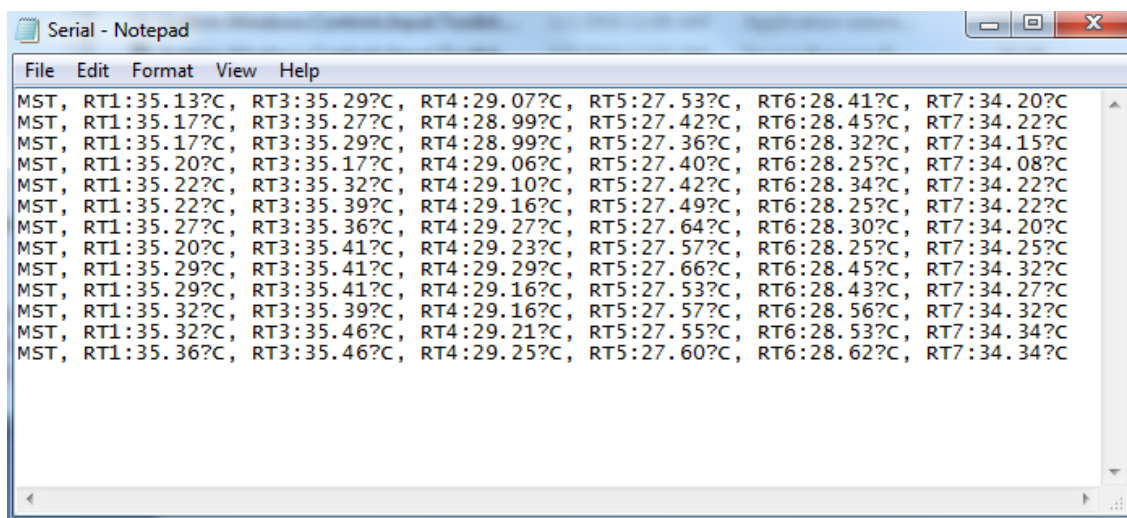
Formát správy, ktorý zobrazuje okno ViewSerialData je vid'. Obrázok 27: Správa obsahujúca teplotné dáta zo šiestich termistorov.

Pre úplnosť dát musí reťazec znakov obsahovať znak nového riadku '\r'. Reťazec ukončený týmto znakom považujem za úplnú správu, ktorú pridám do zoznamu správ readValues.

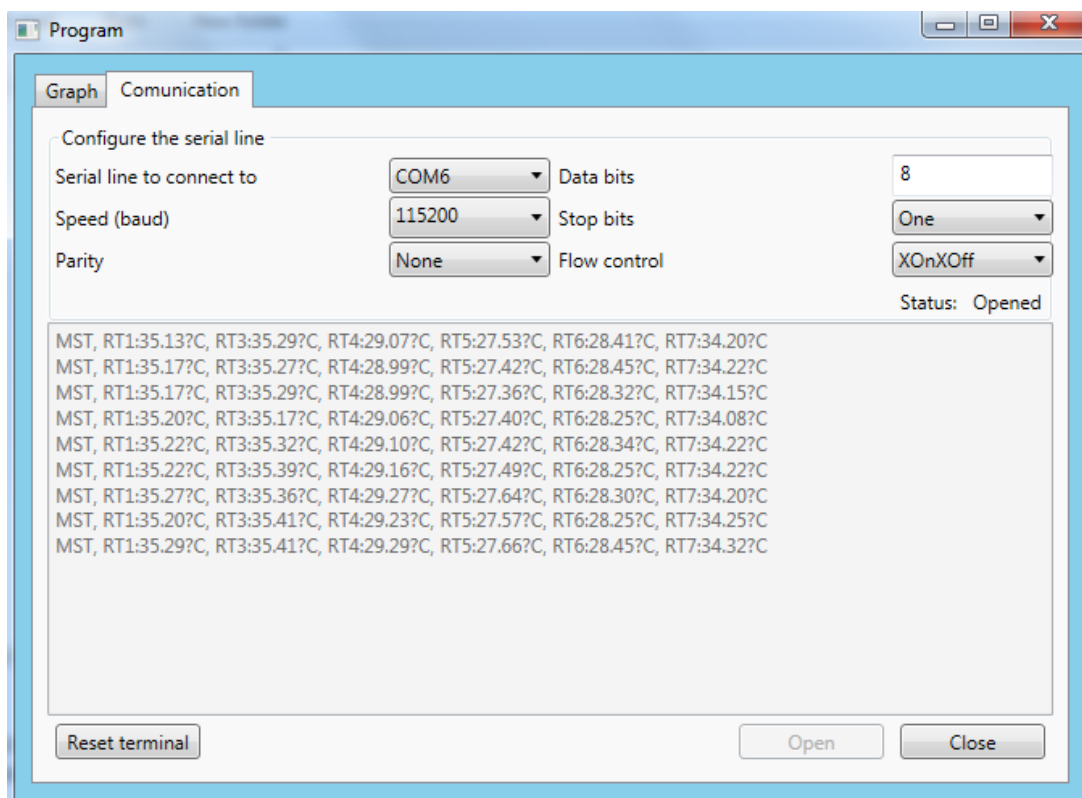
Cely obsah readValues sa priradí do premennej Records. Na premennú Records je naviazaný ViewSerialData. Táto väzba zariadi, aby obsah premennej Records bol vypísaný v zobrazovacom okne ViewSerialData.

Činnosť ReadSerialLineAsync znázorňuje vývojový diagram vid'. Obrázok 33: Vývojový diagram asynchrónnej úlohy ReadSerialLineAsync.

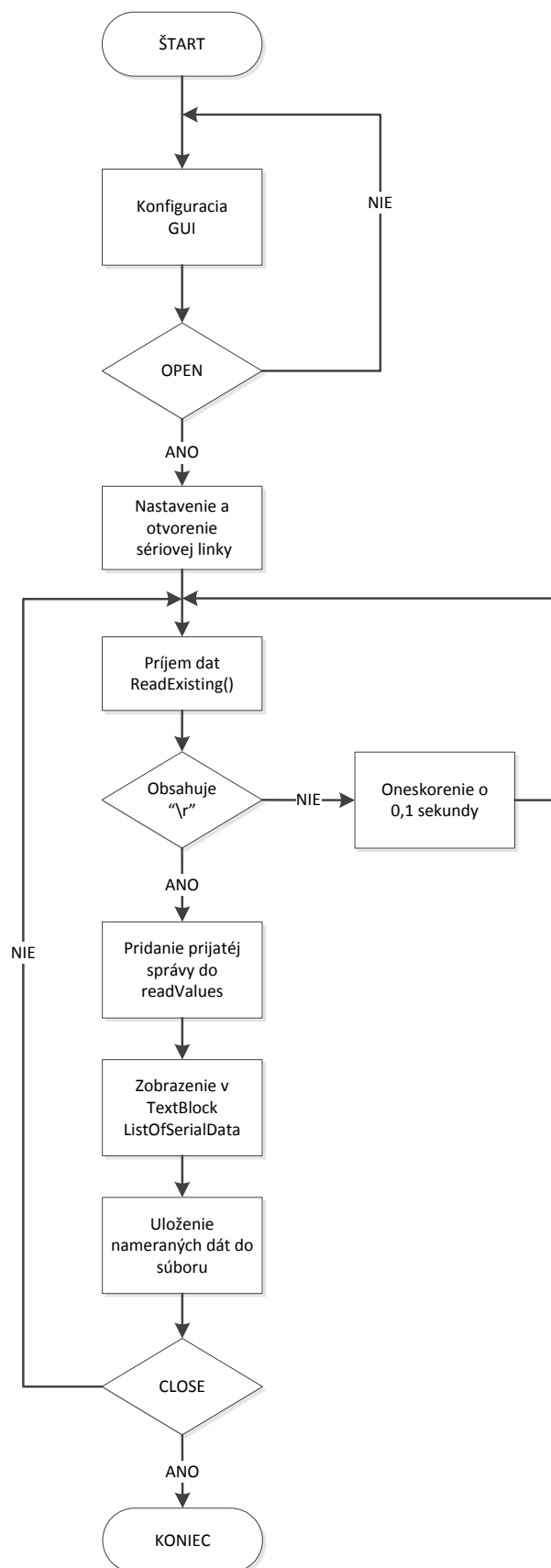
Po uložení prijatej správy do readValues, vytváram súbor Serial.txt, do ktorého ukladám prijaté správy. Po stlačení „Reset Terminal“ aplikácia neprichádza o doterajšie dáta, pretože ich má uložené v súbore Serial.txt, vid'. Obrázok 31.



Obrázok 31: Výstupný súbor Serial.txt obsahujúci všetky prijaté správy zo sériovej linky



Obrázok 32: Communication - výsledná aplikácia



Obrázok 33: Vývojový diagram asynchrónnej úlohy ReadSerialLineAsync

6 ZÁVER

Cieľom práce bolo vytvorenie systému pre online získavanie dát z termostatu počas testovania v teplotných komorách. Spoločnosť Honeywell vlastní na mieru vyrobené teplotné komory, v ktorých vykonávajú testy termostatov. Testy sú zamerané na schopnosť termostatu merať a regulovať teplotu.

V úvode práce som sa oboznámil s problematikou testovania termostatov v teplotných komorách. Zistil som, aký je súčasný trend vo vývoji termostatov a aká je aktuálna ponuka najnovších termostatov na trhu.

Dozvedel som sa o princípe fungovania teplotnej komory. Po konzultácií s operátormi sme prišli na nevýhody súčasného riešenia. Nevýhodou je, že operátor počas testu nevie kontrolovať správnosť priebehu testovania, pretože hodnoty namerané na jednotlivých teplotných senzoch sú uložené v pamäti procesoru. Prípadné zlé nastavenie kompenzačnej metódy je možné zistiť až po ukončení testu.

V ďalšej kapitole som sa zamerlal na návrhy riešenia pre online získavanie dát z termostatu počas testovania. Navrhol som tri možnosti riešenia.

Vo štvrtej kapitole som dôkladne zvážil možnosti riešenia. Vybral som riešenie, ktoré je možné rozšíriť na vyhodnocovanie dát z viacerých termostatov súčasne. Keďže spoločnosť Honeywell vlastní viac ako jednu teplotnú komoru, tak využiť riešenie, ktoré umožňuje rozšírenie testovania na viacerých komorách, je správnou voľbou. Toto riešenie je špecializované výhradne na termostaty s Wi-Fi bezdrôtovým modulom.

Posledná kapitola sa zaoberá realizáciou systému. Na začiatku tejto kapitoly podrobne popisujem jednotlivé časti systému. Pre realizáciu systému som musel zariadiť upravenie aplikácie termostatu v procesore G35 a vytvorenie UDP klienta na procesore G25.

Mojou úlohou bol vývoj aplikácie, ktorá vytvorí UDP server, ktorý umožní prijímanie dát z UDP klienta (procesor G25). Aplikácia z prijatých správ vyselektuje správu s teplotnými dátami. Teplotné dáta sa ukladajú do súboru a vykresľujú do grafu v hlavnom okne aplikácie. Formát uložených dát dovoľuje spracovanie v MS Excel.

Plán do budúcnosti je úprava GUI tak, aby operátor vedel pracovať s nameranými hodnotami v grafe. Negatívom môjho aktuálneho riešenia je, že každá hodnota v grafe je znázornená krúžkom, čo môže mať za následok pri dlhodobom testovaní prekrytie krúžkov a vo výsledku vznik jednej hrubej čiary, a to spôsobuje nečitateľnosť a neprehľadnosť grafu. Toto pôjde opraviť v rámci ďalšieho vývoja SW.

Vypracovaním tejto bakalárskej práce som sa naučil pokročilejším základom programovania v jazyku C# a v editore aplikácií WPF.

Využitím online prenosu dát (termistor – G35 – G25 – Wi-Fi - počítač) došlo k významnému vylepšeniu v celej testovacej procedúre, k významnému skráteniu doby potrebnej na vykonanie testu v teplotných komorách a navyše nie je potrebné žiadne špeciálne vybavenie pre zachytávanie správ. Vývojári spoločnosti Honeywell túto novú možnosť privítali veľmi pozitívne a v súčasnej dobe je nasadená pri reálnom testovaní termostatov v spoločnosti Honeywell.

Literatúra

- [1] RedLINK Internet Gateway and Total Connect Comfort Services. *Honeywell* [online]. 2008 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: http://www.forwardthinking.honeywell.com/products/wireless/total_connect
- [2] Wi-Fi Smart Thermostat with Voice Control - RTH9590WF. *Honeywell* [online]. 2013 [cit. 2013-12-26]. Dostupné z: <http://yourhome.honeywell.com/home/Products/Thermostats/7-Day-Programmable/Wi-Fi+Smart+Thermostat+with+Voice+Control.htm>
- [3] Life with Nest Thermostat. *Nest* [online]. 2014 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <https://nest.com/thermostat/life-with-nest-thermostat/>
- [4] The ecobee Smart Thermostat. *Ecobee* [online]. 2013 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.ecobee.com/solutions/home/smart/>
- [5] Wireless Solutions. *Honeywell-REDLINK* [online]. 2009 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://controltrends.org/wp-content/uploads/2011/10/Honeywell-REDLINK.pdf>
- [6] Protokol UDP 1.část. *Builder.cz* [online]. 2003, roč. 2003, č. 1 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.builder.cz/rubriky/c/c--/protokol-udp-1-cast-156226cz>
- [7] WATSON, Karli. *Beginning Visual C# 2012 programming*. Birmingham: Wrox Press Ltd., 2012. ISBN 978-111-8314-418.
- [8] Explanation of Big Endian and Little Endian Architecture. *Support Microsoft* [online]. 2006, 2.1 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://support.microsoft.com/kb/102025>
- [9] Charting in WPF. *Article* [online]. 2009, č. 1 [cit. 2014-05-23]. Dostupné z: <http://www.c-sharpcorner.com/uploadfile/mahesh/charting-in-wpf/>

Zoznam príloh

Príloha 1. Snímka obrazovky termostatu Console On/Off

Príloha 2. Snímka obrazovky termostatu Upload On/Off

Príloha 3. Obrázok pracoviska

Príloha 4. DVD