

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta**

**Návrh a realizace řízení elektrických kotlů
prostřednictvím systému TECOMAT**

Bakalářská práce

Jan Kümmel

Školitel: PhDr. Milan Novák, Ph.D.

České Budějovice 2022

Bibliografické údaje

Kümmel, J., 2022: Návrh a realizace řízení elektrických kotlů prostřednictvím systému TECOMAT. [Design and implementation of electric boiler control via the TECOMAT system. Bc. Thesis, in Czech.] – 76 p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá návrhem a praktickou realizací řízení elektrických kotlů prostřednictvím systému TECOMAT. V teoretické části jsou popsána v současnosti dostupná řešení regulace elektrokotlů a vysvětleny důvody pro využití právě automatů k této regulaci. Na základě stanovených parametrů byl následnou analýzou vhodných a na trhu aktuálně dostupných automatů vybrán automat značky TECOMAT CP-1006, který splňuje všechny potřebné požadavky. Práce se zabývá regulací tepelných zdrojů a popisuje jednotlivé typy PID regulátorů. Především se věnuje vlastnímu návrhu technického řešení a řídicího systému pro autonomní regulaci konkrétního elektrokotle, výrobou rozvaděče, tvorbou software a jeho aplikací do zvoleného automatu. Vše je doplněno finálním nastavením a odzkoušením funkčnosti celého systému v praxi.

.

Klíčová slova

autonomní regulace elektrického kotle, regulace tepelného zdroje, automat TECOMAT, rozvaděč MAR1, PID regulátory

Annotation

The bachelor thesis deals with the design and practical implementation of the control of electric boilers through the TECOMAT system. The theoretical part describes the currently available solutions for the control of electric boilers and explains the reasons for the use of automated systems for this control. On the basis of the determined parameters, the TECOMA CP-1006 was selected by a subsequent analysis of suitable and currently available automated devices on the market, which meets all the necessary requirements. The paper deals with the control of heat sources and describes the different types of PID controllers. First of all, it deals with the actual design of the technical solution and control system for autonomous regulation of a specific electric boiler, production of the switchboard, creation of the software and its application to the selected automat. All this is complemented by the final setup and testing of the functionality of the entire system in practice.

Key words

autonomous control of an electric boiler, heat source control, TECOMAT automat, MAR1 switchboard, PID controllers

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracoval(a) pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne 12.04.2022

Jan Kümmel

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu této bakalářské práce PhDr. Milanu Novákovi, Ph.D. za odborné i metodické vedení. Také děkuji své rodině za podporu během psaní bakalářské práce, ale i po celou dobu mého studia.

Obsah

Úvod	1
Cíle práce	2
Úkoly vedoucí k naplnění cílů	2
1 Teoretická část	3
1.1 Dostupná řešení	3
1.1.1 Elektrokotel s vlastní regulací	3
1.1.2 Regulace elektrokotle pomocí diskrétních prvků	4
1.1.3 Regulace elektrokotle pomocí automatu	5
1.2 Proč zvolit k regulaci právě automat	5
1.3 Základní rozdělení automatů:	6
1.4 Popis a porovnání vhodných automatů	8
1.4.1 MICROPEL MPC 411	8
1.4.2 DOMAT IMIO105.2	9
1.4.3 TECOMAT FOXTROT CP-1006	10
1.4.4 TECOMAT FOXTROT CP-2007	11
1.4.5 Přehledová tabulka automatů MICROPEL a DOMAT	13
1.4.6 Přehledová tabulka automatů TECOMAT FOXTROT	14
1.5 Výběr vhodného automatu	14
1.5.1 Základní požadavky na automat	14
1.5.2 Volba automatu	16
1.6 Sledované parametry pro bezporuchový provoz	17
1.6.1 Požadavky na autonomní regulaci a ovládání elektrokotle	17
1.7 Regulace tepelných zdrojů	19
1.7.1 Regulace teploty topné vody na vstupu/výstupu tepelného zdroje	19

1.7.2 Regulace podle teploty v prostoru.....	20
1.7.3 Regulace teploty přívodní topné vody podle venkovní teploty.....	21
1.7.4 Ekvitermní regulace s vlivem prostorové teploty	21
1.8 PID regulátory.....	22
1.8.1 Regulátor typu P – proporcionální	22
1.8.2 Regulátor typu I – integrační.....	23
1.8.3 Regulátor typu D – derivační	23
1.8.4 Regulátor typu PI – proporcionálně integrační	23
1.8.5 Regulátor typu PD – proporcionálně derivační.....	23
1.8.6 Regulátor typu PID – proporcionálně integračně derivační.....	24
2 Praktická část.....	25
2.1 Návrh technického řešení.....	26
2.2 Použité komponenty	26
2.2.1 Čidlo teploty PT 1000	27
2.2.2 Presostat DANFOSS KPI35.....	27
2.2.3 Oběhové čerpadlo WILO RS25/60r.....	28
2.2.4 Elektrická topná tělesa 2 x 6 kW THERMIS	29
2.2.5 Stonkový termostat THERMIS TH 164.....	29
2.2.6 Pokojový ovládací modul TECOMAT C-RC-0011R.....	30
2.2.7 Automat TECOMAT CP-1006	31
2.3 Návrh řídicího systému pro autonomní regulaci elektrokotle.....	31
2.3.1 Kompletní technická specifikace	33
2.3.2 Technologické schéma	34
2.3.3 Schéma zapojení.....	34
2.4 Výroba rozvaděče MAR1	34
2.4.1 Připojení polní instrumentace do rozvaděče	37

2.5 Tvorba softwaru pro regulaci a řízení elektrokotle.....	38
2.5.1 Funkční blok „fbTermostat“	38
2.5.2 Funkční blok „fbElKotel“	39
2.5.3 Funkční blok „fbSumPorucha“	39
2.5.4 Funkční blok „fbSpotrElEnergie“	40
2.6 Uživatelské rozhraní	40
2.6.1 Obrazovka „domovská stránka“	41
2.6.2 Obrazovka „Parametry elektrokotle“	41
2.6.3 Obrazovka „Poruchy elektrokotle“	42
2.6.4 Obrazovka „Obývací pokoj“	43
2.6.5 Obrazovka „Časové programy“	43
2.6.6 Obrazovka „Spotřeba elektrické energie“	44
2.6.7 Obrazovka „Reset dlouhodobé spotřeby energie“	45
2.7 Nastavení.....	45
2.7.1 Nastavení funkčního bloku „fbTermostat“	45
2.7.2 Nastavení funkčního bloku „fbElKotel“	46
2.7.3 Nastavení funkčního bloku „fbSumPorucha“	46
2.8 Implementace SW do automatu	46
3 Testování	48
3.1 První spuštění elektrokotle	49
4 Uvedení zařízení do provozu	50
4.1 Plánované inovace systému	50
5 Závěr	51
Seznam literatury	52
Seznam zkratek.....	57
Seznam obrázků.....	59

Seznam tabulek.....	61
Příloha A.....	62
Příloha B.....	63
Příloha C.....	74
Příloha D.....	76

Úvod

Předkládaná bakalářská práce se zabývá návrhem a realizací řízení elektrických kotlů prostřednictvím systému TECOMAT. V minulosti bylo zcela běžné realizovat MaR pouze s využitím diskrétních prvků (stykače, relé, jednoduchý prostorový termostat, manostat), ovšem s rostoucími požadavky na snížení provozních nákladů vzhledem k rostoucím cenám elektrické energie, a také vyšších nároků na komfort obsluhy, je tento způsob již nedostatečný. Regulace využitím pouze diskrétními prvky totiž vyžaduje i nutnost časté přítomnosti obsluhy, která musí zařízení kontrolovat. Také v případě potřeby změny nastavení parametrů, jako je teplota v prostoru či nastavení časových programů, nelze provést jiným způsobem než fyzickou přítomností obsluhy. V neposlední řadě je nemožné využívat dálkového dohledu na provozní či poruchové stavy.

Z těchto důvodů je v současné době úspěšně využíváno různých kombinací diskrétních prvků s programovatelnými automaty (např. PLC). Právě této variantě je věnována tato bakalářská práce.

Motivací k napsání bakalářské práce na výše uvedené téma bylo předat ucelené informace o problematice měření a regulace elektrického kotle, a zároveň názorně vysvětlit, jaké kroky jsou potřebné pro postup práce od návrhu po realizaci. Tato práce může být využita také jako studijní materiál pro začínající specialisty v oboru měření a regulace.

Práce je rozdělena na dvě části – teoretickou a praktickou. V teoretické části bude provedena analýza, poskytující výsledek srovnání porovnávaných automatů, jejich klady a zápory. Z tohoto následně vyplyne výběr vhodného typu automatu. Provedená analýza dále ukáže, jaké parametry by měly být automatem vhodné sledovat. V praktické části se práce zabývá tvorbou výkresové dokumentace, podle které bude možné realizovat výrobu rozvaděče, následně popisuje samotnou výrobu rozvaděče, návrh softwaru pro měření a regulaci elektrického kotle, vizualizaci dat a detailní nastavení a ověření zrealizovaného systému. Následuje závěr celé práce.

Realizace bude provedena na již dříve instalovaném elektrickém kotli v dosud dobrém technickém stavu. Bude se, ale používat nově nainstalovaných moderních prostředků, umožňujících nepřetržitou kontrolu nad celým zařízením. V případě nepřítomnosti uživatele

lze změnit parametry vytápění a v případě poruchy elektrického kotle také provést diagnostiku vzdáleným přístupem.

Cíle práce

Pro úspěšnou realizaci předkládaného tématu práce jsou stanoveny následující cíle:

- provedení analýzy, která se bude zaměřovat na teorii řízení a regulace,
- na základě provedené analýzy zjistit vhodnost výběru systému TECOMAT pro regulaci elektrického kotle,
- návrh řídicího systému pro autonomní regulaci elektrického kotle,
- realizace řídicího systému pro regulaci el. kotle v systému TECOMAT,
- ověření a testování funkce řídicího systému.

Úkoly vedoucí k naplnění cílů

Aby bylo možné dosáhnout stanovených cílů, je nutné definovat úkoly, které budou základní kostrou pro jejich splnění.

- Provedení studie dostupných řešení podobných systémů založených na autonomní regulaci,
 - návrh řízení elektrických zařízení prostřednictvím automatu PLC – TECOMAT,
 - využití teoreticko-praktických znalostí, potřebných k realizaci zapojení a vytvoření SW,
- návrh zapojení a montáže potřebných komponent,
- realizace řízení el. kotle pomocí PLC TECOMAT,
 - naprogramování, resp. vytvoření potřebného SW a jeho implementace,
- otestování funkčnosti celého zařízení, popř. provedení potřebných úprav,
- uvedení zařízení do ostrého provozu.

1 Teoretická část

1.1 Dostupná řešení

V současnosti elektrické kotle a jejich regulaci nabízí mnoho výrobců. Elektrické kotle jsou dodávány s různými možnostmi regulace. Je důležité provést analýzu dostupných řešení, které vychází z podobného nebo stejného konceptu automatů PLC a jejich uplatnění v regulaci a řízení elektrokotlů.

1.1.1 Elektrokotel s vlastní regulací

Elektrické kotle jsou vybaveny jednoúčelovou řídicí jednotkou, která je již naprogramována výrobcem. Tato řídicí jednotka bývá vybavena mnoha funkcemi, a je tedy navržena tak, aby měla co nejuniverzálnější využití pro různé požadavky uživatelů. Pro názornou ukázkou byl vybrán elektrokotel značky THERMONA. Uvedený výrobce elektrokotlů není však zdaleka jediným výrobcem, vyrábějícím elektrokotle s vlastní regulací, nicméně všichni výrobci vyrábějí elektrokotle s velice podobnými vlastnostmi, možnostmi regulace a ovládáním. Pro lepší představu budou níže popsány vlastnosti a funkce elektrokotle zmíněného výrobce THERMONA THERM EL 8 standardní řady, které jsou uváděny v jeho katalogu:

- úsporné čerpadlo, které je součástí elektrokotle,
- využitím spínacích relé je zajištěn velmi tichý provoz,
- výkon kotle probíhá plynule po krocích (2,5 či 5,0 kW),
- minimální provozovaný výkon kotle 2,5 kW (THERM EL 8),
- komunikace OpenTherm+,
- možnost volby regulace využitím prostorové teploty nebo využitím ekvitermní regulace,
- v případě montáže trojcestného ventilu lze ohřát vodu v externím zásobníku,
- v případě doplnění SMS modulu lze kotel ovládat pomocí SMS zpráv,

- HDO – možnost provozovat kotel pouze v nízkém tarifu,
- v případě požadavku lze doplnit hlídač proudového maxima,
- kaskádové řízení až 32 kotlů [1].

Nespornou výhodou v současnosti vyráběných elektrokotlů jsou také jejich kompaktní rozměry a design. Rozměry výše uvedeného kotle jsou: výška 820 mm, šířka 475 mm, hloubka 238 mm [1].

Jak již bylo zmíněno v první části této kapitoly, elektrokotle jsou vybaveny jednoúčelovou řídicí jednotkou, jejíž funkce a možnosti připojení jsou předem dány z výroby a nelze je během provozování elektrokotle jednoduše rozšiřovat. Uživatel musí mít tedy již při výběru vhodného elektrokotle jasnou představu o tom, zda bude elektrokotel chtít provozovat samostatně (bez návaznosti na ostatní technologie) nebo například v součinnosti s tepelným čerpadlem, vzduchotechnikou apod. V takovém případě je vhodné zvolit elektrokotel, který disponuje komunikačním protokolem například OpenTherm+, pomocí něhož je možné parametry elektrokotle integrovat do vybraného automatu. V něm je dále možné parametry zpracovávat a využívat jej k další regulaci například k regulaci topné vody do vzduchotechnické jednotky nebo s vazbou na tepelné čerpadlo. Automatem je v této bakalářské práci myšleno PLC a DDC.

1.1.2 Regulace elektrokotle pomocí diskretních prvků

Další možností regulace elektrokotlů je využitím diskretních prvků - tzv. pevná reléová logika, která se využívá pro realizaci logických funkcí. Pod pojmem reléová technika je možné si představit kontakty jednotlivých relé, stykačů, či kontakty tlačítek, ale i snímače, které mají na svém výstupu kontakt pro veličiny jako jsou například teplota, tlak, výška hladiny a další. Ovládat lze tak cívky jednotlivých relé a stykačů, topných těles, osvětlení a dalších elektrických spotřebičů [2, s. 52]. Pevná reléová technika byla také původně použita při realizaci regulace elektrokotle, využitého v této bakalářské práci.

Tato původní regulace elektrokotle byla založena pouze na diskretních prvcích. Bylo zde využito otočných přepínačů pro ruční volbu sepnutí prvního či druhého stupně topného tělesa, které byly blokovány prostorovým termostatem. Ovládání topných těles pomocí stykačů bylo řízeno provozním termostatem, na kterém se nastavovala požadovaná teplota topné vody. Při

dosažení požadované teploty topné vody byly stykače rozepnuty, při poklesu teploty s hysterezí 5 °C se stykače opět sepnuly a celý proces se opakoval, dokud nebylo dosaženo požadované teploty v prostoru. Tato teplota se nastavovala prostorovým termostatem. Vedle provozního termostatu pro topnou vodu byl také instalován havarijní termostat, který v případě selhání provozního termostatu kotel bezpečně odstavil. Elektrokotel pracoval bez poruchy a spolehlivě, vzhledem ke své jednoduché regulaci byl však značně omezen. Ovládání topných těles bylo umožněno pouze ručním režimem. V případě nízké venkovní teploty a navolení pouze prvního stupně topného tělesa nebylo možné dosáhnout požadované teploty prostoru. Bylo tedy zapotřebí ručně zvolit a nastavit na otočném přepínači i druhý stupeň topného tělesa. Dále nebylo možné elektrokotel ovládat pomocí vzdáleného přístupu. S využitím jednoduchého programovatelného prostorového termostatu bylo možné nastavit či upravit týdenní časový program, ale nebylo možné například dálkové zapnutí elektrokotle či dálkově upravovat časové programy. Podobně problematická byla i diagnostika poruchy elektrokotle. Diagnostika poruchy elektrokotle byla možná jen po konzultaci s odborným technikem, který dokázal závadu identifikovat. Elektrokotel nebyl osazen ani tlakovým čidlem, bylo proto zapotřebí pravidelně kontrolovat tlak uvnitř elektrokotle, aby nedošlo k poškození topných spirál.

1.1.3 Regulace elektrokotle pomocí automatu

Další možností regulace elektrokotlů je regulace pomocí automatu. Té bylo využito i v této bakalářské práci, a je tedy dále podrobně vysvětlena na konkrétní realizaci.

1.2 Proč zvolit k regulaci právě automat

Hlavní výhodou a předností automatů je především rychlá realizace dané problematiky. Hardwarové vybavení automatů nemusí uživatel vyvíjet, jelikož dnešní trh je nasycen mnohými výrobci automatů a záleží pouze na uživateli, jaký automat zvolí pro tu konkrétní aplikaci. Následně pak nejčastěji projektant vytvoří projekt na již vybraný automat. Uživatel, respektive programátor, vytvoří program, který se následně nahraje do automatu [2, s. 39]. Při samotné realizaci je na místě vše ještě jednou odzkoušeno. V praxi se tomu říká test 1:1, kdy se kontrolují vstupy a výstupy, zda je snímač připojený na správný vstup (pozici) a stejně tak se zkouší i výstupní část. Zde se kontroluje, zda se požadovaným výstupem ovládá správné čerpadlo, topné těleso a další akční členy. Další výhodou automatů je poměrně snadná náhrada za původní regulaci, která byla dříve řešena diskrétními prvky.

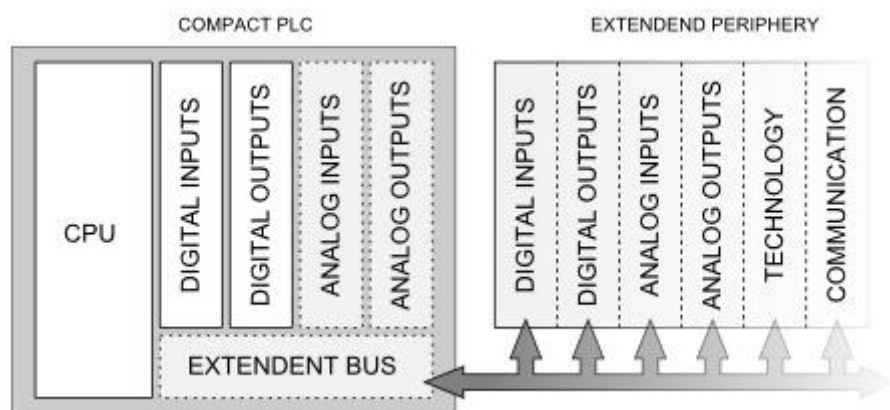
Nespornou výhodou automatů je také jejich odolnost, spolehlivost a možnost diagnostiky. Jelikož automaty i jejich hardwarová část jsou navrženy tak, aby byly odolné i v extrémních průmyslových podmínkách [2, s. 39]. Zejména v průmyslu totiž mohou automaty pracovat například v prostředí se zvýšenou teplotou, která je dána tepelnými zisky ostatních technologií, nebo v prostředí se zvýšenou vlhkostí, prašností a jiných okolních podmínek. Automaty jsou také odolnější vůči elektromagnetickému rušení. Tato vlastnost je velmi důležitá, neboť pokud by automat nebyl takto odolný, mohlo by docházet například k nepředvídatelným nahodilým jevům při regulaci, které by mohly ve svém důsledku způsobit zničení technologie nebo dokonce ohrozit lidské zdraví.

Třetí velkou výhodou je, že je možnost kdykoliv program upravit v návaznosti na požadavky jak investora, tak i na budoucí potřebu dalšího rozšíření technologie. Navíc je i běžnou praxí, kterou zmiňuje i autor v knize „PLC a automatizace“, že v závěru projektu/zakázky se mohou objevit např. nedostatky v zadání, nebo nemusí potenciální obsluze vyhovovat způsob regulace tak, jak byla navržena. Může nastat také potřeba doprogramovat ještě další funkce, které nebyly při tvoření záměru známy, a díky využití volně programovatelného automatu je možnost tuto úpravu kdykoliv provést. Z uvedených důvodů je také doporučováno navrhovat automat s dostatečnou rezervou vstupů a výstupů, která se udává v rozmezí 5-15 %. V případě, že bude požadavek investora nebo uživatele takového rozsahu, že ani připravená rezerva vstupů/výstupů nebude dostatečná, lze vstupy/výstupy kdykoliv rozšířit dalšími rozšiřujícími moduly [2, s. 39]. Z toho také však vyplývá, že při výrobě rozvaděče pro měření a regulaci se doporučuje ponechat prostor v rozvaděči, ideálně alespoň 30 %, pro možnost instalace dalších rozšiřujících modulů.

1.3 Základní rozdělení automatů:

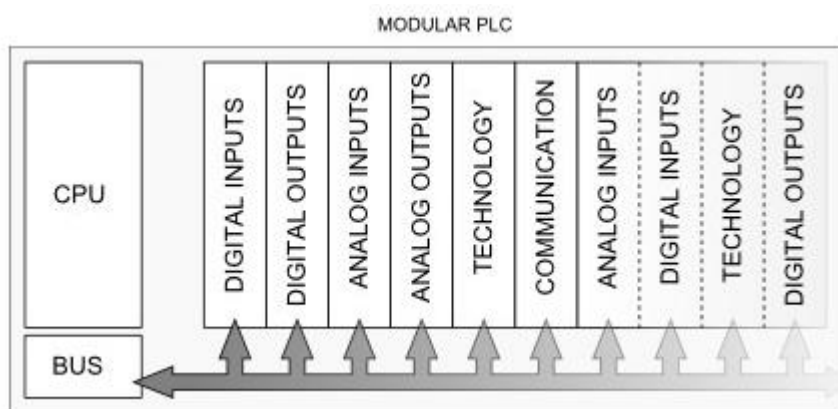
Kompaktní PLC je automat, jehož součástí je CPU a definovaný počet I/O. V jakém poměru jsou jednotlivé vstupy/výstupy rozloženy definuje výrobce. Výhodou kompaktních automatů je cenová dostupnost a rychlost přístupu k jednotlivým perifériím, neboť signály neprocházejí přes řadič sběrnice. Nevýhodou kompaktních automatů může být jejich menší paměť, která je vyhrazena pro aplikace a data, neboť kompaktní automaty jsou určeny především pro malé řídicí systémy. V některých případech také nemusí být možné připojit rozšiřující moduly I/O. Pokud vůbec lze k automatu připojit rozšiřující moduly I/O, tak jejich provedení bývá často shodné s provedením pro modulární PLC. Omezení zde také bývá v počtu možných připojení

rozšiřovacích modulů, které lze připojit (jednotky až desítky modulů), oproti modulárním automatům, kde je možnost připojení až stovek rozšiřujících modulů. Principiální schéma zapojení kompaktního automatu je uvedeno na obrázku – Obr. 1. [3]



Obr. 1. - Kompaktní automat – principiální schéma zapojení

Modulární PLC je automat, kde základní modul představuje CPU, které je u modulárních systému bez I/O. Následně lze základní modul rozšířit o potřebné rozšiřující moduly I/O dle požadavku konkrétní aplikace. Rozšiřující moduly I/O lze umístit do vany nebo na DIN lištu vedle sebe. Principiální schéma zapojení modulárního automatu je uvedeno na obrázku – Obr. 2. [4]

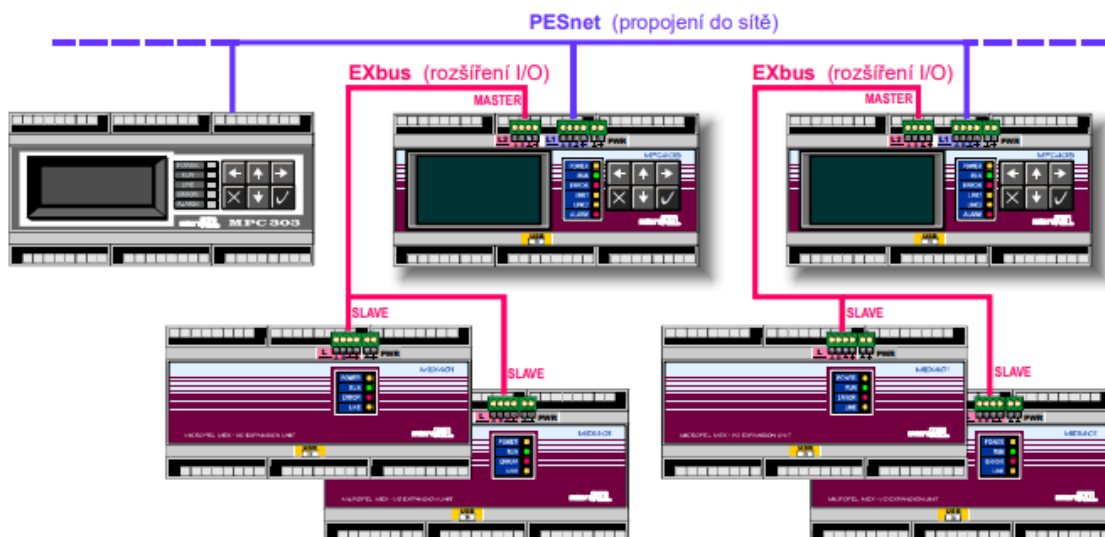


Obr. 2. - Modulární automat – principiální schéma zapojení

1.4 Popis a porovnání vhodných automatů

1.4.1 MICROPEL MPC 411

Automat výrobce MICROPEL řady 400 je modulární, volně programovatelný automat s RISC procesorem ARM Cortex. V rámci menších aplikací je možné využít samostatně PLC jednotku řady MPC400, kterou je možné osadit až třemi vstupními/výstupními moduly dle požadavku uživatele. Při této volbě je tak možné získat v rámci jednoho automatu až 48 vstupů/výstupů dle uživatelem zvolené konfigurace modulů. Automat řady 411 disponuje dvěma RS485. Hlavní komunikace mezi automaty a obecně zařízeními MICROPEL probíhá využitím linky, která je připojená na svorky označené L1 RS485 s komunikačním protokolem PESnet. Ke druhé lince automatu, která je označená L2 RS485 (protokol EXbus), je možné připojit rozšiřující jednotky vstupů/výstupů. Rozhraní RS485 lze také využít pro komunikaci MODBUS, UART. Využitím rozšiřujících jednotek v rámci jednoho automatu je možnost rozšíření až na cca 3800 vstupů/výstupů. Již zmíněné rozšiřující jednotky jsou označovány MEX400. Rozšiřující I/O jednotky jsou vybaveny bezpečnostní funkcí, která hlídá komunikaci na sběrnici. Pokud dojde k přerušení spojení s centrální jednotkou PLC, lze nastavit výstupy do předem definovaných bezpečných stavů. Rozdílem mezi jednotkami MPC400 a MEX400 je, že jednotky MEX400 nejsou volně programovatelné, vstupy/výstupy je možné pouze konfigurovat a jsou vybaveny jen jednou linkou RS485 – EXbus. V případě osazení nebo výměny I/O modulů není možné výměnu provést uživatelsky, ale vždy jen u výrobce. Jednotky řady MPC400 i MEX 400 mají shodné rozměry a obsahují volné pozice pro osazení až tří modulů vstupů/výstupů, které se instalují na lištu DIN32. Automat umožňuje využití hodin reálného času, které jsou v případě výpadku napájení zálohované. V paměti Flash je uložena aplikace a další data, jako jsou například časové programy a nastavené hodnoty [5]. Automat se programuje vývojovým prostředím StudioWin prostřednictvím jazyka Simple4 [6], ve kterém se vlastní program tvoří pomocí funkčních bloků. V případě požadavku na webserver je možné automat vybavit komunikačním převodníkem CA4, jehož součástí je webserver, ve kterém lze realizovat vzdálený monitoring a vizualizaci dat [7]. Automat se, stejně jako rozšiřující jednotky, instaluje na DIN lištu. Zapojení komunikace mezi jednotlivými automaty vč. zapojení komunikace rozšiřujících jednotek je uvedeno na obrázku – Obr. 3. [5]



Obr. 3. - Zapojení komunikace více automatů vč. rozšiřujících jednotek

1.4.2 DOMAT IMIO105.2

Jedná se o volně programovatelný automat s procesorem ARM i.MX6UL a operačním systémem LINUX. Automat je vybaven svorkami pro připojení 4AI, 4DI, 2AO, 6DO, a dále disponuje rozhraním RS485, které je určeno pro připojení rozšiřujících I/O modulů. Pro komunikaci s ostatními zařízeními lze využít dvojici Ethernet port [8]. Při požadavku na rozšíření I/O lze využít kompaktní I/O modul, jehož součástí je kombinace I/O 4AI, 2AO, 4DI, 7DO [9], nebo využitím dalších modulů např. modul osmi triakových výstupů 24 V a další. Moduly nemají stejné rozměry, instalují se na DIN lištu. Automat umožňuje využití hodin reálného času, které jsou v případě výpadku napájení zálohované. V paměti Flash je uložen operační systém, aplikace a další data, jako jsou časové programy nebo nastavené hodnoty. Automat také podporuje watchdog. Paměť NVRAM je určena pro zálohování nastavení v případě výpadku napájení [8]. Využitím vývojového prostředí Merbon IDE se tvoří a nahrává aplikace do automatu. Aplikace je možné tvořit pomocí funkčních bloků (FUPLA) nebo strukturovaného textu podle IEC 61131-3 [10, s. 8]. Součástí automatu je také webový server, který je možné využít pro vzdálený přístup, vizualizaci dat a ovládání. Vývojové prostředí Merbon IDE je také určeno ke tvorbě webových stránek. Výrobce doporučuje web server využívat pouze v místní síti z důvodu kybernetické bezpečnosti. V případě využití web serveru ve veřejné síti je nutné zajistit kybernetickou bezpečnost

dalšími aktivními síťovými prvky. Automat je nutné instalovat na DIN lištu [8, s. 2]. Zapojení komunikace vč. rozšiřujících modulů je uvedeno na obrázku – Obr. 4. [10, s. 10]



Obr. 4. - Zapojení komunikace vč. rozšiřujících modulů

1.4.3 TECOMAT FOXTROT CP-1006

TECOMAT FOXTROT CP-1006 je malý, volně programovatelný automat s možností jeho rozšíření pomocí I/O modulu. Automat je vybaven procesorem řady K. Základní modul disponuje 13DI/AI – univerzální vstupy, 1DI – rychlý vstup, lze využít jako čítač, 1DI pro napětí 230VAC, 2SSR – triakové výstupy, lze využít pro PWM modulaci, 2AO a 10RO. Pro připojení rozšiřujících modulů je určeno systémové rozhraní TCL2 a komunikační kanál s rozhraním CIB, které slouží pro připojení externích periférií [11, s. 2]. Rozšiřující moduly připojené na systémové rozhraní TCL2 se vyrábějí v mnoha provedeních s různou variabilitou I/O při zachování stejných rozměrů (52x90x58 mm), instalují se na DIN lištu. Součástí automatu je obvod reálného času, který je zálohován, paměť CMOS RAM, která je rovněž zálohovaná a je určena pro uživatelské programy, data, tabulky. Paměť Flash je možno využít pro zálohování uživatelského programu a slot pro paměťovou kartu MMC/SD. Dále je automat vybaven jedním Ethernet rozhraním a dvěma sériovými kanály. Jeden sériový kanál je

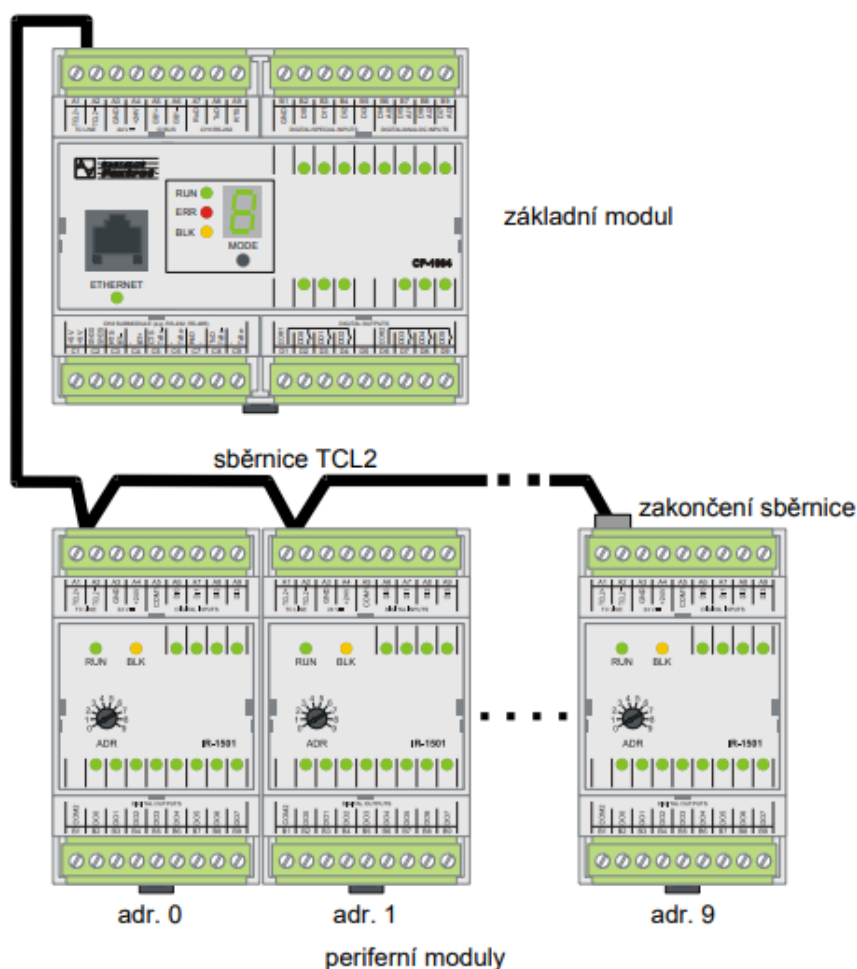
s neměnným rozhraním RS232, druhý kanál lze osadit volitelným sub modulem [11, s. 2]. Pro tvorbu programu se využívá vývojové prostředí MOSAIC, pomocí kterého je možné aplikaci do automatu nahrát a odzkoušet. Ve vývojovém prostředí je možné vytvářet aplikace pomocí reléových schémat – LD, funkčních blokových diagramů – FBD, strukturovaného textu – ST, instrukčního jazyka – IL, pokročilého grafického programování – CFC podle IEC 61131-3. Součástí automatu je také webový server, které je možné využít pro vzdálený přístup, vizualizaci dat a ovládání. Součástí vývojového prostředí MOSAIC je také WEBMAKER, který je určen k tvorbě webových stránek [12]. Využitím služby TecoRoute je možné vzdáleně přistupovat ke správě automatu. Výhodou tohoto řešení je, že není nutná veřejná IP adresa a s tím spojené dodatečné aktivní síťové prvky, s výjimkou routeru a podmínkou, že bude automat připojen k internetu [13, s. 3]. Automat je nutné instalovat na DIN lištu. Uvedená výrobní řada TECOMAT FOXTROT CP-1006 se již nevyrábí, byla ukončena výroba a produkt byl nahrazen výrobní řadou TECOMAT FOXTROT 2. Jde o výrobní řadu, která byla modernizována, především její hardwarová část při zajištění softwarové kompatibility s vývojovým prostředím MOSAIC.

1.4.4 TECOMAT FOXTROT CP-2007

TECOMAT FOXTROT CP-2007 je novým nástupcem výrobní řady CP-1006, který je popsán v kapitole 1.4.3.

TECOMAT FOXTROT druhé generace je malý, kompaktní, volně programovatelný automat s možností jeho rozšíření pomocí I/O modulu. Automat je vybaven novým procesorem řady L. Základní modul disponuje 12AI/DI – univerzální vstupy, 2AI/AO, 1DI pro napětí 230 VAC, 11RO, 2AO/PWM. Zůstalo zachováno systémové rozhraní TCL2 a komunikační kanál s rozhraním CIB, které je určeno pro připojení externích periférií. Automat je kompatibilní s rozšiřujícími moduly první generace. Oproti svému předchůdci má větší paměť 1 MB pro uživatelský program, možnost využití interní paměti o kapacitě 128 MB, která může být využita pro ukládání souborů a využitím LAN je možno k těmto datům přistupovat jako k síťovému disku. Automat je dále vybaven slotem pro micro SD kartu s kapacitou až 1TB. Komunikační rozhraní bylo také rozšířeno. Druhá generace nabízí dva Ethernet porty, které lze využít pro programování a obecnou komunikaci IP, jeden micro USB port, který lze rovněž využít pro programování, USB port typu A – možnost připojení Flash paměti a WIFI adapter, který se schopen pracovat v režimu client i AP – access point. Další novinkou je možnost

zvolit variantu automatu, jehož součástí je LTM modem, pomocí kterého je možné navázat přímé bezdrátové připojení do internetu využitím služeb mobilního operátora. Vytváření aplikace pomocí vývojového prostředí MOSAIC zůstala zachována, stejně tak i tento FOXTROT stále disponuje web serverem, který lze využít pro vzdálený přístup ke správě automatu. Automat je nutné instalovat na DIN lištu. Novinkou je také možnost napájení automatu pasivním POE 24 V. (Power over Ethernet) [14]. Zapojení sběrnice TCL2 včetně rozšiřujících modulů je uvedeno na obrázku – Obr. 5. [15, s. 8]



Obr. 5. - Zapojení komunikace TCL2 vč. rozšiřujících modulů

1.4.5 Přehledová tabulka automatů MICROPEL a DOMAT

Parametry	MICROPEL MPC 411 vč. rozšiřujících modulů typů D,G	DOMAT IMIO105.2 vč. rozšiřujícího modulu RMIO 17 I/O
orientační cena	15 800 Kč (r.2022)	23 335 Kč (r.2022)
procesor	32-bit RISC, ARM Cortex	ARM i.MX6UL
paměť programu: zálohovaná paměť dat:	FLASH EPROM 512 kB NV RAM 84 kB	FLASH 128 MB NV RAM 128 kB
počet vstupů/výstupů	až 48 I/O dle volby konfigurace modulů (8xDO, 6xAI, 16xDI)	8xAI, 8xDI, 4xAO, 13xDO
web server	ANO s využitím převodníku CA4 (5200 Kč)	ANO
RS485	2x (MODBUS, UART, PESnet, EXbus)	1x (MODBUS, BACNET)
USB	1	0
ethernet	1	2
IEC 61131-3	NE	ANO (ST)
odnímatelné svorky	ANO	ANO
LED signalizace I/O	NE	NE
rozměry š x v x h	158 x 95 x 45	105 x 99 x 64
rozměr modul. š x v x h	–	105 x 98 x 64

Tabulka 1: Přehled základních parametrů – MICROPEL, DOMAT

1.4.6 Přehledová tabulka automatů TECOMAT FOXTROT

Parametry	TECOMAT CP-1006 (ukončená výroba)	TECOMAT CP-2007 (nová řada)
orientační cena	13 500 Kč (r.2018)	19 800 Kč (r.2022)
procesor	řada K	ARMv7, 792 MHz
paměť programu:	192 + 64 kB	1 MB
počet vstupů/výstupů	13xDI/AI, 1xDI, 1xDI 230 VAC, 2xSSR,10xRO	12xDI/AI, 2x AI/AO, 11xRO, 2xDO/AO, 1xDI 230VAC
web server	ANO	ANO
RS485	1	1
USB	0	1xmicro USB, 1x USB A (flash paměť)
ethernet	1	2
IEC 61131-3	ANO (LD, FBD, ST, IL, CFC)	ANO (LD, FBD, ST, IL, CFC)
odnímatelné svorky	ANO	ANO
LED signalizace I/O	ANO	ANO
rozměry š x v x h	158 x 92 x 63	158 x 90 x 62
rozměr modul. š x v x h	–	–

Tabulka 2: Přehled základních parametrů – TECOMAT FOXTROT 1, 2

1.5 Výběr vhodného automatu

1.5.1 Základní požadavky na automat

Hlavním požadavkem při návrhu automatu byla dostupnost v České republice a podpora hardware a software v českém jazyce. Při výběru vhodného automatu je nutné nejprve specifikovat základní požadavky na řídicí systém s ohledem na jeho další rozšíření.

Základní požadavky na řídicí systém:

- WEB server,
- ethernet rozhraní,
- vybavení automatu obvodem reálného času,
- dokumentace v českém jazyce,
- odnímatelné svorky,
- tvorba programu dle IEC 61131-3 (LD, FBD, ST, IL, CFC),
- požadavek na automat bez displeje, diagnostika LED I/O,
- zástavbová šířka (cca 160 mm) při dodržení požadovaných I/O,
- doba dostupnosti náhradních dílů.

WEB server: Touto službou disponují všechny porovnávané automaty. U výrobce MICROPEL je však automat nutně za příplatek vybavit komunikačním převodníkem CA4, jehož součástí je web server.

Ethernet rozhraní: Rozhraním Ethernet disponují všechny porovnávané automaty.

Vybavení automatu obvodem reálného času: Obvodem reálného času jsou vybaveny všechny porovnávané automaty včetně možnosti zálohy v případě výpadku napájení.

Dokumentace v českém jazyce: Hlavním požadavkem byla hardwarová a softwarová podpora v českém jazyce. Tento požadavek je splněn u všech porovnávaných automatů.

Odnímatelné svorky: Odnímatelné svorky jsou velkou výhodou, protože šetří čas při případné výměně automatu. Odnímatelnými svorkami jsou vybaveny všechny porovnávané automaty.

Tvorba programu dle IEC 61131-3: Tvorbu programu dle IEC 61131-3 nepodporuje výrobce automatu MICROPEL. Aplikaci lze ovšem vytvářet pomocí funkčních bloků. Výrobce automatu DOMAT umožňuje programování dvěma způsoby. První způsob je programování pomocí funkčních bloků FUPLA a druhý strukturovaným textem ST podle normy IEC 61131-3. Výrobce automatu TECOMAT umožňuje programování dle IEC 61131-3 pro všechny typy jazyka LD, FBD, ST, IL, CFC.

Diagnostika LED I/O: Automat MICROPEL včetně rozšiřujících modulů (varianta bez displeje) není vybaven LED signalizací stavů I/O. Rovněž automat od výrobce DOMAT v konfiguraci IMIO 105.2 včetně rozšiřujícího modulu RMIO 17 I/O nedisponuje LED signalizací stavů I/O. Automat od výrobce TECOMAT CP-1006 (varianta bez displeje) je vybaven LED signalizací stavů I/O, rovněž TECOMAT CP-2007 druhé generace umožňuje LED signalizaci I/O. Varianta bez displeje se již nevyrábí.

Zástavbová šířka (160 mm) při dodržení požadovaných I/O: Automat MICROPEL je rozměrově velmi podobný automatům TECOMAT. Jelikož MICROPEL je navržen tak, že umožňuje již v rámci samotného automatu instalovat do třech volných pozic I/O moduly různých variant I/O. Díky tomuto řešení lze získat až 48 I/O, při zachování požadované šířky modulu do 160 mm. Moduly I/O se definují při objednání automatu, v případě, že je nutné provést jejich výměnu nebo doplnění o další moduly, je nutné zaslat automat výrobcí. TECOMAT při velice podobných rozměrech nabízí předem definovaný počet I/O o celkovém počtu 27 I/O (první generace) a 28 I/O (druhá generace). Výhoda I/O u automatů TECOMAT je, že disponují velkým počtem univerzálních vstupů a lze je během životnosti automatu snadno přizpůsobovat při případném budoucím rozšiřování systému. Automat DOMAT nabízí v základním provedení 4AI, 4DI, 2AO, 6DO, celkem tedy 16 I/O. V tabulce 1 jsou uvedeny počty I/O včetně rozšiřujícího modulu. Celkový počet je tedy 33 I/O. Celková šířka automatu včetně rozšiřovacího modulu je 210 mm.

Doba dostupnosti náhradních dílů: Dobu dostupnosti náhradních dílů, a tím i udržovatelnost automatu, se podařilo zjistit pouze u výrobce TECOMAT, který udává dostupnost náhradních dílů až 20 let.

1.5.2 Volba automatu

Porovnáním parametrů a vlastností porovnávaných automatů s ohledem na stanovené požadavky byl vybrán automat od výrobce TECOMAT řady CP-1006, který všechny požadované parametry splňuje. Velkou výhodou automatů TECOMAT je velký počet univerzálních I/O, které lze velmi snadno nakonfigurovat s ohledem na požadovanou aplikaci a není nutné v případě požadavku například na další analogový vstup instalovat další rozšiřující modul, ale lze využít stávající konfiguraci, samozřejmě za předpokladu, že automat nemá plně využity I/O. Další velkou výhodou je, že tyto automaty již ve svém základním provedení disponují dvěma SSR výstupy, které lze využít například pro regulaci výkonu.

Automat je také vybaven DI na 230 V, který lze využít kupříkladu jako signalizaci HDO. Přítomnost LED signalizace I/O přináší výhody při spouštění technologie, kdy je na první pohled vidět, zda je či není požadovaný vstup nebo výstup sepnutý. Možnost uložit již vytvořenou a odzkoušenou aplikaci přímo do automatu je také velkou výhodou, kterou lze využít v případě, že na případný servis jezdí větší počet techniků. Technici tak mají k dispozici aktuální SW. Uloženou aplikaci v automatu lze zaheslovat proti neoprávněnému zásahu do aplikace. V době realizace byl ještě k dispozici TECOMAT první generace a paralelně k němu se již začal prodávat TECOMAT druhé generace, který rovněž splňuje uvedené požadavky na automat.

1.6 Sledované parametry pro bezporuchový provoz

Před zahájením tvorby výkresové dokumentace a následného vytvoření algoritmu pro řízení a ovládání elektrokotle je nutné určit sledované parametry, ze kterých dále vyplynou potřebné požadavky na algoritmus vedoucí k zajištění bezpečného a spolehlivého provozu elektrokotle.

Elektrokotel je elektrické zařízení, ve kterém probíhá pomocí topných těles ohřev teplotnosného média, které je pomocí cirkulačního čerpadla dopravováno do otopné soustavy, zatím stále nejčastěji do radiátorů. Teplotnosným médiem je topná voda. Aby bylo dosaženo ve vytápěném prostoru tepelné pohody, je potřeba zajistit dostatečnou teplotu topné vody v závislosti na teplotním spádu topné soustavy, měřit teplotu v prostoru a zároveň je potřeba zajistit bezpečné odstavení elektrokotle při překročení maximální teploty topné vody. Prvním sledovaným parametrem topné vody je tedy její teplota. Dále je potřeba zajistit bezpečné odstavení elektrokotle v případě poruchy, která může být způsobena například únikem topné vody v otopné soustavě vlivem netěsností. Netěsnosti v otopné soustavě způsobují kromě ztráty topné vody také pokles tlaku. Druhým sledovaným parametrem topné vody je tedy tlak, respektive minimální tlak topné vody. Ovšem pro autonomní regulaci elektrokotle a jeho ovládání nestačí připojit k automatu pouze snímač pro měření teploty topné vody a čidlo tlaku, ale je zapotřebí ještě dalších signálů, stavů a parametrů, jejichž kompletní seznam je uveden v následující kapitole.

1.6.1 Požadavky na autonomní regulaci a ovládání elektrokotle

- Teplota topné vody – pro regulaci teploty topné vody na žádanou hodnotu nutno instalovat snímač teploty, zobrazení veličiny na webovém rozhraní,

- teplota v prostoru – měření teploty v prostoru je požadováno pro dosažení tepelné pohody ve vytápěném prostoru, v případě dosažení teploty elektrokotel vypnout,
- maximální teplota topné vody – ochrana elektrokotle při překročení maximální povolené teploty topné vody využitím havarijního termostatu, zobrazení poruchy na webovém rozhraní,
- minimální tlak topné vody – ochrana elektrokotle v případě poklesu tlaku, například vlivem netěsností v otopné soustavě,
- chod cirkulačního čerpadla – požadavek signalizace chodu cirkulačního čerpadla na webovém rozhraní,
- porucha cirkulačního čerpadla – v případě vybavení jističe pro napájení cirkulačního čerpadla kotel autonomně odstavit a signalizovat poruchu na webovém rozhraní,
- protáčení oběhového čerpadla mimo provoz kotle – jedenkrát týdně provést protočení čerpadla, ochrana čerpadla proti „zatuhnutí“,
- provoz topného tělesa 1.stupně – signalizace požadavku topného tělesa 1. stupně,
- porucha topného tělesa 1. stupně – v případě poruchy elektrokotel automaticky odstavit, signalizovat poruchu na webovém rozhraní,
- provoz topného tělesa 2. stupně – signalizace požadavku topného tělesa 2. stupně,
- porucha topného tělesa 2. stupně – v případě poruchy elektrokotel automaticky odstavit, signalizovat poruchu na webovém rozhraní,
- orientační spotřeba elektrické energie – na webovém rozhraní zobrazit denní, aktuální a dlouhodobou spotřebu v kWh,
- provoz elektrokotle v nízkém tarifu (HDO) – provozovat elektrokotel pouze v nízkém tarifu dle signálu HDO.

1.7 Regulace tepelných zdrojů

Způsobů regulace tepelného zdroje a teploty v prostoru je celá řada. Nejjednodušší regulace tepelného zdroje je regulace topné vody na výstupu tepelného zdroje. Tento způsob je, vzhledem k rostoucím požadavkům především na hospodárnost provozování tepelného zdroje, ale i požadavků na tepelnou pohodu vytápěného prostoru, nedostatečný. V této souvislosti je důležité také poznamenat, že velký pokrok nastal i ve stavebnictví. Stavební technologie a postupy byly a jsou neustále vylepšovány, rovněž technologie na zateplení budov doznala značných vylepšení, které přispěly ke snížení tepelných ztrát objektů. Bylo tedy potřeba vymyslet další a lepší způsoby regulací, které by mnohem efektivněji a hospodárněji reagovaly na okolní a klimatické podmínky. To se podařilo díky využití prostorových snímačů teploty a venkovní teploty. Možnosti základních způsobů regulace teploty jsou pospány v následujících kapitolách.

1.7.1 Regulace teploty topné vody na vstupu/výstupu tepelného zdroje

Nejjednodušší regulací je regulace topné vody na vstupu/výstupu tepelného zdroje bez měření teploty v prostoru. Požadovanou teplotu topné vody určuje uživatel podle toho, zda potřebuje dosáhnout ve vytápěném prostoru vyšší nebo nižší teploty. Teplota topné vody na vstupu/výstupu je regulována na konstantní teplotu. Tento způsob regulace je značně nevhodný a závislý na uživateli, který musí teplotu topné vody určit. Jelikož není měřena teplota v prostoru ani teplota venkovní, není v možnostech regulace reagovat na okolní a klimatické podmínky, což se projeví zejména na nedosažení tepelné pohody ve vytápěném prostoru například vlivem změn venkovní, ale i vnitřní teploty během dne či noci.

Další možnou variantou je regulace topné vody na vstupu/výstupu tepelného zdroje v kombinaci s měřením teploty v prostoru. V této variantě regulace je nastavená teplota topné vody na vstupu/výstupu tepelného zdroje na konstantní hodnotu. V tomto případě je požadavek na topení vydán pomocí prostorového čidla nebo termostatu, které jsou instalovány v referenční místnosti. Pokud je teplota v prostoru nižší než žádaná, tepelný zdroj se zapne. Při dosažení žádané hodnoty teploty v prostoru se tepelný zdroj vypne. Kromě žádané teploty v prostoru je dále nutné nastavit hysterezi, aby se zamezilo častému spínání tepelného zdroje. V případě elektrokotle lze využít této varianty regulace v kombinaci s termostatickými

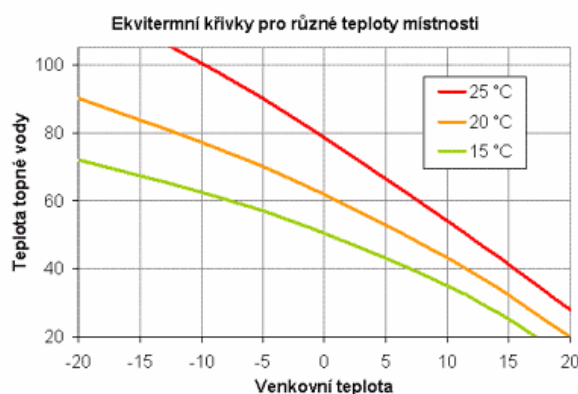
regulačními ventily, kterými je osazena otopná soustava například radiátory, vyjma referenční místnosti. V případě běžných radiátorů, které vyžadují vysokou teplotu topné vody, lze elektrokotel provozovat na konstantní teplotu topné vody dle instalovaného teplotního spádu radiátorů. Udávaná účinnost elektrokotle je cca 98 %. S ohledem na takto vysokou účinnost lze využít způsobu regulace bez ekvitemní křivky, na rozdíl od plynových kondenzačních kotlů, které mají největší účinnost při teplotě vratné topné vody okolo 40 °C, kde je vhodnější zvolit variantu regulace podle ekvitemní křivky, a ještě lépe variantu regulace dle ekvitemní křivky s vlivem prostorové teploty. Elektrokotel lze regulovat podle vstupní nebo výstupní topné vody. Záleží především na způsobu řízení výkonu elektrokotle. Pokud je elektrokotel regulován na výstupu topné vody, je vhodnější zvolit regulaci výkonu topných těles přes relé, popřípadě SSR relé, a regulovat pomocí pulsně šířkové modulace výkon jednotlivých topných těles. V případě regulace výkonu elektrokotle pomocí stykačů je vhodnější instalovat čidlo teploty na vstupu topné vody (vratné vody) do elektrokotle. Tím se omezí časté spínání stykačů a regulace je mnohem stabilnější. V neposlední řadě je důležité správné nastavení PID regulátorů, které řeší spínání topných těles.

1.7.2 Regulace podle teploty v prostoru

V případě zvolení této varianty regulace musí být do požadovaného vytápěného prostoru instalován prostorový snímač teploty. Změřená prostorová teplota je zároveň řídicí veličinou pro regulátor. Prostorový snímač teploty se instaluje do tzv. referenční místnosti, to tedy znamená, že podle tohoto snímače teploty jsou ovládány i ostatní místnosti. Měření prostorové teploty by nemělo být ovlivněno místními zdroji tepla. Regulační odchylka, která vznikne vlivem prostorové teploty v referenční místnosti, má za následek změnu teploty přívodní topné vody. Tato změna způsobí postupné vyrovnávání prostorových teplot v ostatních místnostech, ve kterých změna prostorové teploty nemusí být žádoucí. Tento způsob regulace lze využít v kombinaci s termostatickými regulačními ventily, ovšem za předpokladu, že v referenční místnosti nebude osazen termostatický regulační ventil. Pro regulaci lze využít regulátory typu P nebo PI [16].

1.7.3 Regulace teploty přívodní topné vody podle venkovní teploty

Tato regulace je také známa jako ekvitermní regulace. Popisuje závislost přívodní topné vody na venkovní teplotě. Uvedená regulace vyžaduje instalaci teplotního čidla, které se obvykle umísťuje na vnější stranu fasády, jehož signál je připojen do regulátoru. Umístění čidla musí být opět zvoleno tak, aby nebylo ovlivněno například slunečním svitem. V případě, že tomuto nelze zabránit, je možné čidlo vybavit stíněním. Aby regulátor byl schopen správně regulovat teplotu přívodní topné vody podle venkovní teploty, je potřeba určit charakteristiku otopné křivky. Pro optimální nastavení ekvitermních křivek je potřeba znát vlastnosti otopné soustavy i objektu. Vytápěné prostory je nutné osadit například termostatickými regulačními ventily [17]. Ukázka grafu ekvitermních křivek je uvedena na obrázku – Obr. 6. [18]



Obr. 6. - Graf ekvitermních křivek

1.7.4 Ekvitermní regulace s vlivem prostorové teploty

Uvedená regulace vyžaduje ke své funkci instalaci venkovního i prostorového čidla. Oproti regulaci, která je popsána o kapitulu výše, je zde regulována teplota topné vody podle venkovní teploty s korekcí teploty prostorové. V případě, že se teplota v prostoru liší od žádané teploty, v prostoru dojde k posunu otopné křivky, a tedy k následné změně teploty topné vody. Tím dojde ke snížení regulované odchylky. Výhodou této regulace je, že se vyrobí takové množství tepla, které je skutečně požadováno a lze tedy dosáhnout vyšších úspor. Samozřejmě za předpokladu, že je správně nastavena otopná křivka [19].

1.8 PID regulátory

PID regulátory jsou v oboru měření a regulace velmi často využívány. PID regulátory se využívají pro autonomní regulaci různých fyzikálních veličin, například pro regulaci teploty, průtoků, tlaků, otáček motorů a dalších veličin. Spojením regulátoru a regulované soustavy vzniká regulační obvod. Funkce regulátoru je taková, že do vstupní části regulátoru vstupuje žádaná hodnota $w(t)$ včetně skutečné regulované veličiny $y(t)$. Na základě uvedených vstupních hodnot regulátor zareaguje působením na vstup regulované soustavy. Praktickou ukázkou je například prostorový termostat nebo tempomat v automobilu. Žádaná hodnota regulované veličiny určuje, jaké hodnoty má dosáhnout skutečná hodnota regulované veličiny. Vztah mezi žádanou a skutečnou hodnotou regulované veličiny se nazývá chyba regulační odchylky $e(t)$. Matematicky může být tedy chyba regulační odchylky zapsána takto: $e(t) = w(t) - y(t)$. Ke vzniku nenulové hodnoty chyby regulační odchylky může docházet vlivem poruchové změny regulované veličiny nebo záměrnou změnou její žádané odchylky [20].

Důležitými parametry regulátorů, kterými lze ovlivnit správnou regulaci, jsou proporcionální složka – P, integrační složka – I a derivační složka – D. Kombinací uvedených složek lze stanovit konkrétní typ regulátoru. Existují tedy tyto varianty regulátorů: P regulátor, I regulátor, PI regulátor, PD regulátor a PID regulátor.

1.8.1 Regulátor typu P – proporcionální

Regulátor typu P má pouze schopnost zesilovat regulační odchylku, jejíž zesílení je konstantní – s výjimkou vysokých frekvencí, ve kterých přenos působením setrvačností klesá. Jedná se tedy o regulátor typu P, jehož přenos je větší než jedna [21, s. 71].

Regulátor typu P je základním a nejpoužívanějším regulátorem z důvodu jeho jednoduchosti. S jakou přesností bude regulátor typu P regulovat, závisí na jeho zesílení, které u setrvačných regulovaných soustav může být poměrně velké, a zároveň by nebyla ovlivněna stabilita. U soustav, které mohou nabývat vyšších řádů, může být nežádoucí překmit regulované veličiny. Případný překmit regulované soustavy lze ovlivnit zmenšením zesílení regulátoru. Regulátory typu P nelze doporučit pro regulované soustavy, které nemají setrvačnost, protože už při malém zesílení se může projevit vysokofrekvenční kmitání [21, s. 84].

1.8.2 Regulátor typu I – integrační

Regulátor typu I se vyznačuje tím, že jako jediný z dostupných regulátorů má schopnost úplně odstranit regulační odchylku, neboť regulační odchylka je regulátorem integrována. K úplnému odstranění regulační odchylky je však možné dosáhnout až po uplynutí určité doby. Regulátor typu I je vhodné použít pro regulovanou soustavu, která má značnou setrvačnost nebo kde nedochází příliš často k poruše [21, s. 72]. Regulátor typu I je vhodné kombinovat s dalšími typy regulátorů. Regulátor typu I je schopen úplně odstranit regulační odchylku i v součinnosti s jinými typy regulátorů. Nevýhodou tohoto regulátoru je, že se zvyšující frekvencí dochází ke zmenšení zesílení, což vede k pomalému odstraňování poruchy. Regulátor typu I najde své uplatnění ve statických regulovaných soustavách, ve kterých se neprojevuje setrvačnost. V tomto případě může být zesílení značně velké a nehrozí rozkmitání, dále lze použít pro setrvačné soustavy 1. řádu. Regulátor typu I nejlépe pracuje s regulací statických soustav, kde dochází k dopravnímu zpoždění. U těchto soustav je velkým rizikem rozkmitání obvodu, které se řeší menším zesílením regulátoru [21, s. 84].

1.8.3 Regulátor typu D – derivační

Regulátor typu D nelze samostatně použít. Za nepoužitelnost samostatného regulátoru typu D mohou tzv. parazitní setrvačnosti, protože při vysokých frekvencích dochází k tlumení přenosu, což je pásmo, ve kterém je požadován přenos regulátoru největší [21, s. 73].

1.8.4 Regulátor typu PI – proporcionálně integrační

Regulátor typu PI je kombinací regulátoru typu P a typu I. Regulátor typu PI patří k nejčastěji používaným regulátorům z důvodů jeho univerzálnosti a lze ho poměrně snadno nastavit. Výhodou této modifikace regulátoru (kombinace P a I složky) je, že v případě jeho použití je regulační odchylka nulová, dostatečným způsobem odstraňuje poruchy, které vstupují do regulované soustavy a zlepšuje stabilitu regulačního obvodu [21, s. 85].

1.8.5 Regulátor typu PD – proporcionálně derivační

Regulátor typu PD je kombinací regulátoru typu P a typu D. Tento typ regulátoru lze aplikovat obecně v aplikacích, kde vyhovuje použití regulátoru typu P. Výhodou tohoto regulátoru je rychlost regulace, která je větší, a díky tomu dochází k tlumení rychlých překmitů regulované veličiny. Uvedená výhoda se projeví i v případech, kdy do regulované soustavy vstupují časté

poruchy. Pokud je vhodně zvolena časová konstanta, je možné dosáhnout vyšší stability regulačního obvodu [21, s. 85].

1.8.6 Regulátor typu PID – proporcionálně integračně derivační

Regulátor typu PID je kombinací regulátoru typu P, typu I a typu D. Tento typ regulátoru lze aplikovat ve všech aplikacích, ve kterých svými vlastnostmi vyhoví regulátor typu PI. V porovnání s regulátorem PI je tento regulátor PID rychlejší, a tím tedy lépe potlačuje rychlé přeměny veličiny, která je regulována. Zejména, pokud do regulace soustavy čteně vstupují poruchy [21, s. 85].

2 Praktická část

V původním stavu regulace daného elektrokotle bylo potřeba vyřešit nedostatky v návaznosti na budoucí další rozšiřování technologie o vzduchotechnickou jednotku, tepelné čerpadlo nebo ovládání venkovních žaluzií. Proto byla zvolena regulace využitím automatu s tím, že budou využity i stávající diskrétní prvky, s možností kdykoliv tuto konfiguraci upravit dle aktuální potřeby. Na vstupní svorky automatu lze připojit veškeré prvky, které mají vstupní charakter a na výstupní svorky prvky akčního charakteru. Veškeré vazby mezi vstupními a výstupními svorkami automatu jsou zajišťovány uživatelským programem [2, s. 52].

To znamená, že prvky se vstupním charakterem: čidlo teploty, snímač tlaku, prostorový termostat, havarijní termostat a další, viz výkresová dokumentace, budou připojeny na vstupní svorky automatu. Na výstupní svorky budou připojeny akční členy v podobě ovládání relé pro oběhové čerpadlo a spínání stykačů topných těles.

Dále bylo zapotřebí vyřešit, zda bude původní zapojení přeneseno do algoritmu automatu, nebo bude navrženo úplně nové řešení. Touto problematikou se zabýval i autor publikace „PLC a automatizace“, kde popisuje, že pokud se jedná o modernizaci stávajícího zařízení a původní reléová logika je nahrazována automatem, lze kontaktní, respektive logické schéma současného zařízení využít jako výchozí zadání pro tvorbu programu využitím standartních grafických jazyků pro automaty. Tento postup autor popisuje jako rychlý a spolehlivý, ale zároveň upozorňuje na jeho nevýhody, které spočívají především v přenesení nedostatků a chyb původního řešení do nového řídicího systému, a také to, že novému systému řízení přenecháme původní vlastnosti. Dále je tedy doporučeno provést novou analýzu a zamyslet se nad tím, jaké nové vlastnosti, popř. parametry, by mohly být ve stávajícím zařízení vylepšeny. Jako příklady jsou uvedeny komfortnější ovládání, bezpečnější obsluha či vylepšená diagnostika poruch [2, s. 52].

I přesto, že by se v případě regulace s využitím automatu nevyužívaly diskrétní prvky, jsou případy, kdy je stále relé, stykače či tlačítka velmi vhodné využít. Často se diskrétní prvky využívají jako záložní bezpečnostní okruhy, jako je například obvod CENTRAL STOP [2, s. 53]. Je to vhodné zejména pro bezpečnostní okruh, při havarijním odstavení elektrokotle. Například při překročení maximální teploty topné vody v elektrokotli. Dále se relé a stykače stále využívají pro spínání velkých příkonů, jako jsou motory nebo topná tělesa. V praxi se

tyto prvky využívají také jako ochrana výstupů automatů, neboť je mnohem výhodnější spínat cívkou relé/stykače, protože mají velmi malý odběr a zároveň je dosaženo galvanického oddělení, což snižuje riziko poškození výstupů samotného automatu.

2.1 Návrh technického řešení

V této části práce je předložen návrh technického řešení pro nové ovládání a regulaci elektrokotle. Původní rozvaděč, ve kterém byla regulace elektrokotle zajištěna prostřednictvím diskrétních prvků, bude zrušen. Na místo původního rozvaděče je vyroben a instalován nový rozvaděč, označený MAR1, ve kterém je instalován vybraný volně programovatelný automat TECOMAT CP-1006 společně s dalšími prvky (jističe, pojistky, stykače, relé a řadové svorky). Nový rozvaděč je určený pro montáž na stěnu. Jeho rozměry jsou š.400 mm x v.600 mm x hl.200 mm. Rozvaděč MAR1 je v bílém plastovém provedení, splňujícím stupeň krytí IP65. Po otevření dveří rozvaděče je snížen stupeň krytí na IP20. Kabele vstupující do rozvaděče budou přivedeny jeho horní částí. Rozvaděč MAR1 je napájen ze stávajícího silového vývodu z rozvaděče elektro EL1 kabelem CYKY-J 5x4 a jističem jističem 25B/3. Rozvaděč MAR1 je připojen do stávající elektrické sítě typu TN-S, 3/N/PE, 50 Hz AC, 230 V/400 V. Je v něm použit napájecí zdroj HDR-100-24 s výstupním napětím 24 V DC, jehož součástí je bezpečnostní transformátor odolný vůči zkratu. Tento zdroj je určen pro napájení automatu TECOMAT CP-1006 a případně dalších jeho periférií.

Stávající elektrokotel je vybaven dvěma topnými tělesy o výkonu 2x6 kW, provozním a havarijním termostatem, oběhovým čerpadlem a prostorovým termostatem.

Nově je elektrokotel vybaven dvěma čidly PT1000, která jsou umístěna na vstupu a výstupu elektrokotle. Dále je přidán presostat na hlídání minimálního tlaku v otopné soustavě a stávající prostorový termostat bude nahrazen programovatelným ovladačem se spojitým měřením teploty a vlhkosti v referenční místnosti. Provozní termostat je odpojen, pro havarijní odstavení elektrokotle v případě vysoké teploty topné vody lze využít stávající havarijní termostat. Dvě topná tělesa společně s oběhovým čerpadlem zůstávají původní.

2.2 Použité komponenty

Při výběru komponent pro ovládání a řízení elektrokotle se vycházelo z praktických zkušeností a všeobecných standardů.

2.2.1 Čidlo teploty PT 1000

Čidlo teploty PT1000 je uloženo v nerezovém pouzdře o průměru 6 mm a délce 50 mm, do kterého je připojen kabel o délce cca 1,5 m. Připojení čidla je dvojvodičové. Výrobce udává stupeň krytí je IP 67. Rozsah pracovních teplot je uváděn $-20 \div 105\text{ }^{\circ}\text{C}$. Čidlo je zařazeno do třídy přesnosti B [22]. Použité čidlo teploty je uvedeno na obrázku – Obr.7.



Obr. 7. - Čidlo PT 1000 (foto autor)

2.2.2 Presostat DANFOSS KPI35

Presostat Danfoss KPI35 lze využít pro monitoring, regulaci, nebo i jako upozorňující prvek, například pro výstrahu při překročení minimálního nebo maximálního tlaku v systému. Presostat typu KPI je určený především pro kapalná a plynná média. Součástí presostatu je jednopólový přepínací kontaktní systém (SPDT), který lze zatížit střídavým i stejnosměrným proudem. Pro střídavý proud platí ohmické zatížení podle kategorie využití AC-1: 10 A, 440 V, nebo pro induktivní zatížení AC-3: 6 A, 440 V, AC-15: 4 A, 440 V. V případě využití stejnosměrného proudu lze kontakty zatížit podle kategorie využití DC-13: výkonem 12 W při 220 V. Rozsah nastavení presostatu je volitelný v rozsahu $-0,2 \div 8\text{ bar}$. Presostat umožňuje také nastavit tlakovou diferenci v rozsahu $0,4 \div 1,5\text{ bar}$. Uvedený presostat má stupeň krytí IP 33, které lze zvýšit osazením ochranného krytu na stupeň krytí IP 44. Ochranný kryt chrání presostat proti dešti a vlhkosti. Tlakové připojení presostatu je G $\frac{1}{4}$ A [23, s. 3-6]. Použitý presostat je uveden na obrázku – Obr. 8. [24]



Obr. 8. - Presostat KPI35

2.2.3 Oběhové čerpadlo WILO RS25/60r

Obecně úlohou oběhového čerpadla je zajistit cirkulaci kapaliny v otopných soustavách, popř. jej lze využít k distribuci teplé vody nebo chladicí kapaliny – pokud bude oběhové čerpadlo instalováno do chladicího okruhu. V této aplikaci zajišťuje oběhové čerpadlo cirkulaci topné vody skrze elektrokotel, a dále je topná voda distribuována do jednotlivých radiátorů. Jedná se o jednofázové cirkulační čerpadlo, které je napájeno 230 V/50 Hz. Výkon cirkulačního čerpadla je možné ručně nastavit pomocí otočného přepínače ve čtyřech stupních výkonu: 42 W, 55 W, 70 W a 86 W. Vybrané oběhové čerpadlo je uvedeno na obrázku – Obr. 9.



Obr. 9. - Oběhové čerpadlo WILO RS25/60r (foto autor)

2.2.4 Elektrická topná tělesa 2 x 6 kW THERMIS

Elektrické topné těleso je určeno k ohřevu kapaliny. Skládá se ze tří topných větví ve tvaru U, které jsou připevněny k mosazné hlavici chráněné víkem. Toto víko zajišťuje stupeň krytí IP 54. Součástí víka je elektrická průchodka PG 13,5. Vybraný typ je konstruován pro přímý ohřev vody, například v elektrokotlích. Délka topného tělesa je 428 mm [25]. V této aplikaci jsou využita dvě topná tělesa, každé o výkonu 6 kW, pro ohřev topné vody. Vybraná elektrická topná tělesa jsou v použité aplikaci určena pro třífázové zapojení 3/N/PE AC 230 V, v zapojení do hvězdy. Elektrické připojení topných těles musí být provedeno tzv. pevným připojením s dostatečně dimenzovaným kabelem s vodiči, které odpovídají příslušnému výkonovému zatížení podle výkonu topného tělesa. Vybrané topné těleso je uvedeno na obrázku – Obr. 10. [25]



Obr. 10. - Topné těleso THERMIS 6 kW

2.2.5 Stonkový termostat THERMIS TH 164

Stonkové termostaty řady TH 160 jsou jednopólové, teplotně závislé spínače. Spolehlivost snímačů je zajištěna mechanickým systémem. Dilatační změny čidla jsou přenášeny na spínač pomocí páky. Jejich výhodou jsou nízké provozní náklady na provoz a údržbu. Požadovanou teplotu termostatů lze nastavit v rozsahu 30 °C ÷ 160 °C. Délka stonku je 160 mm o průměru 8 mm [26]. Citlivost snímače je 2 °C ÷ 10 °C. Vybraný termostat THERMIS TH 164 je uveden na obrázku – Obr. 11. [26]



Obr. 11. - THERMIS TH 164

2.2.6 Pokojový ovládací modul TECOMAT C-RC-0011R

C-RC-0011R je programovatelný ovladač určený do interiérů, s montáží na stěnu. Je navržen pro řízení vytápění a ventilace. Uvedeným pokojovým ovládacím modulem je možné nastavit časové programy vytápění, a to v rozsahu celého týdne. Volit lze režim vytápění a disponuje také interním měřením teploty a vlhkosti, které lze rozšířit o měření externí teploty NTC čidlem. K řídicí jednotce je připojen pomocí sběrnice CIB. Pokojový ovládací modul je vybaven pěti kapacitními tlačítky, která jsou umístěna ve spodní části displeje. Napájecí napětí je 24 V prostřednictvím CIB sběrnice. Rozsah měření interního čidla je $0\text{ }^{\circ}\text{C} \div 45\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro teplotu a $0\text{ }\% \div 100\text{ }\%$ pro vlhkost. Externí čidlo teploty měří v rozsahu $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \div 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ [27, s. 1-2]. Vybraný nástěnný pokojový ovládací modul je uveden na obrázku – Obr. 12. [28]



Obr. 12. - Nástěnný ovladač C-RC-0011R

2.2.7 Automat TECOMAT CP-1006

Uvedené parametry a vlastnosti jsou uvedeny v kapitole 1.4.6 „Přehledová tabulka automatů TECOMAT FOXTROT“ a v kapitole 1.5.2 „Volba automatu“. Vybraný automat je uveden na obrázku – Obr. 13. [29]



Obr. 13. - TECOMAT FOXTROT CP-1006

2.3 Návrh řídicího systému pro autonomní regulaci elektrokotle

Pro regulaci a ovládání elektrokotle je navržen volně programovatelný automat od firmy TECOMAT FOXTROT, výrobní řady CP-1006. Na vstupní a výstupní svorky automatu jsou připojeny signály určené pro regulaci a ovládání elektrokotle. Rozvaděč MAR1 není osazen otočnými přepínači, tlačítky ani signálkami, pouze hlavním vypínačem. K ovládání elektrokotle je určený WEB server, který je součástí automatu. Přes webové rozhraní je možné elektrokotel ovládat a nastavovat požadované parametry, včetně diagnostiky poruch a odečítání měřených hodnot.

Elektrokotel je uveden do pohotovostního režimu ve chvíli, kdy je na webovém rozhraní přepnut vypínač do polohy I. Pokud jsou splněny vstupní podmínky, tzn. elektrokotel nehlásí poruchu, je vyhodnocen nízký tarif (HDO), je vyhodnocen požadavek topení od změřené teploty v referenčním prostoru pomocí prostorového ovladače, spustí se oběhové čerpadlo. Dále je sledována vstupní teplota do elektrokotle, která je porovnávána se zadanou požadovanou teplotou topné vody. Dle požadavku regulátoru jsou ovládána topná tělesa, dokud není dosaženo požadované teploty topné vody. Ve chvíli, kdy je dosaženo požadované teploty v referenční místnosti, jsou odepnuty jednotlivé stupně topných těles dle požadavku regulátoru. Následně je oběhové čerpadlo v režimu doběhu. Oběhové čerpadlo je vypnuto po dosažení nastavené teploty topné vody. Režim protočení oběhového čerpadla je

nastaven s periodou jednou za týden, aby se zamezilo zalehnutí čerpadla. Režim protočení čerpadla je možné deaktivovat tlačítkem (VYP/ZAP) přes webové rozhraní.

Navržený systém je schopen diagnostikovat tyto poruchy:

- překročení maximální teploty topné vody (termostat elektrokotle) – signalizace „Přehřátí“,
- minimální tlak topné vody – signalizace „MIN. tlak“,
- vybavení jističe 1. stupně – signalizace „Porucha jističe I.ST“,
- vybavení jističe 2. stupně – signalizace „Porucha jističe II.ST“,
- vybavení jističe čerpadla – signalizace „Porucha jističe čerpadlo“,
- vybavení jističe ovládání – signalizace „Porucha jističe ovl.“,
- maximální teplota na výstupu z elektrokotle – signalizace „Max. tepl. Výstup“.

Zobrazení výše uvedených poruch je možné po přihlášení do webového rozhraní. Popsané poruchové stavy nevratně odstavují kotel z provozu. Znovuvedení elektrokotle do provozu je možné až po odstranění poruchy a provedení manuálního resetu poruchy přes webové rozhraní.

Webové rozhraní bude rozděleno do jednotlivých obrazovek, na kterých bude možné zobrazovat teploty topné vody, provozní stavy, poruchové stavy a dále bude možné elektrokotel ovládat. Součástí webového rozhraní bude rovněž zobrazení prostorové teploty a vlhkosti, nastavování teploty v prostoru včetně časových programů, zobrazování režimů topení (ruční režim, režim časového programu, noční režim, denní režim, eco režim). Dále bude zobrazena indikace požadavku topení včetně žádané teploty v prostoru. Na webovém rozhraní bude možné zobrazit pomocí grafu denní spotřebu včetně dlouhodobé spotřeby.

2.3.1 Kompletní technická specifikace

Typ	Popis	Výrobce	Mn.	Mn.j.
Zařízení MaR				
TT4M-PT1000B-T105--1500	Snímač teploty PT1000, průměr 6 mm, délka 50 mm, délka přípoj. kabelu 1,5m	TME	2	ks
KPI35	Presostat, nastavitelný rozsah -0,2 bar÷8 bar, IP33, diference 0,4 bar ÷ 1,5 bar	DANFOSS	1	ks
RS25/60r	Oběhové čerpadlo, napájení 230 V/50 Hz, výkon 42 W–86 W	WILO	1	ks
5144/6	Topné těleso, 6kW, 3x 230 V, L=428 mm, IP54	THERMIS	2	ks
TH 164	Stonkový termostat, nastavitelný rozsah 30 °C ÷ 160 °C, L=160 mm, citl. 2 °C ÷ 10 °C	THERMIS	1	ks
C-RC-0011R	Nástěnný ovladač, tepl. rozsah 0 °C ÷ 45 °C, rozsah pro vlhkost 0 % ÷ 100 %, sběrnice CIB	TECO	1	ks
Řídící systém v rozvaděči MAR1				
CP-1006	PLC automat, 13xUI, 1xDI, 1xDO 230 V, 2xSSR, 10xRO, RS485, Ethernet, CIB	TECO	1	ks
Vybavení rozvaděče MAR1				
Rozvaděč P-BOX 4060	Plastový, barva bílá, rozměry 400x600x200 (š x v x h), IP65/IP20	SEZ	1	ks
VCF Vario	Hlavní vypínač, In=32 A, třípólový	Schneider	1	ks
A9F03316	Třípólový jistič In=16 A, char. B, Icu=10 kA	Schneider	2	ks
A9F03104	Jednopolový jistič In=4 A, char. B, Icu=50 kA	Schneider	3	ks
A9F03106	Jednopolový jistič In=6 A, char. B, Icu=10 kA	Schneider	1	ks
A9F03110	Jednopolový jistič In=10 A, char. B, Icu=10 kA	Schneider	1	ks
A9A26924	Pomocný kontakt iOF 1/1	Schneider	4	ks
ZSE	Zásuvka na DIN lištu	OEZ	1	ks
EP1C173	Stykač třípólový, cívkou 230 V, 1xNO	ESČ	2	ks
40.52	Relé, Uc=250V, 2. přep. kontakty 8 A	Finder	2	ks
RSP 4	Svorka řadová pojistková	Bečov	6	ks
SP 7/N	Můstek modrý nulovací, propoj vodičů N	SEZ	1	ks
SP 7/Z	Můstek zelený zemnicí, propoj vodičů PE	SEZ	1	ks
HDR-100-24	Napájecí zdroj 230 V/24 V	MeanWell	1	ks
SAK 4/35	Svorka řadová 4 mm ² , béžová	Weidmüller	3	ks
SAK 4/35 BL	Svorka řadová 4 mm ² , modrá	Weidmüller	1	ks
EK 4/35	Svorka řadová 4 mm ² , ZŽ	Weidmüller	1	ks
AP SAK 4/35	Bočnice pro řadové svorky, béžová	Weidmüller	1	ks
SAK 2,5/35	Svorka řadová 2,5 mm ² , béžová	Weidmüller	25	ks
SAK 2,5/35 BL	Svorka řadová 2,5 mm ² , modrá	Weidmüller	4	ks
EK 2,5/35	Svorka řadová 2,5 mm ² , ZŽ	Weidmüller	3	ks
AP SAK 2,5/35	Bočnice pro řadové svorky, béžová	Weidmüller	2	ks
EW 35	Doraz na konec svorkovnic	Weidmüller	5	ks

Pg 16	Kabelová průchodka plastová včetně matky	Scame	1	ks
Pg 13,5	Kabelová průchodka plastová včetně matky	Scame	2	ks
Pg 11	Kabelová průchodka plastová včetně matky	Scame	9	ks

Tabulka 3: Technická specifikace MaR

2.3.2 Technologické schéma

Technologické schéma popisuje umístění prvků MaR – viz příloha A.

2.3.3 Schéma zapojení

Pro lepší orientaci ve schématu zapojení je zde popsán význam značení jednotlivých zařízení v rozvaděči. Pokud je ve výkresu uveden popis prvku 5F1, znamená to, že první číslo označení prvku v rozvaděči odpovídá číslu stránky v dokumentaci. Druhý znak (písmeno) popisuje, o jaký typ prvku se jedná – například o jistič, pojistku apod. Poslední znak (číslo) udává pořadové číslo daného typu na určené stránce. Výše uvedený příklad (5F1) tedy znamená, že v dokumentaci na straně 5 se nachází jistič (označen F) a na výkrese je uveden jako první.

Svorkovnice v rozvaděči MAR1 je označena podle okruhu. Okruh přírodního napětí je označen svorkovnicí – X1, okruh pro napětí 230 V je označen – X2, okruh pro analogové a digitální vstupy – X3 a okruh pro sběrnici CIB – X4.

Barevné značení silových vodičů je následující: fáze L1 – hnědá, fáze L2 – černá, fáze L3 – šedá, střední vodič N – světle modrá a ochranný vodič PE – zelenožlutá.

Barevné značení vodičů vstupů/výstupů je označeno takto: analogové vstupy (AI) – bílá, digitální vstupy (DI) – žlutá, digitální výstupy (DO) – černá, neboť se jedná o ovládací napětí (fáze L2).

Schéma zapojení rozvaděče MAR1 – viz příloha B.

2.4 Výroba rozvaděče MAR1

V předchozích kapitolách byl proveden návrh řídicího systému včetně specifikace komponent, kterými bude rozvaděč MAR1 vybaven. Součástí návrhu řídicího systému je také schéma zapojení rozvaděče, podle kterého bude rozvaděč vyroben a zapojen v souladu

s platnými elektrotechnickými normami. Rozvaděč MAR1 disponuje montážním panelem, na který budou instalovány požadované komponenty. Tento montážní panel byl z rozvaděče demontován, neboť bylo nutné získat přístup k montážním otvorům pro přichycení rozvaděče na zeď, a zároveň pro lepší přístupnost při instalaci jednotlivých komponent. Poté byly vyvrtány otvory pro požadované velikosti kabelových průchodek a následně proběhla jejich montáž. Rozvaděč bez montážního panelu včetně kabelových průchodek je uveden na obrázku – Obr. 14.



Obr. 14. - Rozvaděč bez montážního panelu, kabelové průchodky (foto autor)

Následujícím krokem při výrobě rozvaděče byla instalace perforovaných kabelových žlabů na montážní panel. V rozvaděči jsou instalovány dva rozměry žlabů. Menší žlab (25 mm x 60 mm) je instalován po obvodu rozvaděče a mezi jednotlivými „patry“ s výjimkou horního horizontálního žlabu, kde je použit větší žlab (40 mm x 60 mm). Na montážní panel byly rovněž instalovány DIN lišty šíře 35 mm. Nainstalované perforované kabelové žlaby včetně DIN lišt jsou uvedeny na obrázku – Obr. 15.



Obr. 15. - Instalace žlabů a DIN lišt (foto autor)

Dále bylo provedeno osazení jednotlivých komponent elektro na DIN lištu včetně jejich zapojení podle schémat zapojení – viz příloha B. Při zapojování byla oddělena silová část od části slaboproudé. Rozložení jednotlivých komponent v rozvaděči MAR1 je uvedeno na obrázku – Obr.16.



Obr. 16. - Rozložení komponent v rozvaděči (foto autor)

Následovala instalace rozvaděče MAR1 na požadovanou pozici. Pomocí hmoždinek a vrutů byl rozvaděč přichycen na zeď. Rozvaděč umístěný na pozici je uveden na obrázku - Obr. 17.



Obr. 17. - Rozvaděč na pozici (foto autor)

V závěrečném kroku byla provedena montáž montážního panelu s již osazenými a zapojenými komponenty. Tímto byl rozvaděč připraven pro připojení periférií (oběhové čerpadlo, čidla teplot, topná tělesa a další). Připravený rozvaděč je uveden na obrázku – Obr. 18.



Obr. 18. - Připravený rozvaděč pro připojení periférií (foto autor)

2.4.1 Připojení polní instrumentace do rozvaděče

Rozvaděč MAR1 je vybaven vstupními svorkami, které jsou určeny pro připojení napájení rozvaděče MAR1 a pro připojení komponent elektrokotle, kterými jsou: vstupní a výstupní čidlo teploty, presostat, havarijní termostát, dvě topná tělesa, oběhové čerpadlo a prostorový

ovladač. Umístění komponent elektrokotle je provedeno podle technologického schématu – viz Příloha A. Zapojení jednotlivých komponent MaR na vstupní svorky rozvaděče je provedeno podle schémat zapojení (Příloha B) a v souladu s platnými elektrotechnickými normami. Veškeré kabely vstupující do rozvaděče MAR1 jsou protaženy kabelovými průchodkami, které jsou po protažení kabelu řádně dotaženy.

2.5 Tvorba softwaru pro regulaci a řízení elektrokotle

Pro tvorbu softwaru se používá vývojové prostředí MOSAIC. Před začátkem programování, je nutné provést základní nastavení vývojového prostředí, které spočívá v založení nové skupiny projektu. Následně je spuštěn „výběr konfiguračního nástroje“, ve kterém je vybrána možnost „HW konfigurace pro řady FOXTROT“. Dalšími kroky jsou vytvoření názvu nového projektu, poté následuje základní výběr řídicího systému, ve kterém je z nabízených možností vybrán „modulární systém“ včetně specifikace řady PLC – FOXTROT. Předposledním krokem je vytvoření názvu programu a výběr typu programovacího jazyka (ST, IL, LD, FBD, CFC a SFC). Pro tuto aplikaci je vybrán typ programovacího jazyka CFC. Posledním krokem je „definice instance programu“, jejíž součástí je název instance programu, kterou lze přejmenovat nebo nechat výchozí. Tím je vývojové prostředí MOSAIC připraveno k programování. Pomocí nástroje „Manažer projektu“ je v záložce „HW“ upřesněn typ PLC (CP-1006). V uvedené záložce „HW“ je také položka „Konfigurace HW“, ve které se provádí definování vstupů a výstupů podle schémat zapojení rozvaděče MAR1 – viz Příloha B. Po nadefinování vstupů/výstupů následuje vlastní tvorba softwaru pro regulaci a řízení elektrokotle. Hlavní program obsahuje pět základních funkčních bloků (viz Příloha C), které jsou určeny pro pokojový ovladač, jehož součástí je i možnost nastavovat teplotu v prostoru, časové programy pomocí webového rozhraní, vlastní ovládání a regulace elektrokotle, zpracování poruch a orientační výpočet spotřebované elektrické energie elektrokotle. Uvedené funkční bloky zahrnují další funkční bloky, které společně tvoří celek celého funkčního programu. V následujících podkapitolách jsou jednotlivě vysvětleny uvedené funkční bloky a jejich funkce v programu.

2.5.1 Funkční blok „fbTermostat“

V tomto funkčním bloku je využito funkčního bloku „fb_iTimeProgWeek“, který je součástí knihovny iControlLib. Uvedený funkční blok je určený k ovládání topení a chlazení s možností nastavení časového programu. Jeho základní funkce je podobná jako u pokojového

termostatu. Tento blok umožňuje: režim auto, který zajišťuje dlouhodobé řízení podle časového programu, ruční režim, který lze využít pro krátkodobou úpravu požadovaného řízení, úpravu časového programu přes webové rozhraní a další [30, s. 95]. V této aplikaci je blok využit pro režim topení a dále k ovládání přes webové rozhraní. Blok komunikuje s prostorovým ovladačem C-RC-0011R, který je využit pro měření teploty a vlhkosti v prostoru včetně jejich zobrazení na displeji.

2.5.2 Funkční blok „fbElKotel“

Tento blok lze rozdělit na dvě části. První část, okomentována jako „regulace“, je zaměřena na splnění podmínek nutných ke spuštění elektrokotle. Obsahuje funkční blok „fbRegulace“, který řídí spínání topných těles. Součástí bloku „fbRegulace“ je funkční blok „PID2“ [31, s. 18] a „Cascade2“ [31, s. 24], které jsou součástí knihovny REGOLIB. Pro provoz kotle musí být splněny tyto podmínky: požadavek na topení, povolení elektrokotle, nízký tarif HDO a elektrokotel musí být bez poruchy. Pokud jsou uvedené podmínky splněny, vzniká požadavek na uvolnění PID regulátoru. Do PID regulátoru je připojena žádaná hodnota teploty topné vody a teplota topné vody měřená na vstupu do elektrokotle. Výstup PID regulátoru (0 % – 100 %) je připojen na vstup funkčního bloku Cascade2, který ovládá topná tělesa. Funkční blok Cascade2 podle nastavení parametrů LIMIT1 a LIMIT2 spíná požadovaná topná tělesa.

Druhá část, okomentovaná jako „Ovládání oběhového čerpadla“, obsahuje funkční blok „fbObehCerp“, ve kterém je řešena logika ovládání oběhového čerpadla. Součástí bloku „fbObehCerp“ jsou využity funkční bloky „Hyst1“ [31, s. 8] a „TProg1“ [31, s. 44], které jsou součástí knihovny REGOLIB. Požadavek na zapnutí oběhového čerpadla vzniká při požadavku na topení, nebo při požadavku na doběh, případně při požadavku na protočení čerpadla. Doběh čerpadla je aktivní do doby, než teplota topné vody na vstupu do elektrokotle klesne pod nastavenou mez. Protočení čerpadla probíhá jednou za týden, a je řešeno pomocí časového programu. Dále je možné, v případě požadavku, funkci protáčení čerpadla zablokovat.

2.5.3 Funkční blok „fbSumPorucha“

Funkční blok „fbSumPorucha“ vyhodnocuje poruchy, které mohou vzniknout během provozu elektrokotle. Součástí tohoto funkčního bloku jsou důležité další dva funkční bloky. Prvním

funkčním blokem je „R_TRIG“, který je schopen detekovat náběžnou hranu [32, s. 10], druhým funkčním blokem je „SR“, kterým je realizován dvoustavový klopný obvod, jehož dominantní funkcí je „SET“ [32, s. 12]. Uvedené funkční bloky jsou součástí knihovny STDLIB. Funkční blok „R_TRIG“ je využit pro resetovací tlačítko poruch a funkční blok „SR“ je využit pro zachování vzniklé poruchy do doby, než bude proveden manuální reset. Ve funkčním bloku „fbSumPorucha“ jsou vyhodnocovány tyto poruchy: vybavení jističe čerpadla, vybavení jističe pro první topné těleso, vybavení jističe pro druhé topné těleso, vybavení jističe ovládacího napětí digitálních výstupů, minimální tlak v systému, maximální teplota na výstupu z elektrokotle, signalizace od havarijního termostatu „Přehřátí“. Funkční blok „fbSumPorucha“ viz příloha C.

2.5.4 Funkční blok „fbSpotrElEnergie“

V softwaru jsou ve skutečnosti využity dva funkční bloky. Jeden je určený pro výpočet spotřebované elektrické energie za den, jeho data jsou prezentována pomocí grafu, druhý funkční blok je určen pro výpočet dlouhodobé spotřebované elektrické energie (rok). Tyto funkční bloky jsou dále složeny z dalších funkčních bloků „fbTopnaSpirala1“ a „fbTopnaSpirala2“, ve kterých probíhá pro každou topnou spirálu orientační výpočet spotřebované elektrické energie. Ta je ve funkčním bloku „fbSpotrElEnergie“ vypočtená jako celková spotřeba elektrické energie při provozu elektrokotle. Při jednotlivých výpočtech byly dále využity funkční bloky „CTU“ (čítač směrem nahoru) [32, s. 6] a „TON“ (náběžná hrana se zpožděním) [32, s. 13], které jsou součástí knihovny STDLIB. Ve funkčních blocích „fbTopnaSpirala1“ a „fbTopnaSpirala2“ je využit funkční blok „Tick“ (časovač s periodou) [33, s. 81], který je součástí knihovny SysLib.

2.6 Uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní je založeno na webové technologii. Provádí se také ve vývojovém prostředí MOSAIC. Jeho součástí je nástroj WebMaker, který se skládá z hlavní nástrojové lišty a editační plochy, na kterou se umisťují jednotlivé prvky. Prvky se vkládají na editační plochu výběrem z nástrojové lišty, která disponuje například vkládáním statického textu, sloupcem ovládaným proměnou, zadávacím polem, vkládáním obrázků a dalšími prvky. Při tvorbě webového rozhraní lze vycházet z technické dokumentace nástroje [34], ve které je podrobně vysvětleno, jak s nástrojem pracovat a jaké jsou jeho možnosti.

2.6.1 Obrazovka „domovská stránka“

První obrazovkou je domovská stránka, na které je zobrazen aktuální čas, aktuální datum, tlačítko „Kotel“, tlačítko „Obývací pokoj“, aktuální teplota v prostoru a tlačítko „El. energie“. Vizualizace domovské stránky je uvedena na obrázku – Obr. 19.



Obr. 19. - Domovská stránka (foto autor)

2.6.2 Obrazovka „Parametry elektrokotle“

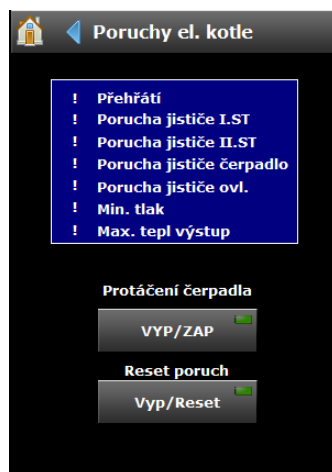
Po kliknutí na tlačítko „Kotel“ je zobrazena obrazovka „Parametry elektrokotle“. V horní části obrazovky se nachází symbol pro odkázání na výchozí obrazovku a symbol „modré šipky“ pro přesun na předchozí/následující obrazovku. Uprostřed obrazovky je zobrazena hodnota vstupní a výstupní teploty topné vody. Ve spodní části obrazovky je zobrazovací panel, který indikuje následující stavy: zapnutí kotle „ZAP“, nízký tarif „HDO“, sepnutí první topné spirály „I“, sepnutí druhé topné spirály „II“, chod čerpadla „symbol čerpadla“, požadavek topit „symbol topení“, porucha kotle „symbol výstraha“. Pod zobrazovacím panelem se nachází vypínač „0/1“ pro zapnutí kotle. Vizualizace obrazovky s parametry elektrokotle je uvedeno na obrázku – Obr.20.



Obr. 20. - Obrazovka parametry elektrokotle (foto autor)

2.6.3 Obrazovka „Poruchy elektrokotle“

Kliknutím na „modrou šipku“ ukazující doprava (obrazovka parametry elektrokotle) je zobrazena obrazovka „Poruchy el. kotle“, kde je prostřednictvím zobrazovacího panelu možné zjistit druh poruchy. Dále je zde možnost vypnout režim protáčení oběhového čerpadla, včetně tlačítka „Reset poruch“. Vizualizace obrazovky poruch elektrokotle je uvedena na obrázku – Obr. 21.



Obr. 21. - Obrazovka parametry elektrokotle (foto autor)

2.6.4 Obrazovka „Obývací pokoj“

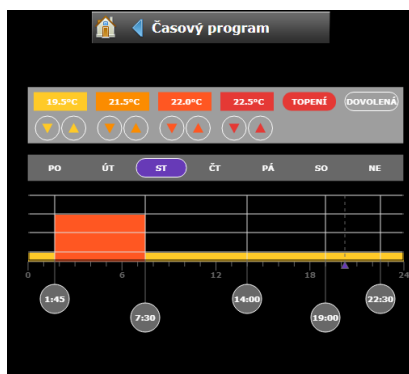
Po kliknutí na tlačítko „Obývací pokoj“ (domovská obrazovka) je v horní části obrazovky zobrazena aktuální teplota v prostoru a aktuální vlhkost v prostoru. Uprostřed obrazovky je umístěn zobrazovací panel, kde lze nastavit: provoz kotle dle časového programu/ruční režim, mód komfort/útlum/ECO, požadovaná teplota v prostoru mimo časový program, nastavitelná po 0,5 °C pomocí šipek nahoru/dolu a aktuální teplota v prostoru. Ve spodní části obrazovky je tlačítko „Časový program“. Vizualizace obrazovky pro obývací pokoj je uvedena na obrázku – Obr. 22.



Obr. 22. - Obrazovka obývací pokoj (foto autor)

2.6.5 Obrazovka „Časové programy“

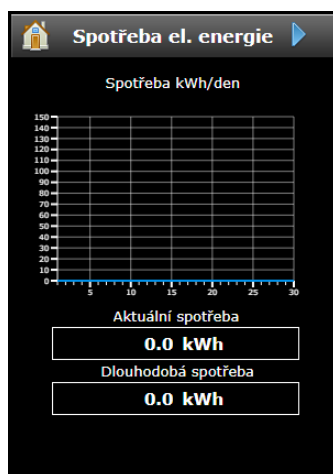
Po stisku tlačítka „Časový program“ je zobrazena obrazovka „Časový program“, ve které lze nastavit týdenní časový program. V horní části lze nastavovat teploty, které odpovídají jednotlivým režimům topení (zleva: ochrana proti zamrznutí, režim ECO, útlum, komfort). Ve spodní části lze nastavit požadovanou teplotu prostoru na jeden den. Fialovou barvou je označen vybraný den. Aktuální den je vyznačen bílým rámečkem [30, s. 97]. Vizualizace obrazovky pro nastavení časových programů je uvedena na obrázku – Obr. 23.



Obr. 23. - Nastavení časových programů (foto autor)

2.6.6 Obrazovka „Spotřeba elektrické energie“

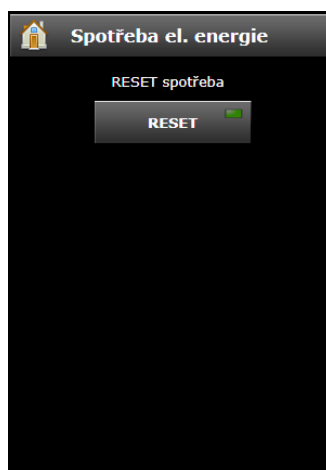
Po stisku tlačítka „El. energie“, které se nachází na domovské obrazovce, je k dispozici graf, který zobrazuje celkovou denní spotřebovanou elektrickou energii při provozu elektrokotle v předchozím dni. Při programování grafu bylo vycházeno z manuálu „Knihovna CanvasObjectsLib“ [35, s. 11]. Spotřebovaná elektrická energie během dne je zobrazena v poli „Aktuální spotřeba“, a je po uplynutí 24 hodin automaticky vynulována. Dlouhodobá spotřebovaná elektrická energie je zobrazena v poli „Dlouhodobá spotřeba“. Vizualizace obrazovky pro spotřebu elektrické energie je uvedena na obrázku – Obr. 24. I tuto hodnotu je možné kdykoliv manuálně vynulovat.



Obr. 24. - Obrazovka spotřeba energie (foto autor)

2.6.7 Obrazovka „Reset dlouhodobé spotřeby energie“

Tlačítko „RESET spotřeba“ je umístěno na další obrazovce po kliknutí na „modrou šipku“, ukazující doprava obrazovky – „Spotřeba el. energie“. Dlouhodobou spotřebu elektrické energie je možné kdykoliv vynulovat pomocí tlačítka RESET. Vizualizace obrazovky pro vynulování dlouhodobé spotřeby elektrické energie je uvedeno na obrázku – Obr. 25.



Obr. 25. - RESET dlouhodobé spotřeby energie (foto autor)

2.7 Nastavení

V této části kapitoly je popsáno nastavení důležitých parametrů softwaru pro spolehlivý provoz elektrokotle.

2.7.1 Nastavení funkčního bloku „fbTermostat“

Pro správné zobrazení teploty prostoru ve °C je nastaven parametr „unit = false“. Parametrem „manPriority“ je možné nastavit, kdy dojde k ukončení režimu „manual“ a přepnutí do režimu „AUTO“ (podle časového programu). Pro tuto aplikaci je vybrána možnost ukončit režim „manual“ při první změně časového programu, tedy: „manPriority = false“. Parametrem „newTimes“ je možné nastavit počet časových značek za den, které jsou zobrazeny na obrazovce „Časový program“: „newTimes = 5“. V parametru „name“ lze nastavit jméno časového programu: „name = Home“. Parametrem „typ“ se nastavuje typ časového programu pro topení nebo pro chlazení či obě možnosti zároveň. V této aplikaci je nastaven typ časového programu pouze pro topení, tedy: „typ = ICL_TPW_TYPE_HEATING“.

2.7.2 Nastavení funkčního bloku „fbElKotel“

Parametrem „zadTepl“ je požadovaná hodnota teploty topné vody nastavena na: „zadTepl = 60 °C“. Parametr CFG je určen ke konfiguraci parametrů kaskády, která je ponechána ve výchozím nastavení, s výjimkou parametrů „LIMIT1“, „LIMIT2“ a „HYSTER“. Parametrem „LIMIT1 = 0“ je nastaveno sepnutí/vypnutí prvního stupně topného tělesa, parametrem „LIMIT2 = 98“ sepnutí/vypnutí stupně druhého topného tělesa. Parametrem „HYSTER = 1“ je nastavena hystereze sepnutí/vypnutí. Funkční blok „PID2“ je nastaven s parametry: „Pbnd = 30“, „Ti = 400“, „Td = 0“. Parametr „povolKotel“ je ve výchozím stavu nastaven na: „povolKotel = false“ a uvádí elektrokotel do pohotovostního režimu. Parametr „teplVypCerp“ je parametr, kterým se nastavuje hodnota teploty topné vody, při které se má oběhové čerpadlo vypnout. Parametr „hysterVypCerp“ je určen pro nastavení hystereze teploty vypnutí oběhového čerpadla, a je nastaven na: „hysterVypCerp = 3 °C“. Parametr „PovolProtoc“ znamená povolení protáčení čerpadla, a je ve výchozím stavu nastaven na: „PovolProtoc = true“. Parametr „CasProtoc“ je časový program, který určuje, kdy a jak dlouho bude režim protáčení čerpadla aktivní. Režim protáčení čerpadla se aktivuje každou sobotu ve 4:00h a trvá jednu minutu.

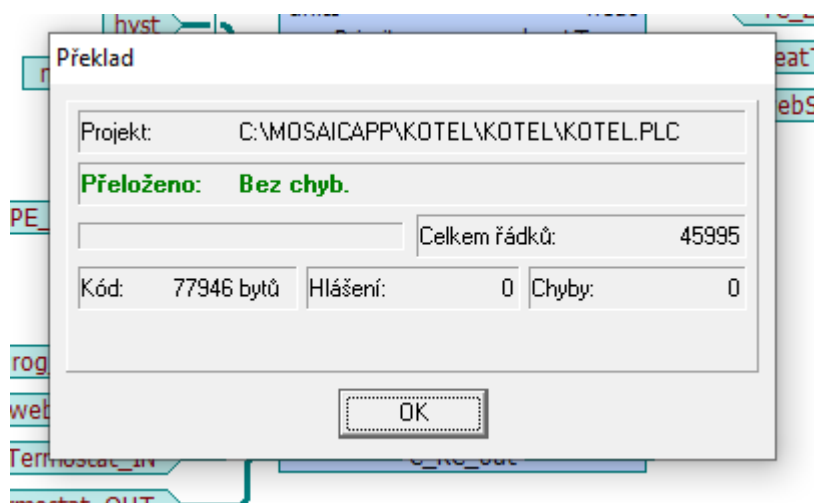
2.7.3 Nastavení funkčního bloku „fbSumPorucha“

V tomto modulu jsou generovány poruchy pro odstavení elektrokotle. Pro poruchy „poruchaCerpadlo“, „poruchaIst“, „poruchaIIst“ a „poruchaOvl“ se nenastavují žádné parametry, neboť se jedná o poruchy detekované při vybavení jističe. U poruchy „Termostat“ je porucha detekována na základě vyhodnocení havarijního termostatu. Havarijní termostat je nastaven na 90 °C. Uvedená hodnota se nastavuje přímo na havarijním termostatu a v softwaru je pak vyhodnocována jako digitální vstup. Porucha „minTlak“ je detekována na základě vyhodnocení presostatu, který je nastaven na 1,2 barů s diferencí 0,4 baru. Porucha „teplMax“ detekuje vysokou teplotu na výstupu z elektrokotle, která je měřena čidlem PT1000. Parametr „maxTepl“ je nastaven: „maxTepl = 93 °C“.

2.8 Implemetnace SW do automatu

Po vytvoření softwaru, webového rozhraní a provedení nastavení softwaru se musí přeložit, a následně jej odeslat do automatu. Přeložení softwaru se provádí výběrem z nástrojové lišty „Program -> Přeložit vše“. Pokud překlad softwaru proběhne úspěšně, je zobrazena

informační tabulka, která zobrazuje úspěšný překlad vytvořeného softwaru použitého v této bakalářské práci Obr. 26. Z důvodu zajištění přístupu do automatu z vnitřní sítě je nutné změnit výchozí IP adresu automatu. Tento postup je detailně popsán v dokumentaci [36, s. 147]. Po úspěšném překladu softwaru je vše připraveno k odeslání softwaru do automatu. Při změně výchozí IP adresy automatu, je nutné tuto adresu také změnit ve vývojovém prostředí MOSAIC pomocí nástroje „Manažer projektu -> Adresa PLC“. Následně je vybrán typ připojení (Ethernet) a po stisku tlačítka „připojit“ se naváže komunikace s automatem. Po stisku tlačítka „RUN“, které je umístěno v nástrojové liště ve vývojovém prostředí MOSAIC, je nutné potvrdit vyslání softwaru do automatu. Posledním krokem je možnost volby restartu automatu (studený, teplý, bez restartu), a tím je software nahrán do automatu a spuštěn.



Obr. 26. - Úspěšný překlad softwaru (foto autor)

3 Testování

Po úspěšném překladu softwaru a jeho následném vyslání do automatu je software připraven k testování jednotlivých vstupů/výstupů. S tímto testem také souvisí ověření správného zapojení polní instrumentace (čidla teplot, oběhové čerpadlo, presostat, topná tělesa, havarijní termostat a další prvky), včetně zapojení rozvaděče.

Před uvedením rozvaděče pod napětí je provedena ještě jedna vizuální kontrola zapojení rozvaděče dle schémat zapojení. Součástí této kontroly je také kontrola dotažení všech svorek, včetně ověření pevného připojení vodičů v jednotlivých svorkách. Při této kontrole jsou zjištěny uvolněné vodiče pro signalizaci chodu oběhového čerpadla na kontaktech relé a nedostatečně dotažená svorka na N – můstku. Uvedené závady jsou ihned odstraněny.

Následně je nатаžen jistič v rozvaděči elektro EL1, který je určen pro napájení rozvaděče MAR1. Otočením hlavního vypínače na rozvaděči MAR1 do polohy „ZAP“, je rozvaděč pod napětím a je připraven ke zkoušení jednotlivých okruhů. Nejprve je nатаžen jistič pro napájení zdroje, ze kterého je napájen automat TECO. Po připojení počítače k automatu je přistoupeno k otestování jednotlivých vstupních/výstupních signálů v návaznosti na vytvořený software podle schémat zapojení. Nejdříve jsou ověřeny analogové vstupy (čidla teplot topné vody na vstupu a výstupu elektrokotle) odpojením příslušného vodiče na svorkách rozvaděče. Tím, že se změnila hodnota teploty na přiřazeném analogovém vstupu kontrolovaného čidla, je ověřeno, že je čidlo připojeno na správné pozici dle schématu zapojení. Stejným způsobem je odzkoušeno i druhé čidlo teploty. Následně jsou ověřeny digitální vstupy. Dle charakteru zapojení jednotlivých kontaktů zařízení v poli (havarijní termostat, presostat) a v rozvaděči (jističe, relé) je provedena kontrola signalizace změny stavu pro právě kontrolované zařízení a jemu přiřazený digitální vstup v návaznosti na software. Zde je zjištěno chybné přiřazení signalizace poruchy pro jistič čerpadla a minimálního tlaku ve webovém rozhraní. Závady jsou v softwaru ihned opraveny. Poté je provedeno ověření digitálních výstupů. Za tímto účelem je nutné natáhnout jistič pro ovládací napětí stykačů a relé. Sepnutím vybraného digitálního výstupu je ověřeno sepnutí příslušného stykače/relé. Zde není zjištěna žádná závada. Následuje ještě kontrola funkce prostorového ovladače, která spočívá v kontrole měření teploty a vlhkosti prostoru. Zde je zjištěno, že na displeji prostorového ovladače není zobrazena hodnota vlhkosti. Tato hodnota je do softwaru ihned doprogramována. Poté je hodnota vlhkosti na displeji prostorového ovladače již zobrazena. Tato hodnota má pouze

informativní charakter. Nemá vliv na provoz elektrokotle. V dalším kroku probíhá zkouška nastavení časových programů přes webové rozhraní včetně signalizace jednotlivých režimů topení, zadávání hodnot apod. Dále se provádí kontrola nastavení havarijního termostatu, presostatu a nastavení meze pro maximální výstupní teplotu z elektrokotle. V souběhu s kontrolou vstupů a výstupů automatu se rovněž provádí kontrola vizualizace webového rozhraní. Kromě výše uvedených a již opravených závad nejsou zjištěny žádné další nedostatky.

3.1 První spuštění elektrokotle

Po odzkoušení vstupů a výstupů včetně webového rozhraní je provedeno první spuštění elektrokotle. Během provozu elektrokotle je odzkoušeno havarijní odstavení při zapůsobení minimálního tlaku, při překročení maximální teploty topné vody v elektrokotli (havarijní termostat), při překročení maximální teploty topné vody na výstupu z elektrokotle a při manuálním vypnutí vybraných jističů. Při zapůsobení uvedených ochran je elektrokotel odstaven a na webovém rozhraní jsou poruchy zobrazeny. Po odstranění vzniklých poruch zůstává elektrokotel stále odstaven do doby, než je stisknuto přes webové rozhraní tlačítko „Reset poruch“. Při stisku tlačítka „Reset poruch“ (webové rozhraní) poruchy odezněly a kotel je opět uveden do provozu. Rovněž je také odzkoušeno automatické vypnutí elektrokotle v případě vysokého tarifu (HDO) a automatické zapnutí elektrokotle při tarifu nízkém. Regulace elektrokotle reguluje topnou vodu na požadovanou teplotu v rozmezí $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Při regulaci podle výstupní teploty z elektrokotle se projevuje časté spínání stykače, zejména pro druhý stupeň topného tělesa. Z uvedeného důvodu častého spínání stykače je provedena úprava softwaru a nyní je regulováno podle vstupní teploty topné vody do elektrokotle. Tím je časté spínání zejména stykače pro druhé topné těleso značně eliminováno. Elektrokotel je ve zkušebním provozu 14 dní. Během zkušebního provozu nejsou zjištěny již žádné nedostatky, elektrokotel pracuje bez poruchy a dle požadavků.

4 Uvedení zařízení do provozu

V návaznosti na předchozí zkušební provoz je elektrokotel uveden do ostrého provozu. Součástí uvedení elektrokotle do ostrého provozu je i nastavení časových programů dle požadavků uživatele a nastavení místní sítě pro vzdálený přístup, včetně nastavení zabezpečení.

4.1 Plánované inovace systému

I přesto, že stávající řešení je funkční a plní svůj účel k jakému je navrženo, je dalším plánovaným krokem vytvořit do stávajícího automatu software pro regulaci vzduchotechnické jednotky a integrace tepelného čerpadla. V návaznosti na výše uvedená rozšíření systému bude vhodné rovněž upravit regulaci topné vody využitím pulsně-šířkové modulace s využitím SSR relé. Tím bude dosažena přesnější regulace na požadovanou teplotu topné vody a bude možné spojitě řídit výkon elektrokotle.

5 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout a zrealizovat řízení elektrických kotlů prostřednictvím systému TECOMAT. V teoretické části byla nejprve provedena analýza, ve které byla popsána dostupná řešení a vysvětleny výhody využití automatu pro regulaci. Následně byl proveden popis základního rozdělení automatů, se kterými se lze v praxi nejčastěji setkat. V dalších kapitolách teoretické části byly porovnávány vhodné automaty s ohledem na dostupnost v České republice, podporu hardwaru a softwaru v českém jazyce a stanovených požadavků na automat. Z porovnávaných automatů byl vybrán automat TECOMAT řady CP-1006, který splňuje všechny stanovené požadavky. Dále byly vyspecifikovány sledované parametry pro zajištění bezporuchového provozu a vysvětleny jednotlivé možnosti regulace tepelných zdrojů. Poslední část teoretické části je věnována popisu PID regulátorů.

V úvodu praktické části je popsán návrh technického řešení a popis použitých komponent, které byly využity pro řízení a ovládání elektrokotle. Dále byl vytvořen návrh řídicího systému pro autonomní regulaci elektrokotle, jehož součástí je kompletní technická specifikace (včetně důležitých komponent pro výrobu rozvaděče), technologické schéma a schéma zapojení rozvaděče. V návaznosti na vytvořené schéma zapojení byl vyroben rozvaděč MAR1 včetně fotodokumentace pořízené během jeho výroby. Rozmístění vyspecifikovaných komponent (v poli) pro řízení a ovládání elektrokotle bylo provedeno dle navrženého technologického schématu. Dalším krokem bylo vytvoření softwaru, včetně popisu jednotlivých funkčních bloků. Pro zajištění komfortního ovládání a diagnostiky poruch bylo rovněž vytvořeno webové rozhraní s popisem jednotlivých obrazovek. Dále je popsáno nastavení jednotlivých důležitých funkčních bloků. Důležitou částí, která je rovněž popsána, je implementace softwaru do automatu, jejíž součástí je překlad softwaru.

Závěr praktické části je věnován testování, jehož součástí je popis prvního spuštění elektrokotle, uvedení zařízení do provozu a plánované inovace systému, které se zejména týkají rozšíření stávajícího softwaru o regulaci vzduchotechnické jednotky, integraci tepelného čerpadla včetně úpravy regulace topné vody využitím pulsně-šířkové modulace s využitím SSR relé.

Seznam literatury

- [1] THERMONA, SPOL. S R.O. *Nástěnné elektrokotle: letak_THERM-EL_2020-04.pdf* [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z:
https://www.thermona.cz/Thermona/media/content/Dokumentace/Letaky/Letak_THE_RM-EL_2020-04.pdf
- [2] ŠMEJKAL, Ladislav a Marie MARTINÁSKOVÁ. *PLC a automatizace: Základní pojmy, úvod do programování*. Praha: BEN - technická literatura, 1999. ISBN 80-860-5658-9.
- [3] PLC AUTOMATIZACE. *Sestava PLC: Typy PLC - Kompaktní PLC* [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/knihovna/plc/plc-hw-sestava.htm>
- [4] PLC AUTOMATIZACE. *Sestava PLC: Typy PLC - Modulární PLC* [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <http://plc-automatizace.cz/knihovna/plc/plc-hw-sestava.htm>
- [5] MICROPEL S.R.O. *Modulární PLC MPC400: TL - Řídící systémy řady 400* [online]. 11.2016 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z:
http://www.micropel.cz/images/stories/Dokumenty/rada400_techlist_v4.pdf
- [6] MICROPEL S.R.O. *Vývojové prostředí StudioWin: MICROPEL StudioWin 8.209 (1.11.2021)* [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z:
http://www.micropel.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=78&Itemid=83&lang=cs&karta=1&hp=0
- [7] MICROPEL S.R.O. *Komunikační převodník CA4* [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z:
http://www.micropel.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=131%3Akom-prevodnik-ca4&catid=5%3Aprodukty&Itemid=41&lang=cs
- [8] DOMAT CONTROL SYSTEM S.R.O. *Domat Control System: DDC regulátory, IMIO105.2, IMIO110.2* [online]. 03/2022 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z:
https://domat.blob.core.windows.net/cms/ContentItems/94_00094/B3DaIA/domat-imio105-2-imio110-2-cz.pdf

- [9] DOMAT CONTROL SYSTEM S.R.O. *Domat Control System: Kompaktní I/O modul, RMIO* [online]. 07/2021 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: https://domat.blob.core.windows.net/cms/ContentItems/94_00094/n0tb7X/domat-rmio-cz.pdf
- [10] DOMAT CONTROL SYSTEM S.R.O. *Domat Control System: Přehledový katalog* [online]. 2/2020 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: https://domat.blob.core.windows.net/cms/UserFiles/Obchodni_dokumentace/DOMAT_Katalog_2020_CZ_orange.pdf
- [11] TECO A.S. *Základní dokumentace k modulu CP-1006, TXV 110 06* [online]. 3. vydání. srpen 2011 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv11006_0_0_foxtrot_cp-1006_cz_en
- [12] TECO A.S. *Mosaic - pro vývoj PLC programu dle standardu IEC 61131-3* [online]. ©2017 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.tecomat.cz/ke-stazeni/software/mosaic/>
- [13] TECO A.S. *Služba TecoRoute: TXV 003 38.01* [online]. Druhé vydání. listopad 2013 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00338_01_tecoroute_cz
- [14] TECO A.S. *Foxtrot 2 - Základní moduly: CP-2007.11NDNN* [online]. ©2022 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://catalog.tecomat.cz/produkt/cp-200711ndnn#description>
- [15] TECO A.S. *Programovatelné automaty Tecomat Foxtrot: TXV00410.01* [online]. 13. vydání. duben 2010 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <http://old.tecomat.cz/docs/cze/Tecomat/txv00410.pdf>
- [16] BAŠTA, Jiří. TZBINFO. *Možnosti moderních způsobů regulace - TZB-info: Regulace podle vnitřní teploty vzduchu* [online]. 17.9.2007 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://vytapieni.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/4360-moznosti-modernich-zpusobu-regulace>

- [17] BAŠTA, Jiří. TZBINFO. *Možnosti moderních způsobů regulace - TZB-info: Regulace teploty přívodní vody podle venkovní teploty vzduchu - otopná křivka* [online]. 17.9.2007 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/4360-moznosti-modernich-zpusobu-regulace>
- [18] MATZ, Václav. TZBINFO. *Ekvitermní regulace – princip a využití v systémech regulace vytápění - TZB-info: Princip ekvitermní regulace* [online]. 8.3.2010 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6294-ekvitermni-regulace-princip-a-vyuziti-v-systemech-regulace-vytapani>
- [19] BAŠTA, Jiří. TZBINFO. *Možnosti moderních způsobů regulace - TZB-info: Ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu* [online]. 17.9.2007 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/4360-moznosti-modernich-zpusobu-regulace>
- [20] AUTOMA. *Co znamená PID* [online]. ©2016 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: https://automa.cz/cz/casopis-clanky/co-znamena-pid-2003_03_28768_3811/
- [21] VORÁČEK, Rudolf, František ANDRÝSEK, Zdeněk BRÝDL a kol. *Automatizace a automatizační technika: Automatické řízení*. Praha: Computer Press, 2000. ISBN 80-722-6247-5.
- [22] TEWA TEMPERATURE SENSORS LTD. *Specification of Temperature Probe: TT4-PT1000B-T105-1500* [online]. 24.09.2015 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/Document/ed706076fb86906f6435d347ab817510/TT4-PT1000B-T105-1500.pdf>
- [23] BOLA SPOL. S R.O. *Presostaty a termostaty: typ KPI a KP* [online]. 06/2007 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: https://www.bola.cz/admin/files/e_product_files/5/4872/src_KP75-datov%C3%BD%20list.pdf
- [24] BOLA SPOL. S R.O. *Regulátor tlaku vlnovcový Danfoss KPI35 rozsah -20-800 kPa* [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: https://www.bola.cz/regulator-tlaku-vlnovcovy-danfoss-kpi35-rozsah-20-800-kpa?gclid=CjwKCAjwiuuRBhBvEiwAFXXKaNPUlt7mMXStzbQicrDtA6ak0_c6aE2lkkrjaIRuM7KLVbY5Zx_WrWxoCmGEQAvD_BwE

- [25] THERMIS SPOL S R.O. *TOPNÁ TĚLESA PRO OHŘEV KAPALIN* [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.thermis.cz/userstorage/files/produkty/technicky-list/149.pdf>
- [26] THERMIS SPOL S R.O. *TERMOSTAT STONKOVÝ řady TH 160* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://www.thermis.cz/userstorage/files/produkty/technicky-list/086.pdf>
- [27] TECO A.S. *CFox Pokojový ovládací modul C-RC-0011R: TXN 133 77* [online]. [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv13377_c-rc-0011r_ce
- [28] TECO A.S. *C-RC-0011R CIB, nástěnný ovladač, bílá/bílá: TXN 133 77.01* [online]. ©2022 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://catalog.tecomat.cz/produkt/c-rc-0011r-cib-nastenny-ovladac-bilabila>
- [29] TECO A.S. *CP-1006 - Foxtrot 1 - Základní moduly: TXN 110 06* [online]. ©2022 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: <https://catalog.tecomat.cz/produkt/cp-1006>
- [30] TECO A.S. *Knihovna iControlLib - TXV 003 59.01* [online]. Sedmé vydání. červenec 2021 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00359_01_mosaic_icontrollib_cz
- [31] TECO A.S. *REGULAČNÍ KNIHOVNY PRO MOSAIC: TXV 003 23.01* [online]. 4. vydání. listopad 2008 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.tecomat.cz/uploads/files/DOCS/cze/TXV00323_01_Mosaic_RegoLib_cz.pdf
- [32] TECO A.S. *Knihovny pro programování PLC Tecomat podle IEC 61 131-3: TXV 003 22.01* [online]. Osmé vydání. březen 2006 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.tecomat.cz/uploads/files/DOCS/cze/TXV00322_01_Mosaic_STDLib_cz.pdf
- [33] TECO A.S. *Knihovna SysLib: TXV 003 48.01* [online]. Třinácté vydání. srpen 2021 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z: https://www.tecomat.cz/uploads/files/DOCS/cze/TXV00348_01_Mosaic_SysLib_cz.pdf

- [34] TECO A.S. *Nástroj WebMaker: TXV 003 28.01* [online]. Desáté vydání. březen 2013 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z:
https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00328_01_mosaic_webmaker_cz
- [35] TECO A.S. *Knihovna CanvasObjectsLib: TXV 003 97.01* [online]. duben 2016 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z:
https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00397_01_mosaic_canvasobjectslib
- [36] TECO A.S. *PROGRAMOVATELNÉ AUTOMATY TECOMAT FOXTROT CP-1006, CP-1016, CP-1026, CP-1036: TXV 004 36* [online]. 7. vydání. březen 2017 [cit. 2022-04-06]. Dostupné z:
https://www.tecomat.cz/modules/DownloadManager/download.php?alias=txv00436_01_foxtrot_cp_1006

Seznam zkratek

AC	Alternating Current	Střídavý proud
AI	Analog Input	Analogový vstup
AO	Analog Output	Analogový výstup
ARM	Advanced RISC Machine	
CFC	Continuous Flow Chart	
CIB	Common Installation Bus	
CMOS	Complementary Metal-Oxide-Semiconductor	
CPU	Central Processing Unit	
DC	Direct Current	Stejnoseměrný proud
DDC	Direct Digital Control	
DI	Digital Input	Digitální vstup
DO	Digital output	Digitální výstup
FBD	Function Block Diagram	Funkční blokový diagram
HDO		Hromadné dálkové ovládání
HW	Hardware	
I/O	Input/output	
IL	Instruction list	
IP	Internet Protocol	
IPxx	International Protection	
LAN	Local Area Network	
LD	Loader Diagram	
LED	Light-Emitting Diode	
MaR		Měření a Regulace
MMC	Multi Media Card	
Modbus	Modicon bus	
NVRAM	Non-Volatile Random Access Memory	
PLC	Programmable Logic Controller	Programovatelný logický automat
PWM	Pulse Width Modulation	Pulsně šířková modulace
RAM	Random Access Memory	
SD	Secure Digital	
SFC	Sequential Function Chart	
SPDT	Simple Pole Double Throw	jednopolový přepínací kontakt
SSR	Solid State Relay	

ST	Structure Text	
SW	software	
UART	Universal Asynchronous Receiver-Transmitter	
USB	Universal Serial Bus	Univerzální sériová sběrnice

Seznam obrázků

Obr. 1. - Kompaktní automat – principiální schéma zapojení	7
Obr. 2. - Modulární automat – principiální schéma zapojení	7
Obr. 3. - Zapojení komunikace více automatů vč. rozšiřujících jednotek	9
Obr. 4. - Zapojení komunikace vč. rozšiřujících modulů	10
Obr. 5. - Zapojení komunikace TCL2 vč. rozšiřujících modulů	12
Obr. 6. - Graf ekvitermních křivek	21
Obr. 7. - Čidlo PT 1000 (foto autor)	27
Obr. 8. - Presostat KPI35	28
Obr. 9. - Oběhové čerpadlo WILO RS25/60r (foto autor)	28
Obr. 10. - Topné těleso THERMIS 6 kW	29
Obr. 11. - THERMIS TH 164	30
Obr. 12. - Nástěnný ovladač C-RC-0011R	30
Obr. 13. - TECOMAT FOXTROT CP-1006	31
Obr. 14. - Rozvaděč bez montážního panelu, kabelové průchodky (foto autor)	35
Obr. 15. - Instalace žlabů a DIN lišt (foto autor)	36
Obr. 16. - Rozložení komponent v rozvaděči (foto autor)	36
Obr. 17. - Rozvaděč na pozici (foto autor)	37
Obr. 18. - Připravený rozvaděč pro připojení periférií (foto autor)	37
Obr. 19. - Domovská stránka (foto autor)	41
Obr. 20. - Obrazovka parametry elektrokotle (foto autor)	42
Obr. 21. - Obrazovka parametry elektrokotle (foto autor)	42
Obr. 22. - Obrazovka obývací pokoj (foto autor)	43
Obr. 23. - Nastavení časových programů (foto autor)	44
Obr. 24. - Obrazovka spotřeba energie (foto autor)	44

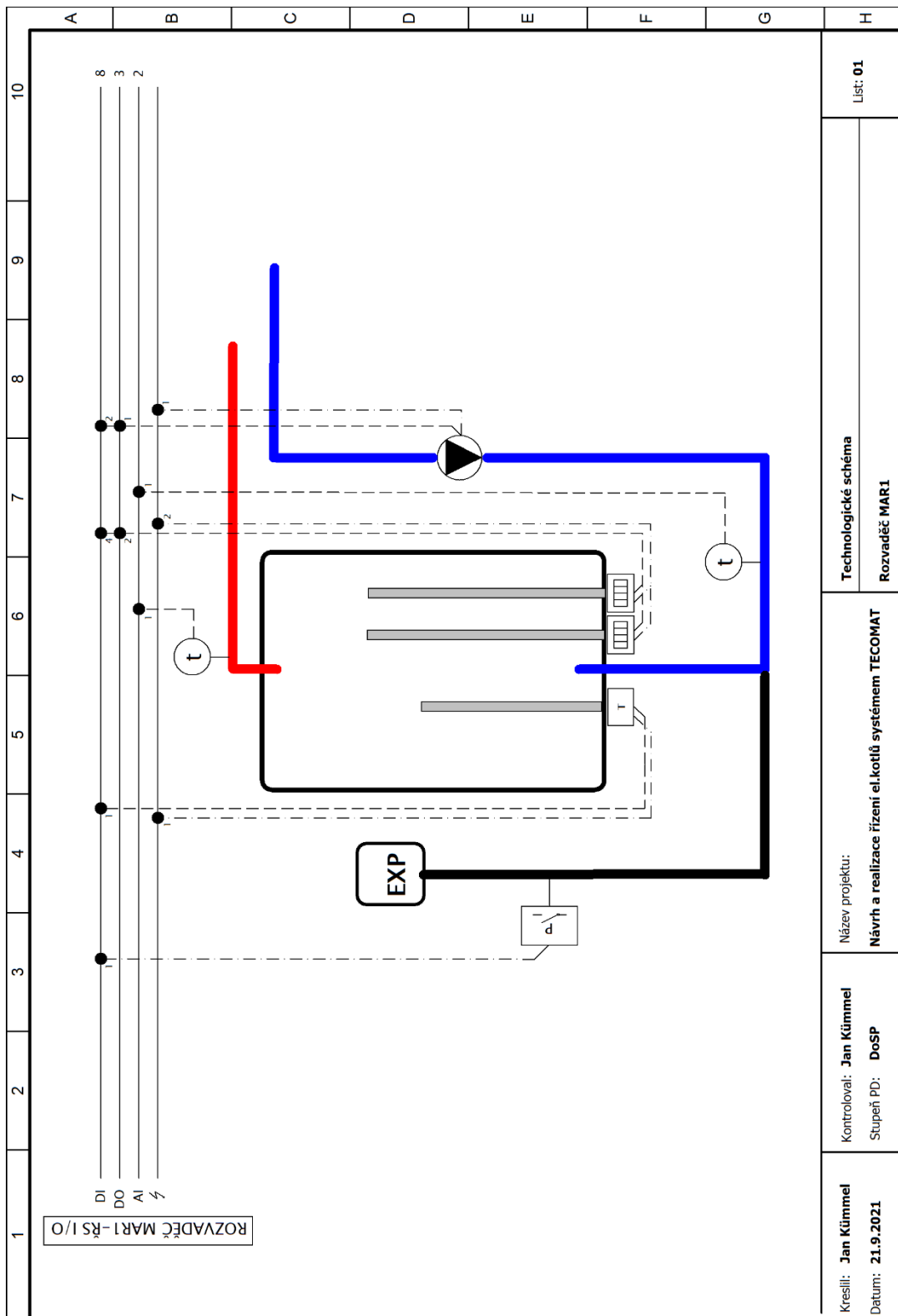
Obr. 25. - RESET dlouhodobé spotřeby energie (foto autor).....	45
Obr. 26. - Úspěšný překlad softwaru (foto autor)	47

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled základních parametrů – MICROPEL, DOMAT	13
Tabulka 2: Přehled základních parametrů – TECOMAT FOXTROT 1, 2	14
Tabulka 3: Technická specifikace MaR	34

Příloha A

Technologické schéma umístění prvků MaR.



Příloha B

Schéma zapojení rozvaděče MAR1 – přívodní napájení

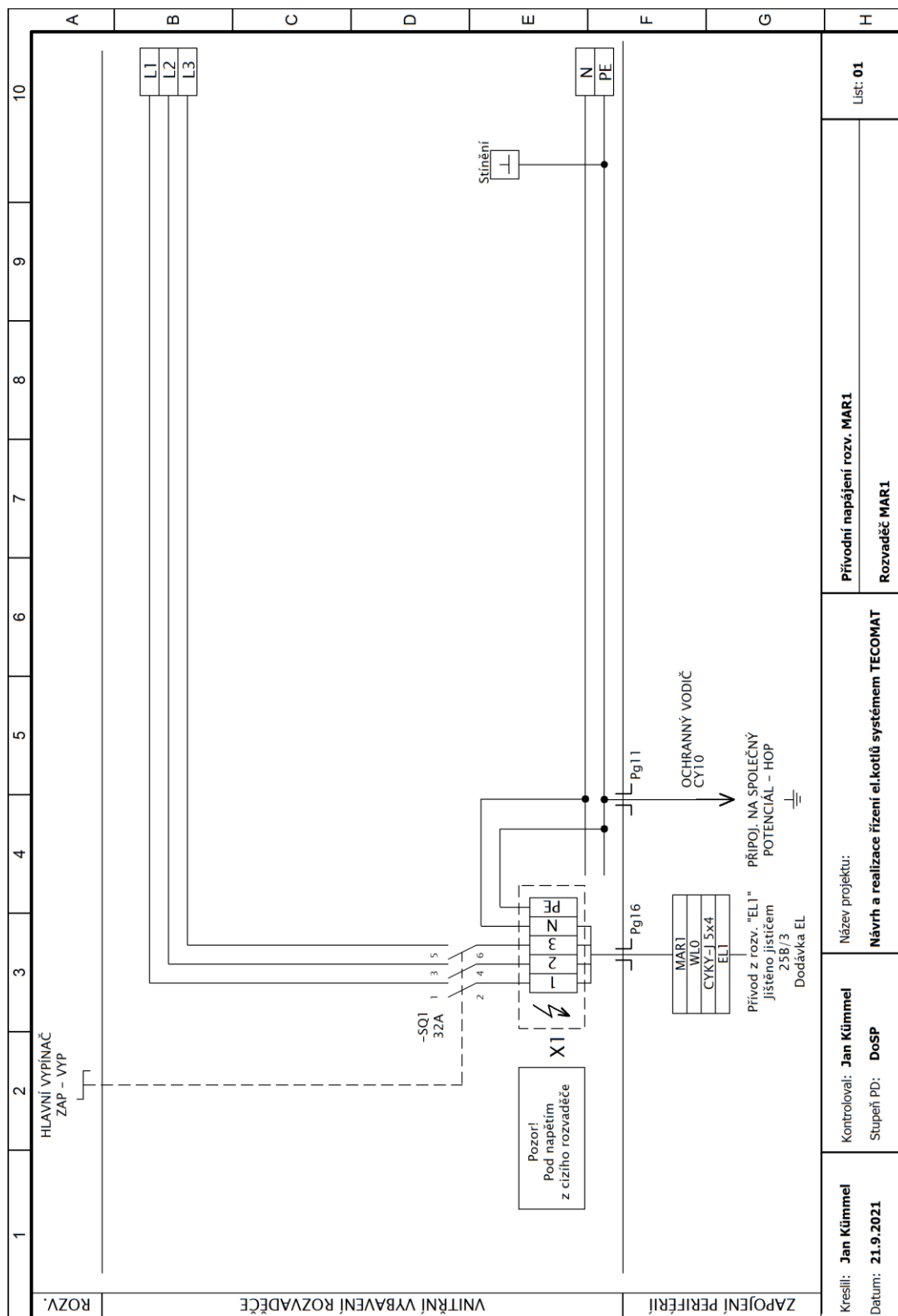


Schéma zapojení rozvaděče MAR1 – zapojení topného tělesa 1.stupně

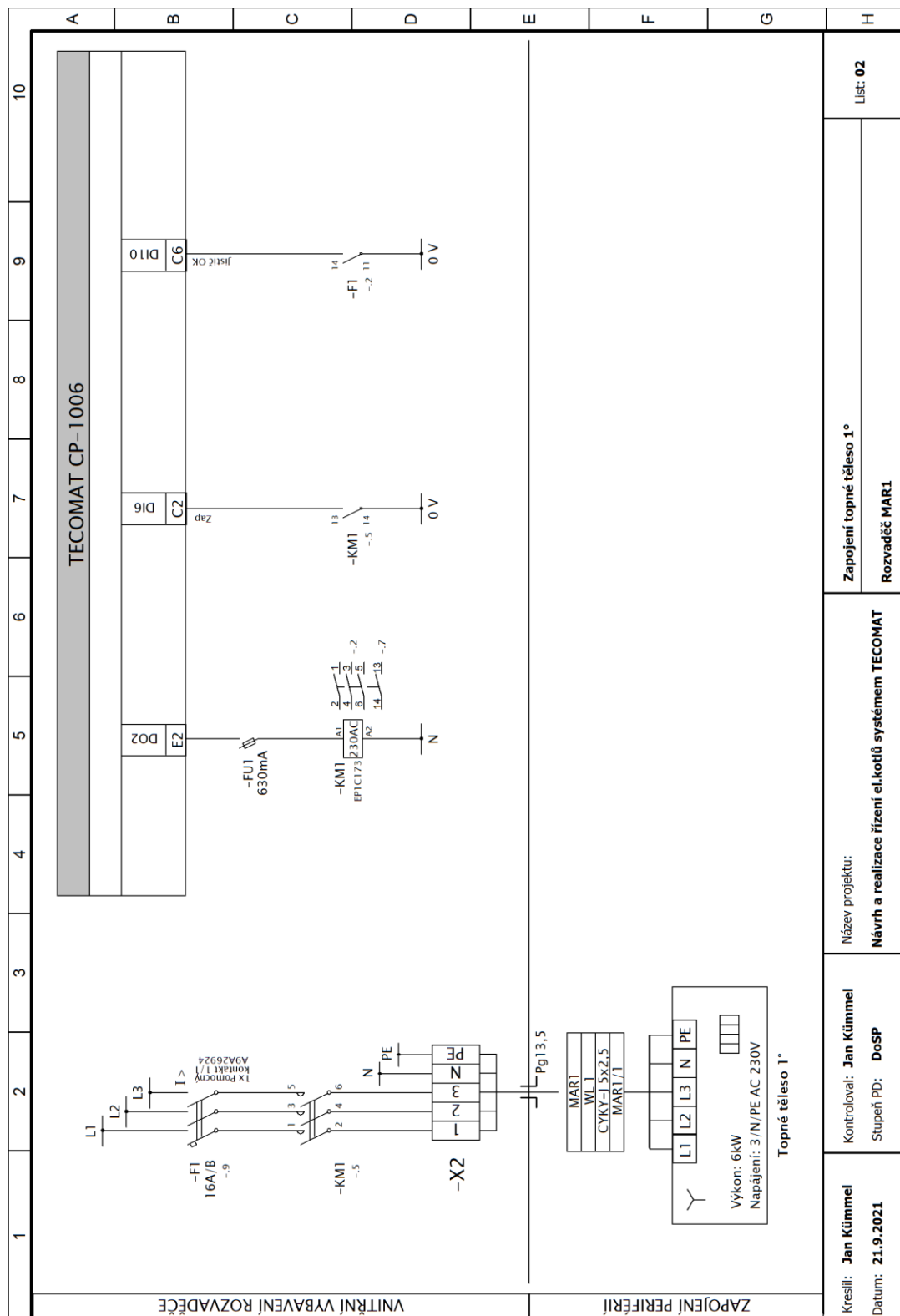


Schéma zapojení rozvaděče MAR1 – zapojení topného tělesa 2.stupně

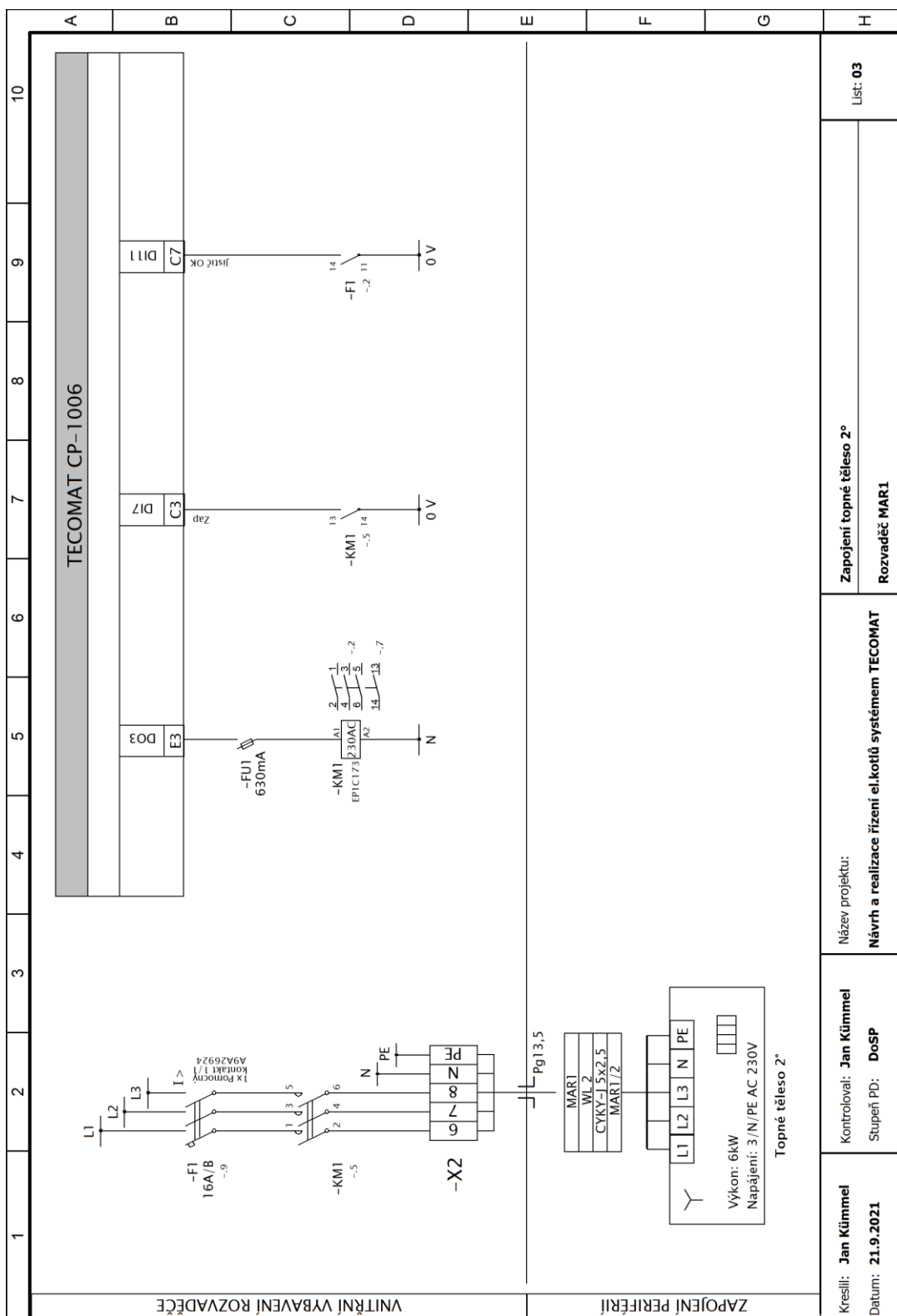


Schéma zapojení rozvaděče MAR1 – zapojení oběhového čerpadla

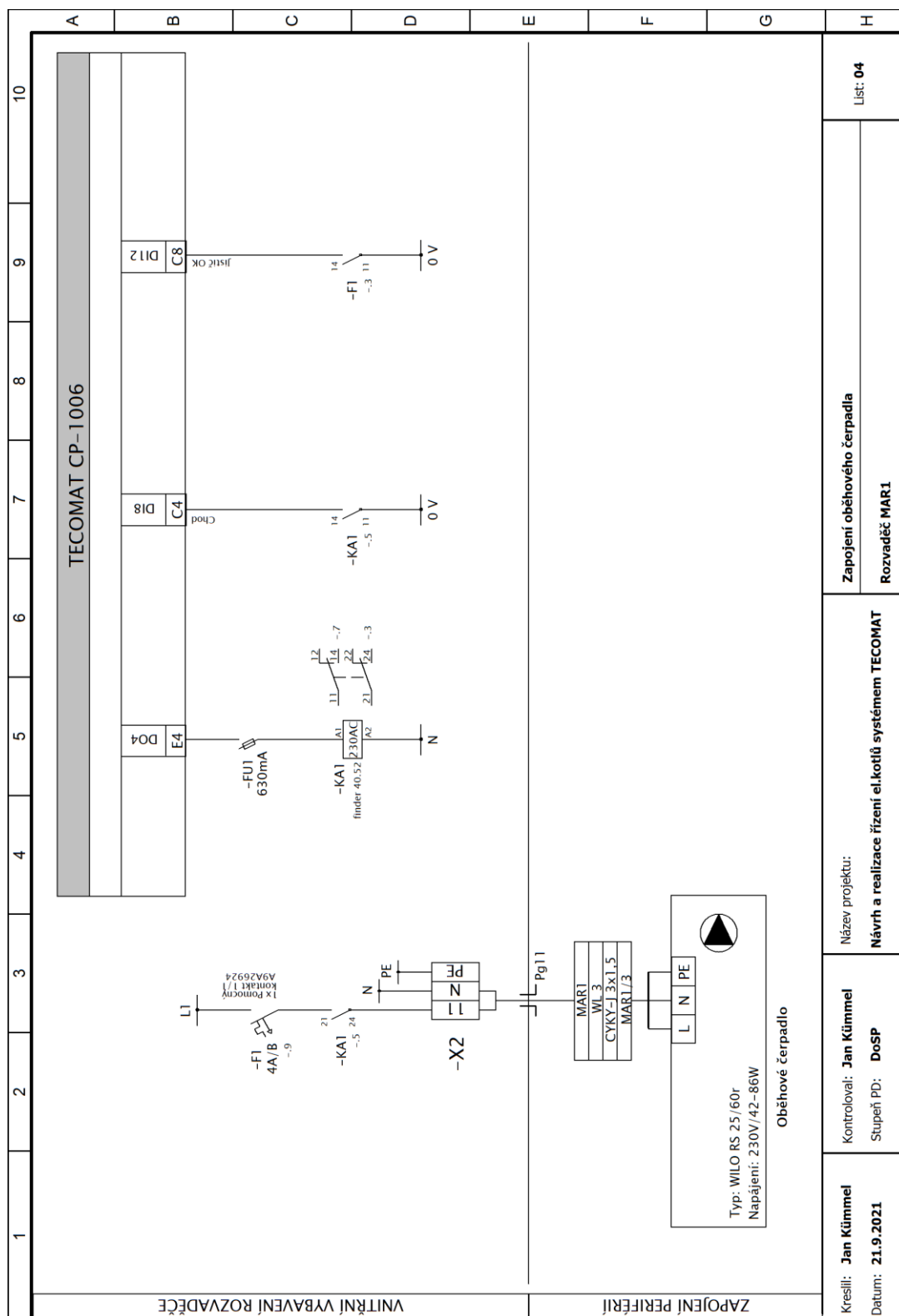


Schéma zapojení rozvaděče MAR1 – zapojení havarijního termostatu

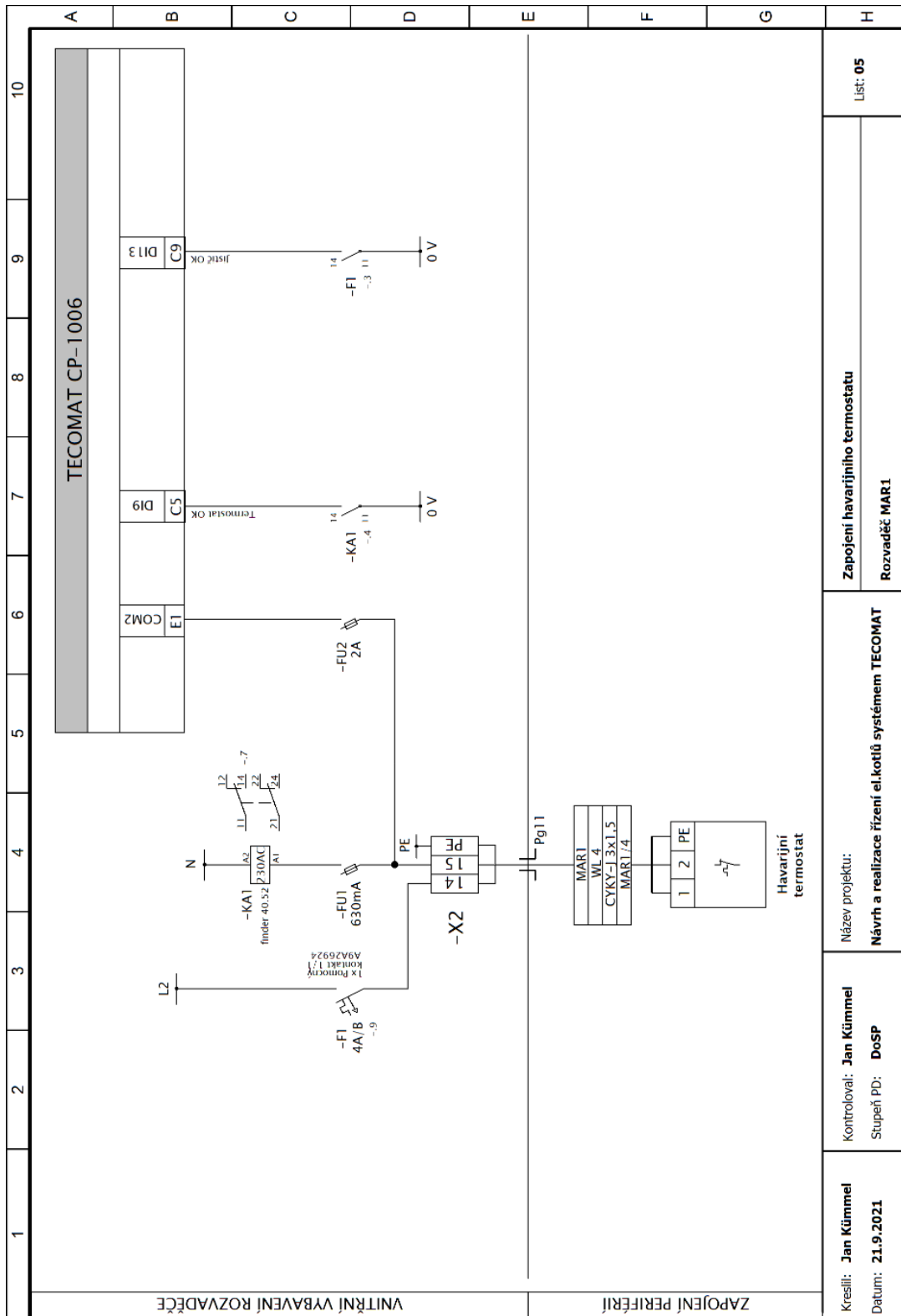


Schéma zapojení rozvaděče MAR1 – zapojení HDO

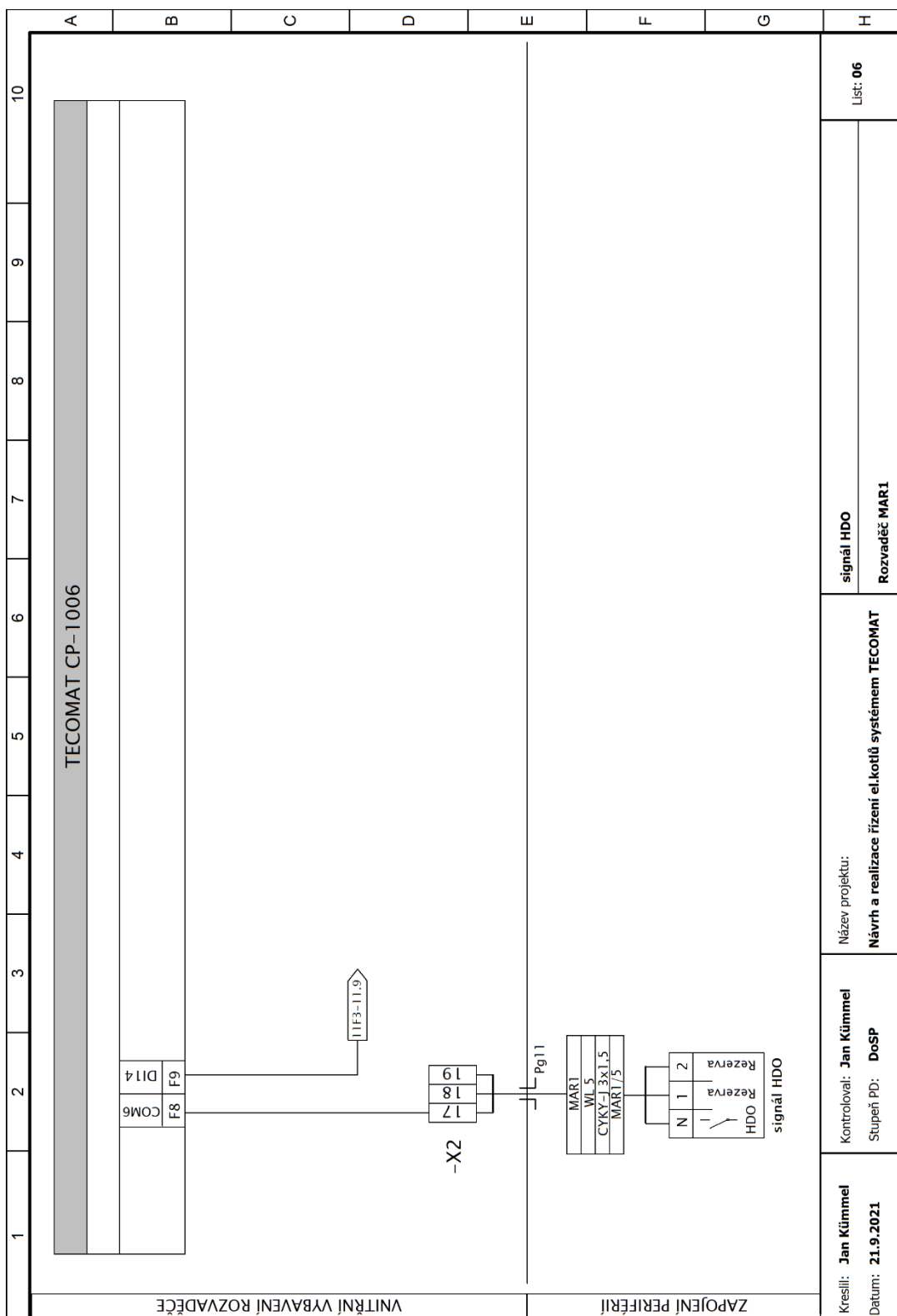


Schéma zapojení rozvaděče MAR1 – zapojení měření teploty topné vody

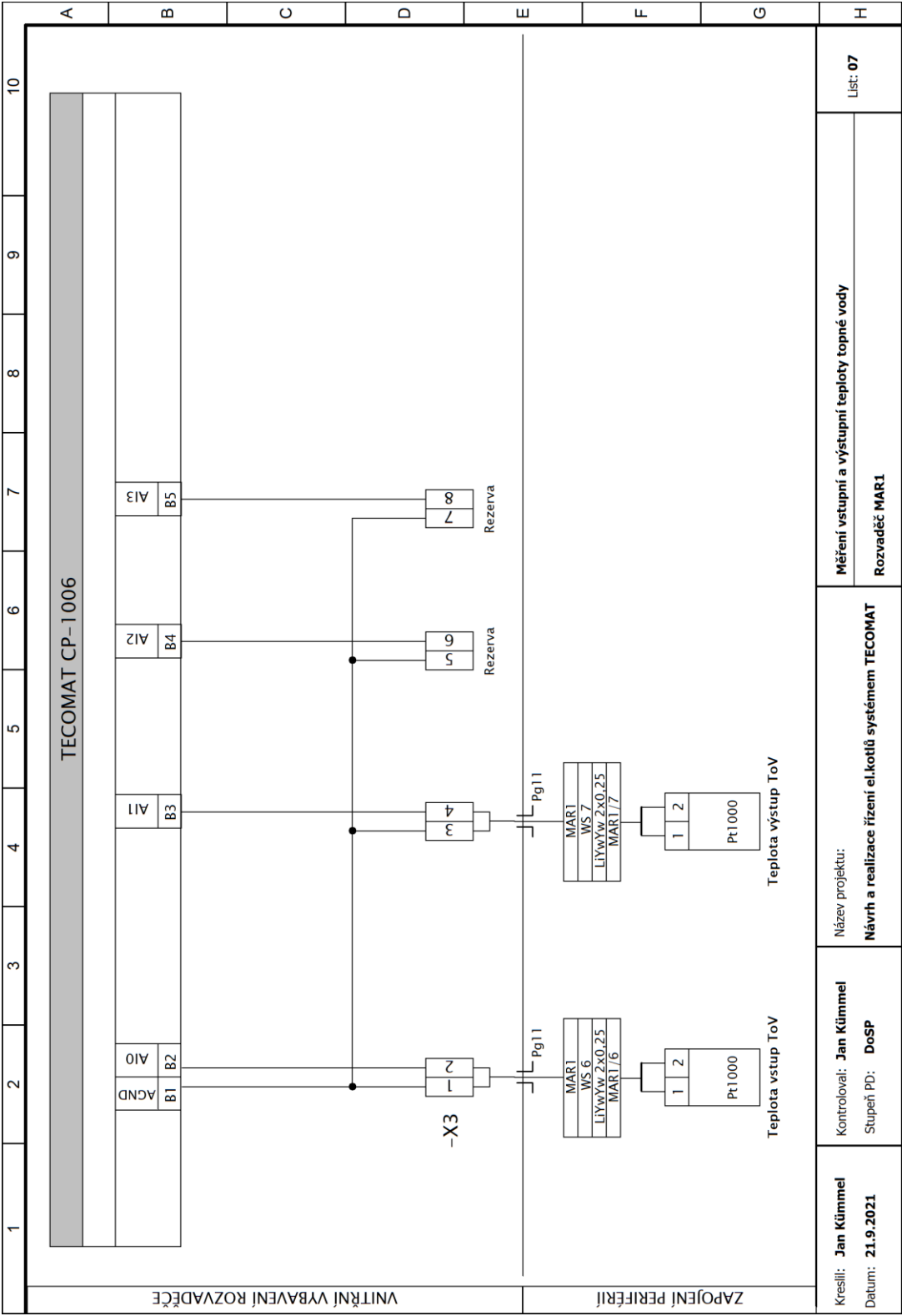


Schéma zapojení rozvaděče MAR1 – zapojení presostatu (minimální tlak)

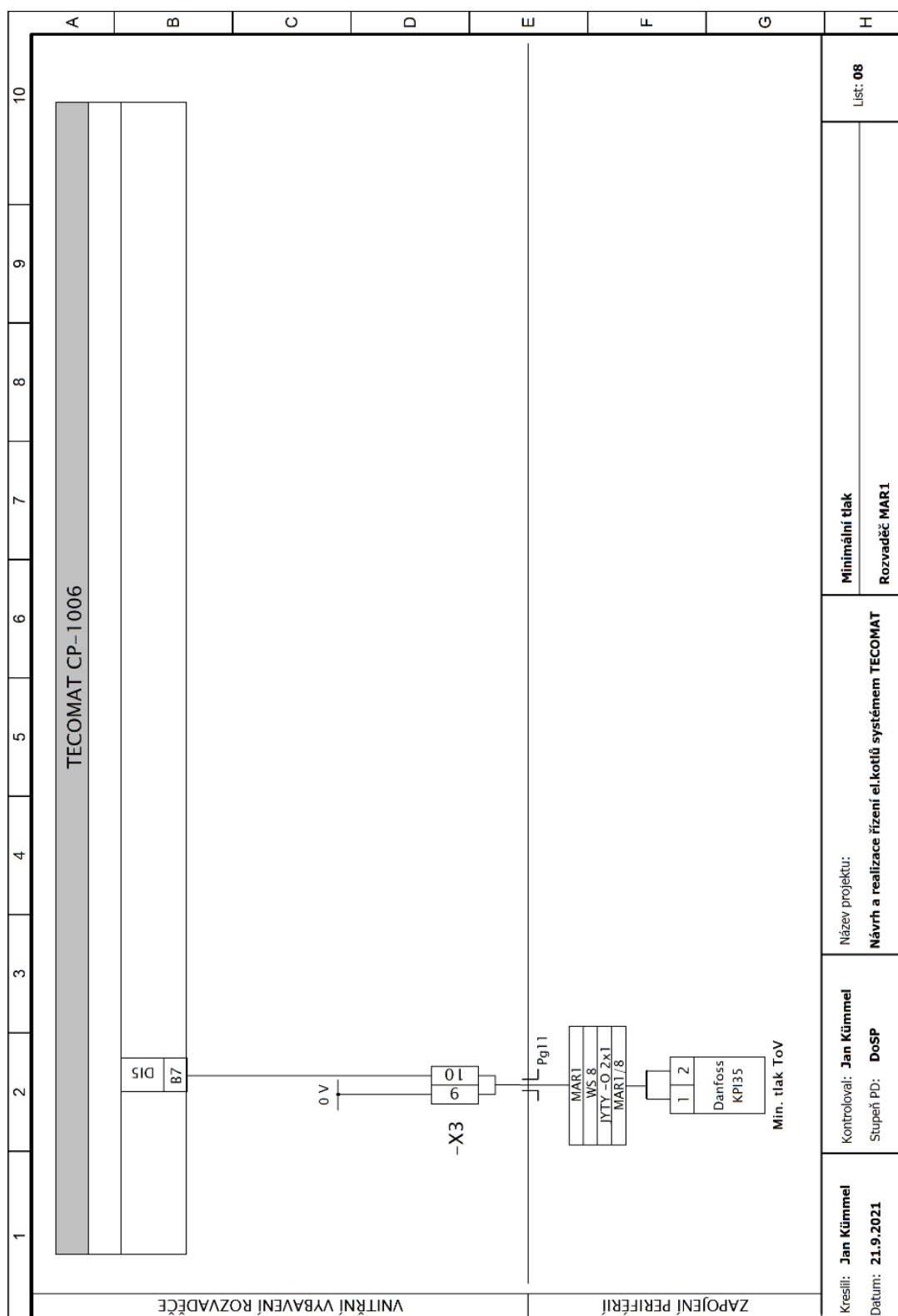


Schéma zapojení rozvaděče MAR1 – zapojení komunikace řídicího systému

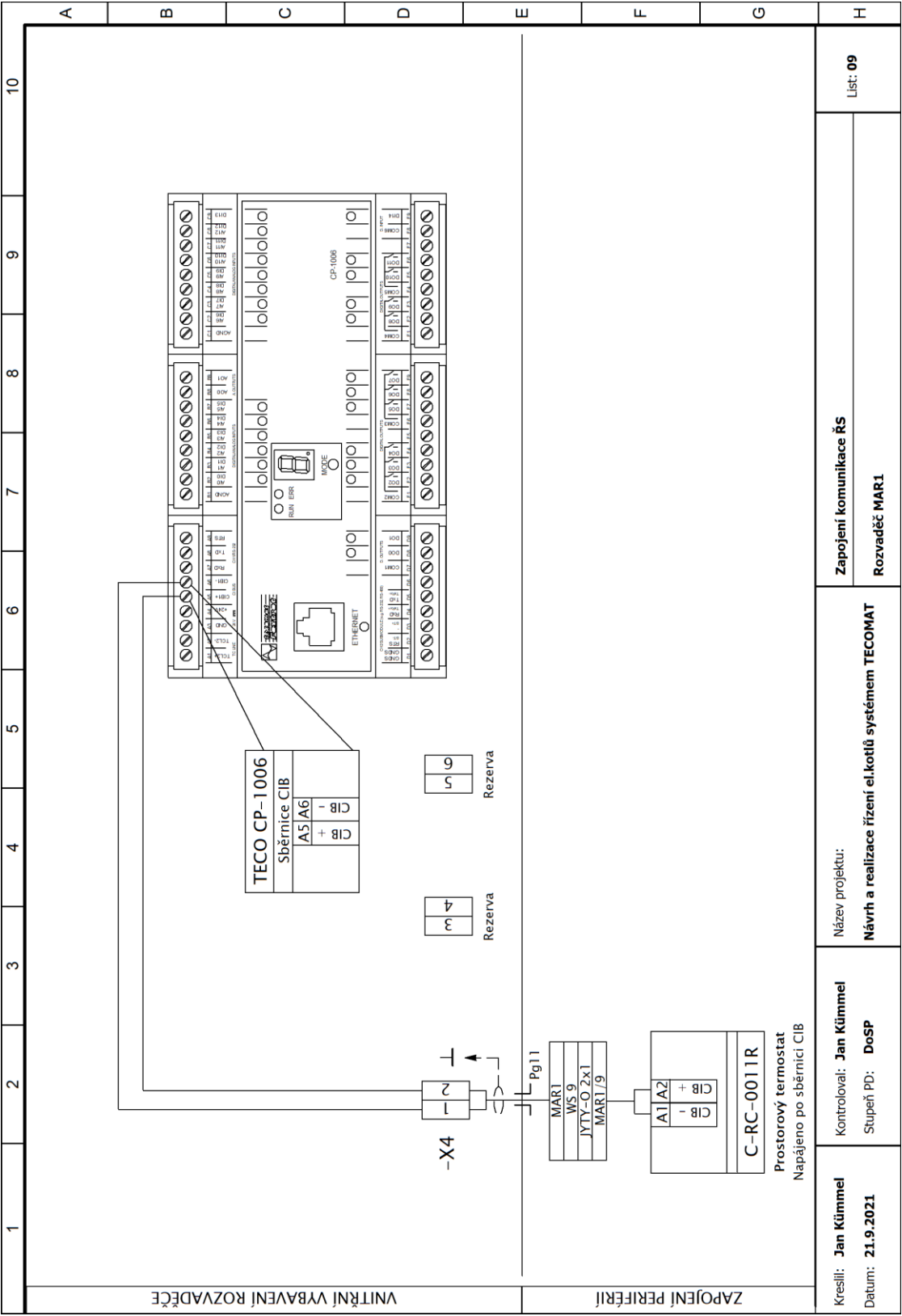


Schéma zapojení rozvaděče MAR1 – zapojení napájení řídicího systému

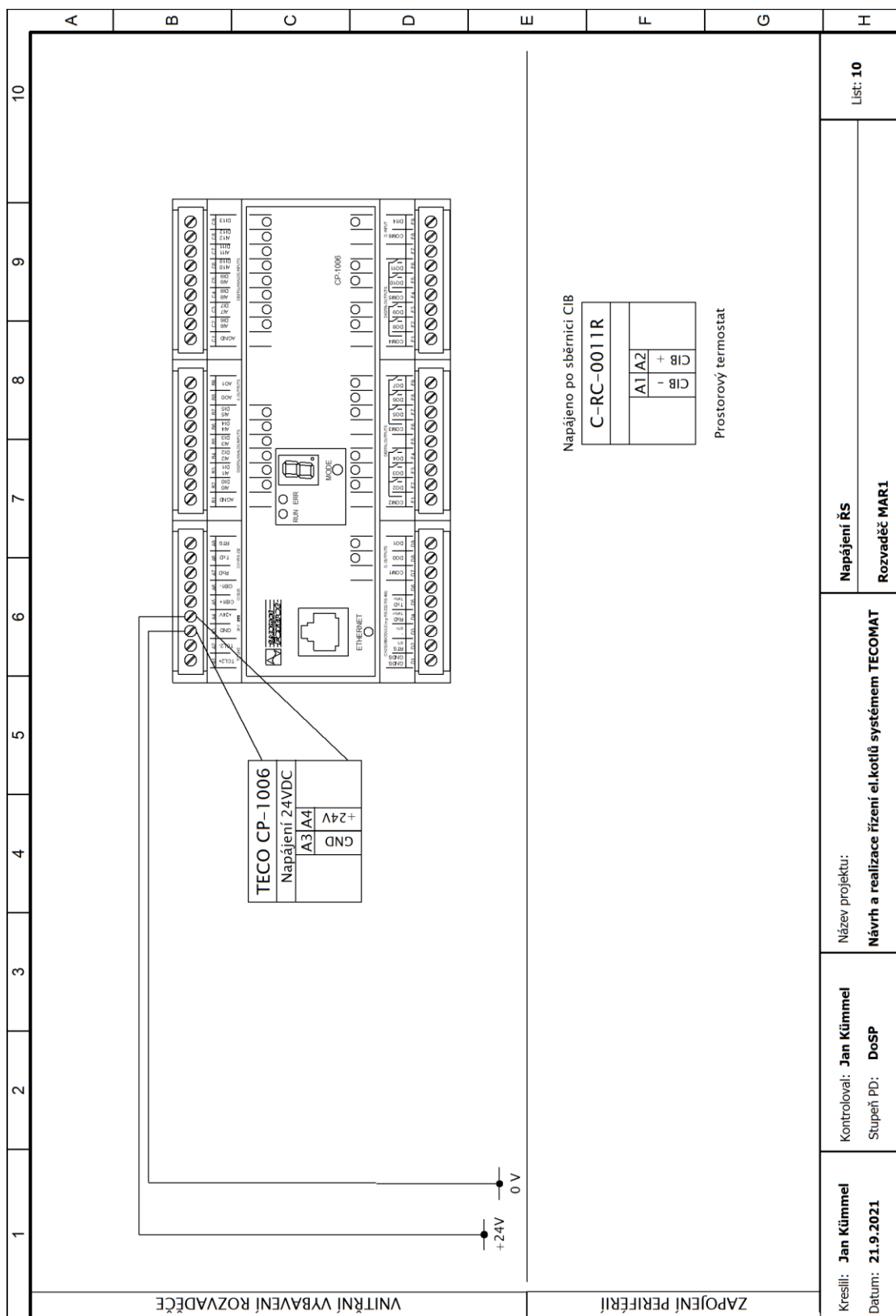
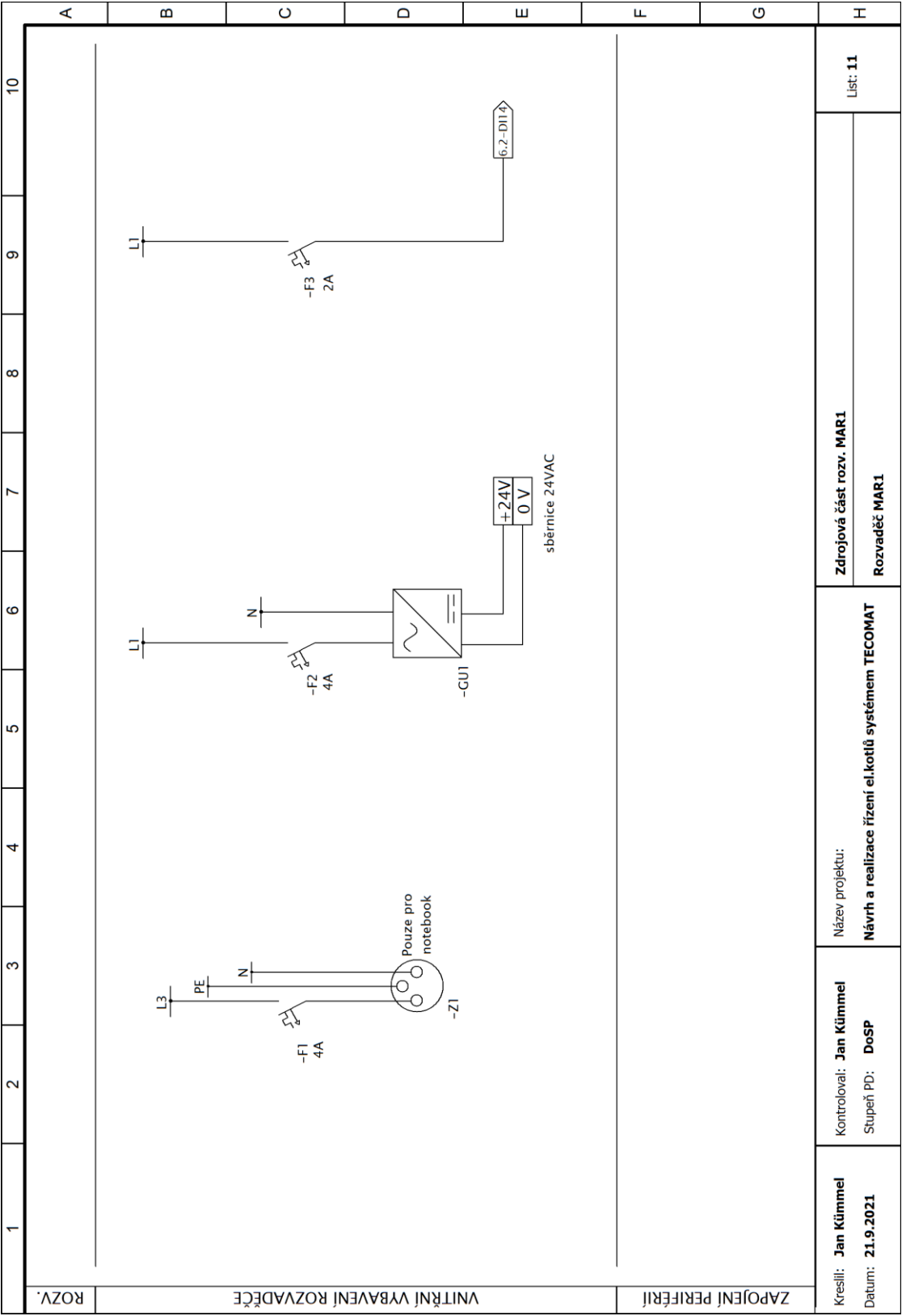
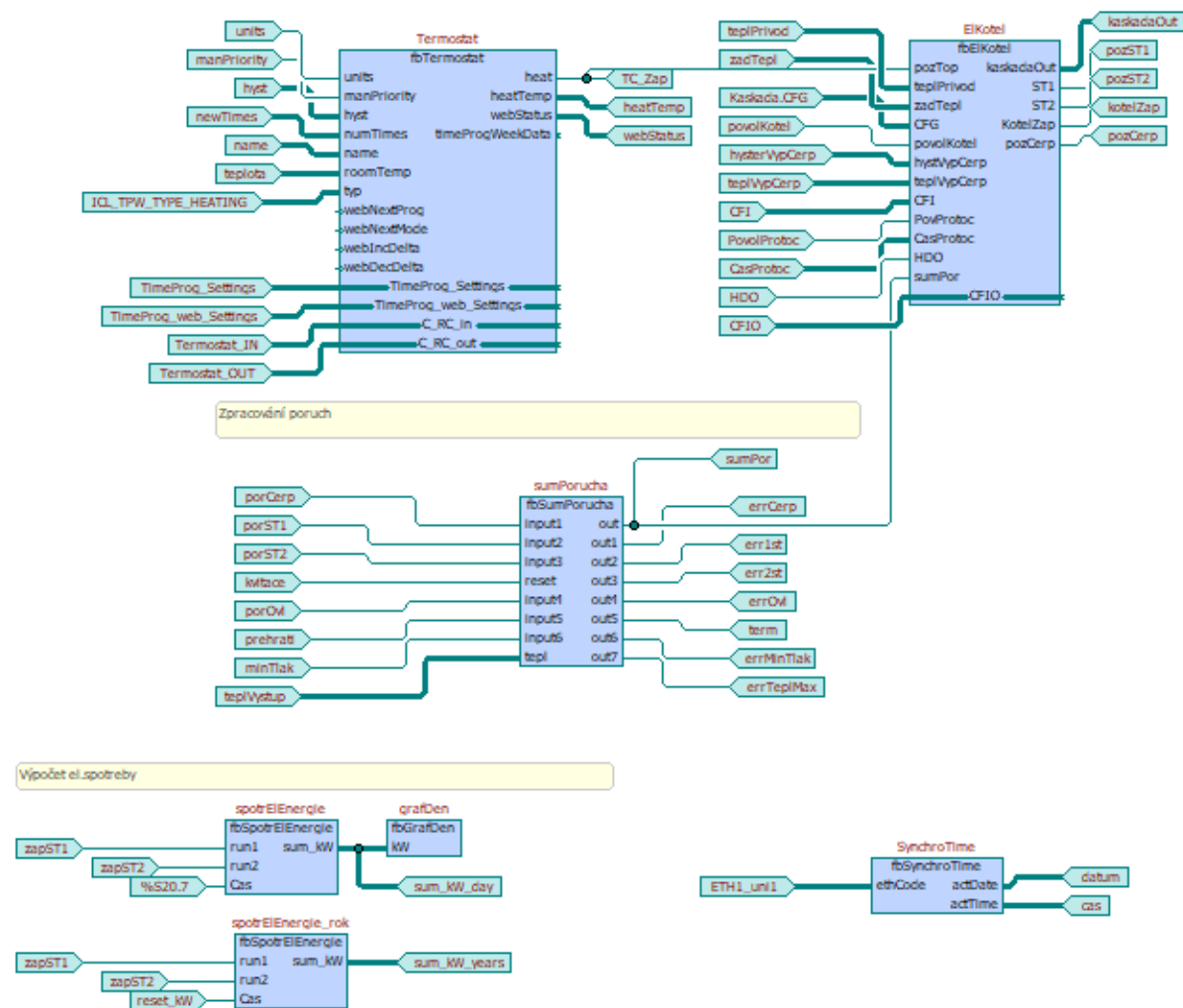


Schéma zapojení rozvaděče MAR1 – zapojení napájení zdrojové části

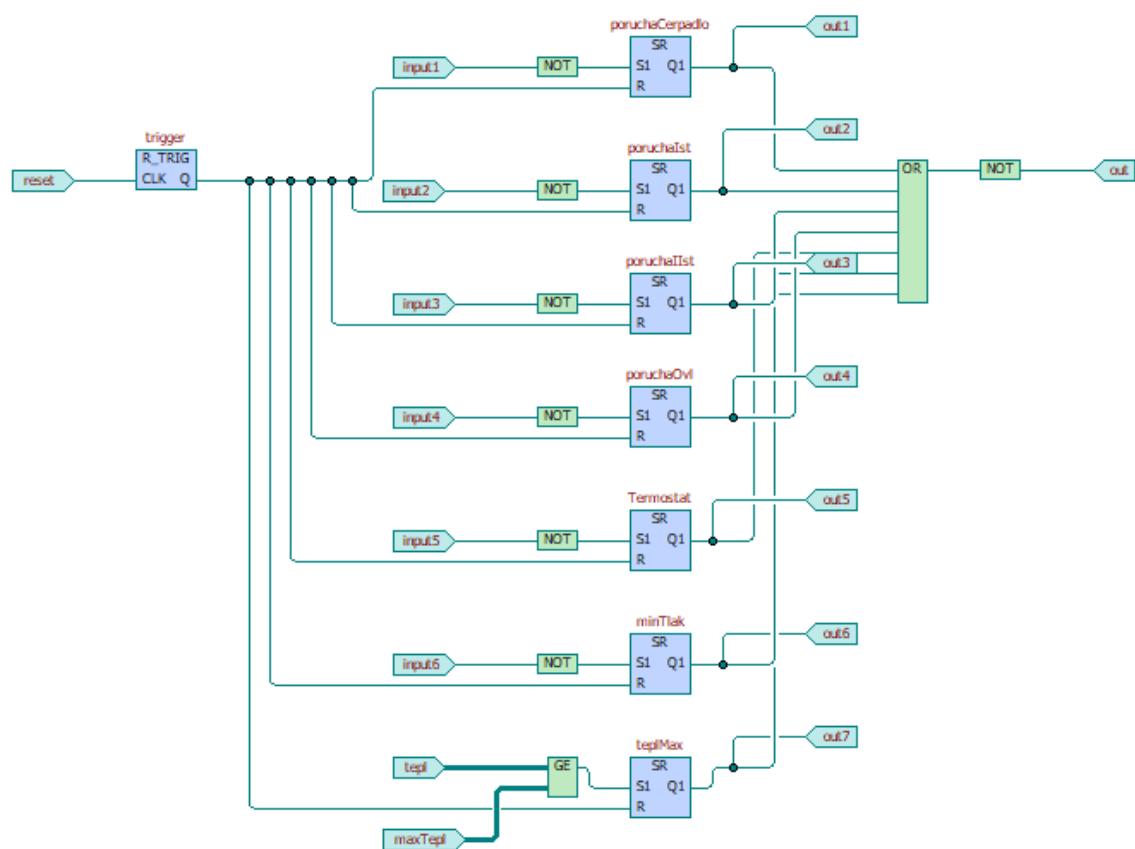


Příloha C

Funkční bloky – hlavní program



Funkční blok „fbSumPorucha“



Příloha D

Součástí práce jsou přílohy, které se nachází v komprimovaném souboru „Kummel_Jan_2022_BP_prilohy.zip“.

Software → ovladaci_software _pro_PLC.piz

Postup pro nahrání softwaru do vývojového prostředí MOSAIC

- 1.) Spustit program MOSAIC.
- 2.) V dialogovém okně kliknout na „Obnovit archivovanou skupinu projektu“.
- 3.) Vyhledat uložený soubor „ovladaci_software _pro_plc.piz“.
- 4.) Kliknout na tlačítko „Otevřít“.
- 5.) Dále postupovat dle průvodce.