

Bakalářská práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra řídicí techniky

Návrh regulace teplovodní kotelny

Martin Žižka

Studijní program: Kybernetika a robotika

Studijní obor: Systémy a řízení

2018

Vedoucí práce: Ing. Jan Šulc

Poděkování / Prohlášení

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce Ing. Janu Šulcovi za vedení, rady a podporu při zpracování práce. Dále bych rád poděkoval firmě Energo centrum PLUS, s.r.o., za poskytnutí materiálů pro zhotovení práce, konkrétně Jiřímu Zikmundovi a Ing. Petru Kuderovi za podporu a vstřícnost.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 25.5.2018

.....

Abstrakt / Abstract

Cílem této práce je seznámit čtenáře se základní problematikou technologie vytápění, regulace a PLC řídicích systémů a za pomoci těchto teoretických znalostí následně navrhnout elektrické schéma zařízení pro regulaci teplovodní kotelny. Pro navržené schéma implementovat algoritmy pro regulaci zařízení pomocí function block diagram dle normy IEC 61131-3.

Klíčová slova: PLC, regulace, vytápění, Měření a regulace, FBD

The goal of this bachelor thesis is to introduce the basic problematics of the heating technologies, regulation and PLC controlling systems to the reader. Based on this theoretical knowledge then design an electrical scheme of a device for heat line boiler room regulation. For the designed scheme then implement algorithms for the regulation of the device using function block diagram due to the norm of IEC 61131-3.

Keywords: PLC, regulation, heating, Measurement and regulation, FBD

Title translation: Control design of a water boiler

Obsah /

1 Úvod	1	Literatura	29
2 Technologie vytápění budov	2	A Přiložené soubory	31
2.1 Dělení vytápění dle umístění topidla	2	B Zkratky a symboly	32
2.2 Dělení dle typu zdroje tepla	4	B.1 Zkratky	32
2.2.1 Dělení dle druhu paliva	4	B.2 Symboly	32
2.2.2 Ostatní rozdělení	5	C Zadání práce	33
2.3 Dělení dle přenosu tepla do místnosti	5		
3 Regulace	6		
3.1 Regulátory	6		
3.2 Regulace vytápění	6		
3.2.1 Nízkoúrovňová regulace	6		
3.2.2 Nadřazená regulace	7		
4 PLC	9		
4.1 Periferie	9		
4.2 Řídící logika	9		
4.3 Porovnání PLC	10		
4.3.1 Vyhodnocení	11		
5 Návrh elektrického schéma řízení	12		
5.1 Zadané topenářské schéma	12		
5.2 Rozmístění čidel	14		
5.2.1 Analogové čidla	14		
5.2.2 Digitální čidla	15		
5.3 Postup při návrhu elektrického schéma	17		
5.3.1 Přívod a zdrojová část ...	17		
5.3.2 Silová část	17		
5.3.3 Stykače	19		
5.3.4 Relé	20		
6 Implementace algoritmů řízení ..	22		
6.1 Mervis IDE	22		
6.2 Algoritmy	22		
6.2.1 Algoritmus alarmových stavů	22		
6.2.2 Algoritmus provozu kotelny	24		
6.2.3 Algoritmus regulace spotřebitelských větví ...	25		
6.2.4 Algoritmus regulace TUV	25		
6.2.5 Algoritmus větrání a vytápění kotelny	26		
6.3 Zhodnocení	27		
7 Závěr	28		

Tabulky / Obrázky

4.1. Základní technické parametry MXPLC	10	2.1. Etážové vytápění – napojení otopných těles.	2
4.2. Základní technické parametry PFC200.....	10	2.2. Ústřední vytápění – napojení otopných těles.	3
4.3. Základní technické parametry ACOS200.....	10	2.3. Dálkové vytápění – schéma struktury propojení.	3
		3.1. Ekvitermní křivka.	7
		5.1. Topenářské schéma – spotřebitelské větve, kotlový okruh a okruh TUV.	13
		5.2. Schématické rozmístění čidel – spotřebitelské větve.	16
		5.3. Schématické provedení zdrojové části.	18
		5.4. Schématické provedení stykačové logiky.	19
		5.5. Schématické provedení havarijní smyčky.	21
		6.1. Částečné schéma funkčních bloků pro zapojení alarmových stavů	23
		6.2. Schéma funkčních bloků pro zapojení ohřevu teplé užitkové vody	26
		6.3. Schéma funkčních bloků pro zapojení vytápění kotelny	27

Kapitola 1

Úvod

V současné době je snaha uspořít náklady na vytápění a chlazení velmi žádoucí. Náklady na teplo a s nimi spojenou tepelnou pohodou nejsou v této době zanedbatelné. Velký potenciál v úsporách hraje otopné období. Pro Prahu trvá průměrné otopné období 225 dnů (venkovní teplota $+13\text{ }^{\circ}\text{C}$), přičemž venkovní teploty $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nižší trvají průměrně 52 dnů. Pro výpočet teploty, a tedy jmenovitého výkonu otopné soustavy, kdy teplota odpovídá $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$, uvažujeme pouhé 3 dny v roce. Při návrhu každé otopné soustavy jsou brány statisticky nejnižší hodnoty v otopném období a dochází k předimenzování této soustavy. V případě, že není otopná soustava regulována není při změně venkovních teplot schopna vyvinuté teplo ekonomicky zúžitkovat a dochází k přetápění objektu. Pro příklad, při použití ekvitermní regulace lze dlouhodobě docílit úspory o 10-20% z nákladů na vytápění. Z tohoto důvodu je regulace každé otopné soustavy velmi žádoucí.[1][2]

Hlavním tématem této práce je návrh elektrického schéma teplovodní kotelny a implementace algoritmů pro regulaci teplovodní kotelny. Ve druhé kapitole 2 je teoreticky popsána technologie vytápění, následuje rozdělení podle umístění topidla 2.1, typu topidla 2.2 a způsobu vytápění 2.3. Ve třetí kapitole 3 se zabývám pojmem regulace, včetně popisu PID regulátoru 3.1 a hlavním obsahem této kapitoly je regulace ve vytápění 3.2. Ve čtvrté kapitole 4 je vysvětlen pojem PLC a následně jsou porovnána tři různá PLC z hlediska technického i ekonomického 4.3, přičemž potřebné materiály byly poskytnuty firmou Energocentrum PLUS, s.r.o.. V následující kapitole 5 jsou popsány metody pro návrh elektrického schéma řízení, od analýzy topenářského schéma 5.1, přes rozmístění čidel 5.2 až po metodu stykačové a releové logiky 5.3.3. V poslední kapitole 6 uvádím algoritmy, které jsou implementovány ve vývojovém prostředí Mervis IDE, včetně ukázek funkčních blokových schémat. Součástí poslední kapitoly je i zhodnocení možných technických vylepšení a dosažitelných úspor.

Kapitola 2

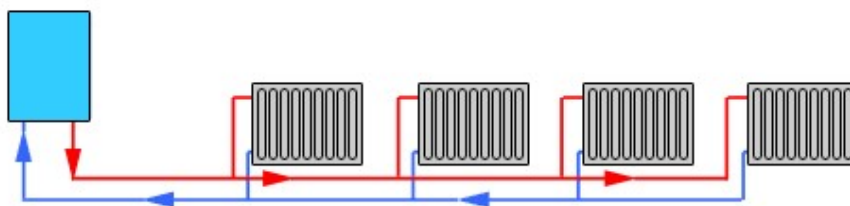
Technologie vytápění budov

Vytápění je charakterizováno jako činnost, jejíž hlavním úkolem je udržování teploty uvnitř objektu na úrovni tzv. tepelné pohody. V praxi je rozlišováno několik druhů vytápění. Dělíme je podle umístění zdroje tepla, podle typu zdroje tepla a podle způsobu přenosu tepla do místnosti.

2.1 Dělení vytápění dle umístění topidla

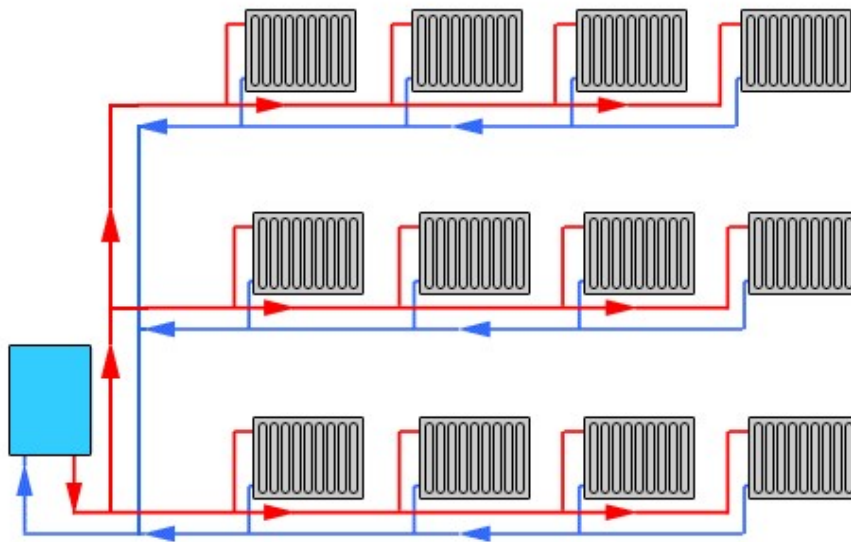
Vytápění dělíme na lokální vytápění, etážové vytápění, ústřední vytápění a dálkové vytápění.

- **Lokální (místní) vytápění** – „Lokální topení patří mezi nejjednodušší, a mnohdy i nejvhodnější způsob vytápění jedné či více místností“ [3]. Zdroj tepla předávající teplo, je umístěn přímo ve vytápěné místnosti. Tento způsob vytápění se liší od ostatních způsobů vytápění rychlou instalací zdroje tepla bez potřeby budování rozvodu pro šíření tepla. Lokální vytápění se velmi obtížně reguluje a je zde potřeba samostatná obsluha.[3]
- **Etážové vytápění** – Zdroj tepla je umístěn zhruba ve stejné rovině jako otopná tělesa. Tento druh vytápění se nejčastěji používá pro vytápění jedné bytové jednotky nebo jednoho patra budovy. Jelikož nedochází k rozšíření rozvodů do dalších pater, nedochází tedy ani ke zbytečným ztrátám tepla při vedení tepla trubkami jinudy než přes vytápěné místnosti. Výhodou tohoto vytápění je velmi snadná regulace. Při použití vytápění pro jednu bytovou jednotku, lze při správném užívání docílit velkých úspor.[4]



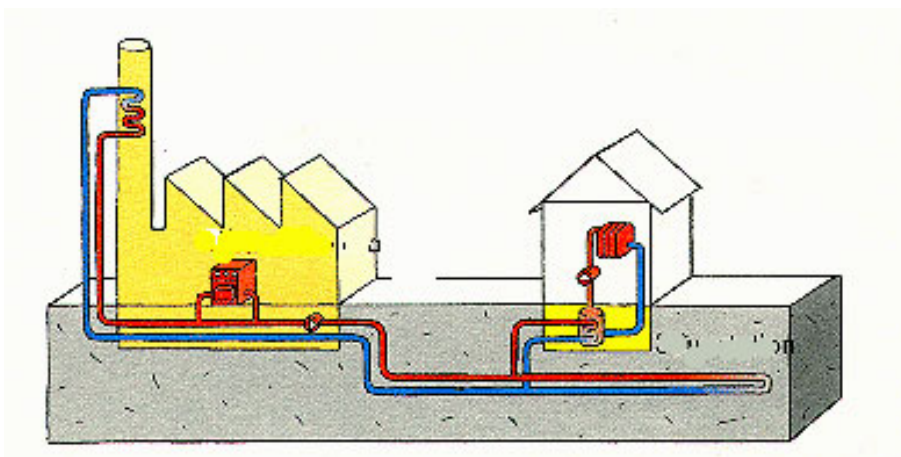
Obrázek 2.1. Etážové vytápění – rozvod do soustavy otopných těles. [4]

- **Ústřední vytápění** – Ústřední vytápění je do velké míry podobné vytápění etážovému, liší se rozsahem rozvodu tepla. V praxi se využívá dodávka ústředního vytápění pro jeden až tři domy. Umístění tepelného zdroje bývá nejčastěji ve sklepě nebo kotelně, výhradně kvůli skladu nebo zásobníku paliva. Ústřední vytápění dodává teplo do více pater celého objektu, pomocí teplovodních stupaček, rozvádějících teplo do otopných těles po celé budově. Při rozvodu do jednotlivých pater, však dochází ke ztrátě tepla, což má za důsledek rozúčtování tepla mezi všechny bytové jednotky.[5]



Obrázek 2.2. Ústřední vytápění – rozvod do soustavy otopných těles. [5]

- Dálkové vytápění** – Zdroj tepla je umístěn mimo vytápěný objekt v samostatné budově (teplárna, kotelna, výměník tepla). Dálkové vytápění se nejčastěji používá pro dodávku tepla na sídlištích. Při rozvodu tepla do jednotlivých objektů dochází ke značným tepelným ztrátám, které mají za důsledek složité vyúčtování celkových nákladů mezi jednotlivé uživatele. U většího počtu domů, čtvrtí nebo sídlišť nejčastěji kotelny nahrazují výměňkové stanice, které bývají používány pro několik domů dohromady. Výměňková stanice funguje na principu rozvodu přehřáté páry, získané ze vzdálených tepláren nebo elektráren jako odpadní teplo. Otopné objekty mají primární a sekundární okruh. Primárním okruhem proudí pára pomocí parovodů a následně předává teplo sekundárnímu okruhu, ve kterém proudí voda do otopných těles.[6]



Obrázek 2.3. Dálkové vytápění – schéma struktury propojení vzdáleného zdroje tepla a objektu. [6]

2.2 Dělení dle typu zdroje tepla

Zdroj tepla lze charakterizovat jako zařízení, dodávající teplo tepelné soustavě. Z důvodu situace, kdy zdroj tepla nedokáže předat přímo teplo do spotřebiče, bývá často využíván tepelný výměník. Tepelný výměník je zařízení, sloužící k výměně energie mezi soustavami s různými parametry. Nejčastějším důvodem využití tepelného výměníku jsou rozdílné teplotné látky nebo rozdílné tlakové poměry (primární a sekundární okruh). Zdroje tepla lze dělit podle druhu paliva, pracovního média, použitého materiálu, způsobu umístění a upevnění a dle odvodu spalin.

2.2.1 Dělení dle druhu paliva

- **Plynové kotle** – Plynové kotle využívají jako palivo nejčastěji zemní plyn a vzácněji svítiplyn. Plynové kotle lze dělit na klasické, nízkoteplotní, kondenzační (způsob provozu), jednostupňové, dvoustupňové, spojitě (počet výkonových stupňů hořáků), s tlakovým hořákem a nebo s atmosferickým hořákem (typ hořáku).
- **Kotel na kapalná paliva** – Kotle na kapalná paliva dělíme na kotel na lehký topný olej a kotel na naftu. Kotel na lehký topný olej je nejčastěji využíván na místech, kde není v plánu zavedení plynofikace.
- **Kotel na tuhá paliva** – Kotle na tuhá paliva dělíme podle druhu paliva – kotel na dřevo, uhlí, koks a pelety (lisované piliny a hobliny). Nevýhodou těchto kotlů je velmi obtížná regulace z důvodu stále přítomnosti člověka.
- **Elektrické kotle** – Elektrické kotle dělíme podle vytápění objektu nebo ohřev vody. Rozlišujeme elektrické kotle pro vytápění, elektrické kotle pro ohřev TUV a elektrické kotle pro kombinovaný provoz (vytápění objektu i TUV).
- **Krby a kamna** – Krby a kamna mohou sloužit i jako lokální topidla, určená pro vytápění místnosti, tak i pro ohřev teplovodních rozvodů nebo vzduchu. Krby využívají primárně dřevo, naopak kamna využívají veškerá tuhá paliva.
- **Kogenerační jednotka** – Kogenerační jednotka kombinovaně vyrábí teplo a elektrickou energii. Kogenerační jednotka funguje na principu předávání odpadového tepla přes výměník do soustavy zásobování teplem a používá se pro blokové kotelny, vyrábějící teplo pro jednotky bytových domů nebo větších sídlišť.
- **Tepelné čerpadlo** – Tepelné čerpadlo je zařízení odebírající teplo z jednoho prostředí a dodávající teplo do druhého prostředí. Tepelné čerpadlo nejčastěji odebírá teplo z vody, vzduchu nebo země a funguje na principu obráceného Carnotova cyklu, probíhajícího ve čtyřech cyklech (vypařování - komprese - kondenzace - expanze).
- **Solární vytápění** – Solární vytápění lze realizovat třemi způsoby – kapalinovým, teplovzdušným a fotovoltaickým solárním vytápěním. Kapalinové solární vytápění používá vodu jako teplotně nosnou látku, šířící teplo do otopných těles nebo k využití jako TUV. Fotovoltaické solární vytápění používá přeměnu slunečního záření na elektrickou energii, která je následně přeměněna na teplo.
- **Teplovzdušné vytápění** – Teplovzdušné vytápění s rekuperací funguje na principu cirkulace vzduchu ve všech místnostech objektu. Hlavní funkcí cirkulace vzduchu je, aby byl nový nasátý vzduch ohřán pomocí tepla odpadního vzduchu.[7][8]

■ 2.2.2 Ostatní rozdělení

Dalším velmi důležitým rozdělením je dělení podle pracovního média. Používají se teplovodní (voda s teplotou do 115 °C), horkovodní (voda s teplotou nad 115 °C) a parní teplotonosná média. Dále rozlišujeme zdroje tepla podle materiálu, způsobu upevnění, způsobu umístění a odvodu spalin. Nejčastěji rozlišované materiály jsou ocel a litinové články. Kotle lze umístit a upevnit dvěma způsoby – stacionárně, tedy na podlaze, nebo také zavěšením kotle na zeď. Odvod spalin lze realizovat několika způsoby, nejčastěji se používá klasický komín nebo komínu velmi podobný kouřovod se stejnou funkcí.[10]

■ 2.3 Dělení dle přenosu tepla do místnosti

Pro přenos tepla do místnosti rozlišujeme čtyři základní možnosti. Přenos tepla otopnými tělesy, teplým ohřátým vzduchem, stěnovým vytápěním nebo podlahovým vytápěním.

- **Otopná tělesa** – Nejčastější možností k předávání tepla do místnosti je otopné těleso. Otopná tělesa dělíme na desková, článková a trubková.
- **Teplovzdušné vytápění** – Teplovzdušné vytápění využívá teplý ohřátý vzduch, který je realizován teplovzdušným topidlem nebo vzduchotechnickou jednotkou.
- **Stěnové vytápění** – Nejčastěji využívanou možností stěnového vytápění je stěnové vytápění v trubkách, které zahrnuje zdroj tepla a rozvod tepla teplou vodou v trubkách, které jsou umístěny ve stěně.
- **Infra vytápění** – Mezi stěnové vytápění patří i infra vytápění, které využívá jevu infračerveného záření, a umožňuje přenos tepla ze zdroje pomocí sálání. Pro infra vytápění se nejčastěji využívají infrapanely.
- **Podlahové vytápění** – Funguje na stejném principu jako stěnové vytápění, avšak rozvod tepla teplou vodou v trubkách je umístěn v podlaze.[9]

Kapitola 3

Regulace

Regulaci lze definovat jako snahu udržet regulovanou veličinu na určité, velmi často konstantní hodnotě tzv. žádané hodnotě. Pro regulaci se používá regulátor, realizující tuto funkci.

V této kapitole bude vysvětlen regulátor typu PID. Hlavní částí této kapitoly bude regulace vytápění.

3.1 Regulátory

Jedním z nejpoužívanějších regulátorů je regulátor typu PID, avšak nejčastěji se v praxi a v průmyslu využívá regulátor typu PI, kvůli velmi dobré robustnosti. Nejčastější využití regulátoru PI je pro regulaci ventilů.

- **Regulátor PID** – Regulátor typu PID je proporcionálně-integračně-derivační regulátor, odstraňující trvalou regulační odchylku (integrační složka), a také má velmi dobré dynamické vlastnosti regulačního obvodu (derivační složka).[11]

3.2 Regulace vytápění

Vzhledem k roustoucím nákladům na vytápění je regulace vytápění velmi žádoucí. Z tohoto důvodu je nutné správně navrhnout potřebnou regulaci otopné soustavy, obsaženou téměř v každém objektu. „*Nejrozšířenějším způsobem regulace je používání termostatických ventilů a termostatických hlavice*“[12]. Při návrhu regulace je důležité brát v potaz typ objektu, jelikož pro každý typ objektu se hodí odlišná regulace. Regulaci lze dělit na nízkoúrovňovou a nadřazenou, kde mezi nízkoúrovňovou regulací můžeme řadit regulaci ventilů pomocí termostatického ventilu a termostatické hlavice i regulaci podle prostorové teploty. Nízkoúrovňová regulace je především vhodná pro menší objekty s menším počtem místností. Mezi nadřazenou regulaci řadíme ekvitermní regulaci, IRC neboli Individual room control regulaci a prediktivní řízení. Ekvitermní regulace se nejčastěji používá pro rodinné domy a bytové domy napojené na dálkové zásobování teplem. IRC regulace jako častá nastavba ekvitermní regulace je tak vhodná pro rodinné domy, ale i pro administrativní budovy, nemocnice, školy a hotely, kde je vhodná regulace každé místnosti zvlášť podle využití a požadavků uživatele.

3.2.1 Nízkoúrovňová regulace

- **Termostatický ventil** – Termostatický ventil funguje na principu nastavení teploty vzduchu v místnosti uživatelem. Tato teplota je dále automaticky regulována i za nepřítomnosti uživatele. Nevýhodou termostatického ventilu a termostatické hlavice je závislost na manuálním nastavení uživatele.[11]

- **Termostatická hlavice** – Termostatická hlavice funguje na principu regulace průtoku otopného média v závislosti na tepelné dilataci kapaliny, plynu nebo pevné látky. Tepelná dilatace má za příčinu roztažnost látky vlivem změny teploty u termostatické hlavice. Je-li termostatická hlavice připojena na termostatický ventil dochází v důsledku dilatace k regulaci průtoku média.[11]
- **Regulace podle prostorové teploty** – Pro regulaci podle prostorové teploty se nejčastěji používají pasivní čidla (Pt100, Pt1000, Ni1000), nebo prostorový termostat. Pasivní čidlo funguje na principu měření odporu kdy je čidlo napájeno konstantním proudem a je měřen úbytek napětí na čidle. Nevýhodou této regulace je spínání tepelného zdroje podle prostorového termostatu v jedné místnosti, v ostatních místnostech tedy téměř nelze ovlivnit teplotu.[11]

3.2.2 Nadřazená regulace

- **Ekvitermní regulace** – Velmi rozšířeným druhem regulace teploty je ekvitermní regulace. Ekvitermní regulace je regulace, závislá na venkovní teplotě, která je měřena teplotním čidlem. Jestliže je venkovní teplota nižší (resp. vyšší) vzniká požadavek na zvýšení (resp. snížení) teploty topné vody. K tomu dochází z důvodu potřeby kompenzace dodaného tepla a tepelných ztrát místnosti. Pro tuto regulaci se také používají tzv. ekvitermní křivky, popisující závislost teploty otopné vody, venkovní teploty a vybrané místnosti.[13]



Obrázek 3.1. Ekvitermní křivka – Graf závislosti teploty topné vody na venkovní teplotě a místnosti. [13]

- **IRC regulace** – IRC regulace funguje na základě nastavení individuální teploty v každé místnosti objektu, nezávisle na okolních prostorách, v závislosti na časovém harmonogramu. Časový harmonogram umožňuje nastavení časového průběhu nastavených teplot v průběhu dne k dosažení maximální spokojenosti uživatele, a také k maximálním úsporám, tedy nevytápění prostoru v době, kdy to není nutné. IRC regulace se často používá jako nastavba ekvitermní regulace.[14]
- **Prediktivní řízení** – „Jádrem algoritmu prediktivního řízení je řešení optimalizační úlohy s daným kritériem optimality a modelem procesu“[13]. Kritéria optimality se volí podle požadávek na vytápění. Požadavky mohou být vnitřní teplota, omezená

spotřeba energie na vytápění a další. Prediktivní řízení na rozdíl od jiných metod funguje v širším intervalu predikce a hledá optimální posloupnost akčních zásahů na základě modelu procesu.[13]

Kapitola 4

PLC

V této kapitole bude vysvětlen pojem PLC a jeho funkce. Následně budou zhodnoceny tři různé PLC z hlediska technického i ekonomického.

PLC neboli programovatelný logický automat (programmable logic controller) je mikroprocesorem řízený počítač s vlastním operačním systémem, nejčastěji využívaný v průmyslu. PLC se používá pro automatizaci procesů v reálném čase. PLC dělíme podle konstrukce na kompaktní a modulární.

- **Kompaktní** – jeden modul obsahuje CPU (Central Procesor Unit), analogové vstupy, analogové výstupy, digitální vstupy a digitální výstupy. Dále obsahuje základní podporu komunikace, může obsahovat i zdroj napájení. U kompaktního systému je omezena rozšiřitelnost o další kompaktní moduly.
- **Modulární** – jednotlivé komponenty systému jsou rozděleny do modulů. PLC systém se následně skládá podle potřeby, nejčastějšími moduly jsou zdroj, CPU, analogové vstupy, analogové výstupy, digitální vstupy a digitální výstupy. Modulární systém lze rozšiřovat o další moduly v rozsahu jeho sběrnice.

4.1 Periferie

Pro komunikaci PLC využívá tzv. periferie a interface (rozhraní). Rozlišujeme vstupní a výstupní periferie. **Vstupní periferie** se používají pro přivedení signálů z řízeného procesu. Přivedený signál dělíme na analogový a digitální. Analogový spojitý signál představuje u kotelen nejčastěji hodnotu teploty nebo tlaku. Digitální signál představuje nejčastěji binární signál stavu zapnuto nebo vypnuto. **Výstupní periferie** slouží k připojení akčních prvků řízeného provozu. Řídicí signál dělíme na analogový a digitální, oba signály fungují na stejném principu jako u vstupní periferie. Analogovým spojitým signálem můžou být například řízeny otáčky ventilátoru nebo rychlost a poloha regulačního ventilu. Digitálním signálem lze například řídit stykač motoru nebo relé cívk. Rozhraní slouží pro komunikaci s jinými zařízeními pomocí sériové komunikace RS232 (například GSM modemu), RS485 (například připojení pokojového ovladače), Ethernetu (komunikace s programátorem) nebo centrálním dispečerským pracovištěm.

4.2 Řídicí logika

Pro řízení celého systému se používá řídicí logika. Řídicí logika ovládá výstupy na základě stavu jednotlivých vstupů, za účelem dosažení nejmenší odchylky od zadané nebo žádané hodnoty. Řídicí logika je programována programátorem a výsledná řídicí logika je následně uložena do paměti PLC.

4.3 Porovnání PLC

Pro porovnávání byly vybrány dvě PLC, které jsou nejčastěji využívány firmou Energo centrum PLUS, s.r.o., MXPLC od společnosti Domat Control System a Controller PFC200 750-8202 od společnosti Wago corporation a třetí PLC ACOS200 od společnosti AMIT automation, která je jedním z největších dodavatelů PLC v České republice.

- **MXPLC** – MXPLC je kompaktní procesní stanice s integrovaným I/O modulem. Stanice může být po sběrnici RS485 doplněna o další I/O moduly. I/O moduly se skládají z 16 analogových vstupů, 8 analogových výstupů, 32 digitálních vstupů a 32 digitálních výstupů. MXPLC obsahuje také PLC modul (obsahující procesor a paměť), komunikační rozhraní (COM porty RS232 a RS485, Ethernet) a napájecí část.

Napájení	18-35 V DC nebo 14-24 V AC
Analogové vstupy	1-8 odporové, 9-16 odporové, 0-10 V DC nebo 0(4)-20 mA
Analogové výstupy	0-10 V DC, maximální zatížení 10 mA, zkratu vzdorné
Digitální vstupy	24 V AC/DC
Digitální výstupy	relé spínající při 5 A/250 V AC nebo 5 A/30 V DC
Frekvence procesoru	400 MHz
Pracovní teplota	0 °C až 70 °C

Tabulka 4.1. Základní technické parametry MXPLC

- **PFC200 750-8202** – PFC200 model 750-8202 je modulární řídicí systém. K tomuto modelu lze připojit až 64 I/O modulů z řady 750 a 753, při rozšíření sběrnice dokonce až 250 modulů. Moduly se připojují jako karty za řídicí systém a musejí být ukončeny zakončovacím modulem. Komunikační rozhraní PFC200 obsahuje 2x ethernet a jeden komunikační kanál RS232 nebo RS485.

Napájení	24 V DC
Max. vstupní proud	550 mA
Frekvence procesoru	600 MHz
Pracovní teplota	0 °C až 55 °C

Tabulka 4.2. Základní technické parametry PFC200

- **ACOS200** – ACOS200 je kompaktní řídicí systém. Tento systém obsahuje 32 digitálních vstupů, 32 digitálních výstupů, 16 analogových vstupů a 8 analogových výstupů. Komunikační rozhraní ACOS200 obsahuje komunikační kanál RS232 i RS485, Ethernet a dvě volitelné rozhraní řady CM (moduly RS485, CAN nebo RS232).

Napájení	24 V DC
Analogové vstupy	odporové, 0-10 V DC nebo 0-20 mA
Analogové výstupy	0-10 V DC, max. zatížení 10 mA
Digitální vstupy	24 V DC
Digitální výstupy	24 V/0.3 A DC
Frekvence procesoru	180 MHz
Pracovní teplota	-40 °C až 70 °C

Tabulka 4.3. Základní technické parametry ACOS200

■ 4.3.1 Vyhodnocení

Z výše tří vybraných řídicích systémů je jedno PLC modulární a zbylé dvě jsou kompaktní, avšak systém obou kompaktních PLC je modulární, z toho důvodu, že lze přidat další moduly. Prakticky nelze modulární a kompaktní PLC srovnávat, z toho důvodu, že každý druh bývá použit v jiné situaci. Modulární PLC je zvýhodněno velkou škálou různých typů karet, které lze libovolně kombinovat. Modulární řídicí systém se hojně využívá v místech, kde je potřeba řízení chodů zařízení a prakticky jsou využívány jen digitální vstupy a výstupy, nebo naopak v situacích, kde je rozsah I/O bodů, tak rozsáhlý, že i v případě kompaktního systému, je potřeba využít více modulů. V tomto případě může dojít k situaci, kde více kompaktních modulů nebude ekonomicky výhodné, například z důvodu využití jen malé části dalšího kompaktního modulu. Velkou nevýhodou PLC od společnosti Wago corporation je velmi vysoká cena každé karty. Pro srovnání, při stejném počtu vstupů i výstupů, kterými disponují vybrané kompaktní PLC je modulární PLC mnohonásobně dražší. Zbylé dvě kompaktní PLC si jsou velmi podobné, malá odlišnost je ve frekvenci procesoru, pracovní teplotě a různého napětí na digitálních vstupech a výstupech. Ve všech těchto odlišnostech má výhodu PLC od firmy Domat Control System. Největší rozdíl mezi těmito PLC je ale cena. Kde PLC od firmy Amit automation stojí 27250 Kč a PLC od firmy Domat Control System stojí 18625 Kč (Ceny jsou brány z oficiálních ceníků firem pro rok 2018). Z tohoto důvodu bylo vybráno PLC MXPLC od společnosti Domat Control System pro řízení zadané teplovodní kotelny.

Kapitola 5

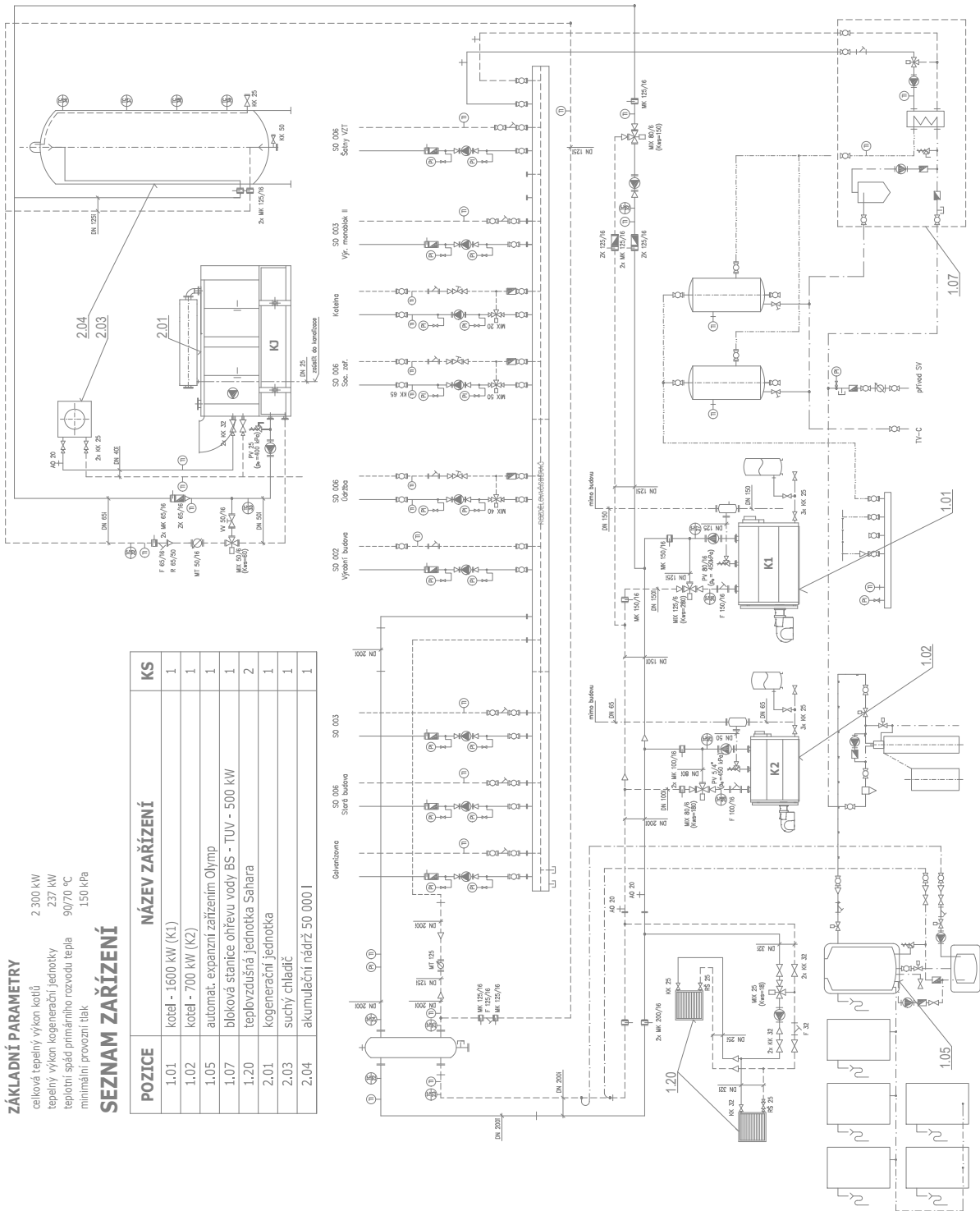
Návrh elektrického schéma řízení

V této části budou vysvětleny jednotlivé kroky při návrhu elektrického schéma řízení. Elektrické schéma kotelny bylo navrhováno dle podkladů od firmy Energocentrum PLUS, s.r.o., která se mimo jiné zabývá návrhem a realizací projektových dokumentací. Výsledkem bude elektrické schéma, které je následně použito jako podklad pro implementaci algoritmů řízení regulace kotelny.

Pro návrh elektrického schéma byl použit graficko-databázový software EPLAN Electric P8.

5.1 Zadané topenářské schéma

Pro návrh elektrického schéma byla dodána topenářská technologie dané kotelny, která je na Obrázku 5.1. Kotelna je vybavena dvěma kotli s plynovými hořáky a kogenerační jednotkou s akumulací nádrží. Kogenerační jednotka slouží pro výrobu elektrické energie a ohřev vody odpadovým teplem. Vratná voda sekundárního okruhu kogenerační jednotky je napojena na společné potrubí pro akumulací nádrž a kogenerační jednotku. Toto potrubí je dále napojeno před anuloid na vratné potrubí ze spotřebitelských větví. Topná voda z kogenerační jednotky je napojena na potrubí topné vody mezi akumulací nádrž a kotlový okruh. V sekundárním okruhu kogenerační jednotky se nachází oběhové čerpadlo a směšovací ventil pro zajištění požadované výstupní teploty z kogenerační jednotky. Teplo z chlazení kogenerační jednotky je odváděno vzduchovým chladičem pomocí oběhového čerpadla. Kotlový okruh je veden skrze anuloid do sdruženého rozdělovače a sběrače s 10 kusy samostatných spotřebitelských okruhů, ze kterých jsou napojeny jednotlivé objekty, příprava teplé vody se dvěma akumulacími nádržemi a vytápění kotelny. Vytápění vlastního prostoru je řešeno dvěma kusy teplovzdušných jednotek SAHARA, které jsou napojeny na kotlový okruh před anuloidem. O tlak v systému se stará automatické expanzní zařízení Olymp.



Obrázek 5.1. Topenářské schéma – sdužený sběrač a rozdělovač se spotřebitelskými větvemi, kotlový okruh, okruh TUV, kogenerační jednotka s nádrží.

5.2 Rozmístění čidel

Jedním z nejdůležitějších faktorů návrhu elektrického schéma je rozmístění čidel. Pro správné rozmístění čidel je důležité znát danou technologii, aby byla čidla správně rozmístěna a pomocí regulace mohlo dojít k co největším úsporám. Čidla dělíme na analogová a digitální. Nejčastější regulovanou veličinou u kotelen je teplota. Existují také normy a vyhlášky, které popisují jaká čidla musí kotelná obsahovat. Dle vyhlášky ČÚBP č. 91/1993 Sb. a ČSN 07 0703 se jedná o kotelnu II. kategorie, jelikož kotelny se součtem jmenovitých výkonů kotlů nad 0,5 MW do 3,5 MW včetně jsou II. kategorie.

5.2.1 Analogové čidla

Analogových čidel existuje nespočet druhů pro měření různých regulovaných veličin. V tomto projektu byla použita analogová čidla pro měření teploty a tlaku. Nejčastějším místem, kde jsou umístěna čidla teploty je u směšovacích ventilů, kde lze pomocí teploty a ventilu regulovat teplotu vody na požadovanou teplotu. V tomto projektu lze dělit čidel na :

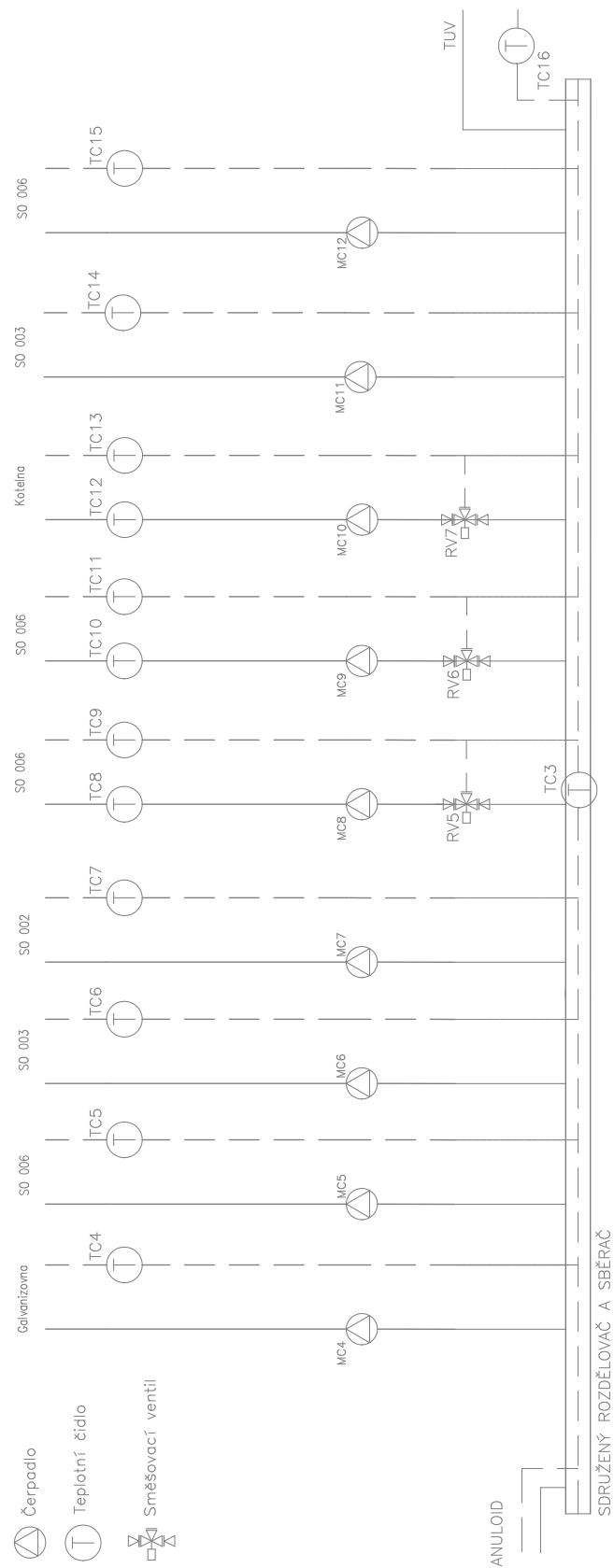
- **Čidla pro monitoring kogenerační jednotky** – Analogové čido teploty je pro monitoring kogenerační jednotky použito celkem 9x. Při použití kogenerační jednotky je použita i velká akumulární nádrž (na 50000 litrů), která slouží při používání kogenerační jednotky pro odvod odpadního tepla ze systému. Pro tuto akumulární nádrž jsou použita čtyři čidla teploty, každé čidlo v jiné výšce, jelikož při tak velkém objemu nádrže, je v každém místě jiná teplota. Následující teplotní čidlo je použito pro monitoring teploty přírodní vody do akumulární nádrže. Pro monitoring teplot vratné a výstupní vody kogenerační jednotky byla použita další dvě teplotní čidla, kde bylo čidlo pro vratnou vodu do kogenerační jednotky použito z důvodu potřeby optimální vratné vody (65 °C) pro kogenerační jednotku, která je pomocí této teploty regulována směšovacím ventilem za kogenerační jednotkou. Jedno z posledních dvou teplotních čidel bylo použito za uzlem vody z kogenerační jednotky a z akumulární nádrže, které vede skrze směšovací ventil a čerpadlo do kotlového okruhu. Za směšovacím ventilem a čerpadlem se nachází poslední teplotní čidlo, které slouží pro regulaci teploty vody do kotlového okruhu skrze směšovací ventil.
- **Čidla pro monitoring systému** – Z důvodu použití kogenerační jednotky v této kotelně, je velmi důležitá teplota vratné vody ze spotřebitelských větví k dosažení maximálního využití tepelné kapacity akumulární nádrže. Z tohoto důvodu je na každé spotřebitelské větvi na vratné vodě umístěno teplotní čidlo, z důvodu monitoringu teploty a případného odhalení poruchy či zkratu. Tři z deseti spotřebitelských větví disponují směšovacím ventilem, pomocí kterého lze regulovat teplotu vody, z tohoto důvodu zde byla umístěna teplotní čidla. Rozmístění čidel u spotřebitelských větví je vidět na Obrázku 5.2 (Celé topenářské schéma s rozmístěnými čidly, včetně popisu čidel a čerpadel je přiloženo na CD jako příloha). Do všech spotřebitelských větví přitéká voda z rozdělovače, kde bylo umístěno také teplotní čidlo. Další čtyři čidla byla použita u anuloidu, kde nám ze strany kotlového okruhu čidlo určuje teplotu přírodní vody a vratné vody, jelikož v cestě od kotlů k anuloidu je napojená větev pro SAHARY, které slouží pro vytápění prostoru kotelny. Větev pro přívod teplé vody k SAHARÁM, obsahuje trojcestný ventil, kde bylo pro možnost regulovat teplotu přírodní vody umístěno další teplotní čidlo. V kotlovém okruhu jsou dva kotle, každý obsahuje směšovací ventil. Pro každý z nich bylo umístěno čidlo na vratné vodě pro možnost regulace teploty vratné vody. U každého kotle byla také umístěna čidla teploty na výstupní vodu z kotle. Jedno z nejdůležitějších teplotních čidel, je čidlo

venkovní, podle kterého se vypočítává ekvitermní regulace, která má zpětnou vazbu na vnitřní prostor a z tohoto důvodu byla umístěna v kotelně poslední dvě teplotní čidla. Jediné analogové čidlo tlaku v celém projektu bylo použito za automatickým expanzním zařízením Olymp, pro monitoring tlaku systému.

- **Čidla pro TUV** – Jedna ze spotřebitelských větví je větev pro ohřev TUV. Příprava teplé užitkové vody je řešena blokovou stanicí ohřevu vody, která obsahuje dvě akumulační nádrže o objemu 750 litrů. Blokovaná stanice mimo jiné obsahuje i směšovací ventil, za který bylo pro možnou regulaci umístěno teplotní čidlo. Do každé akumulační nádrže bylo umístěno teplotní čidlo. Jedno z posledních dvou teplotních čidel použitých u TUV bylo teplotní čidlo na rozdělovači TUV, druhé z nich bylo použito pro vratnou vodu cirkulace TUV.

■ 5.2.2 Digitální čidla

Dle ČSN 06 0310 musí být zdroje tepla a úpravny parametrů vybaveny zařízením, které signalizuje poruchu a odstaví zařízení z provozu při zaplavení prostoru. Z tohoto důvodu je v kotelně umístěno čidlo zaplavení. Jedním z dalších požadavků normy pro odstavení zařízení je při výskytu škodlivých látek nad přístupné koncentrace. Pro kontrolu těchto látek bylo použito čidlo methanu a dále čidlo oxidu uhelnatého neboli CO. Následující požadavek pro odstavení zařízení je při překročení dovoleného přetlaku v soustavě, pro který byl použit manostat na sběrači. Poslední požadavek této normy je nepřekročení teploty v kotelně nad 40 °C, z tohoto důvodu byl použit termostat v kotelně. Mimo čidla, které musí obsahovat kotelna, byly umístěny dva termostaty na akumulační nádrže v blokové stanici pro ohřev TUV.



Obrázek 5.2. Schématické rozmístění čidel – spotřebitelské větve, rozdělovač, větev pro TUV.

5.3 Postup při návrhu elektrického schéma

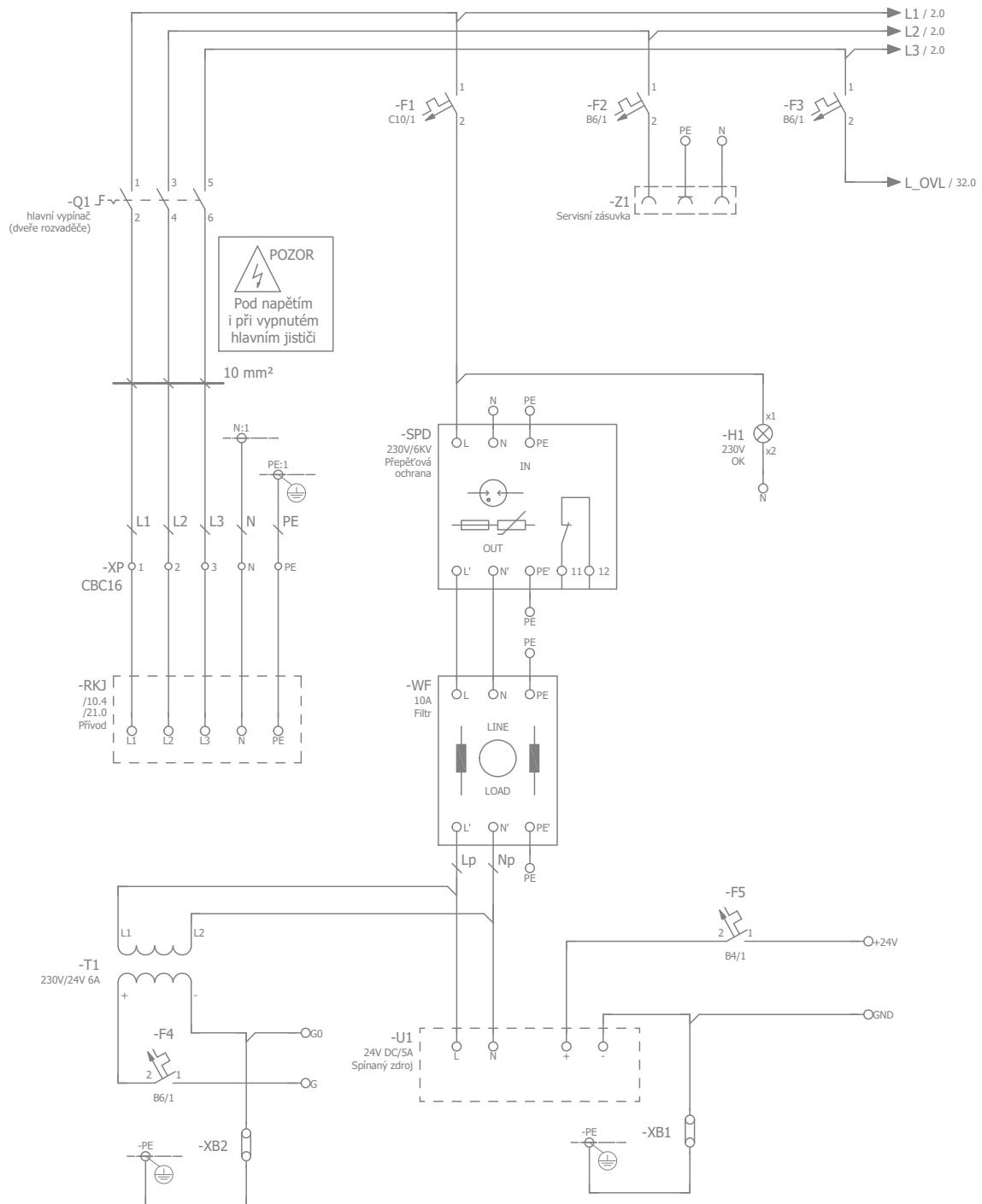
Jako první byla rozmístěna čidla dle zadaného technologického schéma. Dalším důležitým krokem je zmapování všech čerpadel, pohonů, ventilů a stávajících měřidel a pohonů, které mohou být, nebo jsou v požadavcích odběratele regulovány. Obecně návrh elektrického schéma dělíme na silnoproud a slaboproud. Silnoproud představuje tu část, která slouží pro rozvod elektřiny do zdrojové a napájecí části. Naopak slaboproud se zabývá datovým, ovládacím a signalizačním využitím elektrické energie.

5.3.1 Přívod a zdrojová část

Pro přívod elektřiny do zdrojové a napájecí části je použita tzv. rozvodná síť. V našem projektu byla použita síť TN-C-S. Síť TN je charakterizována spojením neživých částí s uzemněným bodem sítě prostřednictvím ochranného vodiče PEN. Síť TN-C-S je kombinace sítí TN-C a TN-S. V určitém bodě dochází k rozdělení vodiče PEN na střední vodič N a ochranný vodič PE, následně už nelze vodiče zpět spojit. Přívodních vodičů do části měření a regulace je tedy pět – tři fáze L1,L2,L3, střední vodič N a ochranný vodič PE viz Obrázek 5.3. Důležitou částí návrhu zdrojové části je zjištění jaké napájecí napětí mají prvky napájeny +24 V. V současné době většina zařízení disponuje možností napájení +24 V střídavě i +24 V stejnosměrně. V tomto projektu byla použita zařízení, kde některá vyžadují +24 V stejnosměrně a některá +24 V střídavě. Z tohoto důvodu bylo ve zdrojové části použito jak střídavé trafo, tak stejnosměrný spínaný zdroj viz Obrázek 5.3. Pro vypnutí celé části měření a regulace bylo použito havarijní vypnutí pomocí centrálního STOP tlačítka, které je řešené v profesi silnoproud. Pro ochranu zařízení byla v profesi silnoprodu, která zařizuje přívod pro část MaR, použita přepětová ochrana B+C, která slouží pro ochranu elektrických zařízení před poškozením izolace přepětím vyšším, než kterou je izolace schopna snést. Přepětová ochrana B tzv. svodič bleskového proudu, slouží k odvedení impulsního proudu 50 kA. Přepětová ochrana C tzv. svodič přepětí, slouží k odvedení impulsního proudu 15 kA opakovaně a 40 kA jednorázově.

5.3.2 Silová část

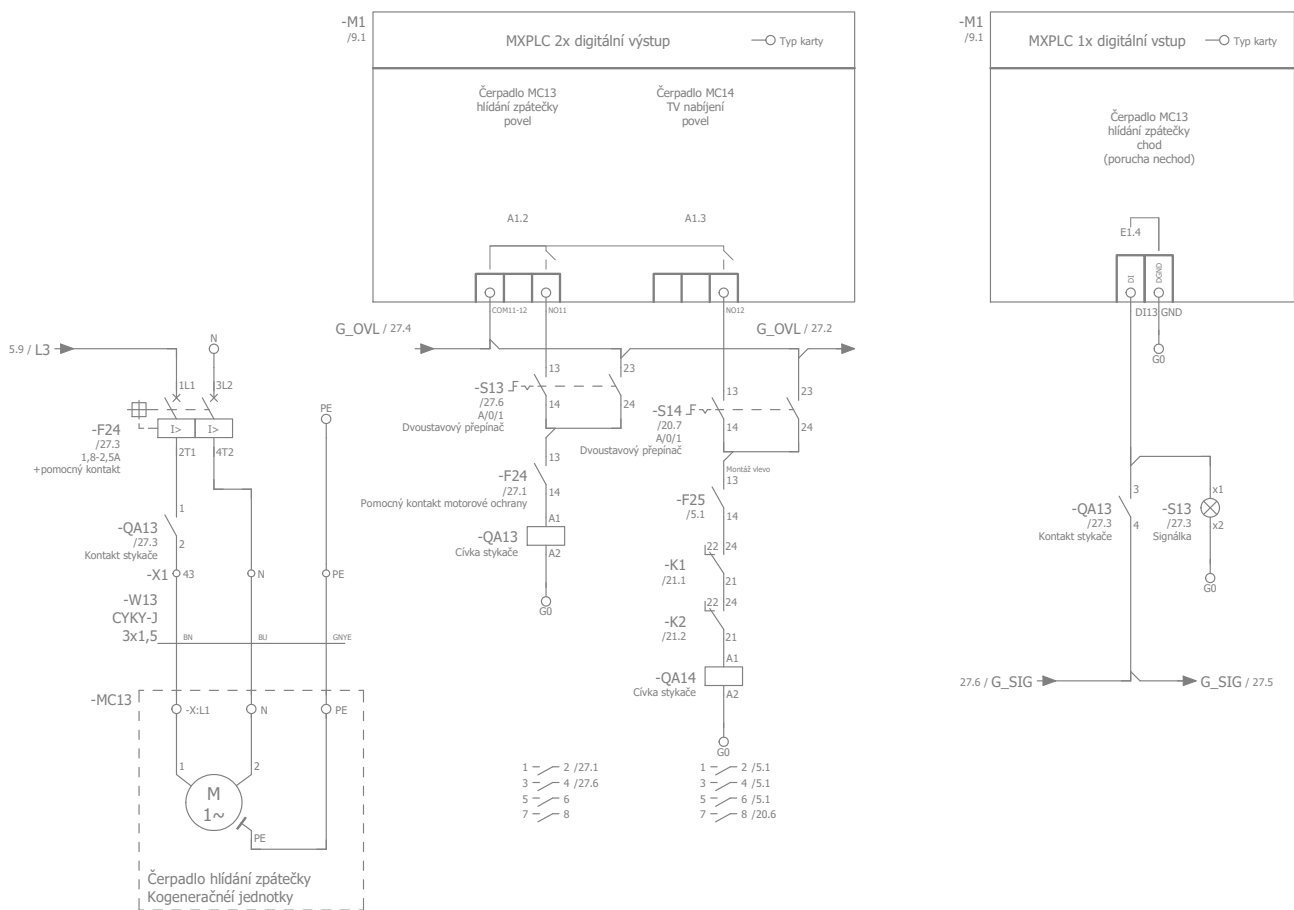
V silové části lze rozlišovat jištění motorovou ochranou nebo jističem. Motorová ochrana byla použita u všech čerpadel v kotelně, která jsou napájena z sekce MaR. Motorová ochrana funguje na principu potřeby zvládnutí proudové špičky při zapnutí čerpadla, kde ochrana vypíná až při déletrvajícím přetížení. U všech motorových ochran byl nastaven proud, který odpovídá jmenovitému proudu čerpadla při maximální zátěži. Jističe byly použity pro veškerá zbývající zařízení, která jsou napájena ze sekce MaR. U jističů rozlišujeme tři základní třídy dle vypínacích charakteristik – B, C a D, dále rozlišujeme mezi třífázovým a jednofázovým, dalším parametrem je hodnota jmenovitého proudu.



Obrázek 5.3. Schématické provedení zdrojové části v Eplanu P8 – přívod, střídavé trafo, spínaný zdroj.

5.3.3 Stykače

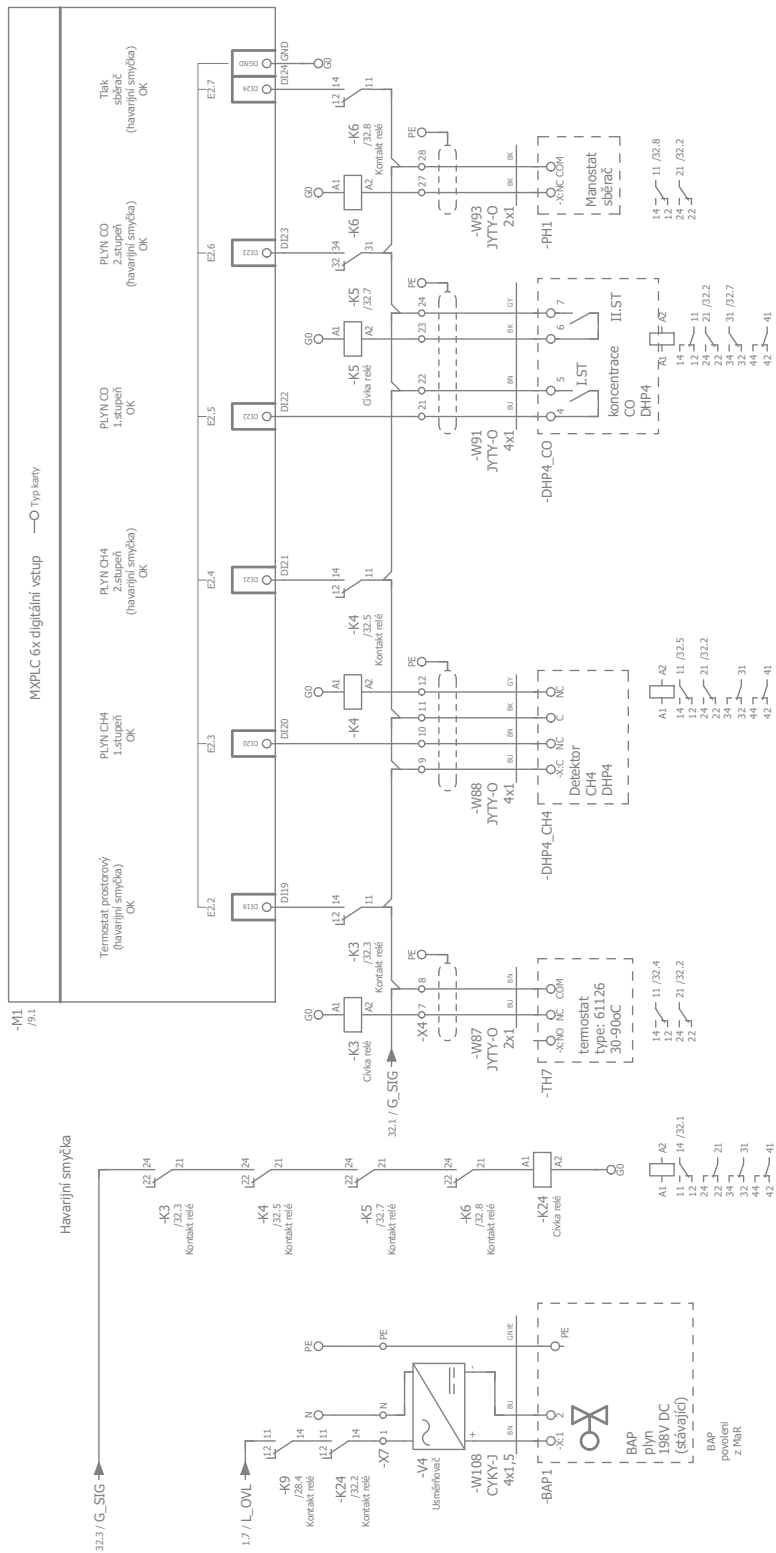
Stykače byly v tomto projektu nejvíce využívány pro signalizaci chodu a možnosti regulovat spínání chodu čerpadel viz Obrázek 5.4. Stykače fungují na principu vybuzení cívky stykače, kde vznikne magnetické pole, kterým je přitažena kotva a sepnuty kontakty. Pro signalizaci chodů čerpadel je využit jeden kontakt stykače, na který je přivedeno signální napětí, které je při sepnutí stykače přivedeno na digitální vstup PLC. V tomto případě je signální napětí +24 V střídavě. Za stykačem je následně zapojena signálka proti zemi, která fyzicky signalizuje chod daného čerpadla. Cívka stykače je spínána proti zemi z digitálního výstupu, kde je z digitálního výstupu do cívky relé zapojen navíc pomocný kontakt motorové ochrany, který při spadnutí nebo vypnutí motorové ochrany zabraňuje zapnutí chodu čerpadla. U každého povelu na čerpadlo je navíc použito dvoustavový přepínač, který disponuje dvěma polohami, automat a manuál. Manuál umožňuje sepnutí cívky stykače nezávisle na PLC.



Obrázek 5.4. Schématické provedení stykačové logiky v Eplanu P8 – silové napájení čerpadla, smyčka povelu čerpadla – přepínač, pomocný kontakt jističe, cívka stykače a signalizace povelu čerpadla.

■ 5.3.4 Relé

Relé fungují na stejném principu jako stykače. Rozdíl mezi stykačem a relé je ve spínacích výkonech zařízení. V tomto projektu bylo relé například použito pro čidla se dvěma a více funkcemi v rámci řízení, tedy kdy čidlo předává signál do PLC sloužící pro vytvoření hardwarové bezpečnostní smyčky. Jedno z těchto čidel je termostat, kde termostat spíná cívku relé proti zemi. V tomto případě bylo uvažováno se dvěma kontakty relé, kde první kontakt relé při sepnutí cívky relé přivede signální napětí na digitální vstup a druhý kontakt relé slouží pro blokaci povelu čerpadla ohřevu TUV. Tento princip je využit u většiny čidel. Další možností využití releové logiky je stejně jako u stykačů k elektrickému oddělení povelu pro chod zařízení, v tomto případě je tato logika použita pro povel chodu klapky odvětrávacího zařízení od kogenerační jednotky nebo nasávacích žaluzií v kotelně. Zde je cívka relé spínána digitálním výstupem PLC proti zemi a kontakt cívky podle povelu určuje polohu tříbodové klapky s koncovým spínačem, tedy otevřeno nebo zavřeno, přičemž klapka je propojena dvěma kontakty na digitální vstupy a signalizuje, v jakém stavu se nachází. Nejdůležitější releovou logikou v tomto schématu je tzv. havarijní smyčka, kde jakékoliv přerušení havarijní smyčky vede k uzavření přívodu plynu do objektu. V této smyčce se nachází, dle výše zmíněných požadavků normy ČSN 06 0310, kontakt relé od čidla methanu, čidla CO, manostatu a termostatu v prostoru kotelny. Při sepnutí všech cívek těchto kontaktů dochází k sepnutí cívky relé, kde byl kontakt tohoto relé umístěn mezi přívodní napájecí napětí a ventil pro přívod plynu do objektu, který je bez napětí uzavřen. Celá havarijní smyčka je na Obrázku 5.5 (Kompletní elektrické schéma je přiloženo na CD jako příloha).



Obrázek 5.5. Schématické provedení havarijní smyčky v Eplanu P8 – havarijní smyčka skrze reléovou logiku.

Kapitola 6

Implementace algoritmů řízení

V této kapitole bude stručně popsáno vývojové prostředí Mervis IDE od firmy Energocentrum PLUS, s.r.o., ve kterém byly implementovány algoritmy řízení kotelny. Dále zde budou popsány jednotlivé algoritmy řízení kotelny, včetně ukázky implementace části algoritmů ve vývojovém prostředí a vysvětlení nejsložitějších funkčních bloků.

6.1 Mervis IDE

Mervis IDE je vývojové prostředí firmy Energocentrum PLUS, s.r.o.. Toto vývojové prostředí slouží pro programování a konfiguraci PLC a podléhá normě IEC 61131-3, která standardizuje programovací jazyky pro PLC. V tomto vývojovém prostředí jsou k dispozici dva programovací jazyky (režimy):

- **Structured Text** – Structured Text – ST neboli strukturovaný text, je posloupnost symbolických instrukcí, pomocí kterého lze definovat složitější funkční bloky. Výhodou tohoto jazyka je možnost realizovat složitější operace a funkce.
- **Function Block Diagram** – Function Block Diagram – FBD neboli schéma funkčních bloků, je soustava po sobě jdoucích propojených bloků, kde bloky realizují různé funkce, které vyjadřují posloupnost algoritmu. Výhodou tohoto režimu je přehlednost kódu a možnost členění algoritmu do bloků.

6.2 Algoritmy

Všechny algoritmy které byly implementovány pro řízení kotelny dělíme na algoritmy alarmových stavů, provozu kotelny, regulace spotřebitelských větví, regulace TUV a větrání a vytápění kotelny.

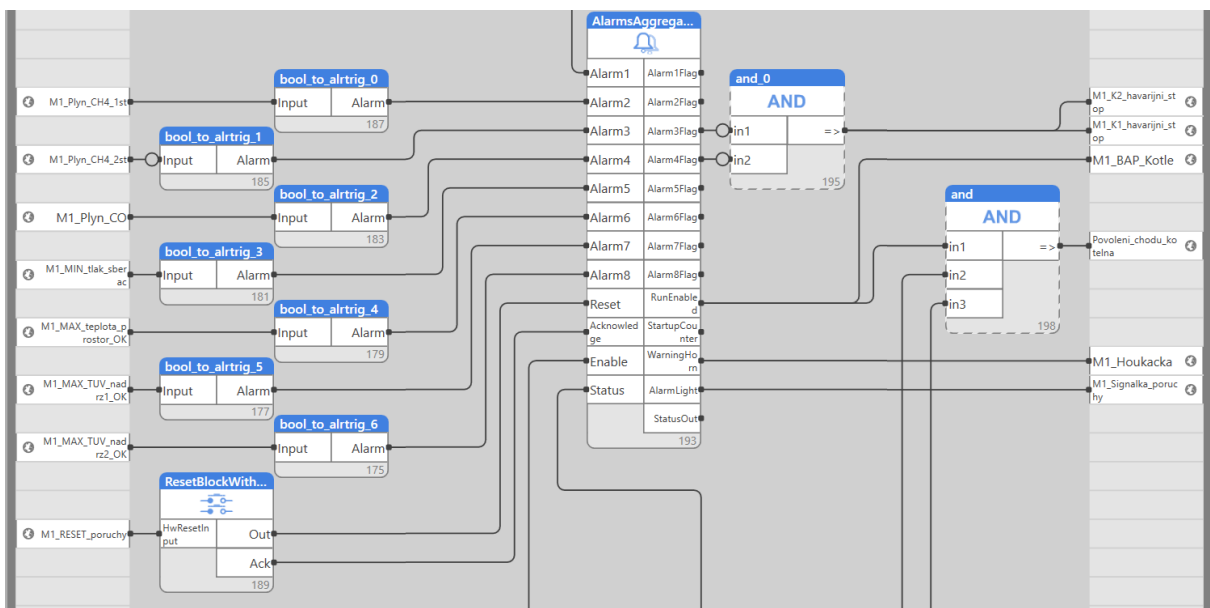
6.2.1 Algoritmus alarmových stavů

Algoritmus alarmových stavů dělíme na alarmové stavy odstavující zdroje tepla a přívod plynu a na chybové hlášení nebo alarmové stavy odstavující dílčí technologie. Všechny alarmové stavy a chybové hlášky jsou signalizovány opticky nebo akusticky. Pro bezpečné fungování algoritmu je implementována kvitace poruchy. Po odstranění jakékoliv poruchy je nutné poruchu kvitovat tlačítkem umístěným v blízkosti PLC.

- **Alarmové stavy odstavující zdroje tepla a přívod plynu**
 - Porucha čidla methanu II. stupně – koncentrace methanu v místnosti
 - Detekce CO II. stupně – koncentrace oxidu uhelnatého v místnosti (čidlo CO)
 - Překročení maximální teploty v prostoru – Překročení 40 °C v prostoru kotelny (termostat)

■ Chybové hlášení nebo alarmové stavy odstávající dílčí technologie

- Porucha zaplavení kotelny (sonda zaplavení)
- Minimální tlak v systému (manostat na sběrači)
- Překročení maximální teploty TUV – odstavení TUV (termostat TUV)
- Porucha čidla methanu I. stupně – koncentrace methanu v místnosti
- Detekce CO I. stupně – koncentrace oxidu uhelnatého v místnosti (čidlo CO)
- Překročení maximální provozní teploty v prostoru (čidlo teploty)
- Překročení minimální provozní teploty v prostoru (čidlo teploty)
- Poruchy (nechody) jednotlivých čerpadel
- Přetopení nebo nedotopení jednotlivých spotřebitelských větví (čidlo teploty)
- Přetopení nebo nedotopení TUV
- Porucha (nechod) havarijního větrání
- Kotel K1 sdružená porucha
- Kotel K2 sdružená porucha
- Kogenerační jednotka sdružená porucha



Obrázek 6.1. Částečné schéma funkčních bloků pro zapojení alarmových stavů ve vývojovém prostředí Mervis IDE.

Na Obrázku 6.1 je vidět částečné zapojení alarmových stavů. Na levé straně se vyskytují digitální hardwarové vstupy, včetně vstupů od čidel methanu a CO, které následně zajišťují odstavení plynových kotlů skrze hardwarové digitální výstupy. Blok AlarmsAggregator umožňuje sloučení více alarmů dohromady, kde se při jakémkoliv výskytu spouští skrze výstupy AlarmLight a WarningHorn optická a akustická signalizace. Naopak výstup RunEnabled zajišťuje při výskytu poruchy odstavení ventilu BAP a nedojde

k povolení chodu kotelny. Blok AlarmsAggregator dále umožňuje připojení na vstup Status další informaci o ostatních podružných alarmech, které následně signalizuje. Jako poslední je připojen digitální vstup od kvitace poruchy, který je připojen přes blok ResetBlockWitchAck, který zajišťuje potvrzení resetu skrze signál acknowledge na pinech Reset a Acknowledge.

6.2.2 Algoritmus provozu kotelny

Provoz kotelny včetně přípravy TUV probíhá jen v topném období v závislosti na venkovní teplotě. Při provozu kotelny bude hlavní zdroj tepla kogenerační jednotka, která bude provozována podle požadavků na výrobu elektrické energie tak, aby výstupní teplota sekundárního okruhu kogenerační jednotky byla 90 °C a výkon kogenerační jednotky dosahoval 100%. Při potřebě menšího topného výkonu než je výroba tepla v kogenerační jednotce bude přebytečné teplo akumulováno v akumulární nádrži. Naopak při vyšší potřebě tepla než je nominální výkon kogenerační jednotky bude rozdíl dotován z akumulární nádrže a to v případě alespoň částečného nabití akumulární nádrže. V případě nedostatku výkonu z kogenerační jednotky a akumulární nádrže bude zbývající výkon dodán plynovými kotli.

Provoz kotelny v závislosti na venkovní teplotě dělíme na dva základní módy.

- **Není potřeba tepla** – V tomto módu je ventil RV3, který slouží pro vybíjení akumulární nádrže od kogenerační jednotky, nastaven do zkratu. Čerpadlo MC3 mezi kotlovým okruhem a kogenerační jednotkou je vypnuto, kotle jsou vypnuty.
- **Je potřeba tepla** – Tento mód je dále dělen na pět různých stavů.

Stav 1 – Horní teplota TC35 v akumulární nádrži od kogenerační jednotky je vyšší než požadovaná teplota topné vody TC24 do spotřebitelských větví za anuloidem (nezáleží zda je či není v provozu kogenerační jednotka) – spustí se čerpadlo MC3 a ventil RV3 reguluje na požadovanou teplotu topné vody TC24.

Stav 2 – Jestliže při stavu 1. není dosaženo požadované teploty topné vody TC24, je zapnut do provozu plynový kotel (výběr kotle dle venkovní teploty nebo teploty vratné vody TC25 ze spotřebitelských větví).

Stav 3 – Teplota v akumulární nádrži kogenerační jednotky TC35 je nižší než požadovaná teplota do spotřebitelských větví TC24, ale vyšší než teplota vratné vody TC25 ze spotřebitelských větví (nezáleží zda je či není v provozu kogenerační jednotka) – spustí se čerpadlo MC3 a ventil RV3 se otevře na 100% v přímém směru. Jestliže není dosaženo požadované teploty TC24 do spotřebitelských větví, dochází k zapnutí plynového kotle (výběr kotle dle venkovní teploty nebo teploty vratné vody TC25 ze spotřebitelských větví).

Stav 4 – Teplota v akumulární nádrži kogenerační jednotky TC35 je rovna nebo je nižší než teplota vratné vody TC25 ze spotřebitelských větví a v provozu není kogenerační jednotka – ventil RV3 je nastaven do zkratu a čerpadlo MC3 je vypnuto. Výrobu tepla zabezpečují plynové kotle.

Stav 5 – Jestliže je vybitá akumulární nádrž a venkovní teploty se pohybují pod 0 °C, je z důvodu možného zamrznutí venkovních potrubí zajištěno cyklické prohřívání potrubí a akumulární nádrže – ventil RV3 je pootevřen a čerpadlo MC3 zapnuto.

■ 6.2.3 Algoritmus regulace spotřebitelských větví

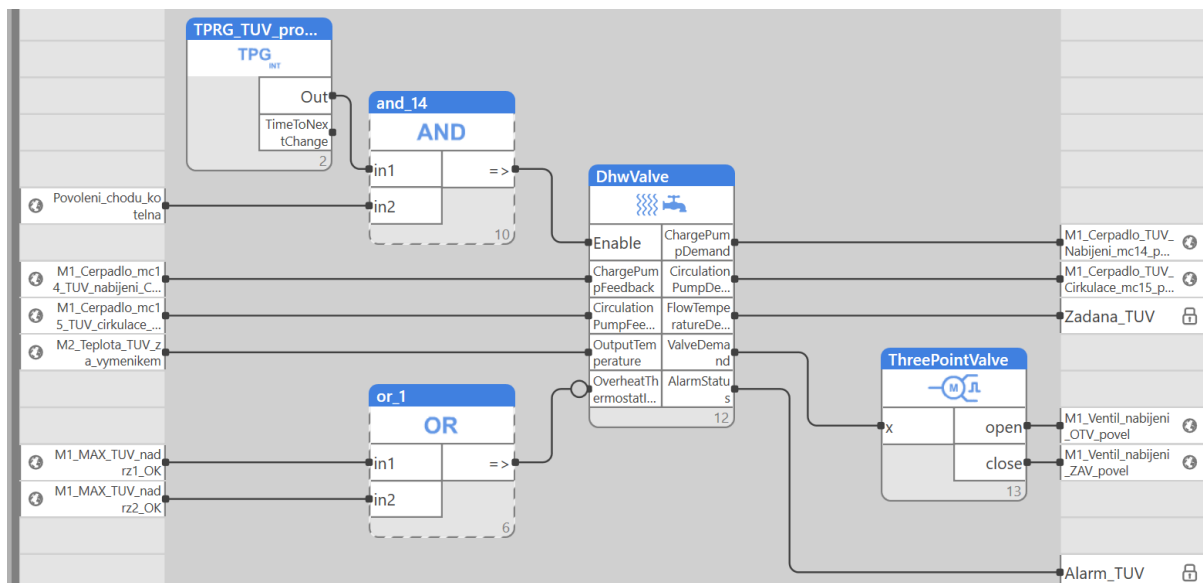
Vytápění jednotlivých spotřebitelských větví je řízeno podle aktuálního režimu. K dispozici je výběr z pěti režimů: VYP (vypnuto), AUT (automaticky), DEN, NOC I. a NOC II. Na základě venkovní teploty a ekvitemní křivky je vypočtena výsledná žádaná teplota, která je následně regulovaná podle aktuálního režimu.

- **Režim VYP** – Regulace je odstavená. V provozu je pouze ochranná funkce čerpadel – protáčení čerpadel v daném intervalu.
- **Režim DEN** – Regulace je podle vypočtené žádané teploty z ekvitemní křivky a měřené venkovní teploty. Pro režim DEN je také nastavena konkrétní vypínací venkovní teplota, při které dochází k odstavení regulace.
- **Režim NOC I. a NOC II.** – Regulace je podle vypočtené žádané teploty z ekvitemní křivky a měřené venkovní teploty. V režimu NOC I. je žádaná teplota snížena o -5 °C a v režimu NOC II. je žádaná teplota snížena o -10 °C. Pro oba režimy je nastavena vypínací venkovní teplota.
- **Režim AUT** – Regulace běží podle týdenního časového programu, kde jsou předem nastaveny časové intervaly pro dané režimy.

■ 6.2.4 Algoritmus regulace TUV

Ohřev TUV má tři režimy ovládání. Režimy AUT (automatický) (podle časového programu), ZAP (zapnuto) a VYP (vypnuto). Dále se nastavuje žádaná teplota. Maximální teplota je regulovaná podle výstupní teploty TUV a teploty v nádrži, tak aby nedocházelo k přetopení.

Na Obrázku 6.2 můžeme vidět algoritmus pro ohřev teplé užitkové vody. Blok TPRG_TUV udává časový program spouštění ohřevu TUV v závislosti na povolení chodu kotelny. Blok DhwhValve slouží k řízení ohřevu TUV, kdy je výstupní teplota řízena pomocí ventilu TUV. Ventil je řízen skrze výstup ValveDemand (požadovaná poloha ventilu), na kterém se objevují hodnoty 0-100. Pomocí bloku ThreePointValve jsou generovány pulsy pro otevírání a zavírání ventilu v závislosti na hodnotě z výstupu ValveDemand, kde ventil při neměném stavu zůstává v aktuální poloze. Blok DhwhValve dále disponuje vstupem OverheatThermostat, na který jsou připojeny havarijní funkce termostatů v akumulacích nádrží, které zabezpečují nepřetápění TUV, výstupem pro povel čerpadla a povel cirkulace včetně vstupů pro zpětné hlášky chodů obou čerpadel. Výstup AlarmStatus je využit pro signalizaci poruchy TUV.



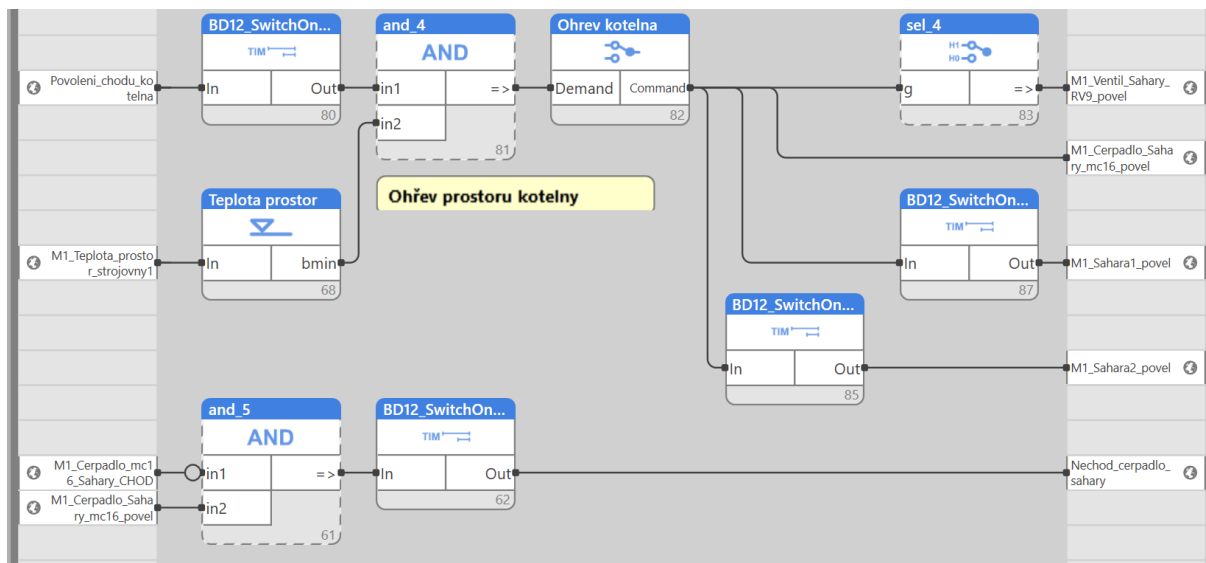
Obrázek 6.2. Schéma funkčních bloků pro zapojení ohřevu teplé užitkové vody ve vývojevém prostředí Mervis IDE.

6.2.5 Algoritmus větrání a vytápění kotelny

Funkčnost tohoto algoritmu lze dělit na čtyři stavy.

- **Plynové spotřebiče nejsou v provozu** – Větrání kotelny je zabezpečeno přirozeným větráním dle ČSN 07 0703 a G908 02. Vytápění kotelny zabezpečují dvě teplovzdušné jednotky SAHARA, které slouží k vytopení kotelny alespoň na minimální teplotu 10 °C.
- **V provozu jsou pouze plynové kotle** – Větrání kotelny zabezpečuje přívodní klapka Y1. Vytápění kotelny zabezpečují dvě teplovzdušné jednotky SAHARA, které slouží k vytopení kotelny alespoň na minimální teplotu 10 °C.
- **V provozu je pouze kogenerační jednotka** – Větrání kotelny zabezpečují přívodní klapky Y1, Y4a a Y4b. Vytápění kotelny je zajištěno nevyužitým teplem z ventilačního vzduchu pomocí vzájemně sprážených klapek Y2 a Y3 ve vzduchotechnickém potrubí, aby bylo dosaženo vnitřní teploty 20 °C. Jestliže není dosaženo v kotelně minimální teploty 10 °C, jsou zapnuty teplovzdušné jednotky SAHARA.
- **V provozu je současně kogenerační jednotka i plynové kotle** – Větrání kotelny zabezpečují přívodní klapky Y1, Y4a a Y4b. Vytápění kotelny je zajištěno nevyužitým teplem z ventilačního vzduchu pomocí vzájemně sprážených klapek Y2 a Y3 ve vzduchotechnickém potrubí kogenerační jednotky, aby bylo dosaženo vnitřní teploty 20 °C. Jestliže není dosaženo v kotelně minimální teploty 10 °C, jsou zapnuty teplovzdušné jednotky SAHARA.

Na Obrázku 6.3 můžeme vidět část algoritmu pro ohřev prostoru kotelny. Při povolení chodu kotelny a poklesu teploty ve strojovně, což zajišťuje blok teplota prostor, který kontroluje, jestli teplota v prostoru nepoklesla pod minimální hranici 10 °C, dochází k otevření ventilu skrze switch blok sel_4, který při stavu TRUE dává povel ventilu k otevření na 100%. Dále je povelováno čerpadlo v okruhu topné vody pro teplovzdušné jednotky SAHARA, povelovány jsou i samotné teplovzdušné jednotky. Druhou částí Obrázku 6.3 je kontrola chodu čerpadla okruhu topné vody pro SAHARY, jestliže je aktivní povel čerpadla, ale chod čerpadla aktivní není, vzniká porucha čerpadla, která je následně skrze algoritmus alarmových stavů signalizována.



Obrázek 6.3. Schéma funkčních bloků pro zapojení vytápění kotelny pomocí teplovzdušných jednotek SAHARA ve vývojovém prostředí Mervis IDE.

6.3 Zhodnocení

Před návrhem regulace pro teplovodní kotelnu, nebyla dříve kotelna žádným způsobem regulována. Z hlediska úspor by mělo dojít k největším úsporám vlivem implementované ekvitermní regulace, která bude na základě venkovní teploty a nastavení mezních hodnot regulovat potřebu tepla, popřípadě vypínat chod kotelny, která v této době funguje i mimo topnou sezónu. V současné době dochází (mimo jiné) k souběžnému chodu kogenerační jednotky a některého z kotlů, které jsou zapínány manuálně obsluhou kotelny. Na základě této skutečnosti nedochází k plnému využití topné kapacity tepla z kogenerační jednotky, která následně běží kratší dobu. Ke značnému technickému vylepšení i zvýšení úspor by mělo dojít skrze ventil RV3 mezi kotlovým okruhem a kogenerační jednotkou s akumulací nádrží. Při potřebě tepla by při chodu kogenerační jednotky mělo být nejprve využito odpadové teplo popřípadě teplo z akumulací nádrže. Při dostatečné teplotě dodané z okruhu kogenerační jednotky a akumulací nádrže by následně nemělo docházet ke zbytečnému zapínání plynových kotlů.

Kapitola 7

Závěr

Cílem této práce bylo navrhnout elektrické schéma řízení teplovodní kotelny a následně implementovat algoritmy pro řízení této kotelny.

V první kapitole jsem se seznámil s problematikou technologie vytápění a jejím dělením. V následující kapitole byly popsány základní druhy regulace, které se ve vytápění používají, jedna z uvedených regulací je i ekvitermní regulace, která je následně využita pro regulaci teplovodní kotelny.

Ve třetí kapitole jsem se zabýval pojmem PLC a různými PLC z hlediska technického i ekonomického. Pro účel srovnání jsem vybral dvě nejčastěji využívaná PLC firmou Energocentrum PLUS, s.r.o., třetí PLC bylo vybráno od jednoho z největších dodavatelů PLC v České republice, společnosti AMIT automation. Z technické stránky se vybrané PLC tolik nelišily, ale z hlediska ekonomického tedy pořizovací ceny byly rozdíly značné. Výsledkem tohoto porovnání je použití PLC MXPLC od společnosti Domat Control System pro řízení regulace zadané kotelny.

V kapitole návrh elektrického schéma řízení byla stručně vysvětlena funkčnost teplovodní kotelny z dodaného topenářského schéma. Na základě technologie, rozsahu a topenářského schéma zadané teplovodní kotelny byly vysvětleny principy pro rozmístění čidel v kotelně, včetně nezbytných opatření pro provoz kotelny dle ČSN 06 0310. Pro návrh elektrického schéma v programu EPLAN Electric P8 byly uvedeny a popsány všechny postupy, včetně ukázek zapojení zajímavých řešení.

Na základě výsledného elektrického schéma teplovodní kotelny byly v další kapitole popsány jednotlivé implementované algoritmy, které byly následně skrze programovací jazyk function block diagram přeneseny na schéma funkčních bloků, včetně ukázek implementace části algoritimů ve vývojovém prostředí Mervis IDE od firmy Energocentrum PLUS, s.r.o.. Součástí této kapitoly je i zhodnocení a přínos regulace.

Návrh a následná implementace regulace má velký potenciál k nezanedbatelným úsporám v zadané kotelně. Hlavní příčinou je skutečnost, že v současné době není kotelna žádným způsobem regulovaná. Hlavní výhodou implementované regulace oproti stávajícímu stavu je maximální využití odpadového tepla z kogenerační jednotky pro ohřev topné vody.

V této době dochází k testování implementované regulace, která bude následně nasažena v reálném provozu. Dále je nad rámec této práce vytvářena vizualizace pro snadný monitoring celé kotelny obsluhou objektu.



Literatura

- [1] Jiří Doubrava a kolektiv. Regulace ve vytápění. Společnost pro techniku prostředí 2007. ISBN 978-80-02-01951-0.
- [2] Měření a regulace [Online] 01/2018 <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace>
- [3] Lokální topení [Online] 01/2018 <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/systemy-vytapani/lokalni.php>
- [4] Etážové vytápění [Online] 01/2018 <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/systemy-vytapani/etazove.php>
- [5] Ústřední topení [Online] 01/2018 <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/systemy-vytapani/ustredni.php>
- [6] Dálkové vytápění [Online] 01/2018 <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/systemy-vytapani/dalkove.php>
- [7] Topidla klasická [Online] 01/2018 <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-klasicka.php>
- [8] Topidla alternativní [Online] 01/2018 <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni.php>
- [9] Systémy vytápění [Online] 01/2018 <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/systemy-vytapani.php>
- [10] Rozdělení zdrojů tepla [Online] 01/2018 https://www.fce.vutbr.cz/TZB/rubinova.o/prednasky/A_UT%2005_09.pdf
- [11] Regulační pochod [Online] 01/2018 <http://uprt.vscht.cz/kminekm/mrt/F3/F3k34-sprg.htm>
- [12] Měření a regulace [Online] 01/2018 <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace>
- [13] Prediktivní řízení soustav vytápění budov [Online] 06/2011 <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/7541-prediktivni-rizeni-soustav-vytapani-budov>
- [14] IRC regulace [Online] 03/2003 <http://www.ijelen.cz/irc.htm>

Příloha **A**

Přiložené soubory

Na přiloženém CD jsou umístěny tyto soubory:

- Bakalářská práce v elektronické podobě
- Kompletní schéma rozmístěných čidel
- Kompletní seznam datových bodů
- Kompletní elektrické schéma řízení
- Zdrojový kód implementace
- Zadané topenářské schéma

Příloha B

Zkratky a symboly

B.1 Zkratky

Zde jsou vysvětlené všechny použité zkratky

TUV	Teplá užitková voda
PLC	Programovatelný logický kontroler
CPU	Central Procesor Unit
MaR	Měření a regulace
IRC	Individual room control

B.2 Symboly

Zde jsou vysvětlené všechny použité symboly

P	[W] Výkon
I	[A] Elektrický proud
U	[V] Elektrické napětí

Příloha C

Zadání práce



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Žižka** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **457214**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra řídicí techniky**
Studijní program: **Kybernetika a robotika**
Studijní obor: **Systémy a řízení**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh regulace teplovodní kotelny

Název bakalářské práce anglicky:

Control design of a water boiler

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou technologie vytápění, popřípadě chlazení budov a typy Popište základní typy regulace, které se v praxi využívají pro vytápění budov.
2. Seznamte se s problematikou PLC řídicích systémů jednotlivých výrobců dostupných na českém trhu. Porovnejte jednotlivé PLC řídicí systémy z hlediska technických možností a cenové dostupnosti.
3. V programovém prostředí EPLAN Electric P8 navrhnete elektrické schéma řízení vybrané teplovodní kotelny.
4. Pro dané schéma implementujte vybranou regulaci za pomoci programovacího prostředí Mervis IDE a zhodnot'te její vliv pomocí simulací z hlediska technického vylepšení a dosažených úspor.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Jiří Doubrava a kolektiv. Regulace ve vytápění. Společnost pro techniku prostředí 2007, ISBN 978-80-02-01951-0."
[2] Dokumentace k programovému prostředí Mervis IDE <https://kb.mervis.info/doku.php/en:mervis-ide:00-start>
[3] Internetový portál pro stavebnictví, technická zařízení budov a úspory energií TZB-info www.tzb-info.cz/

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Jan Šulc, UCCEB Buštěhrad

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

Datum zadání bakalářské práce: **31.01.2018** Termín odevzdání bakalářské práce: **25.05.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2019**

Ing. Jan Šulc
podpis vedoucí(ho) práce

prof. Ing. Michael Šebek, DrSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta