

Diplomová práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra Měření

Integrace systémů měření a regulace v budovách

Bc. Martin Bílek

Vedoucí: Ing. Jan Široký, Ph.D.
Školitel–specialista: Ing. Petr Kudera
Obor: Inteligentní Budovy
Květen 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Bílek** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **420154**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra měření**
Studijní program: **Inteligentní budovy**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Integrace systémů měření a regulace v budovách

Název diplomové práce anglicky:

Integration of building control and monitoring systems

Pokyny pro vypracování:

V návaznosti na řešení představená v Projektu 1 a Projektu 2 pokračujte v práci zaměřené na integraci systémů měření a regulace (MaR) v budovách. Představte problematiku MaR s důrazem na používané komunikační protokoly a možnosti jejich integrace.

Demonstrujte návrh a realizaci MaR na reálné budově. Popište technické zařízení vybrané budovy (TZB), zejména možnosti integrace jednotlivých částí TZB do centrálního systému MaR. Popište strategii řízení TZB vybrané budovy včetně možností uživatelské interakce se systémem MaR. Navrhněte a implementujte řídicí algoritmus pro zdroj tepla, zdroj chladu a vzduchotechnickou jednotku. Jednotlivé technologie integrujte pomocí protokolu Modbus.

Pomocí naměřených dat MaR z vybrané budovy demonstруйте postupy a principy popsané v teoretické části práce, klíčové části řídicích algoritmů ilustруйте pomocí výstřžků zdrojového kódu.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Jiří Bašta, Regulace vytápění. Vydavatelství ČVUT. Praha 2002. s. 99, ISBN 80-01-02582-9.
- [2] Ronnie J. Auvil, HVAC Control Systems, Amer Technical Pub; 4 edition (2017)
- [3] John T. Wen, Intelligent Building Control Systems: A Survey of Modern Building Control and Sensing Strategies (Advances in Industrial Control), Springer; 1st ed. 2018 edition

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Jan Široký, Ph.D., Energocentrum Plus, s.r.o.

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **12.02.2019**

Termín odevzdání diplomové práce: **24.05.2019**

Platnost zadání diplomové práce:

do konce letního semestru 2019/2020

Ing. Jan Široký, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Děkuji ČVUT, že mi je tak dobrou *alma mater*. Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Janu Širokému Ph.d., za vedení, rady a podporu zpracování práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Michalu Hroudovi, Ing. Daniel Krysl, Ing. Petru Pospíšilovi a Bc. Jaroslavu Hroudovi za odborné konzultace. Také bych velmi rád poděkoval firmě Energocentrum PLUS, s. r. o., za poskytnutí materiálů pro zpracování práce, konkrétněji panu Jiřímu Zikmundovi a Ing. Petru Kuderovi za podporu a trpělivost. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině a kamarádům za podporu a trpělivost při studiu.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu.

V Praze, 21. května 2019

Abstrakt

Tato práce se zabývá základní tématikou řešení technologického zařízení budov (TZB). V úvodní části je čtenář seznámen s problematikou otevřených komunikačních protokolů a integrace řídicích systémů společně s použitými periferiemi. V praktické části je shrnut popis jednotlivých zařízení TZB. Následně je realizován návrh projektu při rekonstrukci budovy. Jednou z částí je také popis navržené komunikace jednotlivých zařízení za pomoci vybraného protokolu. K popisu poslouží ilustrace získaných výsledků z naměřených dat při řízení jednotlivých strojů.

Klíčová slova: Automatizace, Měření a regulace, PLC, VZT, Tepelné čerpadlo, Implementace, Modbus, Mervis IDE, WAGO, Technické Zařízení Budov, komunikační protokoly

Vedoucí: Ing. Jan Široký, Ph.D.
Velflíkova 6,
Praha 6

Abstract

This works analyse solution for Heating, Ventilating, Air-Conditioning (HVAC) and introduces reader into problem of open communication protocols and integration of the peripherals for control systems.

Review of used components and implementations is introduced in first part. In following parts reader is introduced into description of designed communications and communication between implemented devices and protocols. Implementation part describes realization of project and also measurement of operational values and analysis of those values.

Keywords: Automation, measure and regulation, PLC, HVAC, heat pump, implementation, Modbus, Mervis IDE, WAGO, Building Services Engineering, communication protocols

Title translation: Integration of building control and monitoring systems

Obsah

1 Úvod	1	2.2.2 Okenní kontakt	22
1.1 Technologie TZB	2	2.2.3 Měřidla energií	22
1.2 Cíle práce	3	2.2.4 Meteostanice	23
1.3 Popis systému	4	2.2.5 Osvětlení	24
2 Teorie	7	2.2.6 Řízení autonomních regulátorů pro místnosti	24
2.1 Řídicí systémy TZB	7	2.3 Přehled programovacích jazyků pro PLC	25
2.1.1 Komunikační protokoly	7	2.3.1 Norma IEC 61131-3	27
2.1.2 Fyzické vrstvy	8	2.3.2 Proprietární systémy	31
2.1.3 Fyzické sběrnice	8	2.3.3 Vývojové prostředí	32
2.1.4 Otevřenost komunikačních protokolů	9	2.4 Uživatelského rozhraní (Human machine interface)	33
2.1.5 Obecný popis komunikačního protokolu Modbus	14	2.4.1 Cloudové řešení	35
2.1.6 Popis řídicích systémů	17	2.4.2 Architektura Cloudového řešení	36
2.1.7 Výrobci řídicích systémů	18	2.4.3 Další stránky cloudového řešení	37
2.2 Periferie řídicích systémů	20	2.5 Zhodnocení	38
2.2.1 Senzor kvality vzduchu a CO2	21	3 Praktická část	39
		3.1 Technické zařízení budovy	39

3.1.1 Zdroj tepla a chladu	40	3.3.1 Návrh algoritmu pro zařízení strojovny	62
3.1.2 Vytápění	42	3.3.2 Praktická ukázka regulace vybraných technologií	69
3.1.3 Chlazení	43		
3.1.4 Ohřev TUV	43	4 Závěr	75
3.1.5 Podlahové vytápění	43	Literatura	77
3.1.6 Otopná tělesa	44	A Přiložené soubory	79
3.1.7 Stropní vytápění nebo chlazení	44	B Zkratky	81
3.1.8 Jednotka VZT	44		
3.2 Koncept návrhu systému MaR . .	45		
3.2.1 Základní rozvaha integrace zařízení	49		
3.2.2 Návrh řízení Strojovny	50		
3.2.3 Řídící PLC Strojovny	51		
3.2.4 Plynový kotel	53		
3.2.5 Tepelné čerpadlo	55		
3.2.6 Jednotka VZT	56		
3.2.7 Společné hodnoty	58		
3.3 Implementace řízení strojovny . .	59		

Obrázky

1.1 Možná zapojení určité technologie v chytrém domě	2	2.11 Vývojového prostředí Mervis IDE od společnosti Energocentrum PLUS s.r.o.	33
2.1 Obecný tvar Modbus zprávy, převzato z [7]	15	3.1 Otopné schéma rekonstruovaného objektu,	41
2.2 Obecný tvar pro Modbus/TCP, převzato z [7]	16	3.2 Blokové schéma IO stavů technologie	46
2.3 Vybrané produkty od různých výrobců PLC	19	3.3 Blokové schéma IO stavů technologie	47
2.4 Ukázka dvou měřících senzorů využívané v průmyslu či v TZB ...	21	3.4 Blokové schéma IO stavů technologie	48
2.5 Čidla pro měření kvality vzduchu	21	3.5 Zobrazená propojení mezi jednotlivými zařízeními kotelny a řídicího PLC s PLC dům po komunikačních kanálech	51
2.6 Schématické zapojení jednotlivých měřících čidel (kalorimetr, vodoměr a plynoměr) po komunikační lince M-Bus	23	3.6 Schéma zapojení jednotlivých přídatných IO Modulů s hlavním regulátorem pro Strojovnu	52
2.7 Meteostanice s měřením proudu vzduchu, tlaku, teploty a dalších veličin	23	3.7 Integrované digitální vstupy tepelného čerpadla a plynového kotle	54
2.8 Názorné schématické zapojení protokolu DALI s příslušným LED osvětlením	24	3.8 Převodník Procon MelcoBIMS MINI	56
2.9 Vybrané zapojení funkčních bloků pro názornou ukázkou v jazyce FBD	30	3.9 Přidání kanálu do příslušného regulátoru PLC	59
2.10 Názorná ukázkou jazyka SFC ..	31	3.10 Nastavení komunikačního protokolu Modbus do vývojového prostředí Mervis IDE	60

3.11 Ukázka části funkčních bloků pro řízení plynového kotle	65
3.12 Ukázka části funkčních bloků pro řízení VZT jednotky	68
3.13 Naměřené data tepelného čerpadla požadavku na teplotu a v jakém režimu tepelné čerpadlo má fungovat od 9.5. 2019 do 12.5. 2019	71
3.14 Naměřené data během jednoho dne plynového kotle dle požadavku na teplotu	73

Tabulky

2.1 Shrnutí jednotlivých komunikačních protokolů, které se používají nejčastěji v ČR	11
2.1 Shrnutí jednotlivých komunikačních protokolů, které se využívají v ČR	12
2.1 Shrnutí jednotlivých komunikačních protokolů, které se využívají v ČR	13
2.2 Datový model Modbus protokolu [7]	15
2.3 Rámec pro zprávu Modbus RTU, převzato z [7]	16
2.4 Rámec pro zprávu Modbus ASCII, převzato z [7]	16
2.5 Podporované komunikační protokoly jednotlivými výrobci PLC	27
2.6 Porovnání jednotlivých programovacích jazyků, který daný výrobci podporují ve svém vývojovém prostředí.....	32
2.7 Krátké shrnutí jednotlivých typů HMI vizualizací a jejich výhody a nevýhody [1]	34
2.7 Krátké shrnutí jednotlivých typů HMI vizualizací a jejich výhody a nevýhody [1]	35

3.1 Sestava WAGO č.1 Strojovna . . .	51
3.2 Nastavení převodníku pro implementaci do systému MaR . . .	56

Kapitola 1

Úvod

V současné době dochází k rapidnímu zrychlení vývoje technologií zaměřující se na výstavbu a následný provoz budov. Tyto technologie jsou jednotně definovány jako chytrý dům (intelligent building).

Jeden z primárních cílů při výstavbě a následném provozu budovy je snaha o maximální využití moderních systémů a technologií k řízení a monitorování budov za účelem snížení jak provozních nákladů, zvýšení uživatelského komfortu či zvýšení úrovně provozování, tak celkovému dopadu na životní prostředí. Tyto technologie lze integrovat i do objektů rekonstruovaných. Díky výše zmíněným výhodám vzniká v současné době trend, který si spousta firem uvědomuje a stále častěji se s těmito seznamují a nabízejí jejich integraci při prováděné rekonstrukci objektu.

Díky velkému množství dílčích technologií v současné době vzniká potřeba tyto technologie propojit a společně automatizovat. K tomuto účelu slouží komunikační sběrnice a protokoly.

Za pomoci sběrnic a protokolů zajišťuje systém stabilní předávání informací mezi jednotlivými subsystémy instalovanými v chytrých domech. Příkladem jsou vytápění, osvětlení, či zabezpečení daného objektu.

Jelikož je trend inteligentních budov v poslední době velice silný, spousta firem se snaží vyvinout produkty, které by zákazníkovi nabídla. Nevýhodou využívání systémů vyvinutých odlišnými společnostmi je nejednotnost v implementaci použitých komunikačních protokolů vedoucích k potřebě implementace vlastních knihoven pro protokoly či interface za účelem propojení těchto zařízení.

Při automatizaci se často používají i databáze sloužící ke sběru a uchování dat pro následné analýzy a optimalizaci navrženého řízení.

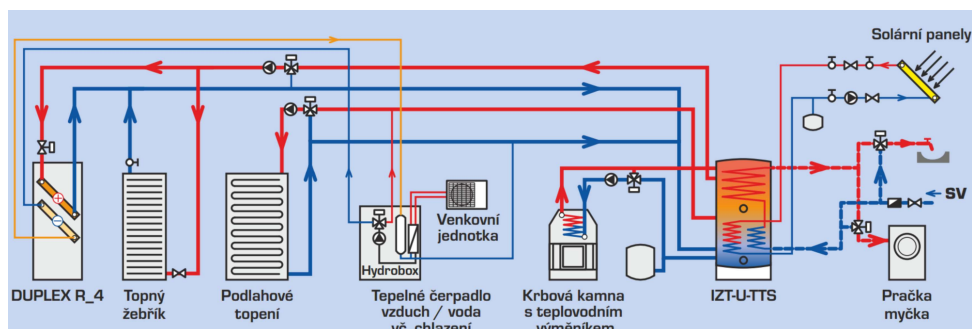
Pro pochopení dané problematiky se nejdříve seznámíme se základními technologiemi technického zařízení budov (dále jen TZB). Následně definujeme cíle této práce a popis systému, pro nějž bude řešení navrhováno.

V praktické části se pak věnujeme samotnému návrhu, integraci jednotlivých částí do řídicího systému a následně na základě získaných dat se v práci navrhne vylepšení navrženého řešení.

1.1 Technologie TZB

V chytrých budovách je využíváno inteligentních řídicích systémů, které se díky rozvoji komunikačních, řídicích a monitorovacích technologií v poslední dekádě staly velmi perspektivním oborem. Inteligentní řídicí systémy se využívají jak pro průmyslovou automatizaci (výrobní linky, továrny, dopravní stavby), tak pro automatizaci budov (bytové a administrativní budovy, hotely atd.). Ve většině případů se můžeme v budovách setkat těmito technologiemi:

1. Vzduchotechnika s rekuperační jednotkou
2. Tepelné čerpadlo (voda/voda, vzduch/voda)
3. Solární ohřev vody
4. Kotel (plyn, dřevo atd.)
5. Stropní chlazení/vytápění
6. Krbová kamna s výměňkovou vložkou
7. Akumulační nádrž
8. Ohřev teplé vody
9. Stínící prostředky
10. Okenní, dveřní kontakty



Obrázek 1.1: Možná zapojení určité technologie v chytrém domě

Nedílnou součástí automatizace budov je kromě automatické regulace, řízení a kontroly, také energetický úsporný provoz (tzv. Energy management).

Nedílnou součástí automatizace budov považujeme sledování vnitřních i venkovních veličin, sloužících pro následné řízení systémů budovy. Nejčastěji měřené veličiny jsou:

1. Teplota v jednotlivých místnostech
2. Venkovní teplota
3. Kvalita vzduchu
4. Vlhkost v jednotlivých místnostech
5. Teploty v otopných okruzích
6. Počet přítomných osob v dané místnosti
7. Teploty a vlhkost ze stropního chlazení
8. Měření spotřeby elektrické energie

1.2 Cíle práce

V rámci této práce bude provedena podrobná analýza technologií určených pro použití v chytrých domech a jejich následná demonstrace na reálném příkladu. Analýza se zaměřuje na tato témata:

1. Distribuované řídicí systémy (otevřenost řídicích systémů).
2. Vznešení požadavků uživatelů na podmínky v budově a jejich následná interakce s řídicím systémem.

Pro hlubší porozumění tématu aspektů ovlivňující chování řídicího systému, je nutné se nejdříve seznámit se základy řízení budov. Z tohoto důvodu je nejdříve provedena rešerše v oblastech integrace měřících a regulačních systémů s důrazem na otevřené komunikační protokoly a fyzické vrstvy. Následně je popsána integrace nejčastěji používaných systémů měření a regulace v České republice.

Cílem praktické části je nastínění základních požadavků při rekonstrukci objektu se zaměřením na:

1. Technické zařízení rekonstruované budovy.
2. Integraci řídicího systému s ostatními technologiemi strojovny.
3. Implementování řízení strojovny.

Součástí praktické části je taktéž popis jednotlivých celků technického zařízení budov (TZB) dodaných dílčími subdodavateli na základě požadavků investora. Cílem této práce je kompletně navrhnout řešení pro dílčí okruh Strojovna, který disponuje zařízeními jako jsou zdroje tepla a chladu, vzduchotechnické jednotky a oběhová čerpadla.

v další části se budeme zabývat návrhem integrace mezi systémy TZB a Měření a Regulace (MaR). Následně dojde k implementaci samotného řízení jednotlivých zařízení strojovny a demonstrace získaných výsledků. Na základě těchto výsledků diskutujeme možnou optimalizaci hlavního řídicího programu. Základní tematické členění práce vychází z dokumentu [1], [2], [3] a [4].

1.3 Popis systému

Neustále se rozšiřující domovní automatizace zvyšuje nároky na řídicí systém, umožňující propojení různorodých technických zařízení. Nutnou podmínkou řídicího systému k tomu, aby byl označen jako otevřený, je schopnost modularity funkcí a variabilní počet zapojených zařízení. Dále by měl umožňovat optimalizaci či kompletní restrukturalizace řídicí logiky podle měnících se návyků jeho obyvatel při používání domu.

Jednou z možných technologií jsou jednoúčelové regulátory. Jejich výhodou je jednoduchost použitých zařízení a z toho plynoucí cena. V danou chvíli je tak možné tvrdit, že veškeré uživatelské preference jsou splněny. Úskalím toho přístupu je neschopnost dalších rozšíření či změnu funkce, což v krajním případě může dovést ke kompletně novému návrhu systému.

Při použití jednoúčelových regulátorů se taktéž můžeme setkat s problémem použití regulátorů, jejichž funkce se částečně překrývá, avšak kooperace či vzájemná komunikace je nulová.

Příkladem takového přístupu je účelová propagace prodejce, kdy stavební dělník použije pouze lokálních regulátorů namísto distribuovaného systému. Prodejcem je přesvědčen, že postačujícími prvky zařízeního domu jsou například tepelné čerpadlo (první regulátor), ohřev bazénu (druhý regulátor) a solární ohřev vody (třetí regulátor). Z toho přirozeně vyplývá otázka, který z dílčích regulátorů bude řídit oběhové čerpadlo pro vytápění (ohřevu bazénu, teplé vody apod.)? Jakou prioritu budou mít jednotlivé zdroje tepla či chladu? Při hlubší analýze vyvstává mnoho dalších otázek včetně té finanční, kdy je nutné propočítat, zdali není finančně výhodnější si pořídit jeden volně

programovatelný automat než více jednoúčelových regulátorů.

Na základě výše zmíněných argumentů se zaměříme při výběru daného systému pouze na otevřené a volně programovatelné systémy.

Na základě požadavku na využití již většina výrobců poskytuje před programovanou jednotku.

Proto není nutné implementovat řídicí logiku od začátku, ale jen v případě specifických požadavků lehce upravit základní verzi algoritmu. Tímto přístupem je zaručena jednoduchost, nízká cena vývoje regulátorů při zachované modularitě a otevřenosti.

Popis dílčích systémů je uveden v následujících kapitolách. V druhé kapitole se zabývá popisem komunikačních protokolů, jejich volbou a následný vliv na funkčnost celého systému, kdy špatnou volbou lze zmařit celou investici do daného systému. V druhé kapitole se zaměříme na řídicí systémy a periférie, které představují hlavní řídicí jednotku celé domovní automatizace.

Kapitola 2

Teorie

2.1 Řídicí systémy TZB

2.1.1 Komunikační protokoly

Komunikační protokoly se využívají k definici způsobu, jakým probíhá komunikace realizující konkrétní funkci, a to na všech úrovních, pomocí nichž je řídicí systém schopný komunikovat a posílat data z a do ostatních částí systému. Příkladem mohou být IO převodníky/moduly či řídicí autonomní regulátory. Hierarchie komunikačního protokolu definuje určité vrstvy OSI modelu:

1. Aplikační vrstva - DNS, HTTP nebo NTP
2. Prezentací vrstva - ASCII, XML
3. Relační vrstva - Full/half duplex, RPC
4. Transportní vrstva - TCP, UDP
5. Síťová vrstva - IP, datagramy
6. Prezentací vrstva - MAC adresa
7. Fyzická vrstva - kabelový konektor RJ-45

V současné době již výrobci opouští vlastní řešení veškerých vrstev a spíše se přiklání k využívání již osvědčených protokolů. Výsledkem toho je usnadnění integrace či výměny komponent za nové, kdy nové přístroje používající standardní protokol mohou začít pracovat téměř okamžitě. V neposlední řadě je i ušetření finančních prostředků vynaložených na vývoj protokolu

výrazným benefitem. Příkladem aplikačně závislých protokolů jsou Modbus pro *IO* či Meter-Bus (nadále M-Bus) pro měření využití měření energií. Díky všeobecnému vývoji technologií však dochází i k definici nových protokolů a přístupů, kdy příkladem jsou například 1-Wire nebo ZigBee.

Dříve většina firem zaváděla speciální protokoly i z důvodu závislosti zákazníka na jejich produktech díky nekompatibilitě s výrobky ostatních. Díky velké konkurenci však toto již dále není možné. Dalším pozitivem nárůstu konkurence je i zkvalitnění dokumentace popisující vývoj nových protokolů, či umožnění připojení nového hardware pomocí standardních rozhraní (např. TCP, UDP, RS232).

■ 2.1.2 Fyzické vrstvy

Řídicí systém má architekturu propojující řadu komunikačních protokolů s jednotlivými vrstvami zahrnující úroveň systému od vnitřní sběrnice procesoru po externí připojení modulů.

Fyzické vrstvy se týkají standardů, které definují elektrické, mechanické, funkční a procedurální vlastnosti rozhraní pro připojení různých přenosových prostředků a zařízení (tj. kabelů, modemů apod.). Ty popisují elektrické parametry přenášených signálů, jejich význam a časový průběh, vzájemné návaznosti řídicích a stavových signálů, zapojení konektorů, a mnoho dalších parametrů technického i procedurálního charakteru. Úkolem entit fyzické vrstvy je pak na základě těchto standardů obsluhovat přenosové prostředky, připojené k příslušným rozhráním, a jejich prostřednictvím zajišťovat přenosy jednotlivých bitů. V dalších odstavcích se budeme zabývat pouze externím komunikacím. [5]

■ 2.1.3 Fyzické sběrnice

V minulosti nejvíce rozšířenou fyzickou vrstvou byly RS-232 a RS-485. Využívali se díky nízké ceně v případech, kdy jejich přenosová kapacita postačila k danému účelu. Díky zvyšujícím se nárokům však přestávají stačit. Díky univerzálnosti této vrstvy je často používána mnoha aplikačními vrstvami nejen v TZB (např. Modbus, Profibus, LONWorks).

Velmi využívaná sběrnice, specializující se na měření energií, se nazývá M-Bus. Mimo fyzické vrstvy také definuje i aplikační vrstvu. Dalším příkladem specializovaného komunikačního protokolu je DALI (Digital addressable Lighting Interface), který se pouze využívá v oblasti osvětlení.

V posledních letech začali do sféry automatizace vstupovat technologie z IT oblasti, kde do řídicích automatů začali postupně přidávat rozhraní Ethernet

a IP stack pro využití TCP a UDP protokolů. Pomocí těchto technologií se zjednodušuje integrace s vyššími vrstvami řízení. Typickým příkladem je vizualizace. Dalším z benefitů využívání těchto technologií je i možnost programování daného systému přes Ethernet. V dnešní době již není snadné najít počítač, který disponuje sériovým portem. Jejich nedostupnost lze kompenzovat USB převodníkem, ale ne vždy funguje. Díky tomu, musejí některé firmy vlastnit starší počítače pro servis starších instalací řídicích systémů. KNX a LON jsou protokoly, kteří definují speciální fyzické vrstvy. Oba protokoly definují několik různých fyzických vrstev (i Ethernet). Tyto technologie se dostávají už do podvědomí českého trhu, ale stále nejsou tak rozšířené z důvodů velké finanční náročnosti jak na údržbu, tak i na pořizovací cenu těchto technologií.

2.1.4 Otevřenost komunikačních protokolů

V automatizaci budov existuje mnoho pohledů na kategorizaci protokolů. Důležitým kritériem pro jejich integrace v budovách jejich dostupnost a proveditelnost, kdy podmínkou je přístup k veškerým základním vrstvám. Dalším kritériem je definice informací, která jsou ve formě dat nutná odeslat. Toto je velmi zrádná situace ohledně kompatibility, ucelenosti a správnosti implementace.

Prvním extrémem je proprietární protokol bez jakéhokoliv existujícího popisu či pokud popis existuje, musí se zakoupit nebo spolupracovat s výrobcem. Nevýhodou tohoto řešení je, že daný výrobce nemusí vůbec spolupracovat a pak je nutné přistoupit k tzv. zpětnému inženýrství. Z tohoto důvodu se od tohoto řešení ustupuje. Možným příkladem je komunikační protokol od firmy Honeywell, C-Bus. [6]

V lepším příkladě proprietární protokol má dokumentaci nebo dokonce obsahuje knihovny pro integraci do jiných systémů. Za pomoci tohoto řešení lze optimalizovat využití přenosové kapacity pro komplexní data jako vzdálené ladění programu v PLC (Programmable Logic Controller). Příkladem je protokol SSCP firmy Domat nebo univerzální prostředí CoDeSys, který využívá vzdálenou správu a inženýrství PLC. PLC zvládá přenos dat za pomoci jednodušších protokolů, kupříkladu Modbus TCP/RTU.

Dalším krokem pro zjednodušení integrace jsou protokoly určující i formu aplikačního rámce. Z důvodu jednoduchosti a obecnosti nejsou tyto protokoly vhodné pro použití v komplexnějších úlohách. Častým problémem je kódování dat, kde výrobce nedodrží posloupnost bajtů daného protokolu nebo kódování floating-point čísel.

Na druhé straně jsou protokoly, které jsou spravovány konsorcií (např. BAC-Net), snažící se do standardu vložit téměř vše včetně velmi specifických a komplexních typů jednotlivých členů konsorcia. Vzniklý protokol pak díky jeho mohutnosti není téměř nikdo schopen implementovat v celém rozsahu.

Naštěstí pro rozumnou integraci poslouží i malá část celkového protokolu. Přetrvávající nevýhodou je pracnost implementace. Do sféry automatizace budov se dostávají i nejmodernější technologie, kde lze využít schopnosti systémů vzájemně si poskytovat služby a efektivně spolupracovat. Typickým příkladem je služba Web Services (SOAP) nebo připojení k databázím SQL a NoSQL. Nynější PLC oproti starým disponují takovým výkonem, že je můžeme přirovnat k domácím počítačům. Do této kategorie můžeme zařadit i protokol OPC (Open Process Control), který je velmi oblíbený ve vyšších vrstvách řídicího systému pro vizualizaci. Původně byla tato technologie, založenou na technologii COM (Component Object Model), využívána jen v systémech Windows. Od verze 3 pak organizace OPC Foundation, která zastřešuje přes 150 firem po celém světě provedla úpravy vedoucí k nezávislosti na použité platformě.

	ModBus	BACnet	LonWorks
Charakteristika	Modbus je síťový protokol, který se nejlépe používá pro průmyslové automatizační systémy speciálně pro připojení elektronických zařízení. Přestože Modbus je nevhodnější pro průmyslové aplikace, jeho jednoduchost umožňuje být užitečným nástrojem pro automatizaci budov.	Standardní komunikační protokol vyvinutou společností ASHRAE. síťový protokol specificky používaný pro více zařízení pro komunikaci napříč systémy automatizace budov uživateli systému a výrobcí systémů budov	LonWorks je komunikační síťový protokol vhodný pro aplikace pro automatizaci budov, konstruované na nízké šířce pásma, pro síťová zařízení pomocí elektrických vedení, optických vláken a dalších médií.
Využití	HVAC, osvětlení, bezpečnost života, přístupové kontroly, doprava a údržba	Průmysl, Doprava, Energetický management, Automatizace budov, Regulace a ochrana zdraví a bezpečnosti	Domovní automatizace, průmyslové, dopravní a řídicí sítě.
Standarty	IEC 61158	ANSI/ASHRAE Standard 185 ;ISO-16484-5; ISO-16484-6	ANSI/EIA 709.1; ISO/IEC 14908-1, 14908-2, 14908-3, 14908-4
Fyzická vrstva	Ethernet (TCP), RS-485, RS-232	Možnost využití řadu vrstev (RS-232, RS-485, ARCNET, Ethernet (UDP))	LonTolks (IEC14908.1) různá fyzická media, bezdrátový přenos
Výhody	Snadné připojení k Modicon, Vhodné pro malé / střední objemy dat (≤255 bajtů), Přenos dat určený pro průmyslové aplikace, Openly publikoval a bez licenčních poplatků, Snadná instalace a údržba, Přesouvá surové bity nebo slova bez omezení prodejců	Škálovatelnost mezi náklady, výkonem a velikostí systému. Osvědčení a přijetí téměř všemi významnými prodejci v Severní Americe a mnoha dalších zemích. Robustní síťová síť včetně více typů sítí LAN a vytáčeného připojení. Neomezený růst a možnost přidávat nové inovace a nové funkce kdykoli	Webový nástroj; šetří čas a náklady, četné vývojáře produktů Lonworks na trhu, méně architektury na úrovni zařízení
nevýhody	Omezení počtu datových typů – velké binární objekty nejsou podporovány. Žádná standardní metoda uzlu k nalezení popisu datového objektu, tj. Nalezení hodnoty registru, který představuje teplotu mezi 30° a 175°. Žádné zabezpečení proti neoprávněným příkazům nebo zachycování dat	Omezení počtu zařízení, která se mohou připojit k hlavní stanici, s výjimkou protokolu Ethernet TCP / IP bezpečnostní standard, ale ve všech zařízeních není implementován	Rozšíření je povoleno pouze prostřednictvím konsorcia LonMark.

Tabulka 2.1: Shrnutí jednotlivých komunikačních protokolů, které se používají nejčastěji v ČR

	KNX	M-Bus	DALI
Charakteristika	<p>KNX je protokol s plnou decentralizací a s pěti typy přenosového média, který pokrývá několik standardů.</p> <p>V současné době jde o nejdůležitější a nejoblíbenější systém v oboru řízení budov v Evropě. Na rozdíl od jiných otevřených standardů zde existuje centrální nástroj ke konfiguraci systému (ETS). KNX lze použít pro řízení budov všech velikostí od rodinných domů po komplexy kancelářských budov a zajišťuje pokrytí základních požadavků na jejich řízení (včetně řízení a správy zdrojů a energií). Pro malé budovy je nevýhodou vysoká cena komponent.</p>	<p>M-Bus je velmi často používanou sběrnici v aplikacích dálkového měření a sběru dat. Rozhraním M-Bus jsou v současné době již standardně vybavovány měřiče odebraného tepla, vodoměry a jiná měřidla odebraného média či energie. Rozšíření sběrnice M-Bus napomohla její snadná instalace – postačí dva vodiče, po kterých je přístroj většinou i napájen.</p>	<p>Zkratka DALI znamená Digital Addressable Lighting Interface. Je to otevřený protokol (pro více výrobců). Protokol byl vyvinut v polovině devadesátých let elektrotechnickou komisí (IEC – International Electrotechnical Commission) DALI je mezinárodní norma zaručující kompatibilitu se stmívatelnými předřadníky různých výrobců. Tento standart slučuje všechny předřadníky, transformátory, relé moduly nouzové výbavy do jednoho řídicího systému. Tyto prvky vzájemně digitálně komunikují po vlastní sběrnici.</p>
Využití	Řízení domu a budovy, osvětlení, rolety, HVAC	Měření energií	Osvětlení
Standarty	IEC 14543-3	EN 13757-3 a EN 13757-4	IEC 60929
Fyzická vrstva	KNX, EIB / Instabus, ethernet / EIBnet / IP	M-Bus, M-Bus wireless	DALI, Wireless DALI
Výhody	Zvýšení bezpečnosti, hospodárnost využití energie při provozu, snadné přizpůsobení elektroinstalace měnícím se potřebám uživatele	Využití mnoha výrobci, formát je definován a umožňuje jednoduchou integraci. Až 250 zařízení připojeno v rozsahu do 1km	Jednoduchá instalace, nízké náklady
nevýhody	Komplikovaný protokol, některé podporující zařízení KNX bývají dražší než některý jiný	Komunikace je pomalá, nevhodná pro měření průtoku	Komplikovaný protokol zaměřený na jednu oblast

Tabulka 2.1: Shrnutí jednotlivých komunikačních protokolů, které se využívají v ČR

	EnOcean
Charakteristika	Od roku 2012 standardní protokol pro bezdrátovou výměnu dat. Nevyžaduje externí zdroj energie u sensorů. Jednotlivé elementy sensorů jsou vybaveny externími zdroji (sluneční energie, rozdíl teplot, mechanická energie apod.) pro fungování daného sensoru.
Využití	Automatizace budov, Sběrné uzly bezdrátových senzorů pro průmyslové aplikace.
Standarty	ISO/IEC 14543-3-10
Fyzická vrstva	IEC 14543-3-10
Výhody	Nemusí mít externí napájení, nenáročný na elektrickou energii
nevýhody	Závislé na výdrži baterie

Tabulka 2.1: Shrnutí jednotlivých komunikačních protokolů, které se využívají v ČR

■ 2.1.5 Obecný popis komunikačního protokolu Modbus

Komunikační protokol Modbus bude popsán obecně z důvodů, že tento protokol budeme využívat pro integrace různých technologií TZB. Modbus je otevřený komunikační protokol, který jsem shrnul v tabulce 2.1. Modbus standard definuje kromě aplikační vrstvy ISO/OSI modelu i některé implementace protokolu na konkrétní typ sítě nebo sběrnice, které mohou být například Modbus/TCP nebo Modbus serial line. [7]

■ Princip protokolu Modbus serial line

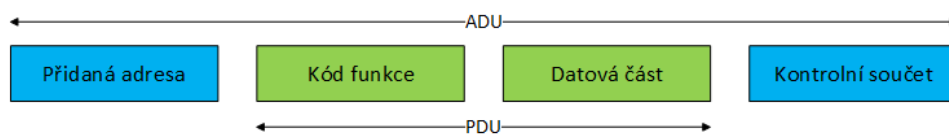
Modbus funguje na typu master-slave, který je definován linkovou vrstvou ISO/OSI modelu, další část tohoto modelu funguje na úrovni fyzické vrstvy, který určuje jakou seriovou linku využije, jako například linka RS-232 nebo RS-485 a jejich modifikace. Jak vyplývá z předešlého popisu, jedná se o protokol master/slave a na celé lince může být pouze jeden master a 1 až 256 slave jednotek. Slave jednotka nemůže bez příslušného požadavku mastera sama o sobě vyslat data. Master jednotka může vysílat požadavky dvěma způsoby [7]:

1. Broadcast - master vysílá požadavek všem jednotkám, ale nedostává odpověď
2. Unicast - master vysílá požadavek určité jednotce a dostane odpověď

■ Hlavní adresovací pravidla

Adresní prostor má až 256 jednotek. Hlavní master nevlastní žádnou specifickou adresu, ale slave jednotka musí mít svoji unikátní adresu.

Na 2.1 je znázorněn základní formát Modbus zprávy na sériové lince. Zpráva kromě standardního PDU (Protocol Data Unit) obsahuje také adresu jednotky. Toto pole obsahuje adresu slave jednotky. Pole kontrolní součet slouží k detekci chyb a obsahuje CRC nebo LRC kód v závislosti na vysílacím režimu. [7]



Obrázek 2.1: Obecný tvar Modbus zprávy, převzato z [7]

■ Vysílací pravidla pro Modbus

Pro Modbus protokol jsou definovány dva sériové vysílací režimy, Modbus RTU a Modbus ASCII. Režim určuje, v jakém formátu jsou data vysílána, jak dekódována. Každá jednotka musí podporovat režim RTU, režim ASCII je nepovinný. Všechny jednotky na jedné sběrnici musejí pracovat ve stejném vysílacím režimu. [7]

■ Datový model

Datový model je vytvořený na sadě tabulek určitým významem. Jsou definovány čtyři základní tabulky:

Objekty	Typ objektu	Přístup	Popis	Adresa
Cívky (Coils)	1 bit	Čtení/zápis	Aplikační program	0xxxx
Diskrétní vstupy (Discrete Inputs)	1 bit	Pouze čtení	I/O systém	1xxxx
Uchovávací registry (Holding Registers)	16 bitové slovo	Čtení/zápis	Aplikační program	4xxxx
Vstupní registry (Input Registers)	16 bitové slovo	Pouze čtení	I/O systém	3xxxx

Tabulka 2.2: Datový model Modbus protokolu [7]

■ Modbus RTU

V režimu RTU obsahuje každý 8-bitový byte zprávy dva 4-bitové hexadecimální znaky. Vysílání zprávy musí být souvislé, mezery mezi znaky nesmějí být delší než 1.5 znaku. Začátek a konec zprávy je identifikován podle pomlky na sběrnici delší než 3.5 znaku. [7]

Začátek	Adresa	Funkce	Data	CRC	Konec
>3.5 znaku	8 bitů	8 bitů	N * 8 bitů	16 bitů	>3.5 znaku

Tabulka 2.3: Rámec pro zprávu Modbus RTU, převzato z [7]

■ Modbus ASCII

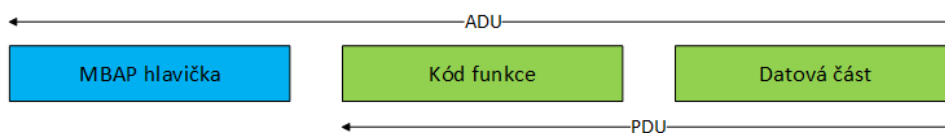
V režimu ASCII je každý 8-bitový byte poslán jako dvojice ASCII znaků. Oproti režimu RTU je tedy pomalejší, ale umožňuje vysílat znaky s mezerami až 1 s. Začátek a konec zprávy je totiž určen odlišně od RTU módu. Začátek zprávy je indikován znakem „:“ a konec zprávy dvojicí řídicích znaků CR, LF. [7]

Začátek	Adresa	Funkce	Data	CRC	Konec
Znak ":"	2 znaky	2 znaky	0 až 2*252 znaků	2 znaky	2 znaky CR, LF

Tabulka 2.4: Rámec pro zprávu Modbus ASCII, převzato z [7]

■ Modbus/TCP

Na obrázku 2.2 je znázorněn formát MODBUS zprávy na TCP/IP. Pro identifikaci MODBUS ADU je použita MBAP hlavička (MODBUS Application Protocol Header).



Obrázek 2.2: Obecný tvar pro Modbus/TCP, převzato z [7]

Modbus/TCP má speciálně vyhrazený TCP port 502 pro vysílání Modbus/TCP ADU. [7]

2.1.6 Popis řídicích systémů

Díky neustále se zvyšující komplikovanosti technického zařízení budov je i u menších budov nutné umožnit uživateli ovlivnit chod zařízení a vzájemnou koordinaci jednotlivých systémů. Praktickým příkladem může být souběžný chod vytápění a chlazení, kdy i běžný uživatel pozná že něco není v pořádku. Obě tato zařízení pracují správně na základě své konfigurace, avšak majiteli způsobí škodu v podobě nadměrné spotřeby. V praxi tato situace však nastává velmi běžně a dosti často zůstává bez povšimnutí.

Se vzrůstající složitostí technologií však naštěstí dochází i ke zlepšování dostupnosti zařízení, které jsou schopné integrovat a koordinovat další systémy. Tato zařízení nazýváme řídicí systémy. Řídicí systémy můžeme rozdělit na dvě skupiny na základě principu jejich operace na digitální a analogové. Analogové systémy se v dnešní době již používají velmi zřídka pro specializované aplikace. Proto se v následujícím textu budeme zabývat již pouze digitálními programovatelnými systémy.

Řídicí systém je hlavní jednotkou instalace, který koordinuje činnost dalších částí systému. Příkladem těchto částí může být snímání signálů ze senzorů (teploměry, indikátor otevření okna, detekce CO₂) za pomoci akčních členů (klapka, pohon, ventilátor) ovlivňujících chod systému. Jestliže je systém součástí dalšího autonomního systému, mluvíme o distribuovaném řídicím systému. Příkladem je autonomní vzduchotechnika, která disponuje vlastní regulací kde řídicí systém nastaví požadovanou teplotu a dále se nezabývá, jak ji daná jednotka dosáhne. Z mnoha dalších příkladů můžeme uvést termohlavice u topných soustav, kde dochází ke sběru dat z pokoje a pokud uživatel otevře okno systém dokáže zareagovat na změnu a vypne topení nebo chlazení.

Základem systému je procesorový modul, zajišťující výkon logického programu. Skrze různé typy IO sběrnic je řídicí systém propojen se senzory a akčními členy, kdy za pomoci AD a DA převodníků transformují IO moduly fyzikální veličiny na definované numerické vyjádření pro odpovídající program. Příklad může být měření teploty, kde řídicí systém měří změnu odporu daného materiálu, který se mění s rostoucí teplotou.

2.1.7 Výrobci řídicích systémů

Mnoho výrobců programovatelných logických automatů nabízí v současnosti cenově dostupné konfigurace pro řízení technického zařízení budov. V současnosti se trh TZB stal lukrativním trhem i pro výrobce, kteří se dříve zabývali čistě průmyslovými aplikacemi, jež jsou pro TZB cenově nedostupné. Příkladem jsou to firmy SAIA nebo Siemens.

Ve světě velkých firem dochází k pohlcování menších firem z důvodu snadného získání technologií určených pro odlišnou část trhu. Nejlepším příkladem je postupně sloučení značek Landys&Gyr, Landys&Staefa a Staefa, která zastřešila v oboru řídicích systémů firma Siemens. V současné době dochází k nahrazení výkonnějších automatů v oblasti TZB s původně jednoduššími automaty, které díky technologickému pokroku rozšiřují své možnosti.

Specifikum českého trhu je vznik řady nových výrobců díky změny režimu po roce 1989, kteří se snaží být konkurenceschopní vůči zahraničním výrobcům. Z počátku byli tito výrobci velmi úspěšní díky flexibilním reakcím na specifické požadavky našeho trhu a celkově nižší ceně. S růstem české ekonomiky tyto přednosti pomalu zanikají, nicméně jsou tu tací výrobci, kteří mají na českém trhu silné postavení. Příkladem jsou firmy jako Amit, Teco nebo firma Domat, která se snaží i expandovat do zahraničí.

Jednotliví výrobci používají různé strategie pro pokrytí trhu. Velké firmy se pokouší zajistit kompletní pokrytí portfolia a dodávat co největší část řídicího systému a periferií (např. Siemens, WAGO, Loxonne, Weidmüller). Menší firmy jsou nuceny se specializovat na určitý sektor (např. DOMAT, Amit, UniPi).

Z dostupných řídicích systémů, které jsou dostupné na trhu na českém trhu můžu uvést bodově:

1. Siemens Logo¹
2. UniPi²
3. Domat³
4. WAGO⁴
5. Loxone⁵
6. Teco⁶

¹<https://new.siemens.com/cz/cs/products/automation/systems/industrial/plc/logo.html>

²<https://www.unipi.technology/cs/produkty?category=13>

³<https://domat-int.com/produkty/katalog-produktu>

⁴<https://www.wago.com/cz/automatizacni-technika/poznejte-plc>

⁵<https://www.loxone.com/cscz/produkty/prehled/>

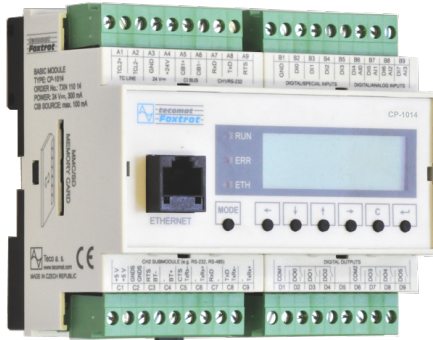
⁶<https://www.tecomat.cz/products/cat/cz/plc-tecomat-foxtrot-3/>



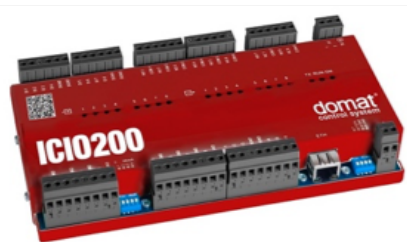
(a) : Axon od firmy UniPi



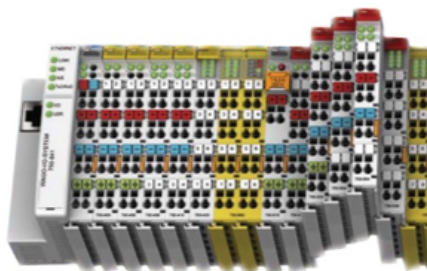
(b) : Logo od firmy Siemens



(c) : Foxtrot od firmy Teco



(d) : ICIO od firmy Domat



(e) : 750-8102 od firmy Wago



(f) : Miniserver od firmy Loxone

Obrázek 2.3: Vybrané produkty od různých výrobců PLC

■ PLC od firmy WAGO

Výrobce PLC značky WAGO byl vybrán z důvodů předchozích zkušeností s jeho produkty, které jsou popsány v mé práci pro řízení určitých technologií budovy. PLC od firmy WAGO s označením série 750-8102 (PFC100) je hojně používanou platformou ve firmě Energocentrum PLUS s.r.o.. Tento regulátor disponuje výkonným procesorem Cortex A8 o výkonu 600MHz a běží na operačním systému Linux verzi 3.18.

Regulátor se využívá jak ve zpracovatelském průmyslu, tak při automatizace budov (HVAC). Další aplikaci PFC100 můžeme najít ve standardním řízení strojů a zařízení kterými jsou například systémy pro balení, stáčení a výrobu, jakož i stroje na zpracování textilu, kovů či dřeva.

PFC100 je kompaktní PLC, které využívá modulární systém WAGO - I/O, ke kterému lze připojit až 64 modulů. Při rozšíření sběrnice lze pak tento počet navýšit až na 250 modulů.

Rozhraní vybraného PLC obsahuje 2 ethernetové konektory a jeden komunikační kanál RS-232/RS-485. Regulátor podporuje všechny digitální, analogové a speciální I/O moduly řady 750/753, které musí být zakončené ukončovací kartou.

■ 2.2 Periferie řídicích systémů

Periferie řídicích systémů je čidlo přinášející informace z do kontrolního systému, na jejichž základě je následně vygenerován kontrolní výstup. Čidla a senzory rozdělujeme podle podstaty informace na digitální a analogové. Speciální skupinou jsou pak senzory, které díky integrovaným převodníkům převádí měřenou veličinu na elektrickou.

Příkladem digitálního sensor je například detekce chodu motoru, apod. V tomto případě je informace uložená v určitém množství bitů a přímo zpracovávána řídicím systémem. Opačným případem je analogový sensor, který nejprve převádí měřenou fyzikální veličinu na elektrickou pomocí analogově digitálního převodníku a až posléze je použita jako vstup do systému. Příkladem analogových veličin jsou chemických či fyzikální (měření vlhkosti, kvality vzduchu, CO_2), jejichž hodnota je převedena na sjednocený signál 0–10 V. Dalším příkladem je měření teploty, které na bázi tepelné závislosti odporů různých kovů (měď, nikl, platina) mění své napětí. Vstupní hodnotou do řídicího systému je pak přímo úměrný odpor.

Poslední kategorii tvoří senzory se zabudovaným převodníkem pro komunikační protokol. Tyto senzory jsou primárně využívány pro větší distribuované systémy. Výhodou těchto systémů je redukce počtu kabelů pro propojení všech čidel, kdy jednotlivé senzory mohou být propojeny pouze jednou komu-

nikáční sběrnici (např. HART, KNX a další). Nevýhodou oproti analogovým signálům je závislost na komunikační vrstvě systému. Příkladem takovýchto zařízení jsou meteostanice či vlhkoměry.



(a) : Čidlo teploty

(b) : Čidlo tlaku

Obrázek 2.4: Ukázka dvou měřicích senzorů využívaných v průmyslu či v TZB

■ 2.2.1 Senzor kvality vzduchu a CO₂

Měření kvality vzduchu slouží k řízení výkonu ventilace používané pro výměnu znečištěného vzduchu. Pro pasivní domy nebo rozsáhlé konferenční sály je tento typ měření nepostradatelnou součástí. V určitých místnostech, jako jsou garáže nebo kuchyně se mohou vyskytnout nebezpečné látky CO či CO_2 , které jsou při detekci z daného místa odvedeny. Díky tomu lze předejít otravě či jiným závažným situacím.



Obrázek 2.5: Čidla pro měření kvality vzduchu

■ 2.2.2 Okenní kontakt

Okenní kontakty v současné době nejsou nedílnou součástí pouze zabezpečovací techniky, ale jejich hojně využití najdeme i v případě inteligentních domů. Informace o tom, zdali je okno otevřené či zavřené lze použít při ovládání příslušné otopné soustavy, jež na základě této informace minimalizuje tepelné ztráty.

■ 2.2.3 Měřidla energií

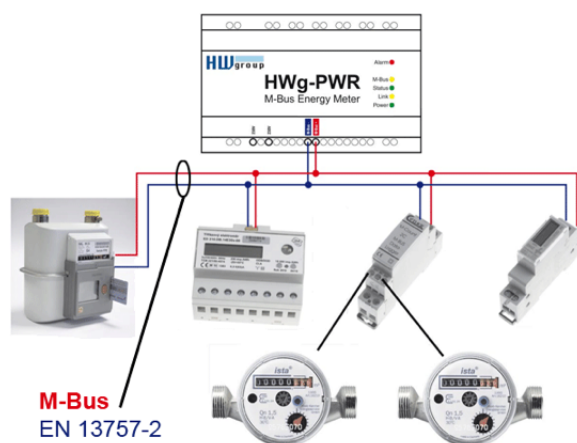
Algoritmy řízení používané pro řízení budov používají pro svou optimalizaci sběr dat o spotřebovaných energiích, který jsou následně použita pro optimalizaci využití systému. Měření energií se rozděluje do dvou skupin dle charakteru

1. S elektromechanickým výstupem
2. S komunikační sběrnici (např. M-Bus, ModBus apod.)

Příkladem elektromechanického výstupu je impulsní plynoměr. Vstupem do řídicího systému je digitální signál se specifikovaným impulsem, kde celkový počet impulsů je přímo úměrný množství spotřebovaného plynu, dle daného převodního koeficientu.

Dané řešení má výhodu přesnosti přenášené veličiny a zároveň nízké ceny měřidla. Nedostatkem řešení je ztráta dat, při výpadku řídicího systému.

Druhou skupinou měřících zařízení pro sběr dat o spotřebě energií jsou zařízení připojená do řídicího systému za pomoci komunikační sběrnice. Díky jednoduchosti tohoto zapojení (např. využití M-Bus protokolu) lze do jedné linky zapojit až 250 přístrojů do vzdálenosti 1000 m. Výhodou je zachování dat v měřícím zařízení při výpadku řídicího systému. Nevýhodou pak dražší pořizovací cena oproti měřidlu s elektromechanickým výstupem. Využívaná měřidla se sběrnici jsou např. kalorimetr, elektroměr, průtokoměr a vodoměr.



Obrázek 2.6: Schématické zapojení jednotlivých měřících čidel (kalorimetr, vodoměr a plynoměr) po komunikační lince M-Bus

■ 2.2.4 Meteostanice

Nedílnou součástí pro moderní řízení je sledování počasí pomocí meteostanice. Při kooperaci řídicího systému s meteostanicí můžeme dosáhnout efektivního využívání energií. Případem využití meteostanice řídicím systémem je sběr dat o intenzitě světla dopadající na jednotlivé strany budovy, které se používá pro řízení vytápění nebo chlazení. Využití meteostanice je důležité pro pasivní domy a automatické stínící prvky.

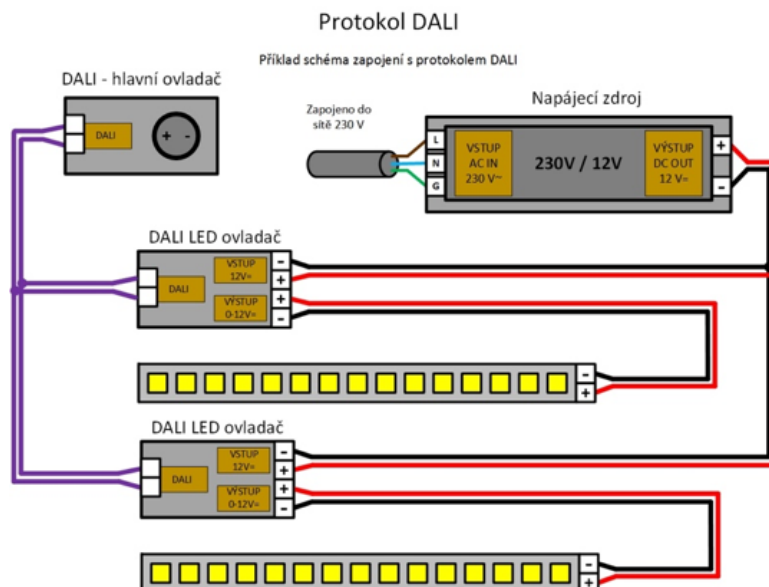


Obrázek 2.7: Meteostanice s měřením proudu vzduchu, tlaku, teploty a dalších veličin

2.2.5 Osvětlení

V posledních letech jsou v chytrých budovách zabudované i systémy specializované na řízení osvětlení, které zabraňují zbytečné spotřebě energie. Pro řízení osvětlení se obvykle používá systém DALI, který má možnost s dalšími prvky komunikovat po sběrnici KNX, které pro automatické řízení světel využívají data ze snímačů pohybu, přítomnosti a jasu. Typické příklady realizace jsou následující:

1. Spínání osvětlení ze snímače pohybu nebo přítomnosti
2. Nastavení uživatele dle režimu
3. Dle daného osvětlení nastavení venkovních žaluzií



Obrázek 2.8: Názorné schematické zapojení protokolu DALI s příslušným LED osvětlením

2.2.6 Řízení autonomních regulátorů pro místnosti

Regulace jednotlivých místností IRC (Individual Room Control) zajišťuje optimální teplotní podmínky a komfort prostředí jednotlivých místností objektu. Zahrnuje možnost volby časového programu, zjištění přítomnosti osob, čtení stavu okenních kontaktů (pro blokáci vytápění při otevření oken),

ovládání světel, žaluzií a dalších zařízení.

Nastavení požadovaných parametrů je jednoduché. Provádí se buď lokálně pokojovým ovladačem, nebo centrálně na počítači dispečinku. Lze tak řídit centrálně všechny prostory. Řízení vytápění/chlazení individuálně na základě aktuálních podmínek v místnosti (např. pouze v době užívání místnosti) přináší oproti ostatním systémům regulace snížení energetické náročnosti systému. Nastavení lze provádět také dálkově přes internet nebo pomocí mobilních zařízení.

2.3 Přehled programovacích jazyků pro PLC

Nedílnou součástí problematiky průmyslových logických automatů (dále jen PLC) je i jejich programování. Jazyky, které jsou často spojovány s nízkou úrovnovým programováním hardwaru, jako Basic, C/C++ nebo Pascal se v případě vytváření řídicích algoritmů pro PLC nedají použít. Totéž pak platí i pro jazyky objektově orientované, logické či funkcionální. Všechny tyto jazyky vyžadují určitou zkušenost a schopnost vytvářet složitější struktury. Tuto schopnost programátorů PLC však nelze vždy předpokládat, jelikož pro tuto práci není nutné vyučení v IT oboru, popřípadě výše zmíněné zkušenosti.

Převážná většina programátorů PLC je tvořena odbornými pracovníky technologií, kterým je potřeba nabídnout nástroj, které by jim byl blízký jejich stylu uvažování, byl pro ně intuitivní a který je schopný pomocí pár příkazů popsat danou situaci. V případě této práce se bavíme o řízené technologii.

Většina z výrobců PLC se snaží propagovat svůj vlastní systém. Převážně se pak jedná o grafické jazyky, kde je algoritmus možno modelovat pomocí grafu. Jednotlivé uzly představují předdefinovanou operaci nebo výpočet. Hrany grafu pak představují vazby mezi jednotlivými operacemi. Výhodou této formy řešení je celková přehlednost řešení a lepší čitelnost oproti zdrojovému kódu. Takto vytvořený kód je následně zkompileován a vykonáván běhovým prostředím PLC.

Postupem času si mnozí výrobci PLC vytvářeli vlastní programovací prostředí, která se inspirovala různými aspekty řízených technologií. V průmyslu byl oblíbený přístup žebříčkový diagram (tzv. Ladder Diagram), který měl za úkol stejné funkce jako zapojení reléových součástí a jednoduchých řešení. Namísto skutečného hardware byla funkcionalita popsána softwarově a její grafická forma byla snadno pochopitelná pro všechny, kteří byli na reléovou logiku navyklí.

Dalším používaným jazykem v průmyslu je makroassembler (Instruction List). V tomto případě uživatelé měli k dispozici omezenou sadu jednoduchých příkazů, které sestávali zejména z aritmetických nebo logických operací.

Výše popsané jazyky jsou využity pro programování řízení průmyslových technologií v případech, kdy se jedná o nepřiliš komplikovaný kód. V případech, kdy složitost algoritmů roste začíná být definice jednotlivých stavů

Výrobce	Protokol
Domat	Modbus ZigBee EnOcean Modbus DALI a řada dalších
Amit	DB-NET (profibus) Modbus
WAGO	ModBus M-Bus DALI Profibus CAN OpenLON BACNet KNX A mnoho dalších
UniPi	Modbus EnOcean M-Bus DB-Net
Loxone	KNX/EIB Loxone Air (proprietární bezdrátová komunikace)
Siemens Logo	KNX
Sauter	Vlastní protokol Modbus M-Bus BACNet

Tabulka 2.5: Podporované komunikační protokoly jednotlivými výrobci PLC

2.3.1 Norma IEC 61131-3

Ve výše napsané kapitole Programovací jazyky, popsané jazyky zachycuje norma IEC 61131-3. První vydání je datováno v prosinci roku 1993. Na této normě se podílelo 7 různých mezinárodních institucí, který zapsaly do normy svojí víceletou praxi z oboru automatizace a již v dnešní době existuje další verze, která je platná od března roku 2016. V novější verzi normy zavádí další konstrukty, které se inspirovali u objektového programovacího jazyka. Referencí pro programovací nástroje lze brát od firmy 3S-Smart Software Solution a jeho univerzální vývojový systém CoDeSys (Controlled Development System), který vznikl pro aplikační programy řídicích systému PLC podle

standardu IEC 61131-3 a bez ohledu na použitý hardware.

Každý jazyk dokáže řešit určité operace lépe než ten druhý a norma sdružuje hned několik způsobů programovacího jazyka. Síla tohoto způsobu je kombinovat jazyky dohromady. Možný je definovat v jednom jazyce proměnné a v druhém je využít. Je doporučeno v jazyce ST definovat funkční blok v jazyce FBD. Tak lze i obráceně v jazyce FBD definovat v jazyce ST. Norma definuje tyto prvky [9]:

1. Textové jazyky
 - a. IL
 - b. ST
2. Grafické jazyky
 - a. LD
 - b. FBD
 - c. SFC
3. Základní datové typy
 - a. Bitové stringy
 - b. Celočíselné typy
 - c. Reálná čísla
 - d. Datum, čas, trvání
 - e. Stringy
 - f. Výčtový typ
 - g. Interval
 - h. Generické typy
4. Komplexní datové typy
 - a. Pole
 - b. Struktury
 - c. Funkční bloky
 - d. Třídy
 - e. Interface
5. Proměnné
6. Organizační jednotky programu (POU)
 - a. Funkce
 - b. Funkční blok
 - c. Program

■ Jazyk IL – Instruction List

Tento jazyk je už zastaralý a označován jako překonán a v následující verzi normy nebude zařazen. Program je sestavován sekvencí jednoduchých příkazů, volání funkčních bloků a funkcí. Operace si vezme vždy hodnoty, které lze aktuálně nastavit (můžeme uvést instrukci LD nebo aritmetické operace) a uložit do proměnné (instrukcí ST). Instrukce, které operují nad dané proměnné jsou logické (AND, NAND atd.), aritmetické (ADD, MUL atd.), porovnání (GT, LT atd.) a skoky (JMP, SRET atd.). Zásadní pro řízení běhu programu umožňující definovat návěští a provádět odskok od něj. Tak lze vytvářet cykly [9]:

```
LD A
ADD 5
ST C10.PV
LD \%IX10
ST C10.CU
CAL C10
LD C10.LV
```

■ Jazyk ST – Structured text

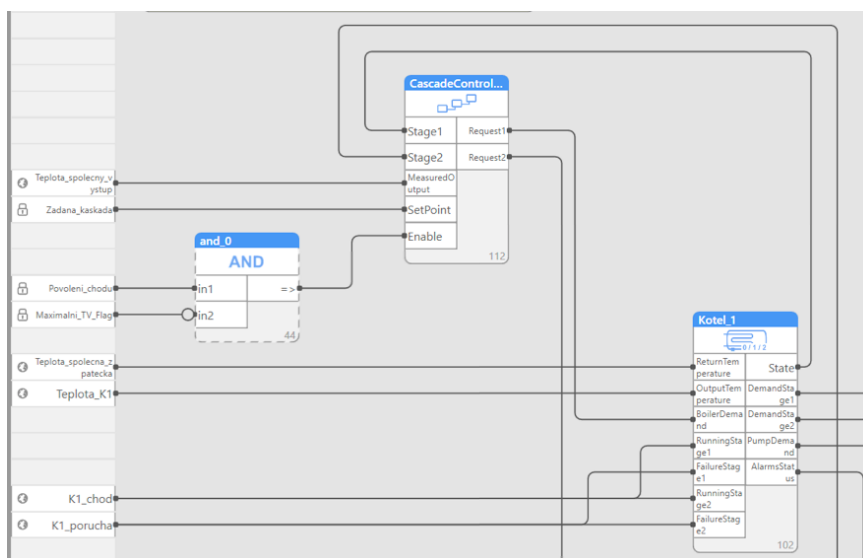
Druhým textovým jazykem je ST, který je modernějším jazykem. Obsahuje skoro všechny konstrukty z novodobých programovacích jazyků a je typový. Hlavní funkcí je omezení ve využívání nebezpečných konstruktech. Nevyužívá přímé adresaci do paměti a má velmi omezené možnosti práce s pointery. Hlavním cílem je zde řídicí systém napsaný robustně a jakékoliv chyby plynoucí z nechtěných zásahů mohou vést k následkům, které mohou vést ke zničení technologie. V nové normě se zavádí relativně moderní konstrukty i do programování PLC. Jedná se o objektové vlastnosti jako je třídy polymorfismus, dědičnost. V jeho jazyku existují cykly (WHILE, FOR, REPEAT), konstrukty řízení běhu (IF, CASE). Pro pokročile technologie TZB tento jazyk není příliš vhodný. Napsaný program je takto nepřehledný. Hlavní výjimečností spočívá jako doplněk grafických jazyků pro programování funkčních bloků.[9]

Jazyk LD – Ladder diagram

Grafický jazyk LD je inspirovaný fyzickou formou zapojení elektrických obvodů umístěných na sběrnici. Definice programu spočívá síti propojených elementů a připojených na sběrnici. Program se vykonává zprava doleva a implicitně zavádí logické operace, které znázorňuje sériové nebo paralelní zapojení kontaktů a cívek. Operace na kontaktu se přes spoj přenesou asociované proměnné následně se na cívkě nastaví daná proměnná. V síti může být i vložen funkční blok. Tento jazyk není příliš vhodný pro využití v TZB. Nemá natolik výrazové prostředky pro práci s analogovými hodnotami. Vše jsou pouze booleovské signály. [9]

Jazyk FBD – Function Block Diagram

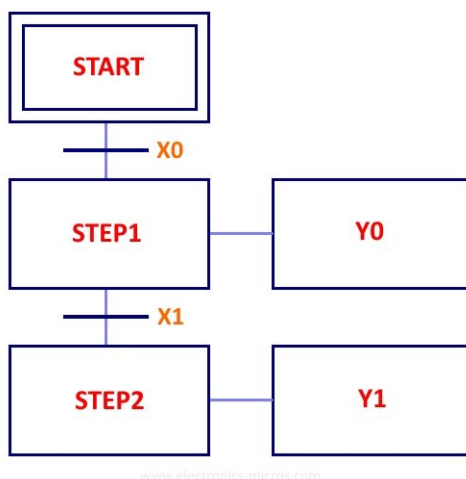
Program popsaný grafickým jazykem FBD je na abstraktní úrovni. Šíření signálu v síti je zleva doprava a funkční bloky nebo funkce provádějí transformaci signálu. Výhoda jazyka FBD je práce s analogovými signály a jeho přehlednost. [9]



Obrázek 2.9: Vybrané zapojení funkčních bloků pro názornou ukázkou v jazyce FBD

■ Jazyk SFC – Sequential Flow Chart

SFC se nelze přímo nazvat jazykem. Jedná se o popis jednotlivých stavů systému a pravidel přechodů mezi jednotlivými stavy. Každý stav definuje program, který se v něm má vykonat. [9]



Obrázek 2.10: Názorná ukázka jazyka SFC

■ 2.3.2 Proprietární systémy

Systémy, u kterých se nevyužívá norma nelze popsat samostatný jazyk. Nejedná se o popis samostatného jazyka, ale přímý popis konkrétního systému. Motivací pro tvorbu vlastního jazyka bývá různorodá. V první řadě dané jazyky dle normy IEC komplikované a výrobce nemá takovou kapacitu nebo znalosti vše zakomponovat. Daný výrobce vytvoří vlastní prostředí, kde se z části inspiroval normou. Nejčastější inspirací je jazyk FBD, který je intuitivní pro programování dané technologie. Existuje i hodně různých proprietárních textových jazyků. Výrobce může mít přístup, který není plně kompatibilní s výrazovými prostředky normy, a proto si vytváří své vlastní rozšíření, terminologii nebo i jen grafické zpracování. V praxi se velmi často setkáváme se systémy, který jsou odvozené od jazyka FBD. Nevýhodou může být, že vlastní funkční blok nelze samovolně vytvořit. Výrobce dodá vlastní knihovnu, ale uživatel nemůže si samovolně vytvořit knihovnu vlastní. Shrnutí jednotlivých výrobců a jejich používaný jazyk je v tabulce 2.6

Výrobce	Jazyk
Domat	FBD, ST a IEC s objektovým rozšířením
Siemens PX	Vlastní odvozen od FBD
Loxone	Vlastní odvozený od FBD
Amit	Vlastní. Míchání žebříčkové logiky, funkčních bloků a textu
SAIA	Vlastní grafický odvozený od FBD a vlastní makroassembler
Siemens Logo	Vlastní odvozen od FBD
WAGO	FBD, IL, LD, ST, SFC a IEC s objektovým rozšířením

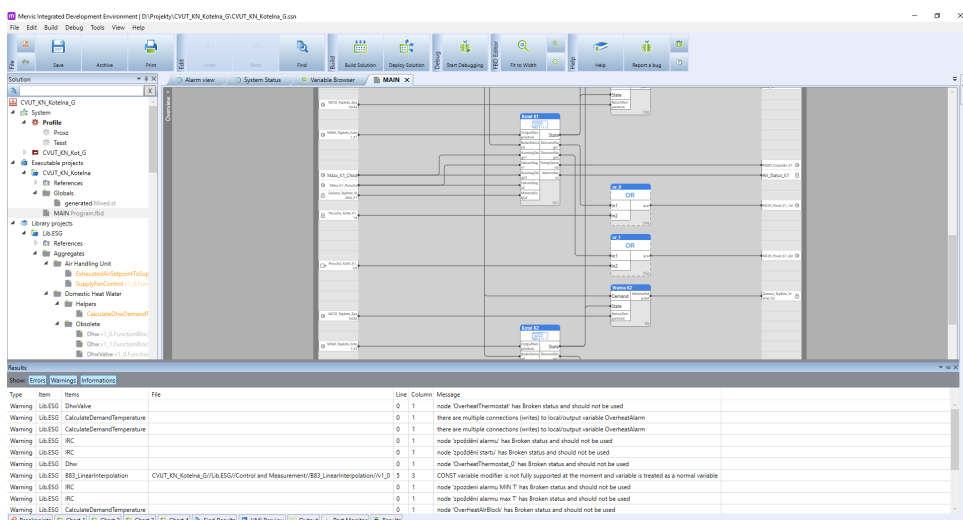
Tabulka 2.6: Porovnání jednotlivých programovacích jazyků, který daný výrobci podporují ve svém vývojovém prostředí

2.3.3 Vývojové prostředí

V této podkapitole je popsán vývojový nástroj Mervis IDE, který je vyvíjen firmou Energocentrum PLUS s.r.o.. Jedná se inženýrský nástroj, využívaný převážně pro návrh řízení různých typů technických zařízení. Skrze toto softwarové prostředí je možno sjednotit data, vytvářet hlavní logiky, nastavování časových programů či sledování alarmů. Základními funkcemi vývojového prostředí Mervis IDE jsou :

1. Možnost vzdálené komunikace, programování a ladění programu na dálku
2. Podpora pro rostoucí základnu komunikačních protokolů
3. Možnost programování více kontrolérů z jedné sestavy
4. Vytváření uživatelsky definovaných funkčních bloků, funkcí a transformací
5. Přímé ukládání dat z řídicí jednotky do Mervis DB
6. Snadné vytváření uživatelských knihoven s vlastními funkčními bloky
7. Integrovaný editor uživatelského rozhraní (HMI)
8. Multiplatformní Mervis RT

Na obrázku 2.11 můžeme vidět základní pracovní prostředí MervisIDE. Pracovní projekt Mervis IDE se nazývá Solution. Solution se skládá z parametrů připojení do PLC, jejich konfigurace, programů, knihoven a rozhraní HMI. V levém panelu můžeme vidět rozšířený strom pro PLC, zobrazující seznam



Obrázek 2.11: Vývojového prostředí Mervis IDE od společnosti Energocentrum PLUS s.r.o.

nakonfigurovaných komunikačních kanálů (BACnet, Modbus a dalších) a seznam připojených zařízení. V Spustitelných projektech jsou pak kompilované programy a funkční knihovny. V projektech HMI můžete vidět seznam oken HMI. V hlavním okně je vytvářený program FBD. Levý sloupec programovacího plátna obsahuje vstupy programu. Ve střední části můžete umístit funkční bloky (FBD), které uzavírají určité funkce. Pravý sloupec obsahuje výstupy programu. Jak je uvedeno výše, program je v režimu ladění, který nám umožňuje kontrolovat aktuální hodnoty vstupů, výstupů a proměnných v PLC. Tyto hodnoty jsou zobrazeny v malých šedých rámečcích hned vedle výstupu. Režim ladění také umožňuje namapovat skutečné hodnoty, jak můžete vidět v sekci pod hlavním oknem. Panel Vlastnosti vpravo obsahuje úplný seznam všech vlastností pro zrovna vybraný objekt. [8]

2.4 Uživatelského rozhraní (Human machine interface)

Nejdůležitější částí celého systému je jeho vizualizace. Důležitou součástí HMI je právě interakce člověka s danou technologií, který může za chodu měnit parametry. V minulosti bylo nastavování prováděno skrze velké řídicí pulty. V současné době je již vše možné provádět skrze tablety nebo dotykové panely. Jednotliví výrobci HMI využívají své proprietární programovací jazyky a vývojová prostředí. Technologie kotelen nebo vzduchotechnických jednotek je zapotřebí neustále sledovat a díky jejich vývoji a novým generacím se stávají mnohem komplexnějšími a náročnější na obsluhu. Proto tyto systémy

vybavujeme uživatelskou obrazovkou. Požadovaný produkt se snažíme přiblížit servisnímu technikovi nebo koncovému zákazníkovi natolik, aby daná technologie byla uživatelsky přívětivá. Díky tomu je pak pro zákazníka velmi jednoduché ovlivňovat parametry dané technologie.

Existuje mnoho úrovní, na který je možné kontakt se systémem řídit. Tyto úrovně jsou popsány v následující tabulce:

Typ	Charakteristika	Výhody a nevýhody
Webový server v PLC	Nabízí komfortní možnosti. S využitím moderních webových technologií (JavaScript, HTML5, SVG) má potenciál pro velmi pokročilé funkce. Včetně grafického zpracování, grafů apod.	Nezávislý přístup k vizualizaci z více míst. Je lépe odolat pokušení a vystavovat takovýto web server přímo do internetu. Hardware PLC, nastavení operačního systému a charakter základních úloh PLC zpravidla nejsou na úrovni, která je potřeba pro dokonalé zabezpečení. Proto webové vizualizace slouží spíše na lokálních sítích - pro domovní automatizaci, ideálně pro lokální počítačovou síť v domě.
Vizualizace na lokálním PC	Již několik desetiletí zvládnutý přístup. Pracovní stanice/PC je připojena k PLC, vyčítá z něj data, ukládá do historií, data prezentuje a umožňuje zásahy do řízeného procesu. Lokální vizualizace může nabízet i přístup přes webové rozhraní, které má lepší předpoklady pro vystavení do internetu.	Možnost připojit i zařízení neumožňující jinou komunikaci než připojení po jednoduchých protokolech přímým spojením (RS-232, RS-485). Možnost vystavit data i do veřejného internetu. Uživatel se musí o instalaci starat (správa a provoz HW a SW).
Cloudové řešení	Inovativní řešení nabízející velký potenciál, ale zároveň vyvolávající potřebu řešit zcela novou problematiku. Více v podrobnějším textu dále.	Přístup "odevšad". Pro uživatele zcela průhledná správa - není potřeba se o nic (provoz PC/serveru, zálohování, zabezpečení) starat. Určitým způsobem ale uživatel ztrácí kontrolu nad svým systémem. Data jsou posílána mimo místo nasazení, což je často kvůli strategickému významu problém.

Tabulka 2.7: Krátké shrnutí jednotlivých typů HMI vizualizací a jejich výhody a nevýhody [1]

Typ	Charakteristika	Výhody a nevýhody
Textový lokální panel	Jednoduchý přístup k měřeným veličinám a stavům.	Levné řešení umožňující základní dohled a ovládání. Neumožňuje pokročilejší funkce, jako například zobrazování grafů. Velká nevýhoda je nutnost fyzické přítomnosti u řídicího systému.
Grafický lokální panel	Jednoduchý přístup k měřeným veličinám a stavům. Dle velikosti panelu je možné uvažovat i o komfortnějším přehledu více veličin, grafů apod.	Platí ta samá charakteristika jako u textového lokálního panelu. Umožňuje některé funkce navíc.

Tabulka 2.7: Krátké shrnutí jednotlivých typů HMI vizualizací a jejich výhody a nevýhody [1]

V dnešní době technologie vizualizace prochází skrze inovace a hledají se nové prostředky. Jedním z nich je i využití Cloudu, kterému se věnuje následující podkapitola. Jeho výhodou je nižší cena pro technické řešení pasivního domu. Koncový uživatel zaplatí pouze provozní náklady dané služby a nemusí investovat do hardware a licenčních klíčů pro lokální vizualizaci. Další výhodou je pak vzdálená správa chodu technologií a spotřeb energií.

2.4.1 Cloudové řešení

Využití cloudu u služeb jako je mail, záloha kontaktních adres nebo záloha dat se může brát jako inovativní řešení. V předešlých letech se odhodlanost lidí vzdát se nad kontrolou osobních dat nadměrná. Platilo to i pro provozní data. Největší překážkou pramenila z možnosti ztrát dat nebo získání dat konkurenční firmy. Tento problém se předpokládá spíše u větších projektů TZB jako kupříkladu provoz budov. U provozu budov byla daná obava z jasných důvodů, že by šlo vyčíst kdy se daný člověk nebo lidi v budově pohybují a jejich způsob života. Je snadné si představit že zloděj z dat vyčte ze spotřeby energií kdy daný člověk je doma a není. Příchodem chytrých telefonů se tento postoj je na ústupu, který nastartoval iPhone od firmy Apple. Lidé si navykli provozovat své maily mimo firemní servery, zálohují osobnější data (fotografie, kontakty nebo SMS) mimo svůj dosah. Stejný podíl mají i sociální sítě, kde lidi mezi sebou sdílejí i osobnější data i údaje se spoustou cizích lidí. Za pomoci téhle problematiky soukromí se začíná i projevovat v konzervativní sféře automatizace. Stejně výhody, které našli uživatelé u dat chytrých telefonu, tak se začínají objevovat u provozních dat. Cloudová řešení umožňují k přístupu odkudkoli, kde se nachází přístup ke spojení na internet a nemusíme být přímo u systému. Výhodou může být další služby, které můžou

být nastavené nad danými daty. V předešlých letech se ještě tolik nevyužívalo uchovávání historických provozních dat. Ve veškerých dosavadních instalacích, kde mají lokální vizualizaci se uchovávají data, která se nevyužívají. Tato data by šla získat a provést optimalizaci systému nebo jiné akce. Pro toto řešení není moc využitelné pro nasazení na cloud, ale usnadňuje následující realizaci. Pro lokální vizualizaci není snadné získat přístup k datům a jejich následná implementace byla složitá. Jednalo by se pro různé proprietární formáty v různých typech úložišť, které nejsou optimalizovány pro velké objemy dat. Poté když se k datům dostaneme není následná práce příjemná. Právě pro tyto velké objemy dat je připravené cloudové řešení, má na to připravené centralizované API pro přístup k daným datům a je možné rozšířit o speciální přístupy od požadavků od zákazníků. V praxi se může jednat o export z CSV/Excelu až po specializovaná API pro výkonné matematické nástroje jako může být Matlab atd... Další výhodou je získávání dat v reálném čase a co není potřeba čekat na měsíční exporty apod.

■ 2.4.2 Architektura Cloudového řešení

Shromáždění dat na jediném místě přináší nové výzvy. V minulosti nasazením standardní vizualizací umožňovalo přístup PLC, ale důvodů bylo více. V dnešní době každý výrobce přidává možnost připojení po Ethernetu. Tímto krokem byl splněn předpoklad pro možnost zapojení PLC do složitějších sítí spolu s dalšími IT prvky, které umožňuje zcela nové způsoby fungování. Problémy nastaly následně, že nebyly splněné podmínky pro bezpečné nasazení na internet. Pro implementaci zabezpečení komunikace nebyla PLC dostatečně výkonná a z těchto důvodů implementovala pouze základní protokoly (Modbus), které aplikační úrovni bezpečnost vůbec neřeší. I přes tento fakt existuje v praxi mnoho případů, kdy za pomoci firewallů, různých routerů nebo filtrováním provozu po síti, PLC nabízí na veřejné síti komunikaci. Tento způsob komunikace je možné zajistit zabezpečit standardními IT řešením. Bohužel jsou drahá a vyžadují pro svá nastavení odborníky. I přesto existuje mnoho dalších překážek a problému, které se mohou řešit stále složitěji. Dalším krokem, které se musí učinit je mít nastavenou statickou IP adresu. To bývá ve většině za příplatek. Například v případech, kde lze nasadit mobilní internet je možné mít veřejnou a statickou IP adresu za větší cenu a komplikovanější řešení (musí se přihlídnout k faktu, že IPv4 adresy docházejí).

Výše popsané problémy lze obejít jednoduchým řešením. Není totiž problém s komunikací směrem "od" PLC. Je zapotřebí zajistit pouze možnost, aby PLC mohlo vytvářet spojení na internet, což je základní úloha - každý chytrý telefon s mobilním tarifem od operátora to zvládne. Tímto způsobem je že vizualizace kontaktuje PLC a ne naopak. Po inicializaci spojení již může probíhat standardní komunikace.

Důležitým vlivem je stále zabezpečit komunikaci. Jedná se o místa, kde je koncentrováno mnoho dalších zařízení, ale i zde lze vyřešit za pomoci standardních a prověřených řešení (např. SSL). Daný výrobce musí implementovat tzv. "otočení směru" komunikace, aby mohl na plno využívat cloud. Tímto má možnost zabezpečit komunikaci. Po zabezpečení může libovolně posílat provozní data.

Celý systém má jeden velký nedostatek: v tuto chvíli zatím neexistuje standard nebo doporučení pro výše fungující zmíněný protokol. Opět můžeme popsat existující řešení tohoto problému. Výrobce vizualizace může nabízet konvektory standardních komunikačních protokolů pro integraci do svého řešení. Další řešení může být, že výrobce vizualizace může domluvit spolupráci s výrobcem PLC a implementovat vlastní protokol k platformě PLC. Můžeme jen spekulovat jakým směrem vývoj se vydá a kam bude směřovat do budoucna.

2.4.3 Další stránky cloudového řešení

Problematika mezi vzdálenými zařízeními (PLC, vizualizace, router) a komplikací jejich připojení přináší i nevýhody. Po software stránce je vše v pořádku, ale může nastat problém na cestě od PLC k těmto prvkům:

1. Vnitřní síť
2. Internetový router
3. Vlastní směrování internetu
4. Technické zařízení vizualizace

Na tyto technické problémy musí být systém připraven. Řízený systém by měl mít možnost ovládat i v režimu off-line. Tento problém se může vyřešit lokáním typu HMI, kterém může být například LCD panel nebo až po lokání počítač na kterým je nahrané schéma technologie. Při výpadku internetu je nutné, aby systém PLC si během následující doby uchovávala data do své paměti a následně obnově spojení nahrála historická data do vizualizace. Data jsou co nejvíce kompletní a jejich kvalita odpovídá standardním řešením.

■ 2.5 Zhodnocení

Z předchozího popisu vyplývá, že výběr jednotlivých komponentů systému není příliš jednoduchý, jelikož množství výrobců a jejich výrobků je velmi široké a i přes snahu dodržet standardy není vždy zaručena stoprocentní kompatibilita.

Na českém trhu existuje mnoho systémů s různou úrovní flexibility, od podpory protokolů, přes způsob programování dle normy až po způsob připojení na nadřazený systém.

Hlavní řídicí jednotku jsme si vybrali jednotku od firmy WAGO, jelikož je schopna komunikovat s vstupními/výstupními moduly po vlastní komunikační lince K-BUS, která je modulární, a tudíž lze osazovat námi určenými moduly. Dalšími výhodami tohoto systému jsou, rychlá integrace nových modulů, což v budoucnu lze použít pro implementaci nových funkcí, či využití mnoha komunikačních protokolů.

Kapitola 3

Praktická část

3.1 Technické zařízení budovy

V následujících podkapitolách budou popsány jednotlivé technologie technického zařízení budovy. Jejich výběr je prováděn na zakázku a budou použity pro rekonstrukci chladících a vytápěcích systémů objektu se čtyřmi nadzemními podlažími. Na základě požadavků od zákazníka je nutné vyhovět následujícím požadavkům [10]:

1. Zajištění tepelné pohody a distribuce tepla v místnostech s požadavkem na vytápění.
2. Optimalizace provozního systému z hlediska investičních a provozních nákladů.
3. Zajištění maximální spolehlivosti jednotlivých funkcí systémů.
4. Zajištění komfortu ve všech místnostech.

■ 3.1.1 Zdroj tepla a chladu

V rekonstruovaném objektu je počítáno s plynovým kotlem o výkonu 45 kW jako primární zdroj tepla a tepelným čerpadlem (voda/vzduch) o topném/chladicím výkonu (23 kW, 20 kW) jako sekundárním zdrojem tepla a chladu. Připojení je znázorněné na obrázku 3.1.

Plynový kotel a hlavní jednotka tepelného čerpadla s oběhovým čerpadlem a elektrokotlem o výkonu 9 kW je umístěna v technické místnosti. Otopná voda z plynového i tepelného čerpadla je shromážděna v zásobníku o objemu 400 litrů, který zároveň plní funkci termo-hydraulického rozdělovače. Za tímto ústrojím bude voda rozdělována do jednotlivých otopných okruhů.

V letním období bude funkci zdroje chladu plnit tepelné čerpadlo, které bude připojeno do otopné soustavy. Otopná a chladicí soustava je mezi sebou rozdělena za pomoci trojcestného ventilu, který přepne chladicí vodu do akumulární nádrže chladu o objemu 400 litrů.

Tento zásobník slouží též jako termo-hydraulický rozdělovač, z kterého bude chladicí voda proudit do rozdělovače z něhož pak bude voda vedena do jednotlivých chladicích okruhů. [10]

■ 3.1.2 Vytápění

Vytápěcí systém je navržen jako teplovodní s nucením oběhem otopné vody, kdy v technické místnosti dojde k rozdělení na 6 otopných okruhů (viz. obrázek 3.1) v rozdělovači a sběrači [10]:

1. Větev UT radiátory – Okruh otopných těles bude řízen ekvitermní regulací vody. Větev bude zásobit teplou vodou veškeré podlahové vytápění. Oběh topné vody bude zajišťovat oběhové čerpadlo.
2. Větev UT podlaha – Okruh podlahového vytápění bude řízen ekvitermní regulací vody. Větev bude zásobit teplou vodou veškeré podlahové vytápění. Oběh otopné vody bude zajišťovat oběhové čerpadlo.
3. Větev UT FCU – okruh FCU bude rozváděna regulovaná voda. Větev zásobuje otopnou vodou jednotky fan-coil umístěné ve 4. nadzemním patře (dále NP) a v 1.NP v místnosti strojovna. Oběh otopné vody bude zajištěn elektronickým oběhovým čerpadlem.
4. Větev UT stropy – Okruh stropního vytápění bude řízen ekvitermní regulací vody. Celá větev bude zásobit teplou vodou pro veškeré stropní vytápění. Oběh otopné vody bude zajišťovat oběhové čerpadlo.
5. Větev Bazén/výřivka – Ohřev Whirlpool a bazénu bude rozváděna neregulovaná. Tato větev ohřívá bazén a Whirlpool za pomoci deskových výměníků. Oběh otopné vody bude zajišťovat oběhové čerpadlo.
6. Větev TUV – Ohřev TUV bude rozváděna neregulovaná voda. Celá větev bude ohřívát zásobníku o objemu 400 litrů. Oběh otopné vody bude zajišťovat oběhové čerpadlo.

■ 3.1.3 Chlazení

Obdobně bude řešen i systém chlazení, který bude v technické místnosti rozdělen rozdělovačem a sběračem na 3 větve (viz. obrázek 3.1) [10]:

1. Větev Chl podlaha – Okruh podlahového chlazení bude rozváděna regulovaná voda. Větev zásobuje chladicí vodou podlahové chlazení. Oběh otopné vody bude zajištěn oběhovým čerpadlem.
2. Větev Chl FCU – Okruh FCU bude rozváděna regulovaná voda. Větev zásobuje chladicí vodou jednotky FCU umístěné ve 4.NP a v 1. NP v místnosti strojovna. Oběh chladicí vody bude zajištěn oběhovým čerpadlem.
3. Větev chl stropy – Okruh chladicí stropy bude rozváděna regulovaná voda. Větev zásobuje chladicí vodou většinu chladících (otopných) stropů. Oběh otopné vody bude zajištěn oběhovým čerpadlem.

■ 3.1.4 Ohřev TUV

Hlavním zdrojem pro ohřev TUV bude tepelné čerpadlo případně plynový kotel. Vstupní veličinou TUV je požadavek na teplotu. Objem zásobníkové nádoby je 400 litrů, která se bude nepřímou dohřívání topnou spirálou. V letním období za případu souběhu TUV s požadavkem na chlazení, musí být systém rozdělen trojcestným ventilem, aby mohlo dojít k dohřátí systému plynovým kotlem a zároveň mohlo docházet k nezávislému chlazení jednotlivých větví za pomoci tepelného čerpadla. Daná situace je znázorněna na obrázku 3.1. [10]

■ 3.1.5 Podlahové vytápění

Kromě několika místností, je ve vile uvažováno o využití teplovodního podlahového vytápění, které je v některých případech dále kombinováno s otopnými tělesy. Z rozdělovačů a sběračů umístěných v každém podlaží budou vedeny jednotlivé topné spirály do jednotlivých místností. Kotvení potrubí bude provedeno do systémových desek. Topné hady pak budou zalité do betonové mazaniny, kdy po obvodech místností a u dilatačních spár budou použity okrajové a dilatační pásy. Na rozdělovači a sběrači podlahového vytápění

budou osazeny armatury pro hydronické vyvážení celé soustavy podlahového vytápění včetně regulace tlakové diference. Samotné topné hady budou z materiálu speciálně určeného pro podlahové vytápění. [10]

■ 3.1.6 Otopná tělesa

Otopná tělesa jsou navržena v několika provedeních. V koupelnách a některých místnostech je uvažováno o nasazení trubkových těles. V obytných místnostech pak designová tělesa.

Každé otopné těleso bude vybaveno na přívodu termostatickým ventilem, na zpátečce pak přípojovací spojkou. Designová tělesa jsou vybavena ručními kohouty. Pro regulaci budou sloužit zónové ventily zasekané do stěn vedle otopného tělesa. Regulace otopných těles bude provedena termo-pohony, pouze v koupelnách se uvažuje o termostatických hlavicích. Každé těleso bude vybaveno odvzdušňovacím ventilem. [10]

■ 3.1.7 Stropní vytápění nebo chlazení

Primárně pro letní období budou ve většině místností instalovány chladicí stropy. Pro připojení chladících stropů je z technické místnosti vyvedena jedna samostatná větev, která zásobuje chladící vodou centrální rozdělovače a sběrače na každém podlaží. U každého rozdělovače a sběrače je osazena regulační armatura s pohonem, který je řízen na základě teploty v dané místnosti. Chladicí stropy je možné využít i v zimě na vytápění, v technické místnosti je pro tuto možnost vytvořena samostatná větev. [10]

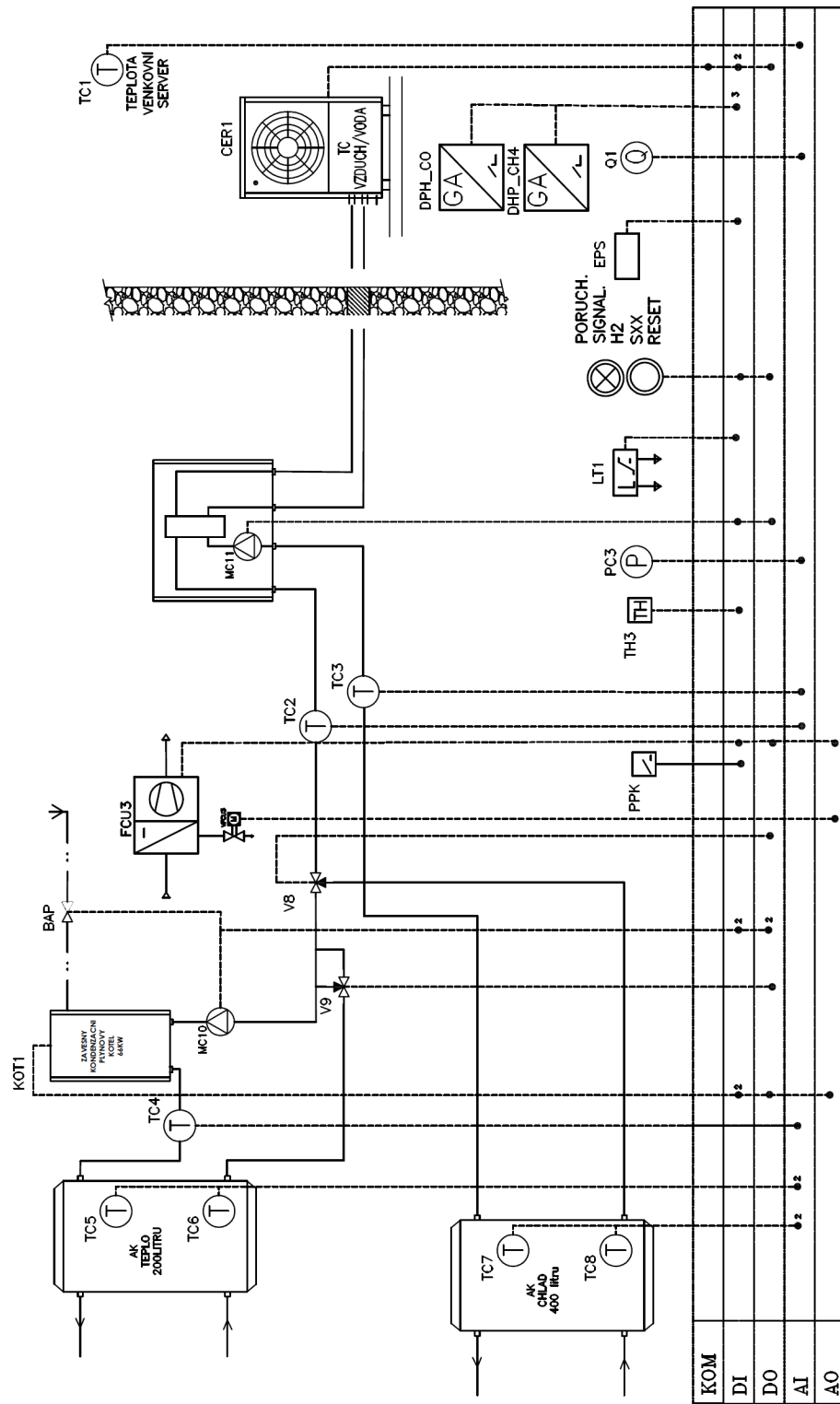
■ 3.1.8 Jednotka VZT

Malé odtahové ventilátory v kuchyni a na sociálních zařízeních nejsou součástí této práce. Pro provětrávání rekonstruovaného objektu je navržen vzduchotechnický systém. Dopravu a úpravu vzduchu zajišťuje jednotka VZT se zpětným získáváním tepla umístěná v technické místnosti. Vzduchotechnické zařízení bude zabezpečovat potřebné množství čerstvého vzduchu dle hygienických předpisů. Pro jednotku VZT je přivedeno externí zařízení zvlhčovače, který má na starosti zvýšit kvalitu přiváděného vzduchu do větraných místností.

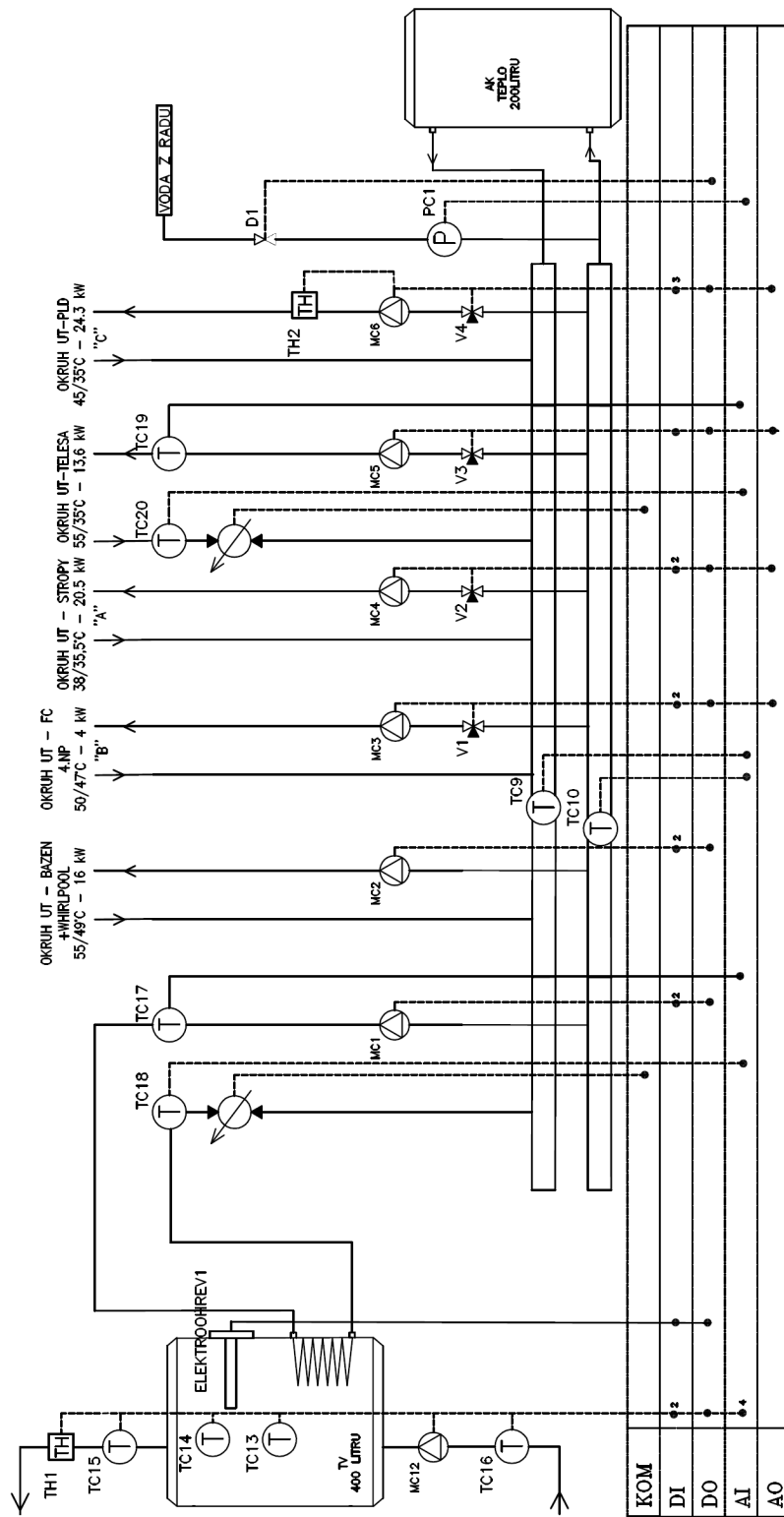
■ 3.2 Koncept návrhu systému MaR

Návrh MaR proběhl ve spolupráci s firmou Energocentrum PLUS s.r.o.. Na základě předložených podkladů byl navržen způsob kterým bude probíhat integrace tepelného čerpadla, plynové kotle a jednotky VZT s hlavním systémem MaR. Ze získaných topenářských schémat bylo navrženo základní rozmístění měřících a řídicích veličin na blokových schématech, která jsou vyobrazena na obrázcích 3.2, 3.3 a 3.4. Ze soupisu datových bodů byly vybrány jednotlivé stavy, které využijeme pro řízení vybraných technologií. Soupis datových bodů tak i elektrikářské schéma bude přiloženo na CD-ROM k této práci.

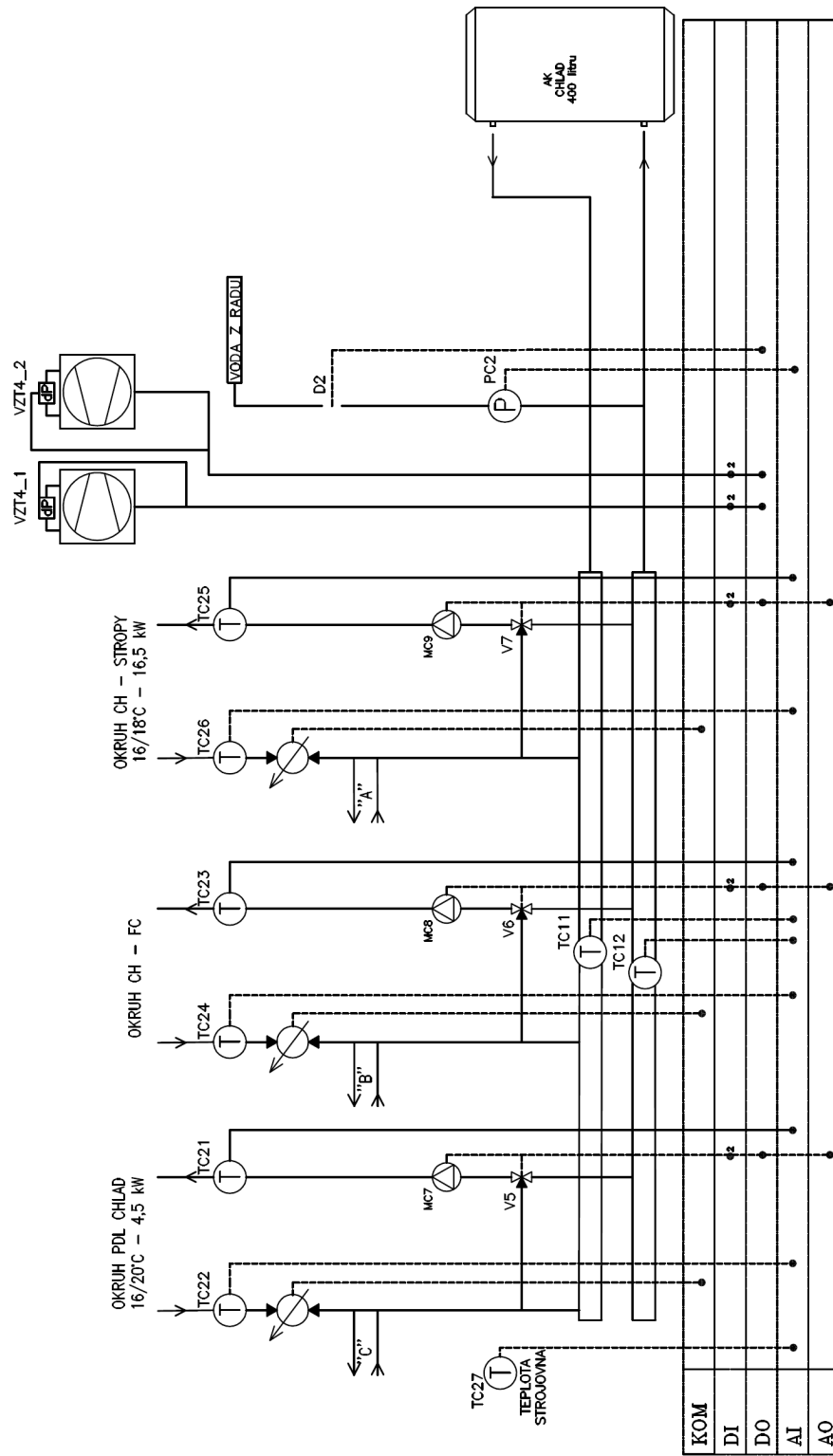
Měření a regulace zajišťuje řízení a regulaci použitých technologií. MaR zajišťuje pro technologii spolehlivé fungování a hlavní zřetel se klade na maximální komfort pro rekonstruovaný objekt.



Obrázek 3.2: Blokové schéma IO stavů technologie



Obrázek 3.3: Blokové schéma IO stavů technologie



Obrázek 3.4: Blokové schéma IO stavů technologie

3.2.1 Základní rozvaha integrace zařízení

Řídicí systém bude naprogramován ve vývojovém prostředí Mervis IDE pro optimální řízení celku z hlediska maximální úspory energií a životnosti jednotlivých řízených systémů (Tepelného čerpadla, plynového kotle atd.). Otevřený způsob programovacího prostředí umožní budoucí operativní optimalizaci a vylepšování řídicích algoritmů podle zkušeností a požadavků zadavatele s provozováním.

Interakce s jednotlivými technologiemi bude uskutečněna za pomoci komunikace PLC s obsluhou na několika úrovních:

1. Základní ovládání technologií bude možné provádět pomocí přepínacích tlačítek na daném rozvaděči.
2. Místní obsluha bude mít možnost sledovat stav dané technologie na LCD zobrazovači.
3. Nadstavbová část centrálního řízení bude vzdálené připojení dispečerů za pomoci jejich PC skrze internet.

Návrh regulace vytápění rodinného domu se skládá z následujících dílčích úkonů:

1. Nastavení požadavku teploty pro akumulární nádrž tepla pro Ústřední Vytápění (UT).
2. Nastavení požadavku teploty pro akumulární nádrž chladu chlazení.
3. Globální nastavení hodnot pro budovu (dle ISO 7730), uživatel bude v dané místnosti volit zvýšení nebo snížení požadované teploty.
4. Korekce v jednotlivých místnostech – budou vypočítávány na základě ekvitermní regulace, která zároveň bude optimalizovat provoz čerpadla v optimálních otopných faktorech a dosáhnout komfortu.
5. Na základě měření parametrů koncových prvků podlahového topení a stropního chlazení dojde k následnému nastavení parametrů IRC .

Z důvodu vysoké složitosti MaR pro řízení celého objektu se rozdělilo celkové řízení na dva řídicí systémy PLC, které budou rozděleny na dva technologické celky:

1. PLC strojovna
2. PLC dům

V navrženém provedení MaR budou mít PLC rozdělené úkony pro regulaci řízení kotelny a domu. Cílem této práce je navržení řízení pro kontrolní obvod PLC Strojovna, ve které se zabývá integrací řízení jednotlivých prvků. Druhý PLC má na starost řízení jednotlivých zařízení v domě.

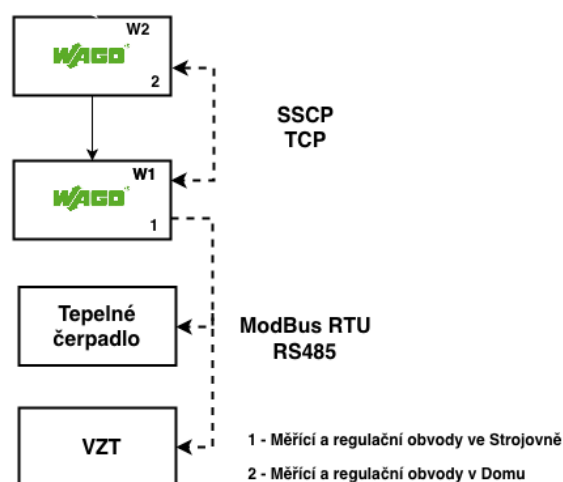
■ 3.2.2 Návrh řízení Strojovny

PLC strojovna bude ovládat veškeré technologie strojovny (Oběhová čerpadla, tepelné čerpadlo, jednotka VZT a další prvky). Systém bude navržený tak, aby veškeré technologie byly využívány hospodárně na základě získaných údajů z vnějších či vnitřních prostorů objektu. Regulace MaR zajišťuje tyto funkce:

1. Sledování teplot (otopných vod jednotlivých větví, Venkovní teploty tepelného čerpadla, venkovní teplota)
2. Hlídní havarijních stavů (přetápění prostorů, únik plynu v prostoru strojovny, zaplavení prostoru strojovny)
3. Ovládání a sledování jednotlivých stavů tepelného čerpadla a plynového kotle
4. Ovládání všech oběhových čerpadel podle požadavků
5. Ovládání jednotlivých regulačních ventilů pro otopné či chladicí větve
6. Regulace TUV
7. Hlídní maximální havarijní teploty TUV
8. Hlídní maximální havarijní teploty podlahového topení
9. Regulace dopouštění systému chlazení/vytápění
10. Regulace VZT jednotky
11. Ovládání bezpečnostní armatury plynu (BAP)

3.2.3 Řídící PLC Strojovny

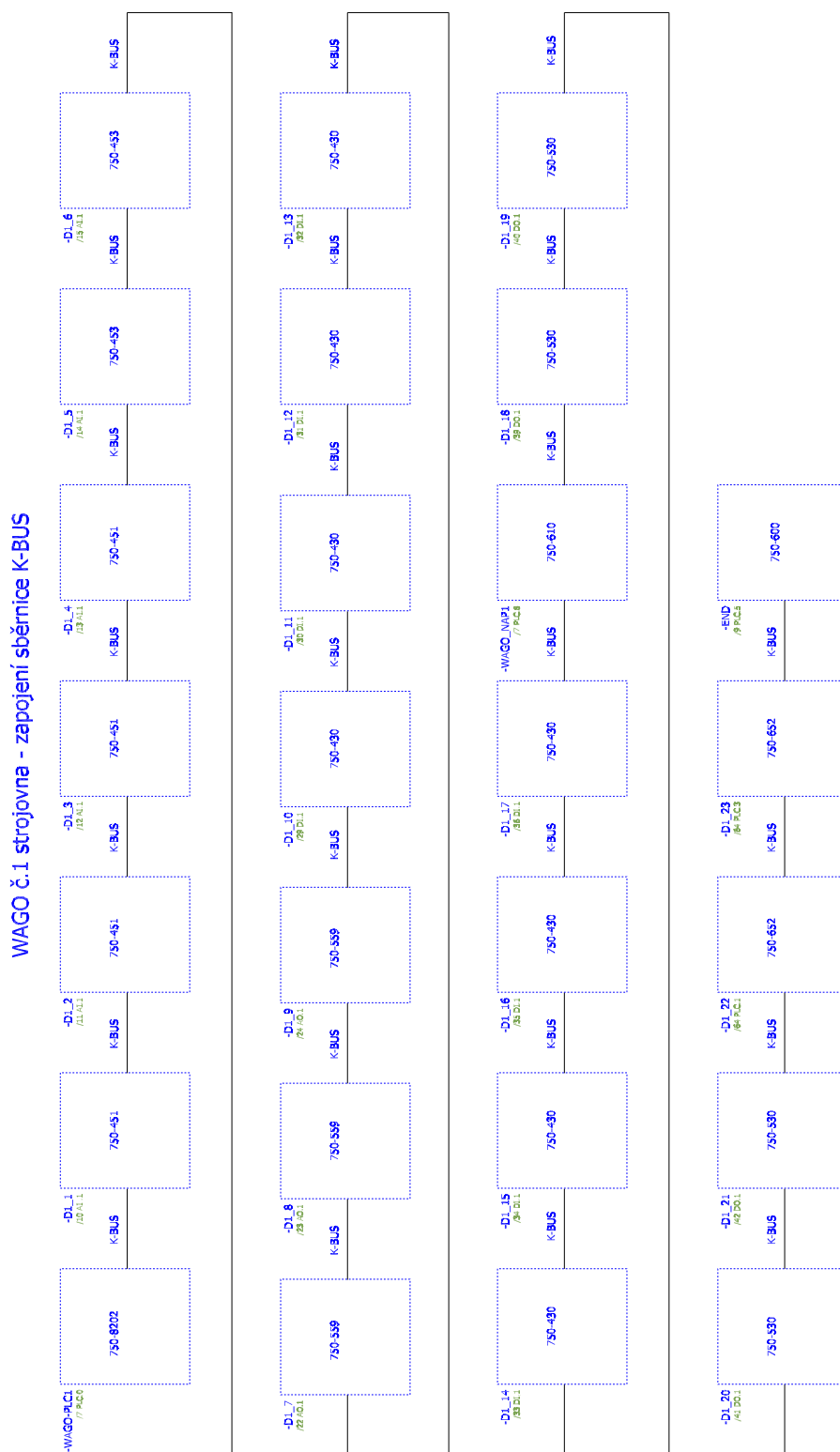
Hlavní systém MaR se dělí na dvě PLC dům a strojovna. Obě PLC budou mezi sebou komunikovat pomocí komunikačního protokolu SSCP, viz. obrázek 3.5. Řídící PLC bude ovládat a sledovat jednotlivé technologie strojovny. Druhé PLC je určeno pro řízení technologií domu. Oba systémy budou propojeny pomocí Ethernetové sítě na vnější internetovou síť. Oba regulátory budou komunikovat samostatně prostřednictvím internetových technologií a lokální počítačové sítě s nadřazeným dispečerským pracovištěm. PLC strojovna bude pomocí přidaného sériového modulu komunikovat prostřednictvím kanálu RS-232/RS-485. V následující tabulce 3.1 je shrnuto množství jednotlivých IO modulů potřebných pro řízení strojovny. Připojení jednotlivých modulů k hlavní řídicí jednotce je znázorněno ve schématu na obrázku 3.6.



Obrázek 3.5: Zobrazená propojení mezi jednotlivými zařízeními kotelny a řídicího PLC s PLC dům po komunikačních kanálech

Modul	Označení	Počet kusů	Počet I/O
Analogový vstup	750-451	4	8x AI (Odporový vstup)
	750-453	2	4x AI (0-20 mA)
Analogový výstup	750-559	3	4x AO (0-10 V)
Digitální vstup	750-430	8	8x DI
Digitální výstup	750-530	4	8x DO
Komunikační karta	750-652	2	RS485/RS232

Tabulka 3.1: Sestava WAGO č.1 Strojovna



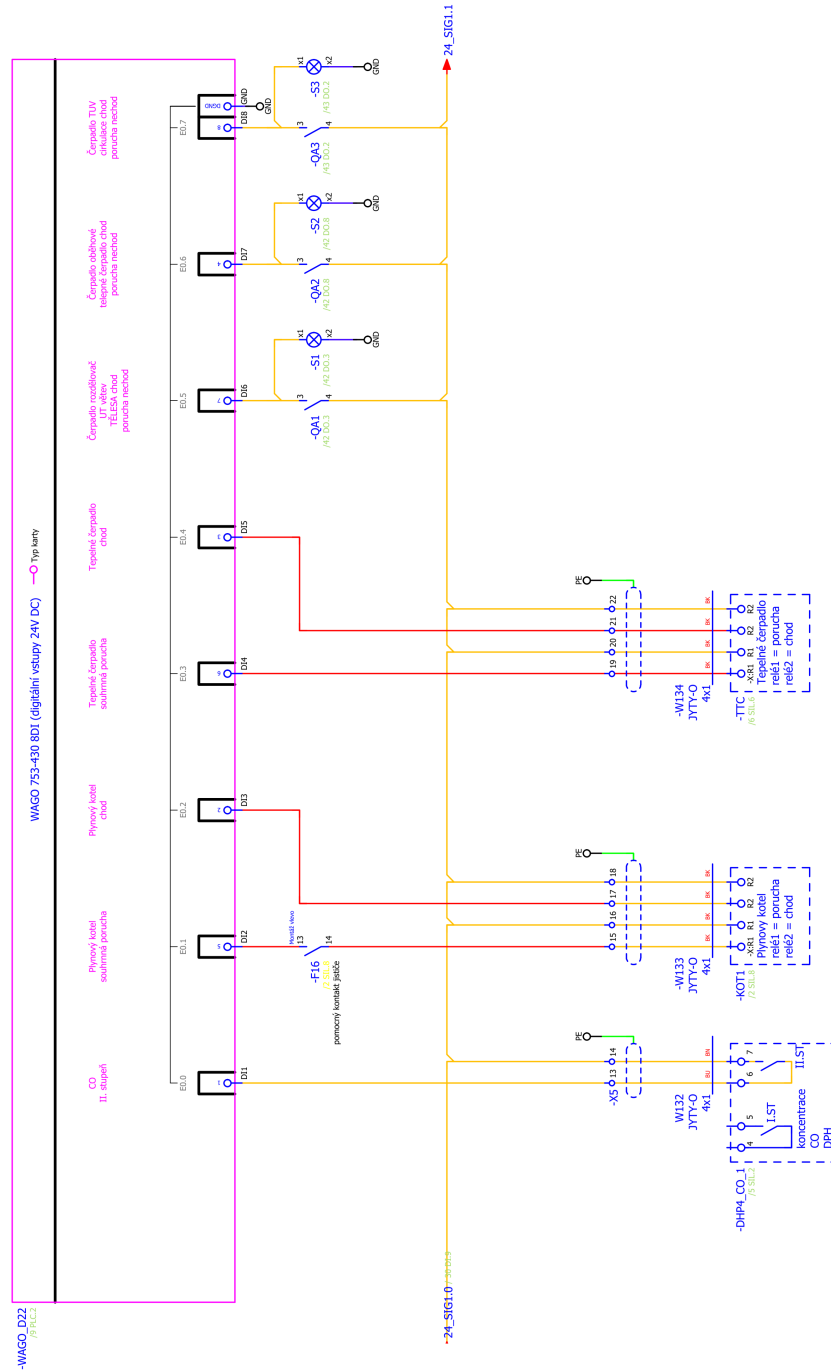
Obrázek 3.6: Schéma zapojení jednotlivých přídavných IO Modulů s hlavním regulátorem pro Strojovnu

PLC strojovna bude mít na starost ovládaní jednotlivých technologických celků, které jsou umístěné v technické místnosti viz. předešlé kapitoly. Hlavním předmětem této práce bude propojení řídicího systému s technologiemi jako je tepelné čerpadlo, VZT jednotka a plynový kotel. Jednotlivé technologie připojené k řídicímu PLC budou popsány v následujících podkapitolách.

■ 3.2.4 Plynový kotel

Integrace plynového kotle do PLC bude provedena za pomoci jednotlivých stavů kotle. Pro získání těchto stavů bylo zapotřebí kontaktovat výrobce, který poskytl seznam vstupů a výstupů využitelných pro řízení kotle. Na obrázku 3.7 jsou znázorněny digitální vstupy plynového kotle. Jednotlivé vstupy a výstupy plynového kotle jsou popsány níže:

1. Digitální vstup
 - a. Plynový kotel souhrnná porucha (KOT1)
 - b. Plynový kotel chod (KOT1)
 - c. Čerpadlo oběhové plynový kotel porucha (MC10)
 - d. Čerpadlo oběhové plynový kotel porucha (MC10)
2. Digitální výstup
 - a. Plynový kotel povolení chodu (KOT1)
 - b. Čerpadlo oběhové plynový kotel povel (MC10)
 - c. Čerpadlo oběhové plynový kotel porucha (MC10)
3. Analogový vstup
 - a. Teplota nádrž teplo nabíjení za kotlem (TC4)
 - b. Teplota vody zpátečka
4. Analogový výstup
 - a. Plynový kotel výkon ovládaní (0-10 V) (KOT1)



Obrázek 3.7: Integrované digitální vstupy tepelného čerpadla a plynového kotle

■ 3.2.5 Tepelné čerpadlo

Druhým zdrojem integrovaným do PLC strojovny je tepelné čerpadlo. Na obrázku 3.7 lze vidět jaké digitální stavy jsou čteny z tepelného čerpadla. Jednotlivé digitální nebo analogové výstupy tepelného čerpadla se musí tak jak v případě plynového kotle získávat přímo od výrobce daného čerpadla. Jednotlivé vstupy a výstupy, kterými čerpadlo disponuje jsou vypsány níže:

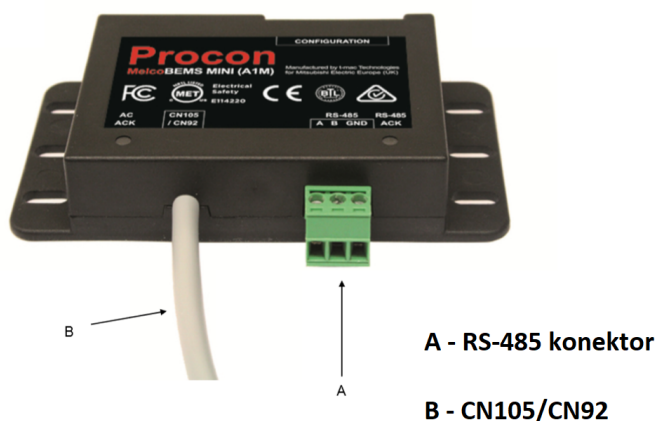
1. Analogový vstup
 - a. Teplota tepelné čerpadlo č.1 vstup (TC2)
 - b. Teplota tepelné čerpadlo č.1 výstup (TC3)
2. Digitální vstup
 - a. Tepelné čerpadlo souhrnná porucha (TTC)
 - b. Tepelné čerpadlo chod (TTC)
3. Digitální výstup
 - a. Tepelné čerpadlo povolení chodu (TTC)

Podle projektu má PLC strojovna komunikovat s tepelným čerpadlem i za pomoci sériového kanálu RS-485, komunikačním protokolem Modbus RTU. Tepelné čerpadlo má pro tento účel přídatný modul.

■ Převodník Procon MelcoBEMS MINI

Převodník MelcoBEMS A1M (nadále A1M) je použit pro dálkové monitorování a řízení tepelného čerpadla. Hlavní funkcí převodníku je propojení mezi hlavním řídicím systémem a tepelným čerpadlem. A1M modul průběžně čte data ze systému a v případě potřeby řídicí jednotky změni konfiguraci. Protože je čtení nepřetržité, A1M vždy uloží aktuální data. Tato data jsou pak k dispozici externím zařízením přes port RS-485 pomocí komunikačního protokolu Modbus RTU. V manuálu ¹ k tomuto převodníku existuje Modbus mapa jednotlivých stavů tepelného čerpadla.

¹http://library.mitsubishielectric.co.uk/pdf/book/procon_MelcoBEMS_Installation_Manual_1.01#page-1



Obrázek 3.8: Převodník Procon MelcoBIMS MINI

Na PCB převodníku A1M se nachází 8 přepínačů DIP. Tyto přepínače slouží ke konfiguraci nastavení komunikace a k aktivaci některých funkcí. Nastavení přepínačů, použité pro integraci do systému, je popsáno v tabulce 3.2. Přepínač 8 je použitý pouze v případě, když je použita jednotka vzduch/vzduch.

Přepínač	Stav	Funkce
		Station ID - Adresa převodníku
1	Off	Přepínač 1 - 1
2	Off	Přepínač 2 - 2
3	Off	Přepínač 3 - 4
4	Off	Přepínač 3- 8
5	Off	Přepínač 5 - 16
6	On	On - 9600 baud, bez parity
		Off - Nastavení rychlosti komunikace a parity programem
7	On	Výběr protokolu
		ON - Modbus RTU
		Off - BACnet

Tabulka 3.2: Nastavení převodníku pro implementaci do systému MaR

3.2.6 Jednotka VZT

Integrace jednotky VZT do okruhu PLC strojovna, bude zajišťovat funkci provětrávání 3. NP., kdy pro komunikaci bude použito komunikačního kanálu

RS-485 s protokolem Modbus RTU, oproti dříve navrhovanému komunikačnímu protokolu Modbus TCP. Z jednotky VZT je taktéž možné sledovat jednotlivé stavy hardware, které budou následně integrovány do modulů I/O. Hlavní řídicí deska jednotky VZT ovládá vnitřní zařízení, kterými jednotka disponuje. Ke svorkám řídicí desky lze připojit externí příslušenství (např. komunikace Modbus přes RS-485 nebo BMS - Building Management System). Jednotlivé stavy názvů registrů z Modbus mapy pro jednotku VZT byly získány z manuálu pro daný typ jednotky.² Stavy jednotky VZT jsou potřeba taktéž pro řízení zvlhčování vzduchu.

1. Analogový vstup

- a. Teplota přívod
- b. Teplota VZT3 výstup
- c. Čidlo kvality vzduchu VZT3 odtah (QU1)
- d. Relativní vlhkost VZT3 přívod (RH2)
- e. Relativní vlhkost VZT3 odtah (RH3)

2. Analogový výstup

- a. Zvlhčovač řízení ZVLHČOVAČ
- b. Ventil chlazení VZT3

3. Digitální vstup

- a. VZT3 hygrostat pro zvlhčovač přes relé blokovat povolení chodu
- b. VZT3 chod ventilátoru přívod dP pro zvlhčovač přes relé blokovat povolení chodu
- c. Zvlhčovač stav1 (Error)
- d. Zvlhčovač stav1 (Servis)
- e. Zvlhčovač stav1 (Chod)
- f. Zvlhčovač stav1 (Připravenost)

4. digitální výstup

- a. VZT3 povolení chodu povel
- b. Zvlhčovač povel ZVLHČOVAČ

²<https://www.systemair.com/cz/Ceska/Products/unpublished/SAVE-VSR-500/>

■ 3.2.7 Společné hodnoty

Dalším vstupem do PLC strojovna je teplota akumulčních nádrží a ovládání rozdělovacích ventilů soustavy tepla a chladu, které jsou implementovány do algoritmu řízení kotelny:

1. Digitální vstup

- a. Ventil plynový kotel přepínání při provozu TC top/chlad (V9)
- b. Ventil tepelné čerpadlo přepínání Topit/chladit (V8)

2. Analogový vstup

- a. Teplota nádrž teplo horní (TC5)
- b. Teplota nádrž teplo dolní (TC6)
- c. Teplota nádrž chlad horní (TC7)
- d. Teplota nádrž chlad dolní (TC8)

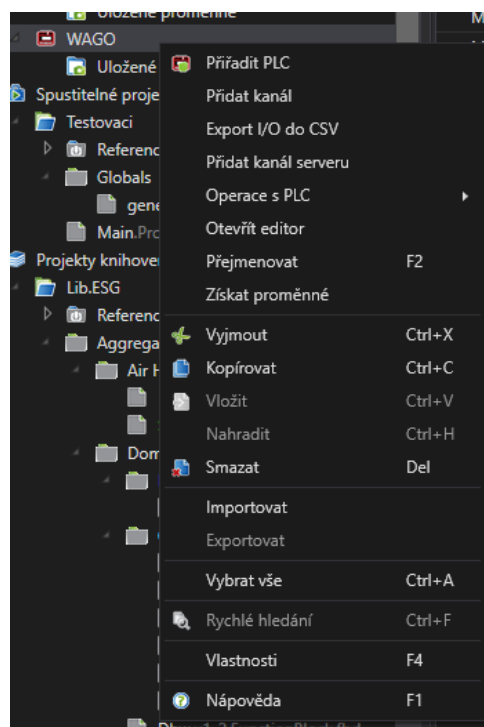
3.3 Implementace řízení stroje

V předchozích podkapitolách jsme popisovali, které vstupy/výstupy z jednotlivých zdrojů jsou integrovány do systému PLC stroje. V této kapitole se zabýváme zařazením Modbus zařízení do vývojového prostředí Mervis IDE. Regulace jednotlivých zdrojů bude stručně uvedena v základním návrhu řízení zdrojů.

Dalším bodem bude popis jednotlivých algoritmů řízení kotelny, včetně ukázky implementace ve vývojovém prostředí.

Integrace jednotlivých zařízení do systému MaR

Počátečním krokem pro připojení zařízení do PLC Strojovna po komunikačním protokolu, je vytvoření nového kanálu ve vývojovém prostředí Mervis IDE viz. obrázek 3.9.



Obrázek 3.9: Přidání kanálu do příslušného regulátoru PLC

Další krok pro vytvoření příslušného kanálu je popsán na obrázku 3.10. V tomto kroku je provedeno nastavení požadovaného protokolu Modbus, pro

který je pak dodefinován linkový protokolu (serial). Nastavení parametrů protokolu, budou záležet na dané situaci, tedy jak často se chce aktualizovat vysílání nebo zapisování dat. Nastavení parametrů sériové linky, se musí navolit tak aby zařízení, která budou na dané lince komunikovat měla stejné hodnoty. Modulační přenosová rychlost (baud rate) bude nastavena na 9600 Bd. Při uvedení příslušných zařízení do provozu dochází k jejich místnímu nastavení na příslušné modulační rychlosti.

Vlastnosti kanálu	
Název	D1_22_SERIAL
Povolit	True
Protokol	Modbus
Linkový protokol	Serial
Pozn.	
Parametry protokolu Modbus	
Mód integrace	False
Max. doba trvání tele...	1000ms
Max. doba trvání tele...	500ms
Pauza mezi telegramy	0ms
Pozn.	
Parametry sériové linky	
Číslo portu	D1_KBUS.22_75x-65...
Přenosová rychlost	9600
Počet dat. bitů	8
Parita	Žádný
Počet stop bitů	Jeden
Režim	Výchozí
Pozn.	

Obrázek 3.10: Nastavení komunikačního protokolu Modbus do vývojového prostředí Mervis IDE

V úvodu došlo k definici protokolu pro Modbus, kdy v následujícím kroku již dochází k přiřazení zařízení k danému komunikačnímu kanálu. Toho lze docílit za pomoci souboru CSV, kde jsou popsána základní nastavení daného zařízení. Hlavička souboru je definována takto:

1. StationNumber - Adresa na kterém je dané zařízení
2. Name - Název proměnné, které si zvolíme
3. Element - Registr adresy
4. Count - Počet bitů mlže číst nebo zapisovat
5. Function - O jaký objekt z datového modelu se jedná Cívky/Diskrétní Vstupy/Uschovavací Registry/Vstupní Registry

6. Writable - 0/1 (0 - nelze zapisovat, 1 - lze zapisovat do registrů)
7. STType - Datový typ pro standardní Mervis IDE
8. ByteOrder - Nechat prázdné pro výchozí nastavení pořadí bytů
9. K - Transformace hodnoty $y=K*x+Q$
10. Q - Transformace hodnoty $y=K*x+Q$
11. X1 - Alternativní definice pro $y=K*x+Q$, kde hodnoty jsou vypočítané z bodů přímky $[X1,Y1]$ a $[X2,Y2]$
12. X2 - Alternativní definice pro $y=K*x+Q$, kde hodnoty jsou vypočítané z bodů přímky $[X1,Y1]$ a $[X2,Y2]$
13. Y1 - Alternativní definice pro $y=K*x+Q$, kde hodnoty jsou vypočítané z bodů přímky $[X1,Y1]$ a $[X2,Y2]$
14. Y2 - Alternativní definice pro $y=K*x+Q$, kde hodnoty jsou vypočítané z bodů přímky $[X1,Y1]$ a $[X2,Y2]$

■ Implementace tepelného čerpadla a jednotky VZT

V příloze jsou přiloženy jednotlivé soubory CSV, které byly vytvořeny pro import jednotlivých zařízení do Mervis IDE. K Hlavnímu problému při zařazení nového zařízení do hlavního programu dochází, pokud jsou využity omylem stavy či registry, které nejsou potřebné pro chod programu. Příklad registrů tepelného čerpadla v přiloženém manuálu pro Modbus.

1. Tepelné čerpadlo
 - a. Fault/Error Code
 - b. System On/Off
 - c. A/C Mode – Zone 1
 - d. H/C Thermostat Target Temperature – Zone 1
 - e. Defrost
 - f. Refrigerant Error Info
2. Jednotka VZT
 - a. FanSpeedLevel
 - b. REG FAN SF FLOW LOW
 - c. REG FAN EF FLOW LOW

- d. REG FAN SF FLOW NOM
- e. REG FAN EF FLOW NOM
- f. REG FAN EF FLOW HIGH
- g. REG FAN EF FLOW HIGH

■ 3.3.1 Návrh algoritmu pro zařízení strojovny

Veškeré algoritmy, které byly implementovány pro řízení strojovny jsou děleny do následujících kategorií:

1. Algoritmy alarmových stavů
2. Algoritmy provozu plynového kotle
3. Algoritmy provozu tepelného čerpadla a regulace spotřebitelských větví (topení, chlazení)
4. Regulace TUV a chlazení a vytápění kotelny

V následujících podsekcích je vysvětleno základní řízení tepelného čerpadla, plynového kotle a jednotky VZT.

■ Popis algoritmu pro řízení zdrojů tepla a chladu

Fungování strojovny včetně přípravy otopné, chlazené vody je závislé na venkovní teplotě. Kotelna je v topném období zdrojem tepla, kdy plynový kotel je regulovaný na základě požadavku na teplotu akumulární nádrže tepla. Tepelné čerpadlo jakožto zdroj chladu při signalizaci poruchy plynového kotle bude použito jako zdroj tepla. Druhou funkcí tepelného čerpadla při potřebě většího otopného výkonu bude předeřev otopné vody. Tepelné čerpadlo v letním období slouží k chlazení akumulární nádrže na žádanou teplotu. V případě, kdy bude požadováno jak chlazení, tak i topení, ventily V8 a V9 budou otevřeny a oba systémy jsou od sebe odděleny. Část algoritmu pro řízení plynového kotle lze vidět na obrázku 3.11.

Základní regulaci řízení zdrojů tepelného čerpadla a plynového kotle jsou zde:

Stav 1. Pokud horní teplota nádrže TC5 v akumulární nádrži teplo je nižší než požadovaná teplota otopné vody pro otopné okruhy, dojde za nádrží ke spuštění oběhové čerpadlo plynového kotle MC10 a ventil V8 a V9 zůstanou uzavřené. Plynový kotel reguluje výkon na požadovanou teplotu otopné vody TC5. Pokud systém nedosáhne po určité době požadované teploty, dojde k připnutí tepelného čerpadlo.

Stav 2. Při požadavku na chlazení se ventily V8 a V9 otevřou a tepelné čerpadlo dostane povolení chodu na chlazení.

Stav 3. Pokud nastane 2. stav, pak je kompresor tepelného čerpadla ošetřen tak aby nespínal v příliš častých intervalech.

Stav 4. Pokud nastanou stavy 1. a 2. najednou, znamená to, že jsou ve stejnou chvíli požadavky jak na topení, tak i na chlazení. V takovou chvíli jsou ventily V8 a V9 otevřeny a soustava je od sebe oddělena a oba systémy mohou dosáhnout požadovaných teplot.

■ Algoritmus plynového kotle

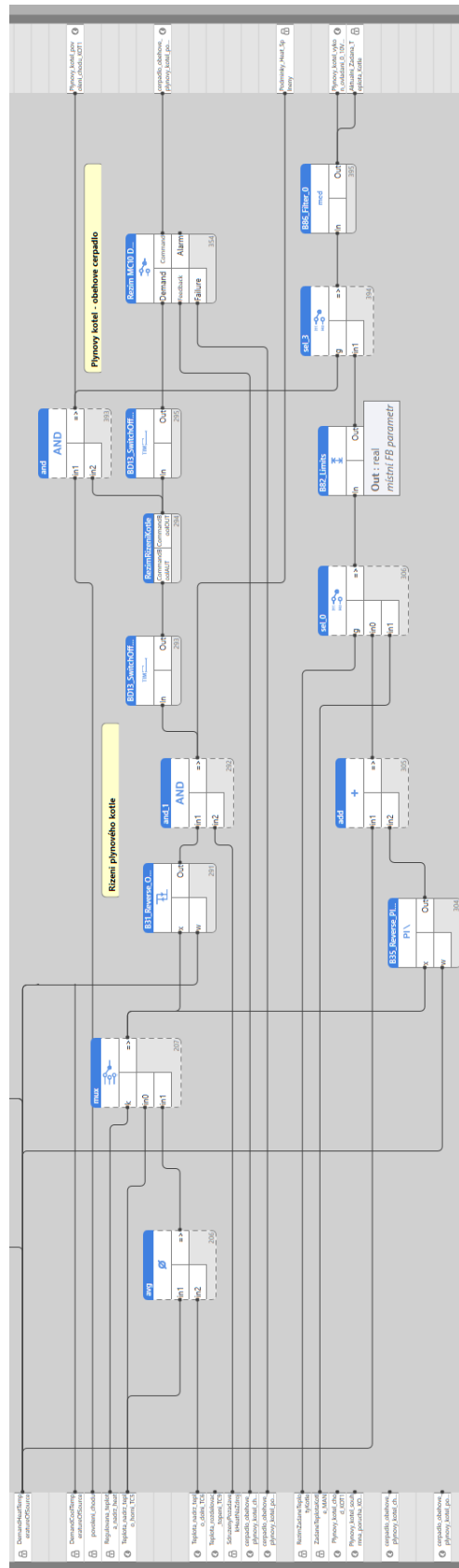
V této podkapitole je popsán princip fungování algoritmu pro řízení plynového kotle. Hlavním úkolem kotle je ohřát otopnou vodu v akumulární nádrži tepla kdy aktuální teplota vody v nádrži použita v řídicím algoritmu je určena na základě jednoho z následujících parametrů:

1. Horní teplota nádrže (TC5)
2. Průměr teplot mezi horní a dolní částí akumulární nádrže (TC5, TC6)

Podle zvolené regulované teploty se spouští chodu oběhového čerpadla a zároveň výkon kotle. Pro povolení chodu čerpadla musí být splněny následující podmínky:

1. Požadovaná teplota je větší nežli aktuální teplota v akumulční nádrži
2. Sdružený požadavek na teplo je aktivní
3. Režim kotle nastavený na automatický
4. Povolení chodu kotelny

Výkon čerpadla se řídí manuálně nebo automaticky, přičemž automatický režim řídí výkon pomocí PI regulátoru ze zvolené regulované teploty a požadované teploty systému. Základní regulace pro plynový kotel je navržena na základě předchozích stavů, ve kterých se kotel nacházel.



Obrázek 3.11: Ukázka části funkčních bloků pro řízení plynového kotle

■ Algoritmus tepelného čerpadla

Návrh hlavního algoritmus pro řízení tepelného čerpadla byl nastíněn v předešlé kapitole 3.3.1. Jelikož ještě nedošlo ke kompletní rekonstrukci daného objektu, není možné určit primární využití tepelného čerpadla jelikož samotné čerpadlo je ještě v testovací fázi. Tepelné čerpadlo, jak bylo již zmíněno dříve, má dva hlavní úkoly. Dohřát otopnou vodu nebo naopak ochladit chlazenou vodu. Každá z těchto možností definuje vlastní požadavek definovaný níže:

1. Systémový požadavek na chlazení
2. Systémový požadavek na topení

Nadále se dělí požadavek na stanovenou teplotu při použití tepelného čerpadla na automatický, který přichází ze systému a na manuální, přichází od uživatele. Druh požadavku taktéž definuje, zdali se jedná o změnu teploty akumulární nádrže chladu či akumulární nádrže tepla. Pro chod tepelného čerpadla je nastaven ochranný limit snižující četnost spouštění venkovní jednotky, kdy pro opětovné spuštění jednotky musí být splněny následující podmínky:

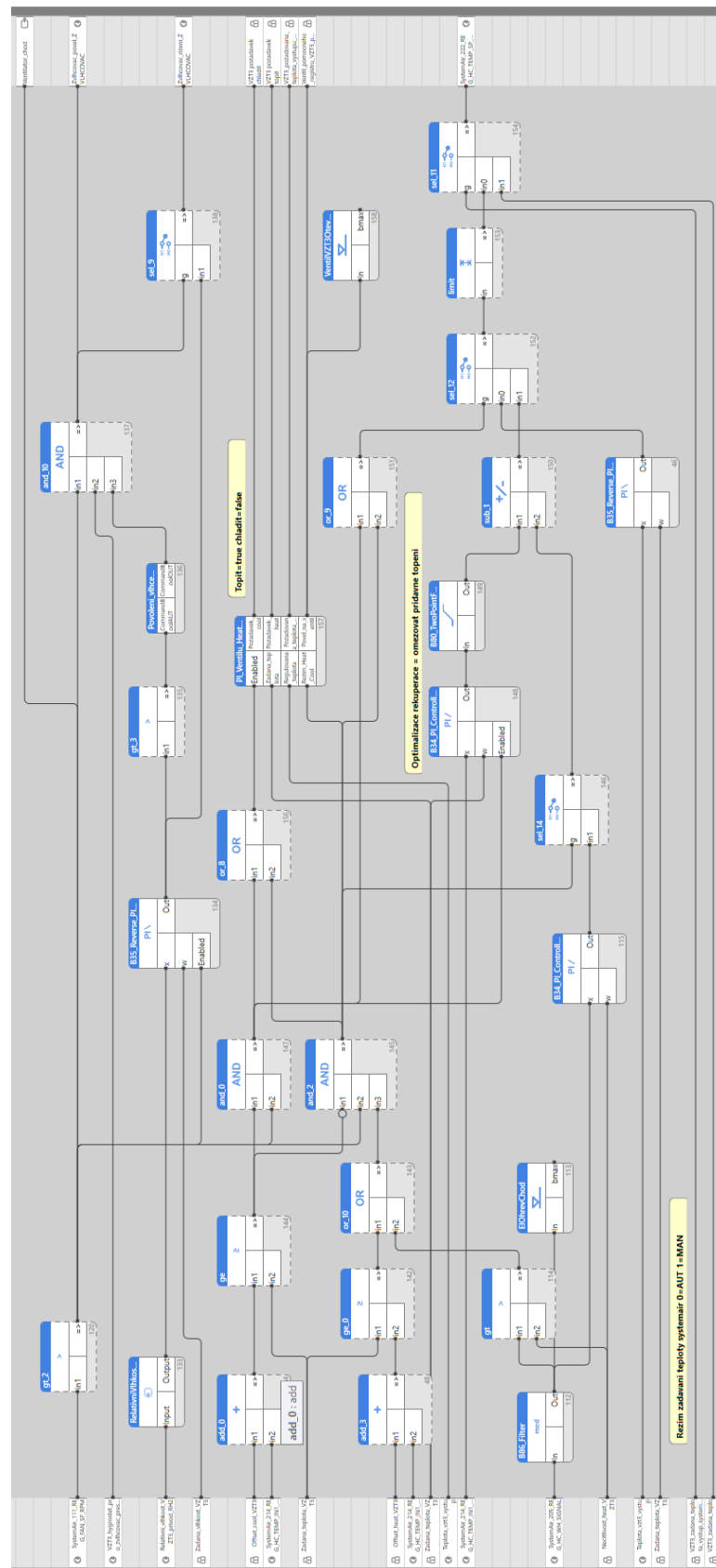
1. Rozdíl teplot mezi požadovanou a měřenou musí přesáhnout definované minimum
2. Musí dostat povolení k chodu ze řídicího systému kotelny
3. Při zastavení tepelného čerpadla dochází po předem definovanou dobu k blokaci příchozích požadavků na opětovné spuštění.
4. Režim tepelného čerpadla je nastaven automaticky

Pokud jsou splněny předchozí stavy, čerpadlo je znovu schopné reagovat na příchozí příkazy k chodu.

■ Algoritmus pro řízení jednotky VZT

Jednotka VZT je použita pro větrání obývacích místností. Součástí regulace vzduchotechnické jednotky je rotační rekuperátor, který slouží k odebrání citelného a vázaného tepla z odvodního vzduchu z prostoru, který slouží k ohřevu či chlazení vzduchu. Zároveň dochází i ke snížení celkové vlhkosti. Regulací rekuperátoru dochází k korekci požadované teploty. Součástí jednotky VZT je také vodní kombinovaný ohříváč/chladič, který bude regulován pomocí ventilu VZT3, který na základě požadavků od regulátoru (s vazbou na Čidlo kvality vzduchu VZT3 odtah QU1) bude směšovat chladící/otopnou vodu na požadovanou teplotu.

Poslední částí řízení vzduchotechnické jednotky bude zvlhčovač, který bude řízen podle relativní vlhkosti přívodu RH2. Využití zvlhčovače lze předpokládat především v zimním období, kdy ohřev vzduchu podstatně odvlhčí přiváděný vzduch do jednotlivých místností. Druhou podmínkou, která musí být splněna je povolení chodu od VZT3 hygrostatu. Celý algoritmus řízení VZT je znázorněn na obrázku 3.12



Obrázek 3.12: Ukázka části funkčních bloků pro řízení VZT jednotky

■ 3.3.2 Praktická ukázka regulace vybraných technologií

V této podkapitole jsou demonstrovány výsledky z naměřených dat v roce 2019, která byla poskytnuta firmou Energocentrum PLUS s.r.o.. Pro přehlednost jsou data prezentována v intervalech jednoho či dvou dní. Jelikož jednotlivé procesy v budově neprobíhají rychle, tyto intervaly jsou pro prezentaci chování jednotlivých zařízení dostačující.

Předpokladem celé prezentace dat je, že z pohledu MaR jsou všechna zařízení nainstalována a veškeré prvky odzkoušeny. Při zprovoznění softwaru pro regulaci řízení jednotlivých zařízení strojovny bylo nasazeno dispečerské rozhraní Mervis DB, ve kterém dochází k ukládání veškerých dat. Pomocí nich se budou v následujících měsících prověřovat a dále optimalizovat jednotlivé části regulace objektu.

■ Tepelné čerpadlo

Na obrázku 3.13 jsou zobrazena naměřená data z tepelného čerpadla. Ze získaných dat si lze povšimnout, že tepelné čerpadlo má tendenci k příliš častému spouštění i přes definované podmínky. Proto bude v budoucnu potřeba řízení tepelného čerpadla optimalizovat.

Dalším parametrem který bude nutno vylepšit je četnost přepínání funkcí tepelného čerpadla jako zdroje topení nebo chlazení. Situaci, jež je nutná k vylepšení si ilustrujeme následujícím příkladem.

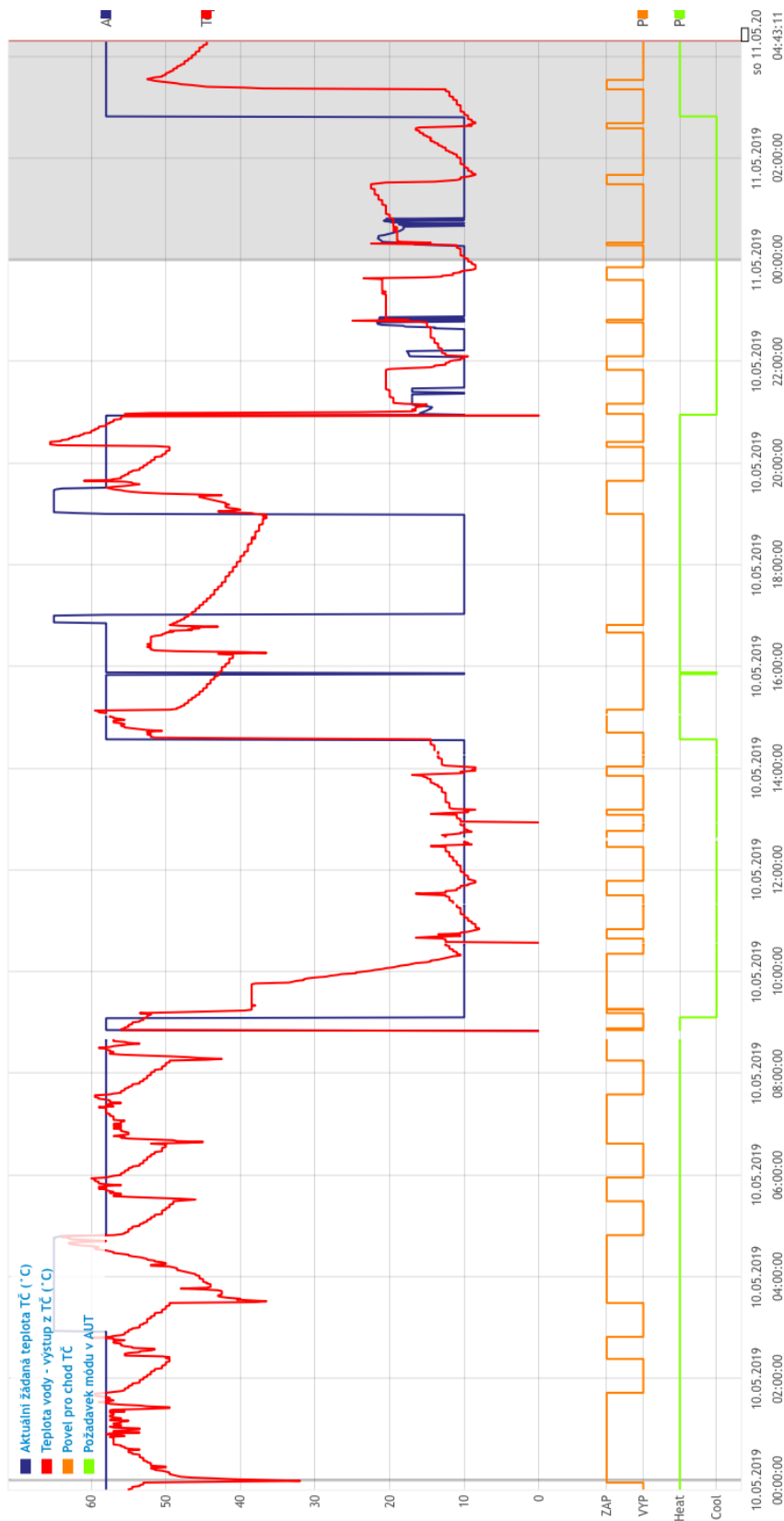
V případě kdy je v ranních hodinách chladno dojde ke spuštění čerpadla jako zdroje topení. Pokud v daný den dojde k výrazné změně teplot, dojde v tomto přechodu i k častému přepínání čerpadla mezi jednotlivými módy. Jedním z možných řešení je pak nadefinování minimální doby po kterou čerpadlo zůstává buď zdrojem tepla nebo zdrojem chladu.

Čerpadlo použité v tomto projektu je velmi odlišné oproti dříve používaným čerpadlům společnosti Energocentrum PLUS s.r.o., díky úrovni na které lze zasahovat do jeho řízení. V předchozích projektech byla základní regulace prováděna pouze na základě následujících pokynů:

1. Povolení chodu
2. Povolení chlazení/vytápění
3. Řízení 0-10V (například kde 1 V = 1 °C, 10 V = 10 °C)

V této práci máme poprvé možnost ovládat tepelné čerpadlo za pomoci protokolu Modbus RTU, kde lze pomocí registrů tepelného čerpadla získávat

údaje o některých stavech čerpadla. Proto se optimalizaci řízení toho čerpadla budeme zabývat v budoucnu.

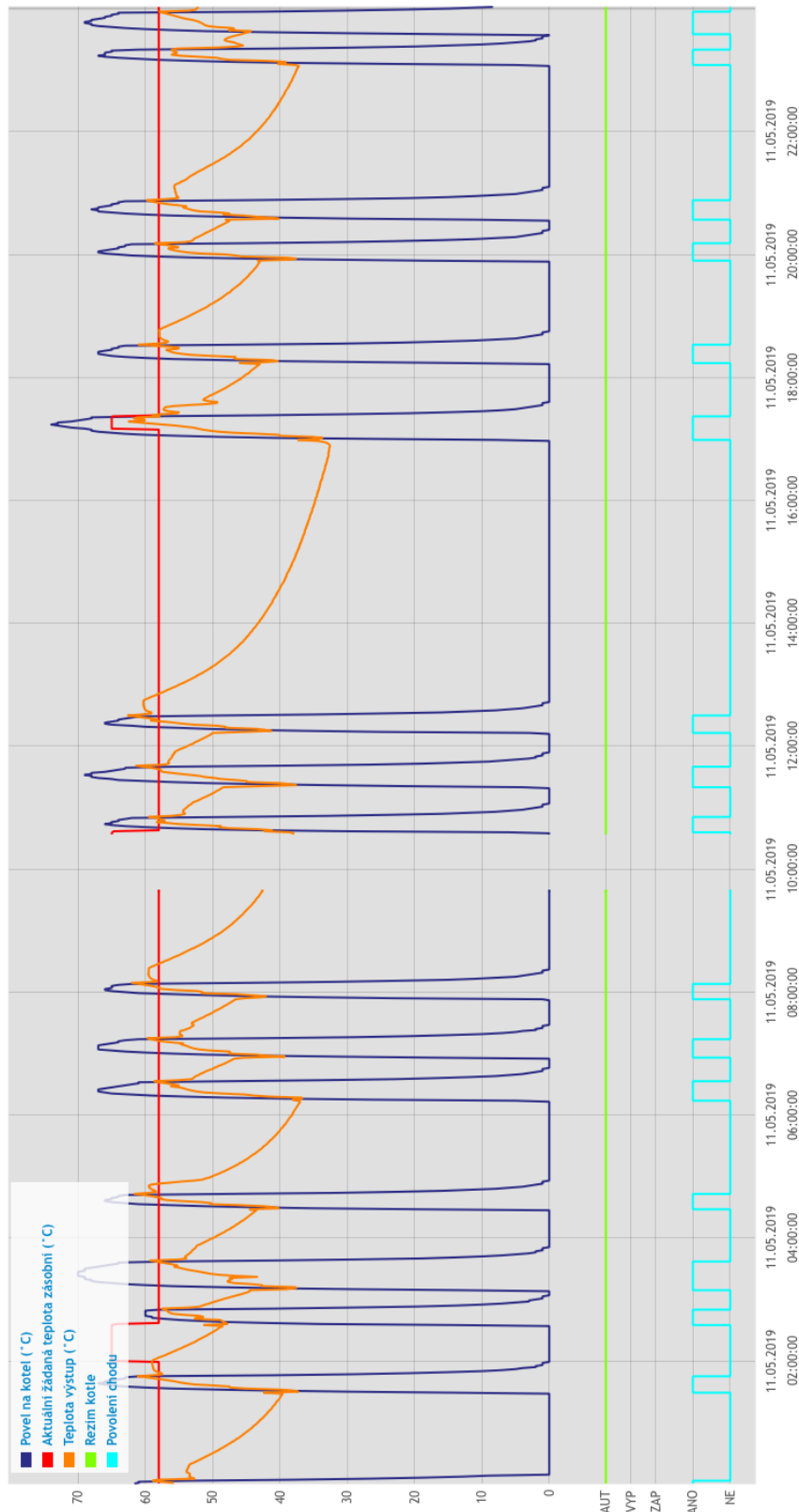


Obrázek 3.13: Naměřené data tepelného čerpadla požadavku na teplotu a v jakém režimu tepelné čerpadlo má fungovat od 9.5. 2019 do 12.5. 2019

■ Plynový kotel

Na obrázku 3.14 jsou naměřená data při provozu plynového kotle. Naměřená data chodu plynového kotle jsou zachycena v rámci jednoho dne. Lze si povšimnout častějšímu spínání kotle pro ohřev akumulární nádrže. V tuto chvíli je nutné optimalizovat dobu chodu kotle, tak aby kotel nespínal v příliš krátkých intervalech. Tuto optimalizaci lze jednoduše provést jako prodloužení minimálního požadavku chodu plynového kotle.

Regulační odchylku od požadované teploty bude optimalizována poté, co veškeré výše zmíněné problémy budou vyřešeny a nastavená hardware omezení budou splněna.



Obrázek 3.14: Naměřené data během jednoho dne plynového kotle dle požadavku na teplotu

Kapitola 4

Závěr

Cílem diplomové práce bylo popsat technické zařízení budov a jeho integraci do systému MaR. Dalším krokem je popis návrhu řízení jednotlivých zdrojů TZB, jež je následně nasazen a otestován v případě rekonstruované budovy. V Teoretické části byla popsána problematika návrhu při výstavbě a rekonstrukci objektů.

V první části bylo popsáno komunikační protokoly a jejich otevřenost. Následně jsou popsány problémy, které mohou vzniknout při integraci řídicích systémů do TZB. Součástí této části bylo shrnutí vývoje na českém trhu s řídicími systémy pro automatizaci a jejich integraci pro menší budovy. Dále jsou zmíněny periferie používané v současné době v tomto odvětví.

Další část pojednává o programovacích jazycích určených pro vývojová prostředí, která se řídí dle současných norem, podle kterých se jednotlivý výrobci řídicích systému musí řídit. Součástí je také popis vývojového prostředí Mervis IDE, ve kterém byl napsán hlavní algoritmus tohoto projektu pro řízení jednotlivých zařízení TZB.

Poslední část popisuje způsoby kterými člověk může interagovat s danou technologií. Jsou zde popsány způsoby ovládání a sledování jednotlivých hodnot systému ve víceúrovňových vizualizacích a jejich vývoj do budoucna.

V praktické části je proveden soupis dílčích komponent vybavení TZB použitého při rekonstrukci objektu. Následně je definován použitý komunikační protokol, pomocí něhož zařízení komunikují a je navržen celkový koncept integrace jednotlivých zařízení TZB do systému měření a regulace.

Z důvodu celkové náročnosti projektu se další části této práce zabývají jedním ze dvou kontrolních systému nesoucím název Strojovna. V případě tohoto systému byl popsán koncept při návrhu a následně sepsání datových bodů a návrh a koncepce integrace systému PLC se zdroji tepla, chladu a zařízení VZT. Při návrhu byly taktéž sepsány jednotlivé funkce které by měl systém zajišťovat.

Další část této práce popisuje zdroje, které byly použity jako zdroj tepla a chladu a implementace jejich řídicích algoritmů. Tyto algoritmy byly dále otestovány při reálném provozu a na základě získaných dat byla navržena možná zlepšení současného řešení.



Literatura

- [1] Marek Kulvejt. *Systém pro modelování chování budovy*. Výzkumná zpráva. Praha. 2015.
- [2] AUVIL, Ronnie J. *HVAC control systems*. Fourth edition. Orland Park, Illinois: American Technical Publishers, 2017. ISBN 08-269-0779-2.
- [3] *Intelligent building control systems*. Springer Berlin Heidelberg. ISBN 9783319684611.
- [4] BAŠTA, Jiří. *Hydraulika a řízení otopných soustav*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-010-2808-9.
- [5] *Fyzická vrstva* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://www.earchiv.cz/a92/a217c110.php3>
- [6] BAŠTA, Jiří. *Regulace vytápění*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2582-9.
- [7] *Přehled protokolu MODBUS* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://home.zcu.cz/~ronesova/bastl/files/modbus.pdf>
- [8] *UniPi technology Knowledge Base* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <https://kb.unipi.technology/>
- [9] *Programování PLC podle normy IEC 61131-3 v prostředí Mosaic* [online]. [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: http://www.edumat.cz/texty/Programovani_IEC61131-3.pdf
- [10] BÍLEK, Martin. *Projekt 2: Integrace systémů měření a regulace v chytrých domech*. [cit. 2019-04-08]



Příloha A

Přiložené soubory

Na přiloženém CD jsou umístěny tyto soubory:

1. Diplomová práce
2. Datové body pro strojovnu
3. Elektrické schéma zařízení
4. Zdrojový kód implementace algoritmu
5. CSV soubory pro implementaci zařízení po Modbus komunikaci
6. Vývojový prostředí Mervis IDE



Příloha B

Zkratky

Zde jsou popsány zkratky použité v dokumentu:

AI Analog input

AO Analog output

Bd Baud rate

BMS Building Management System

DALI Digital addressable Lighting Interface

DI Digital input

DO Digital output

DIP Dual In-line Package

FCU Fan-Coil Unit

MaR Měření a regulace

UT Ústřední topení

PLC Programmable logic Controller

IDE Integrated Development Environment

IO Input/Output

TUV Teplá užitková voda

VZT Vzduchotechnika

TZB Technické zařízení budov

IRC Integred Room Controller