

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Optimalizace otopných soustav

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jakub JIŘINEC**
Osobní číslo: **E13N0010P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**
Název tématu: **Optimalizace otopných soustav**
Zadávající katedra: **Katedra technologií a měření**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Popište stávající systém regulace otopné soustavy pro vybrané objekty
2. Navrhněte možnosti zlepšení regulace otopné soustavy
3. Proveďte praktickou realizaci
4. Proveďte kalkulaci investičních nákladů a úspor
5. Uveďte závěry pro praxi

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. PLC a automatizace 1 – základní pojmy, úvod do programování

Autor: Martinásková, Marie; Šmejkal, Ladislav

2. PLC a automatizace 2 – Sekvenční logické systémy a základy fuzzy logiky

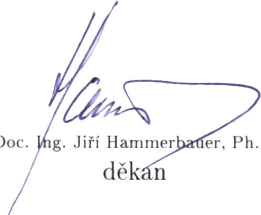
Autor: Šmejkal, Ladislav

Vedoucí diplomové práce: **Ing. David Rot, Ph.D.**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **15. října 2014**

Termín odevzdání diplomové práce: **11. května 2015**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Vlastimil Skočil, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na optimalizaci otopné soustavy u vybraných objektů. Součástí systému je i měření vybraných elektrických veličin a optimalizace přetoků činného výkonu z fotovoltaické elektrárny. Velký důraz je kladen na tepelnou pohodu osob pobývajících v objektu a snížení provozních nákladů. Součástí práce jsou příslušná schémata zapojení jednotlivých komponentů, kalkulace nákladů a provedený odhad úspor.

Klíčová slova

Otopná soustava, regulace teploty, tepelné čerpadlo, snížení provozních nákladů, čidla teploty, PLC, multimetr, EVCO, UNI-PRO, Modbus, IME

Abstract

This master thesis is focused on optimizing the heating system of the selected buildings. The system includes measurement of selected electrical values and optimization of active power flows from photovoltaic power plant. Great emphasis is placed on the thermal comfort of people working in the building and reducing of operating costs. Part of this work is wiring diagrams of the individual components, costing and estimation of savings.

Key words

Heating system, temperature regulation, heat pump, reducing operating costs, temperature probes, PLC, multi-meter, EVCO, UNI-PRO, Modbus, IME

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 7.5.2015

Bc. Jakub Jiřinec

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Davidovi Rotovi Ph.D. za cenné rady při zpracovávání práce. Dále bych rád poděkoval společnosti TRIBASE electric s.r.o. za poskytnuté komponenty a instalační materiál pro realizaci jednotlivých projektů.

Obsah

OBSAH	7
ÚVOD	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
1 POPIS STÁVAJÍCÍHO SYSTÉMU REGULACE	11
1.1 POPIS VYBRANÝCH OBJEKTŮ	11
1.2 SYSTÉM REGULACE – POLYFUNKČNÍ BUDOVA	11
1.3 SYSTÉM REGULACE - SKLADOVÁ HALA.....	14
2 NÁVRH ZLEPŠENÍ REGULACE OTOPNÉ SOUSTAVY VČETNĚ PRAKTICKÉ REALIZACE	16
2.1 VÝBĚR NADŘAZENÉHO SYSTÉMU REGULACE.....	16
2.2 ŘÍDÍCÍ SYSTÉM EVCO [18].....	17
2.2.1 <i>Kontrolér C-pro3 NODE kilo</i>	17
2.2.2 <i>Expanzní modul kilo</i>	18
2.2.3 <i>Uživatelské rozhraní V-Color</i>	19
2.2.4 <i>Programovací prostředí UNI-PRO</i>	20
2.3 NEJPOUŽÍVANĚJŠÍ DRUHY TEPLOTNÍCH ČIDEL	22
2.3.1 <i>NTC a PTC</i>	23
2.3.2 <i>PT 100</i>	23
2.3.3 <i>PT 1000</i>	23
2.3.4 <i>Ni 1000</i>	24
2.3.5 <i>Termočlánky</i>	24
2.4 MĚŘENÍ ELEKTRICKÝCH VELIČIN	24
2.4.1 <i>Protokol Modbus</i>	25
2.4.2 <i>Propojení měřících přístrojů a PLC</i>	26
2.5 POLYFUNKČNÍ BUDOVA	30
2.5.1 <i>Řízení teploty v jednotlivých místnostech</i>	31
2.5.2 <i>Sběr dat z měřících přístrojů IME [6,7]</i>	34
2.5.3 <i>Řízení tepelných čerpadel</i>	36
2.6 SKLADOVÁ HALA.....	42
2.6.1 <i>Řízení teploty v místnostech</i>	43
2.6.2 <i>Sběr dat z měřících přístrojů IME</i>	44
2.6.3 <i>Řízení tepelného čerpadla</i>	45
3 KALKULACE INVESTIČNÍCH NÁKLADŮ A ÚSPOR	46
3.1 POLYFUNKČNÍ BUDOVA	46
3.2 SKLADOVÁ HALA.....	47
4 ZÁVĚRY PRO PRAXI	50
5 ZÁVĚR	51
6 SEZNAM LITERATURY	52
7 PŘÍLOHY	1

Úvod

Při výstavbě či rekonstrukci objektu je v dnešní době kladen důraz zejména na snižování energetické náročnosti budovy. Toho lze dosáhnout především vhodným stavebním řešením budovy. Další důležitý faktor je výběr otopného zdroje. Dnes se můžeme v mnohých případech setkat s kombinací tepelného čerpadla a fotovoltaické elektrárny. Především v tomto případě by se nemělo zapomínat i na řídicí systém, který by optimalizoval spotřebu objektu a zvyšoval využití vyrobené elektřiny z FVE.

Hlavním cílem této práce je návrh a realizace řídicího systému pro otopnou soustavu ve vybraných objektech. V těchto objektech je instalovaná výše uvedená kombinace tepelného čerpadla a fotovoltaické elektrárny bez nadřazeného řídicího systému. Pro měření elektrických veličin bude použito stávajících měřících přístrojů. Řídicí systém bude navržen přesně na vybrané objekty. Velký důraz bude kladen zejména na minimalizaci lidské obsluhy a nízké pořizovací náklady. Zadávání hodnot by mělo být jednoduché a uživatelsky příjemné. Uživateli by měl být umožněn i dálkový přístup do systému pomocí počítače, tabletu či chytrého telefonu.

Seznam symbolů a zkratk

<i>L1, L2, L3</i>	Fázové vodiče napájecí soustavy
<i>N</i>	Střední pracovní vodič napájecí soustavy
PLC	Programmable logic controller
TCČ	Tepelné čerpadlo
FVE	Fotovoltaická elektrárna
W	Watt
mm	Milimetr
Wp	Watt-peak
ks	Kus
RS-485	Standard sériové komunikace
Modbus	Komunikační protokol
%	Procento
KNX	Standard domovní instalace
IME	Instrumenti Misure Elettriche
LON	Local Operating Network
CAN	Controller Area Network
USB	Universal Serial Bus
TFT	Thin-Film Transistors
MPBus	Belimo Master-Slave Bus
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
C	Programovací jazyk
NTC	Negative temperature coefficient
PTC	Positive temperature coefficient
HVAC	Heating, Ventilation, and Air Conditioning
Ω	Ohm
°C	Stupeň celsia
TUV	Teplá užitková voda
SCADA	Supervisory Control And Data Acquisition
RS-232	Standard sériové komunikace
PDU	Protocol Data Unit
ADU	Application Data Unit

MSW.....	Most Significant Word
LSW.....	Least Significant Word
Word.....	Datový typ
Long.....	Datový typ
Byte.....	Datový typ
Bit	Datový typ
V	Volt
A	Ampér
SSR.....	Solid-State Relay
Kč	Korun českých
DPH	Daň z přidané hodnoty
l.....	Litr
MaR	Měření a regulace

1 Popis stávajícího systému regulace

1.1 Popis vybraných objektů

Vybrané objekty se nachází v areálu ve městě Domažlice. Areál se skládá ze dvou oddělených budov. V přední části areálu se nachází polyfunkční budova ve které jsou umístěny kanceláře a ordinace. V zadní části areálu je umístěna skladová hala. Celý areál prošel před čtyřmi lety kompletní rekonstrukcí. Jednotlivé objekty mají vlastní vytápění a podružné měřiče elektrické energie. Z tohoto důvodu byl areál rozdělen na dva nezávislé projekty.

1.2 Systém regulace – polyfunkční budova

Polyfunkční budova se skládá ze dvou podlaží. V prvním podlaží se nachází obchod a dvě ordinace. V druhém podlaží se nachází kanceláře. Celkový pohled na polyfunkční objekt je uveden na *Obr. 1.1*.



Obr. 1.1 Pohled na čelní stranu polyfunkční budovy

Objekt je vytápěn dvěma tepelnými čerpadly vzduch-voda od společnosti Carrier (typ 38AW115 + 80AWT00X). Jedná se o splitové jednotky, které se skládají z venkovní jednotky a vnitřní jednotky (hydromodulu). Venkovní jednotky jsou umístěny na střeše objektu. Hlavními komponenty venkovní jednotky je rotační kompresor, ventilátor a výparník. Hydromoduly jsou umístěny v druhém podlaží objektu. Hydromodul obsahuje

výměník (chladiivo R410 – otopná voda), řídicí PLC, které má na starosti řízení celého cyklu tepelného čerpadla. Dále je zde umístěna vizualizační jednotka, která umožňuje zobrazit základní informace a zapnout/vypnout tepelné čerpadlo. Venkovní jednotka a hydromodul jsou zobrazeny na *Obr. 1.2.* [1]



Obr. 1.2 TČ Carrier 38AW115(venkovní jednotky)+80AWT00X (hydromodul) [1]

Obě jednotky pracují paralelně do akumulární nádrže Austria Email SISS 750/150, které slouží k akumulaci tepelné energie z tepelných čerpadel a zároveň slouží k předeřevu teplé vody. Řez použitou akumulární nádobou je uveden na *Obr. 1.3.* [2]



Obr. 1.3 SISS 750/150 [2]



Obr. 1.4 Grundfos Alpha 2[3]

Konstrukčně je provedena jako „nádobu v nádobě“ o celkovém objemu vody 750 litrů. Integrovaný ohřivač v akumulární nádrži o objemu 150 litrů slouží jako předeřev teplé

vody, která je poté dohřátá na požadovanou teplotu v elektrickém akumulacním ohřivači (boileru). Použitá nádrž umožňuje dodatečnou instalaci topné vložky s volitelným výkonem 7,5/2,5 kW. Na vnější části je akumulacní nádoba opatřena izolační vrstvou o tloušťce 100 mm. [2]

Otopná voda z akumulacní nádrže proudí pomocí oběhového čerpadla Grundfos Alpha 2 (Obr. 1.4) s plynulou regulací výkonu do rozdělovače. Z rozdělovače putuje otopná voda do jednotlivých topných okruhů (celkový počet 6). Každý topný okruh disponuje vlastním měřicím přístrojem HEAT one. [3]

Na střeše polyfunkčního objektu se nachází malá fotovoltaická elektrárna o výkonu 9,2 kWp (viz. Obr. 1.5) pracující v režimu přebytku do distribuční soustavy. Na fotovoltaickou elektrárnu bylo použito celkem 40 ks panelů od společnosti ET Solar (maximální výkon jednoho panelu je 230 Wp). O přeměnu stejnosměrné energie na střídavou se stará invertor Power One Aurora 10.0. Vývod od střídače je připojen do hlavního rozvaděče polyfunkčního objektu. [4,5]



Obr. 1.5 Fotovoltaická elektrárna 9,2 kWp

V příloze A je uvedeno hydraulické zapojení čerpadel, akumulacního zásobníku a ohřevu teplé vody. Součástí hydraulického zapojení jsou i solární termické kolektory,

jejichž instalace nebyla dosud realizována. Přednost dostala instalace malé fotovoltaické elektrárny z důvodu vyšší využitelnosti vyrobené energie a rychlejší návratnosti systému.

V tomto objektu je instalován multimetr Nemo 96 HD, který měří celkovou spotřebu areálů. Na střeše budovy jsou umístěny dva stejnosměrné multimetry Nemo D4-Dc, které slouží k měření elektrických parametrů fotovoltaické elektrárny před střídačem. Výše zmíněné multimetry disponují komunikačním rozhraní Modbus RS-485 prostřednictvím kterého jsou připojeny do SCADA systému. [6,7]

1.3 Systém regulace - skladová hala

V zadní části areálu se nachází skladová hala, kde je umístěna kancelář, dílny a sklad. Pohled na skladovou halu je na *Obr. 1.6*. Tato část haly je vytápěna jedním tepelným čerpadlem Carrier (stejný typ jako v předchozím případě). Hydromodul je stejně jako v předchozím případě připojen k akumulární nádrži o objemu 300 l. Ohřev teplé vody je řešen samostatně v elektrickém boileru. V obou případech (u polyfunkčního objektu i skladové haly) by bylo možné pracovat bez akumulárních nádrží, ale musel by být zachován minimální objem otopné vody v systému. V případě, že by došlo k uzavření větší části okruhů, tak by docházelo k přepínání tepelného čerpadla do poruchy (nebyl by dostatečný objem vody k odmrazení výparníku).



Obr. 1.6 Pohled na objekt skladové haly

Použitá tepelná čerpadla disponují rotačním kompresorem, který umožňuje řízení jeho otáček pomocí invertoru. To znamená, že invertor je schopen regulovat otáčky kompresoru přibližně od 20 % do 100 %. V mém případě se jedná o značnou výhodu při využití přebytků z fotovoltaické elektrárny pracující v režimu přebytky do distribuční soustavy,

protože tepelná čerpadla neběží prakticky nikdy na plný výkon a odebírají tak z elektrické sítě menší výkon ale delší dobu. [1]

Na střeše skladové haly je umístěna další fotovoltaická elektrárna o výkonu 27 kWp, která pracuje v režimu veškerá výroba do distribuční soustavy (není potřeba uvažovat tuto elektrárnu do celkového systému regulace). Za střídačem elektrárny je umístěn multimetr Nemo D4-L v provedení na DIN lištu v kombinaci s měřicími transformátory napětí 40/5 s třídou přesnosti 0,5. Dále se zde nachází podružný elektroměr, který měří spotřebu elektrické energie ve skladové hale. Oba přístroje jsou začleněny do SCADA systému prostřednictvím Modbus RS-485. [6]

2 Návrh zlepšení regulace otopné soustavy včetně praktické realizace

Systém jako celek není špatně navržený, nicméně zde chybí nadřazený systém regulace, který by zoptimalizoval chod tepelných čerpadel a lépe využil přebytky z fotovoltaické elektrárny.

Součástí regulace musí být vizualizační systém, který by umožňoval zobrazení a případnou změnu vybraných parametrů (např. nastavení teploty jednotlivých místnostech). Dalším požadavkem je, aby součástí vizualizace bylo měření elektrických veličin celého areálu.

2.1 Výběr nadřazeného systému regulace

V současné době můžeme na trhu nalézt několik systémů umožňujících inteligentní regulaci otopného systému včetně světel a žaluzií. Pro malé aplikace se základními funkcemi lze použít jednodušší decentralizované systémy, které vyrábí zpravidla jeden výrobce. Velkou předností těchto jednopodnikových systémů je především nižší pořizovací cena a poměrně jednoduchá instalace a programování. Instalační technik je však omezen předdefinovanými funkcemi, které může využívat, ale není schopen je měnit. Mezi nejpoužívanější systémy v České republice patří XComfort a NikoBUS od společnosti Eaton a E-gon od společnosti ABB. Komunikace mezi jednotlivými prvky probíhá prostřednictvím uzavřených protokolů, které neumožňují komunikaci s jinými zařízeními. Tyto systémy jsou pro naši aplikaci nevhodné. [8-13]

Další možností je použití systémů umožňujících komunikaci mezi zařízeními od různých výrobců. Pro automatizaci budov jsou to především systémy KNX a LON. Tyto systémy umožňují splňovat i náročnější požadavky zákazníků. Jednotliví výrobci se specializují na různá zařízení a díky standardizaci nedochází k problémům s komunikací mezi výrobky. Tyto systémy jsou ovšem poměrně drahé a v naší aplikaci by nebyly využity jejich hlavní přednosti. Již instalované měřicí přístroje navíc nepodporují tyto komunikační protokoly. Z tohoto důvodu bylo zvoleno jiné řešení. Bližším porovnáním

výše zmíněných systémů pro automatizaci budov jsem se zabýval ve své bakalářské práci. [14-16,23-25]

Pro mou aplikaci jsem zvolil systém od firmy EVCO. Tato severoitalská společnost vyvíjí programovatelné kontroléry především pro oblast vytápění, ventilaci a chlazení. Jeho velkou předností je možnost propojení dříve instalovaných měřících zařízení prostřednictvím sériové linky Modbus RS-485. Investiční náklady na tento systém jsou poměrně nízké díky tomu, že projekt byl zhotoven pro společnost TRIBASE electric s.r.o., která produkty od společnosti EVCO dováží do České republiky. [17]

2.2 Řídicí systém EVCO [18]

Jako nadřazený regulační systém bude sloužit PLC od italské společnosti EVCO. Systém není vyvíjen přímo pro regulaci otopných soustav budov, proto bylo nutné většinu potřebných funkčních bloků doprogramovat. Základní částí je kontrolér C-pro 3 NODE kilo. Připojením expanzních modulů bylo dosaženo potřebného množství vstupů a výstupů. Jako uživatelské rozhraní jsem zvolil barevný dotykový displej V-Color. Komunikace mezi těmito zařízeními probíhá prostřednictvím sběrnice CAN.

2.2.1 Kontrolér C-pro3 NODE kilo

Kontrolér C-pro 3 NODE kilo tvoří hlavní část celého systému regulace. Je napájen 24 V (AC/DC). Výhodou verze C-pro3 NODE kilo je, že ve standardní verzi disponuje celou řadou vstupních a výstupních kontaktů na opravdu malém prostoru a umožní tak minimalizovat prostor na implementaci zařízení do stávajícího rozvaděče. Je možné využít 6 analogových vstupů, 3 analogové výstupy, 5 digitálních vstupů a 7 digitálních výstupů. Dále disponuje integrovaným webovým severem, který umožní přistupovat k PLC přes veřejnou IP adresu a vytvořit si tak vlastní uživatelské rozhraní, které bude sloužit například k zobrazení vybraných měřených veličin a zadávání časových intervalů a teplot v jednotlivých topných okruzích. Pro programování kontroléru je nutné použít programovací prostřední UNI-PRO. Projekt je stažen do kontroléru prostřednictvím USB kabelu.

C-pro3 NODE kilo je možné objednat ve třech různých variantách. Nejlevnější je varianta bez integrovaného displeje do PLC, která je označována jako „blind“ verze.

V případě potřeby je možné objednat verzi s integrovaným displejem LED nebo LCD. Fotografie jednotlivých provedení jsou na *Obr. 2.1*.



Obr. 2.1 C-pro3 NODE kilo [18]

V případě, že je potřeba větší počet vstupních a výstupních kontaktů je možné zakoupit verzi C-pro3 NODE kilo+, která disponuje větším počtem vstupních a výstupních kontaktů nebo použít expanzních modulů, které se propojují s C-pro3 NODE kilo nebo C-pro3 NODE kilo+ pomocí sběrnice CAN.

Výhodou je i příznivá cena, která dělá z tohoto zařízení silného hráče na poli programovatelných automatů. K C-pro3 NODE kilo je možné připojit i celou řadu displejů, které mohou sloužit jako uživatelské rozhraní. Umožňují tak změnu potřebných parametrů přímo na místě bez nutnosti připojení k internetu pomocí počítače, tabletu či chytrého telefonu.

2.2.2 Expanzní modul kilo

Expanzní modul se využívá pro zvýšení počtu vstupů a výstupů. Je výhodné ho použít také pro snížení množství kabeláže, pokud je větší počet ovládaných a měřených prvků ve velké vzdálenosti od PLC. Expanzní modul předává informace ze vstupů a ovládá výstupy dle požadavku kontroléru prostřednictvím sběrnice CAN. Je proveden ve velikosti 4 DIN modulů.

Základní verze obsahuje 6 analogových vstupů, 3 analogové výstupy, 5 digitálních vstupů a 6 digitálních výstupů.

2.2.3 Uživatelské rozhraní V-Color

V-Color je řada vzdálených uživatelských rozhraní pro programovatelné automaty patřící do řady C-pro 3. Uživatelské rozhraní se skládá z programovatelného barevného dotykového TFT displeje. K naprogramování slouží opět vývojové prostředí UNI-PRO. V případě, že by se jednalo o jednoduchou aplikaci, bylo by možné toto uživatelské rozhraní naprogramovat tak, že by fungovalo jako "PLC" a ovládalo by expanzní modul. Tímto způsobem lze potom ušetřit nemalé finanční prostředky. V našem případě však vyžadujeme složitější aplikaci, která potřebuje větší počet vstupů a výstupů a ethernetové rozhraní. Tudíž výše uvedená kombinace nelze využít.

Stupeň krytí tohoto rozhraní je standardně IP40. V případě potřeby je možné uživatelské rozhraní opatřit přídatným krytem, který zvýší stupeň krytí na IP65, tudíž jej lze použít i v náročnějších provozech. V našem případě však bude postačovat základní provedení s krytím IP40. Uživatelské rozhraní je možné umístit do krabice pro montáž pod nebo nad omítku. Další variantou umístění je montáž do dveří rozvaděče. Obrázek uživatelského rozhraní V-Color je uvedena na *Obr. 2.2*.



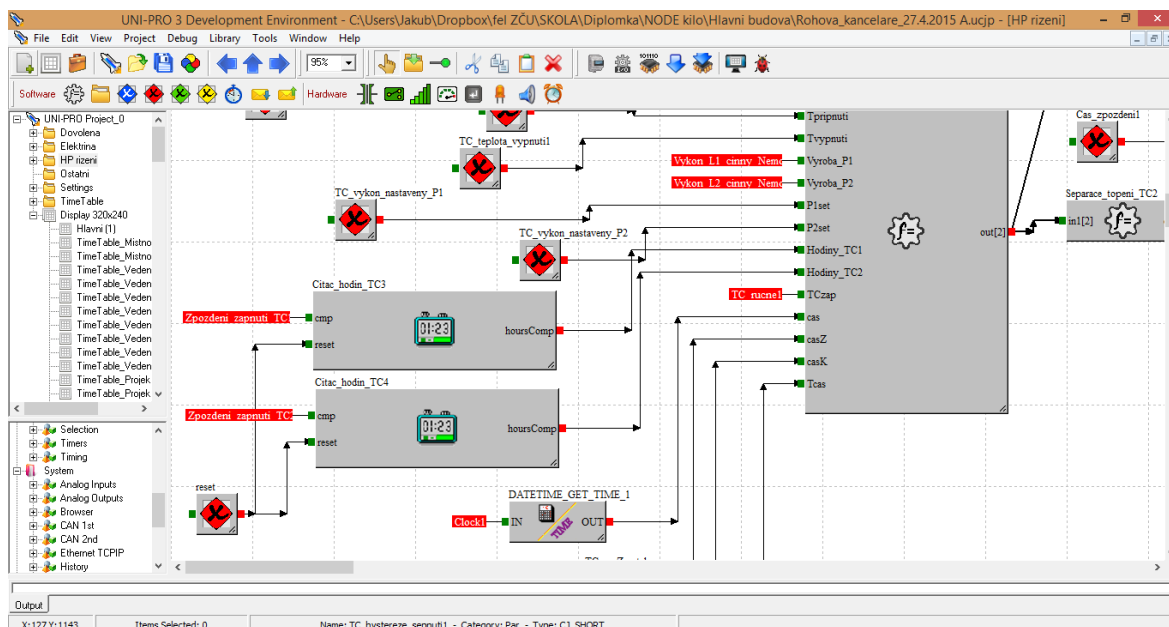
Obr. 2.2 Uživatelské rozhraní V-color [18]

2.2.4 Programovací prostředí UNI-PRO

UNI-PRO je programovací prostředí pro programovatelné kontroléry řady C-pro 3, které umožňuje vytváření a přizpůsobení komplexních projektů. Jedná se o uživatelsky velmi příjemné prostředí, které umožňuje využívat integrovaných knihoven. Knihovny jsou standardně rozděleny do několika sekcí (Application, Standard, System).

Sekce "Application" obsahuje předpřipravené moduly především pro oblast vytápění, ventilace a chlazení. Sekce "Standard" obsahuje základní funkce jako jsou logické členy, čítače, konvertory a další celou řadu užitečných funkcí. Sekce "System" obsahuje nastavení komunikace s dalšími přístroji komunikujícími po sběrnici CAN, MPBus, Modbus nebo Ethernet TCP/IP. Kromě výše uvedených knihoven je samozřejmě možné vytvářet si vlastní algoritmy a knihovny.

UNI-PRO obsahuje velice dobře zpracovanou anglickou nápovědu, která obsahuje opakování základních příkazů v programovacím jazyce C, popis jednotlivých funkčních bloků nacházejících se v příslušných knihovnách a popis hardware. Ukázka programovacího prostředí je uvedena na Obr. 2.3.



Obr. 2.3 Ukázka programovacího prostředí UNI-PRO3

Uživatel si v programu zvolí pro jaký kontrolér, expanzní modul a uživatelské rozhraní je program vytvářen. Přesný počet vstupů a výstupů se poté zobrazí v projektu a uživatel s nimi může dále pracovat. Pokud je v průběhu projektu nutné vyměnit kontrolér nebo přidat nějaké zařízení, v průvodci se tyto změny nastaví a počty vstupů a výstupů se změní. Poté je nutné znovu přiřadit jednotlivé vstupy a výstupy pro přidané nebo změněné zařízení. V programu UNI-PRO je možné vytvářet projekty pouze pro výrobky od společnosti EVCO.

Vytváření programu je rozděleno na dvě části. Nejprve se vytvoří vlastní algoritmus pomocí funkčních bloků. Přidají se potřebné vstupy, výstupy, proměnné, atd. Pro lepší přehlednost je možné v programu vytvořit složky a pod složky. To je výhodné zejména u větších projektů. Při vytváření vlastních algoritmů je vhodné využít program pro jeho kontrolu (AlgoSim). Tento program zkontroluje syntaxi a upozorní na případné chyby. Dále je možné provést kontrolu funkčnosti zadáním vstupů. Pokud uživatel takto neučiní, chybová hlášení se objeví až při kompilaci programu.

Další částí projektu je vytváření uživatelského rozhraní pomocí tzv. EIML stránek. Je na výběr z několika různých rozměrů displeje. Program nepřizpůsobuje automaticky rozměry dle nastaveného uživatelského rozhraní, proto je nutné zjistit rozměr displeje v technickém listu. Je-li program vytvořen pro menší display, je možné ho stáhnout do většího. Obraz bude mít ovšem rozměry menšího displeje. Kromě barevného displeje V-Color jsou EIML stránky uloženy přímo v paměti kontroléru a displej si z něj potřebná data stahuje přes sběrnici CAN. U V-Color by byl datový tok po sběrnici příliš velký a proto je EIML stránka uložena přímo v paměti V-Color.

Po vytvoření projektu se provede jeho kompilace. Pokud se neobjeví žádné chyby, je možné projekt stáhnout do kontroléru. Je-li v projektu použito uživatelské rozhraní V-Color, je nutné vybrat, zda se má program stáhnout do kontroléru nebo do displeje. Pokud uživatel vybere jiné zařízení, než je připojené přes USB k počítači, program tuto chybu ohlásí.

Velkou nevýhodou programu UNI-PRO je funkce debugger. Ten funguje pouze při stažení programu do kontroléru. Bez kontroléru tedy není možné program odladit.

I samotné stahování programu do PLC zabere poměrně dost času a proto by bylo vhodné, aby debugger fungoval samostatně.

Nejnovější verze UNI-PRO disponuje funkcí automatického generování webového serveru. Exportované entity jsou zobrazeny v předdefinované tabulce. Pro lepší přehlednost lze jednoduchým způsobem vytvářet složky přímo v programu UNI-PRO. Vygenerované soubory pro webový server jsou uloženy nejprve na disku počítače. Zde si může uživatel libovolně upravit jeho vzhled a funkce. Poté se soubory stáhnou do kontroléru prostřednictvím programu UNI-PRO. Ukázka webového serveru je na *Obr. 2.4*.

The screenshot shows the TRIBASE electric web interface. At the top left is the logo 'TRIBASE electric'. Below it is a 'Lock param' button. A navigation menu contains several tabs: NASTAVENI, KANCELAR, DILNA, ARCHIV, SATNA, VCHOD, SKLAD, DOVOLENA (highlighted), ELEKTRINA, and TC. Below the menu is a table with the following data:

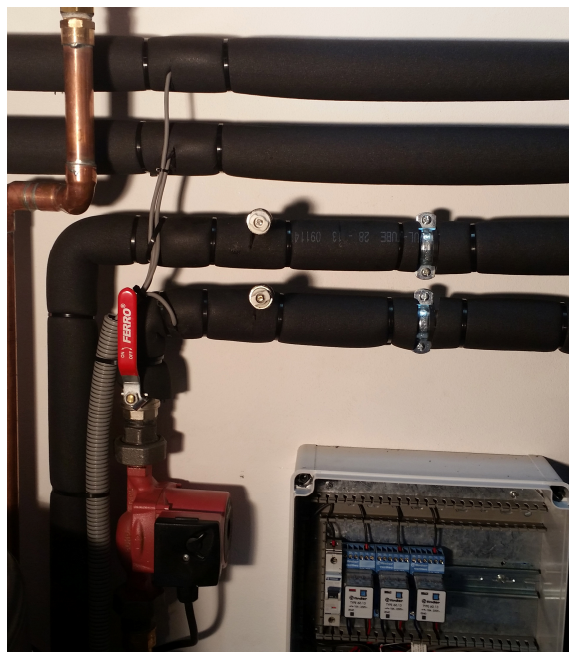
NAME	VALUE	MIN	MAX	DEF. VALUE
Zacatek dovolene	2000-01-01 T 00:00:00	0	2147483647	0
Konec dovolene	2000-01-01 T 00:00:00	0	2147483647	0
Teplota	10.0	50	450	50
Zapnout dovolenou	0	0	1	0

At the bottom left of the interface, there is a green 'Online' indicator.

Obr. 2.4 Ukázka zadávání hodnot přes webový server

2.3 Nejpoužívanější druhy teplotních čidel

Systém je koncipovaný tak, aby si uživatel mohl zvolit vhodný typ teplotního čidla pomocí uživatelského rozhraní. V provedeném systému jsou použity prostorová teplotní čidla PT 1000 (*Obr. 2.5*), venkovní teplotní čidla PT 1000. Teploty v akumulacích nádržích a v rozdělovačích jsou měřeny kabelovými čidly NTC a PT 1000 (*Obr. 2.6*). Níže jsou blíže popsány nejpoužívanější druhy teplotních čidel.

*Obr. 2.5 Prostorové teplotní čidlo PT 1000**Obr. 2.6 Kabelová teplotní čidla u nádrže*

2.3.1 NTC a PTC

NTC je termistor s negativním teplotním koeficientem, který výrazně mění svůj odpor i při relativně malé změně teploty. Ohřátím NTC termistoru dojde k poklesu odporu. Zpravidla jsou vyráběny jako slinuté oxidy kovů (např. kobalt, mangan nebo železo) s příslušným ohmickým odporem. PTC je naopak termistor s pozitivním teplotním koeficientem a jeho ohřátím dojde tedy k nárůstu odporu. Vzhledem ke svým vlastnostem a přijatelné ceně nacházejí tato čidla uplatnění v oblasti HVAC. [20,21]

2.3.2 PT 100

Jedná se odporový snímač teploty. Tento snímač je konstrukčně tvořen platinovým drátkem, který je navinut na keramické nebo skleněné těleso. Hodnota elektrického odporu snímače Pt 100 je 100Ω při teplotě $0 \text{ }^\circ\text{C}$. [20,21]

2.3.3 PT 1000

Jedná se o podobné konstrukční provedení jako v případě Pt 100. Hodnota elektrického odporu v tomto případě je však 1000Ω při teplotě $0 \text{ }^\circ\text{C}$. [20,21]

2.3.4 Ni 1000

V technické praxi je možné se setkat také s teplotním čidlem Ni1000. Jedná se opět odporové čidlo teploty, které má hodnotu při 0 °C 1000 Ω. Oproti platinovým čidlům má rychlejší odezvu na změnu teploty. [20,21]

2.3.5 Termočlánky

Termočlánek využívá principu termoelektrického jevu. Skládá se ze dvou kovů spojených do série. V místě styku dvou kovů dojde k vytvoření rozdílu elektrického potenciálu (napětí), které je přímo úměrné rozdílu teplot styku dvou kovů. Jednotlivé typy termočlánků jsou označovány písmeny. Nejpoužívanější dvojice kovů (vč. označení a teplotního rozsahu) jsou uvedeny v *Tab. 2.1*. [20,21]

Tab. 2.1 Teplotní rozsahy termočlánků [21]

Dvojice kovů	Označení	Rozsah teplot
Fe - konstantan	J	-200 – 600 °C
Cu - konstantan	T	-200 – 400 °C
PtRh - Pt	R	0 – 1300 °C

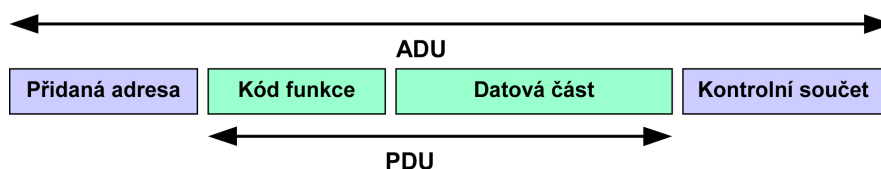
2.4 Měření elektrických veličin

Vybrané objekty jsou vytápěné pomocí tepelných čerpadel a TUV je ohřívána elektrickým topným tělesem v boilerech. Na střeše je instalovaná fotovoltaická elektrárna pracující v režimu zelený bonus. Z tohoto důvodu je měření elektrických veličin velice důležité zejména při snižování nákladů na vytápění. V návaznosti na přetoky do sítě se mohou jednotlivé tepelné zdroje spínat a tím optimalizovat celkovou spotřebu energie. Veškeré měřicí přístroje elektrických veličin jsou zakomponovány do SCADA systému MIDAs EVO komunikujícím po RS485 (ModbusS RTU). Z tohoto důvodu bylo možné propojit je s PLC a vyčítat potřebná data. Zobrazení a ukládání dat v PLC je pouze doplňkovou záležitostí. Primárně se o sběr a vyhodnocení dat stará SCADA systém. [6,19]

2.4.1 Protokol Modbus

Komunikační protokol ModBus byl vytvořen firmou MODICON v roce 1979. Umožňuje komunikaci na různých typech sběrnic a sítí. Nejrozšířenější komunikační média jsou sériové linky RS-232, RS-485 a síť ethernet využívající protokol TCP/IP. Na sběrnici může být ve stejný čas připojeno pouze jedno zařízení v režimu master a až 247 zařízení v režimu slave. Master odesílá žádosti do jednotlivých zařízení typu slave a ty mu na jeho dotaz odpovídají. Bez přijetí žádosti slave zařízení žádná data neposílá. Master zařízení může číst a zapisovat data do registrů ostatních zařízení připojených k lince. [19,20]

Na úrovni protokolu (PDU - Protocol Data Unit) je struktura zprávy Modbus definována nezávisle na typu komunikačního média. Tuto část tvoří kód funkce a datová část. V závislosti na typu média se PDU rozšíří o přidanou adresu a kontrolní součet. Všechny tyto části pak tvoří zprávu na aplikační úrovni (ADU - Application Data Unit). Základní tvar Modbus zprávy je znázorněn na obrázku Obr. 2.7. [19,20]



Obr. 2.7 Základní tvar Modbus zprávy [19]

Kód funkce udává jaký druh operace má slave zařízení provést. Rozsah tohoto kódu je 1 až 255. Kódy 128 až 255 jsou vyhrazeny pro oznámení chyby. Příklady základních kódů a jejich funkce jsou zobrazeny v tabulce Tab. 2.2. V našem projektu byl použit pouze funkční kód 0x03, který slouží ke čtení uchovávacího registru z měřících přístrojů. Obsahem datové části je například číslo registru a jejich počet, které mají být přečteny nebo zapsány. Tato část může obsahovat ještě další informace. [19,20]

Tab. 2.2 Základní funkční kódy protokolu Modbus [19]

0x01	Read Coil Status
0x02	Read Input Coil Status
0x03	Read Holding Register
0x04	Read Single Input Resister
0x05	Write Coil Status
0x06	Write Holding Register

Modbus používá reprezentaci dat ve tvaru "Big-endian". Při zprávě delší než 1 byte je nejdříve poslán nejvyšší byte a následně nižší. Tento formát je možné v nastavení některých měřících přístrojů od společnosti IME změnit. Je tedy nutné mít na všech přístrojích nastavenou tuto reprezentaci dat. [19]

2.4.2 Propojení měřících přístrojů a PLC

Programovatelný kontrolér C-pro 3 NODE kilo disponuje dvojicí kontaktů, které umožňující připojení do dvou sériových linek RS-485. V první lince může kontrolér pracovat v režimu master nebo slave. Pracovní režim se nastavuje v programovacím prostředí UNI-PRO. Ve druhé lince může být kontrolér pouze v režimu slave. Této funkce může být využito, pokud chceme zpracovaná data předávat dalšímu master zařízení. Kontrolér je také možné připojit k síti Ethernet prostřednictvím protokolu TCP/IP. Ve standardním nastavení je používán pro Modbus komunikaci port 502. Kontrolér může pracovat jak v režimu master, tak v režimu slave. V naší aplikaci je kontrolér připojen přes sériovou linku RS-485 v režimu master. [18]

Komunikace mezi kontrolérem a měřícími přístroji IME probíhá prostřednictvím výše zmíněné sériové linky RS-485 protokolu ModBus RTU. Díky tomu je možné načítat do kontroléru požadovaná data. V podkladech od výrobce je možné zjistit jednotlivé registry na které se má kontrolér ptát nebo které má přepisovat. [17,18]

Je velice důležité nastavit na všech zařízeních stejnou hodnotu modulační rychlosti (baud rate) a hodnotu parity. Pokud bude toto nastavení odlišné, komunikace nebude funkční. Tyto hodnoty se nastavují přímo na měřících zařízeních IME. Dále je nutné na těchto zařízeních nastavit jejich fyzickou adresu (node adress). Touto adresou se rozlišují jednotliví účastníci na lince. Adresa 0 se nezadáva, slouží jako broadcast. To znamená, že master posílá zprávu všem účastníkům na lince, ty si ji přečtou, ale žádný na tuto zprávu neodpovídá. Na zařízeních by se měly nastavovat adresy 1 až 247, které se nazývají unicast. Zařízení přijmou požadavek od master zařízení, zpracují ho a poté odešlou odpověď. Adresy 248 až 255 slouží jako rezerva. Master nemá žádnou fyzickou adresu. [19,20,17]

Na obrázku *Obr. 2.8* je znázorněn průběh komunikace mezi PLC a měřícími přístroji při vyčítání hodnot z registrů. Horní část představuje zprávu zasílanou kontrolérem. Zpráva

obsahuje fyzickou adresu, podle které slave zařízení pozná, že je pro něj zpráva určena. Na další pozici je přenášen funkční kód, který určuje jakou operaci má dané zařízení provést. Číslo registru od kterého se má daná operace provést určuje první registr, který je ve formátu Word a je rozdělen do dvou Bytů. Nejprve je přenášen MSB (Most Significant Byte) a poté LSB (Least Significant Bit) dle reprezentace datového tvaru "Big-endian". Stejným způsobem je přenášen i počet následujících registrů, které mají danou operaci provést. Na závěr zpráva obsahuje kontrolní součet CRC 16. [19,20,6,17]

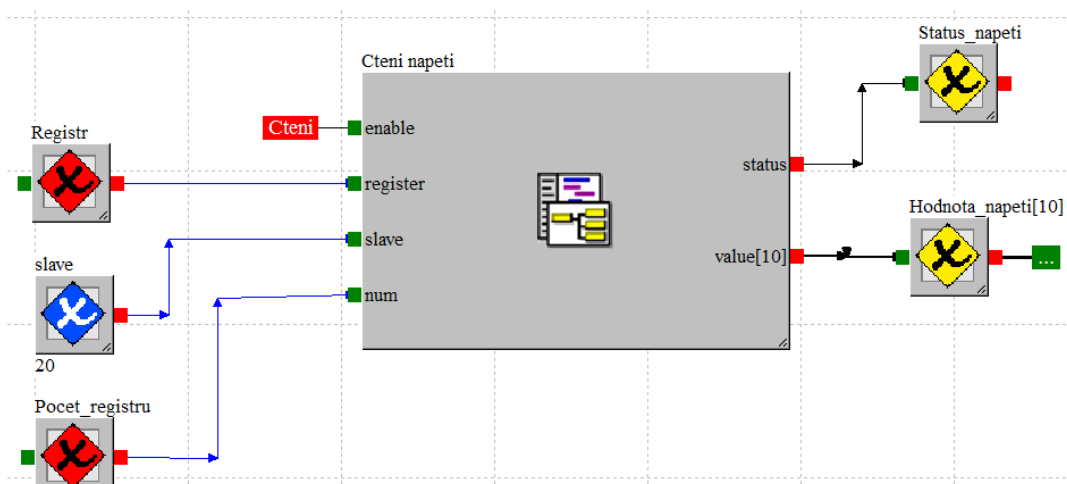
Zařízení provede danou operaci a zašle odpověď, která obsahuje fyzickou adresu, funkční kód a počet registrů, pro které byla zpráva určena. V další části jsou přenášeny stavy jednotlivých registrů. Zpráva je opět zakončena kontrolní součtem CRC 16. Tato odpověď je zobrazena ve spodní části obrázku (Obr. 2.8). [17,19,20]

BYTE	BYTE	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB	
Fyzická adresa	Funkční kód	První registr		Počet registrů		CRC 16		
BYTE	BYTE	BYTE	MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB
Fyzická adresa	Funkční kód	Počet registrů	Registr 1		Registr n.		CRC 16	

Obr. 2.8 Znáznornění komunikace mezi kontrolérem a měřícím přístrojem [20]

V programovacím prostředí UNI-PRO bylo využito funkčních bloků, které slouží k nastavení všech potřebných parametrů pro kontrolér c-pro3 kilo NODE. Funkční bloky jsou připraveny na datové typy Word. Většina hodnot vyčítaných z měřících zařízení je však ve formátu Long, který je rozdělen a zaslán prostřednictvím dvou registrů v datovém typu Word. Nejprve je posílán MSW (Most Significant Word) a poté LSW (Least Significant Word). Tento funkční blok, zajišťující převod mezi datovými typy, bylo zapotřebí do programu dopracovat. Hodnoty v registrech jsou rozloženy na jednotlivé Bity a poté složeny zpět do datového formátu Long. [6,17,20]

Jednotlivé měřící přístroje nabízejí různé množství veličin, které je možné zapsat a vyčíst z registrů. V našem projektu kontrolér žádné hodnoty do registrů nezapíše, pouze z nich čte. V příloze B jsou uvedeny vyčítané hodnoty z jednotlivých přístrojů včetně jejich jednotek a datového typu. Jsou zde uvedeny i fyzické adresy přístrojů. [6]



Obr. 2.9 Ukázka funkčního bloku pro vyčítání hodnot z měřících přístrojů

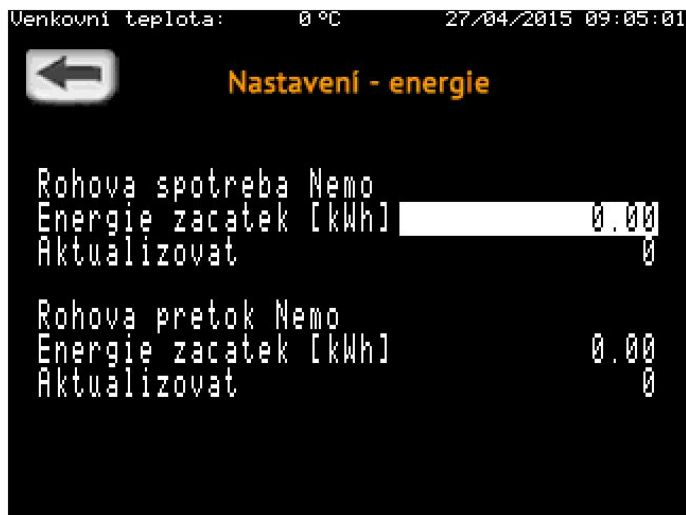
Na Obr. 2.9 je ukázka funkčního bloku sloužícího ke čtení deseti po sobě jdoucích registrů z měřícího přístroje. Funkční blok odesílá Modbus zprávu s funkčním kódem 0x03 (čtení uchovávacího registru). Funkční blok má 4 vstupy a dva výstupy. Vstup "register" slouží k zadání prvního registru, který má být z daného zařízení vyčítán. "Slave" představuje fyzickou adresu měřícího přístroje. "Num" představuje počet registrů, které mají být vyčítány. Tato hodnota může být v rozmezí 0 až 10. Pokud je na vstup "enable" přivedena hodnota 1, funkční blok odešle požadavek na sběrnici a čeká na odpověď. Pokud je komunikace v pořádku, na výstupu "value[10]" se objeví hodnoty jednotlivých registrů a výstup "status" nabude hodnoty 3 (komunikace proběhla úspěšně). Další možné stavy tohoto výstupu jsou popsány v Tab. 2.1. V našem případě se tento cyklus opakuje každou minutu pro všechny vyčítané hodnoty. Častější čtení hodnot není v tomto případě vhodné, protože by mohlo docházet ke kolizi se systémem sběru dat (SCADA).

Tab. 2.3 Možné stavy komunikace

0	Volno pro komunikace
1	Vložen komunikační požadavek
2	Probíhá komunikace
3	Komunikace proběhla úspěšně
4	Komunikace neproběhla úspěšně - např. vypršení času
5	Komunikace neproběhla úspěšně - požadavek ve frontě

Hodnoty třífázové činné energie jsou dále zpracovány pro výpočet denní, týdenní, měsíční a roční spotřeby elektrické energie. Dále se zaznamenává spotřeba sedm dní zpět. Stejným způsobem jsou údaje zpracované z přístrojů měřících výrobu FVE. Prostřednictvím uživatelského rozhraní je možné nastavit počáteční hodnotu činné energie

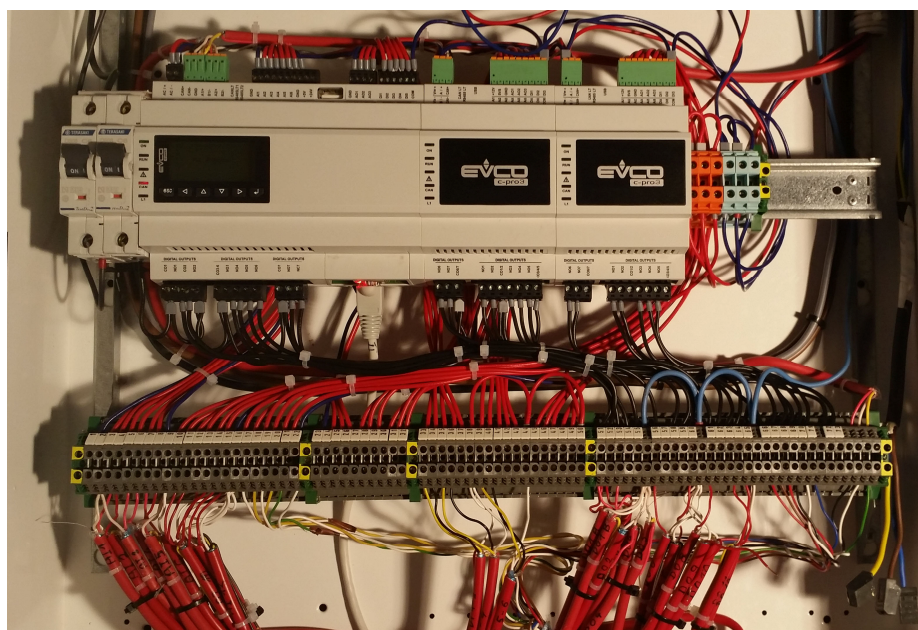
ze které má být výše zmíněný výpočet prováděn. Ukázka zadávání těchto hodnot pro multimetr Nemo 96 HD je na *Obr. 2.10*. Hodnoty napětí, proudů a výkonů se dále nezpracovávají. Všechny vyčítané hodnoty jsou zobrazeny na displeji V-Color.



Obr. 2.10 Ukázka nastavení počátečních hodnot energií pro Nemo 96 HD

2.5 Polyfunkční budova

Polyfunkční budova je umístěna v přední části areálu. Před čtyřmi lety prošla kompletní rekonstrukcí, při které byly vyměněny veškeré rozvody vody, topení a elektřiny. V přízemí se nachází obchod a dvě ordinace. Tyto prostory jsou pronajímány a mají vlastní podružné měření teplé a studené vody, tepla a elektřiny. Spotřeba je nájemcům účtována dle jejich spotřeby. Z tohoto důvodu byl pro tyto prostory ponechán stávající systém řízení teploty pomocí termostatických hlavic na radiátorech. V přízemí byl systém navržen pouze pro chodbu a toalety. První patro kompletně začleněno do řídicího systému. V prvním patře jsou umístěny prostory společnosti TRIBASE electric s.r.o., pro kterou byl systém regulace navrhován. Jedná se celkem o čtyři kanceláře a jednu zasedací místnost. Dále se zde nachází dvě pronajímané kanceláře a společné toalety.



Obr. 2.11 Zapojení přístrojů v rozvaděči polyfunkční budovy

Pro řídicí systém byl vybrán kontrolér C-pro 3 NODE kilo s LCD displejem. Pro zajištění potřebného počtu vstupů a výstupů byly použity dva expanzní moduly kilo. Zapojení těchto přístrojů ve vidět na Obr. 2.11. Jako uživatelské rozhraní byl zvolen displej V-Color. Kontrolér disponuje sice vlastním displejem, ale zadávání většího počtu hodnot je zde komplikované a nebylo by uživatelsky příjemné. Z tohoto důvodu byl systém rozšířen ještě o uživatelské rozhraní V-Color. Díky tomuto barevnému displeji bude zadávání hodnot a orientace v programu o hodně příjemnější. Kontrolér a expanzní moduly

jsou umístěny v rozvaděči na chodbě v prvním patře. Pro zvýšení přehlednosti jsou vývody zakončeny na svorkách a očíslovány. Bližší popis je uveden v příloze C. Schéma zapojení celého systému je v příloze D. Uživatelské rozhraní V-Color je instalováno vedle tohoto rozvaděče.

2.5.1 Řízení teploty v jednotlivých místnostech

System řízení teploty byl navržen pro všechny prostory v prvním patře a také pro chodbu a toalety v přízemí. Ve stávajícím systému byla teplota v místnostech řízena pomocí termostatických hlavic na radiátorech. Proto bylo nutné nainstalovat do každé místnosti prostorové teplotní čidlo (PT 1000) a radiátory osadit termopohony (*Obr. 2.12*).

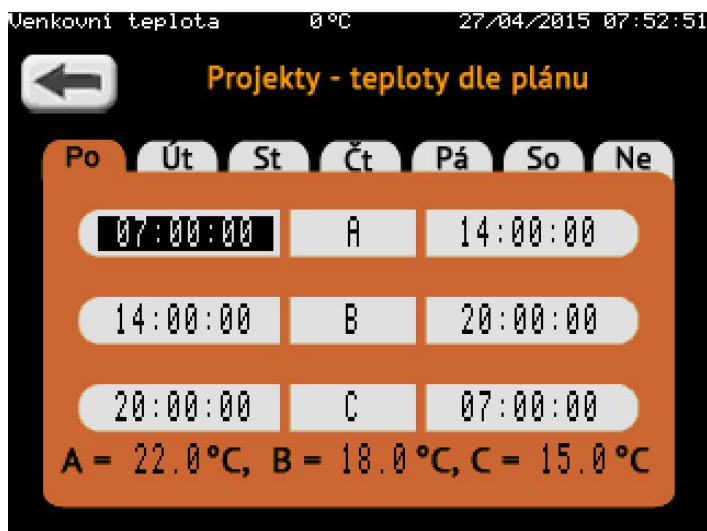


Obr. 2.12 Termopohon osazený na radiátoru

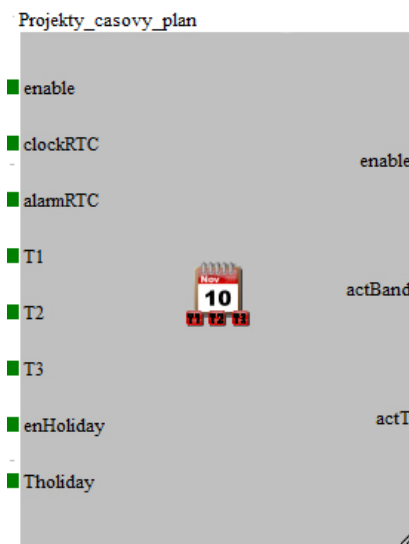
Teplota je v místnostech řízena pomocí časového plánu. Uživatel může nastavit na displeji V-Color teploty v jednotlivých místnostech v rámci časového plánu. Časový plán lze nastavit rozdílně pro jednotlivé dny v týdnu. Uživatel může využít až tři časové intervaly během jednoho dne. Teplota v místnosti může být řízena i ručně, vypnutím časového plánu a nastavením požadované teploty. Ukázka časového plánu v uživatelském rozhraní je na *Obr. 2.13*.

Další užitečnou funkcí je možnost nastavení teploty při dovolené, kdy uživatel nastaví požadovanou teplotu, začátek a konec dovolené. System se automaticky přepne do režimu dovolená a sníží teplotu v místnostech na požadovanou hodnotu. Po uplynutí dovolené se

teplota v místnostech řídí dle nastaveného časového plánu. Funkční blok časového plánu je znázorněn na *Obr. 2.14*. Pro požadovaný způsob regulace musel být funkční blok doplněn ještě o potřebné algoritmy umožňující ruční zadávání teploty.



Obr. 2.13 Nastavení časového plánu



Obr. 2.14 Funkční blok časového plánu

Pokud bude na vstup "enable" přivedena hodnota 1, dojde k aktivaci časového plánu. Na vstup "clockRTC" jsou přivedeny hodiny reálného času. Díky tomuto vstupu funkční blok pozná aktuální datum a čas. Pro zjištění správné funkčnosti hodin reálného času slouží "alarmRTC". Vstupy "T", "T2" a "T3" představují požadované teploty. Na levém obrázku jsou tyto hodnoty označeny A, B a C. Zbývající vstupy slouží k aktivaci programu dovolená "enHoliday" a k nastavení požadované teploty "Tholiday". Ukázka nastavení dovolené prostřednictvím uživatelského rozhraní je na *Obr. 2.15*.

Výstup "enable" představuje funkčnost časového plánu a je totožný se vstupem "enable". Aktuální časový plán (T1, T2, T3, dovolená) je vyveden výstupem "actBand". Díky výstupu "actT" je možné zjistit aktuálně nastavenou teplotu.



Obr. 2.15 Nastavení dovolené

Z dosavadního měření je patrná zvýšená spotřeba tepla ve společných prostorách (toalety a chodby) v porovnání s ostatními prostory. Vyšší spotřeba je zřejmě způsobena tím, že návštěvníci a pracovníci v objektu mají dlouhodobě otevřené okno na ventilaci společně se zapnutým topením. Z tohoto důvodu byly okna osazeny magnetickými kontakty, které detekují otevření a uzavření okna. Pokud je okno uzavřené, topení je v provozu. Pokud dojde k otevření okna, topení se automaticky vypne. Vypnuté zůstane až do té doby, než dojde k uzavření okna. Ochrana proti zámrazu je vyřešena tím, že pokud teplota při otevřeném okně poklesne pod stanovenou mez (2 °C), dojde k automatickému sepnutí vytápění. Pracovníci a návštěvníci budou poučeni o funkčnosti vytápění a bude jim vysvětlen správný způsob větrání v zimních měsících. Ten spočívá v úplném otevření okna po krátkou dobu, při kterém dojde k rychlé výměně vzduchu v místnosti. Vypínání topení v návaznosti na otevřené okno je realizováno také ve dvou pronajímaných kancelářích. Kanceláře jsou pronajímané včetně spotřeby elektrické energie a tepla. Díky tomuto opatření by mělo dojít ke snížení spotřeby tepla i v těchto prostorách.

Pro neoprávněnou manipulaci s řídicím systémem vyžaduje uživatelské rozhraní V-Color zadání hesla pro dané prostory. V současné době jsou používány 3 druhy hesel. První heslo dovoluje změnu teploty pouze ve dvou pronajímaných kancelářích. Druhé heslo slouží k nastavování teplot v prostorách společnosti TRIBASE electric s.r.o. a také k nastavování teploty ve společných prostorách (toalety a chodby). Třetí heslo je administrátorské a dovoluje přístup do nastavení celého systému.

2.5.2 Sběr dat z měřících přístrojů IME [6,7]

Nemo 96HD

Měření elektrických veličin celého areálu (administrativní budovy a haly) zajišťuje multimetr IME NEMO 96HD v provedení do panelu, který díky zásuvnému modulu disponuje komunikací RS-485 (Modbus RTU). Multimetr umožňuje měřit výkon ve čtyřech kvadrantech, což je důležité pro vyhodnocení toků elektrické energie a vyřešení celkové koncepce řízení kaskády dvou tepelných čerpadel umístěných na střeše administrativní budovy. Multimetr je zobrazen na *Obr. 2.16*. [6]



Obr. 2.16 Multimetr Nemo 96 HD [7]

Multimetr NEMO96HD bude umístěn vedle hlavního rozvaděče polyfunkčního objektu. Měřicí transformátory proudu s převodem 40/5 a třídou přesnosti 0,5s budou umístěny v elektroměrovém rozvaděči. Multimetr umožňuje vyčítání velkého množství parametrů. Pro náš projekt jsou však důležité jen některé a to zejména základní veličiny jako fázová napětí, proud, výkon na jednotlivých fázích a celkový třífázový výkon. Tyto hodnoty jsou nezbytné pro snižování přetoků výroby fotovoltaické elektrárny do distribuční soustavy. Z našeho pohledu jsou důležité i hodnoty spotřeby a výroby elektrické energie. Vybraná data z multimetru budou přenášena po sériové lince RS-485 Modbus RTU do C-pro 3 NODE kilo. Hodnoty jsou zobrazeny na displeji V-Color. Náhled způsobu zobrazení elektrických veličin je na *Obr. 2.17*. Zobrazení spotřebované elektrické

energie je na *Obr. 2.18*. Přesný popis vyčítaných hodnot, jejich jednotky a registry jsou uvedeny v příloze A.

	L1	L2	L3
U [V]	231.700	233.100	233.500
I [A]	1.296	3.104	2.368
P [W]	82.48	634.24	15.00
P 3f [W]	900.72		
Q 3f [Var]	622.24		

Obr. 2.17 Zobrazení elektrických veličin v areálu Rohova (Nemo 96 HD)

Energie celna	19462.84 kWh
Energie jalova	119.51 kVar
Energie za den	26.61 kWh
Energie za tyden	52.40 kWh
Energie za mesic	19462.84 kWh
Energie za rok	19462.84 kWh

Obr. 2.18 Zobrazení spotřebované energie v areálu Rohova (Nemo 96 HD)

Na základě okamžitých hodnot výkonů je možné ovládat také SSR, která by sloužila k regulaci výkonu topné spirály pro ohřev teplé vody. V současné době není tato funkce realizována. Dopracování algoritmu řízení SSR není složité. Jedná se prakticky o využití analogového výstupu PLC (0-10V DC nebo 4-20 mA). Způsob řízení závisí na použitém SSR.

Nemo D4-Dc

Fotovoltaická elektrárna na střeše polyfunkční budovy o výkonu 9,2 kWp pracuje v režimu přebytky do distribuční soustavy (zelený bonus). Fotovoltaická elektrárna je na stejnosměrné straně rozdělena do dvou symetrických řetězců (stringů). Na každém řetězci je umístěn stejnosměrný multimetr Nemo D4-Dc s děličem napětí, který umožňuje měřit všechny důležité stejnosměrné veličiny.

Stejnoseměrné multimetry byly instalovány z důvodu testování vlivu ochranné nanopolytury pro fotovoltaické panely. Multimetry Nemo D4-Dc disponují komunikačním rozhraním RS-485 prostřednictvím kterého jsou začleněny do měřicího systému SCADA. Tento systém se stará o přesné vyhodnocování naměřených veličin, které budou sloužit pro posuzování vlivu ochranné nano-polytury. Přes rozhraní RS-485 jsou měřicí přístroje připojené ke kontroléru C-pro 3 NODE kilo. Měřené veličiny (napětí, proud, výkon a

výroba) jsou zobrazeny na displeji V-Color (Obr. 2.19). Dále je zobrazena denní, týdenní, měsíční a roční výroba elektrické energie (Obr. 2.20). Je možné také zobrazit výrobu zpětné po sedm dní. Tyto hodnoty slouží jako informativní, pro přesné vyhodnocování bude použit SCADA systém.

Uenkovní teplota 12.5°C 28/04/2015 13:56:31

Elektrické veličiny - FVE kanceláře

	String 1	String 2
U [V]	589.90	586.20
I [A]	0.91	0.91
P [W]	536.81	533.44
E [kWh]	2.312	2.152

Obr. 2.19 Zobrazení elektrických veličin FVE na polyfunkční budově

Uenkovní teplota 12.5°C 28/04/2015 14:00:17

Výroba - FVE kanceláře

	String1	String2
E/den[kWh]	2.31	2.15
E/tyden[kWh]	17.53	17.21
E/mesic[kWh]	61.70	59.37
E/rok[kWh]	61.70	59.37

Obr. 2.20 Zobrazení vyrobené energie FVE na polyfunkční budově

2.5.3 Řízení tepelných čerpadel

V případě regulace použitých tepelných čerpadel existují prakticky tři možnosti. První možností by bylo vyřazení stávajících řídicích jednotek a vytvoření celkového vlastního řídicího systému pro tepelná čerpadla. Tato možnost se však vzhledem ke složitosti implementace a odzkoušení jeví jako nereálná.

Druhou možností by bylo propojení stávající řídicí jednotky tepelného čerpadla s nadřazenou řídicí jednotkou (PLC) přes nějaké komunikační rozhraní. Bohužel řídicí jednotky použitého tepelného čerpadla žádným takovýmto použitelným komunikačním rozhraním nedisponují, tzn. že tento způsob řízení tepelných čerpadel také použit v tomto případě nelze.

Třetí možností je použití vstupů pro HDO, kterými je prakticky každé tepelné čerpadlo vybaveno. Těmito vstupy je možné jednoduše zapínat a vypínat chod tepelného čerpadla. Kvůli optimalizaci chodu oběhového čerpadla je nutné přepojit jeho řízení na nadřazený

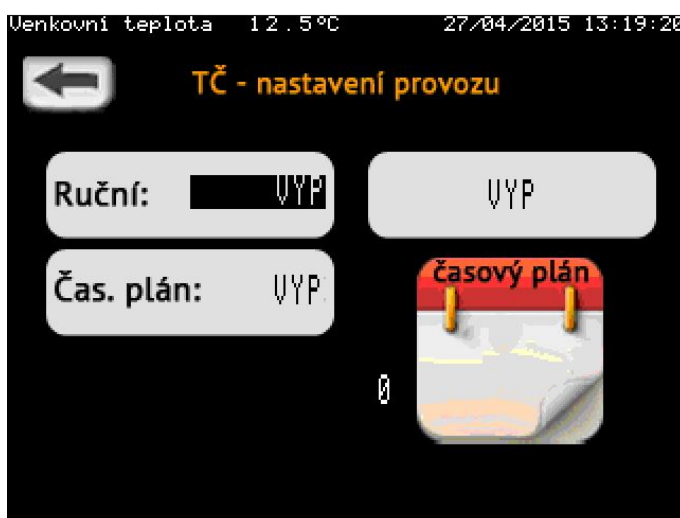
řídící systém. Pro moji aplikaci jsem zvolil tuto možnost regulace tepelných. Přesný způsob a ukázka funkčních bloků je popsána v následující části.

System spínání kaskády dvou tepelných čerpadel

Při optimalizaci chodu tepelných čerpadel bylo nutné vycházet ze stávajícího provozu objektu. Jak již bylo zmíněno na začátku diplomové práce, jedná se o dvě tepelná čerpadla, která nebyla dosud řízena nadřazeným kontrolním systémem.

Hlavním úkolem algoritmu je vytvořit způsob řízení tohoto topného systému jako celku s ohledem na vliv venkovní teploty a výroby fotovoltaické elektrárny pracující v režimu přebytky do distribuční soustavy. Zároveň je nezbytně nutné sledovat provozní hodiny tepelných čerpadel, tak aby se střídala a nedocházelo k nerovnoměrnému opotřebení jednotlivých konstrukčních částí (kompresory, oběhová čerpadla, atd.). Funkční blok pro řízení provozu tepelných čerpadel je znázorněn na *Obr. 2.23*.

Provozní doba tepelných čerpadel je řízena dle časového plánu, který může uživatel jednoduše měnit v nastavení systému. Nyní je provozní doba nastavena od 5:00 do 18:00. V nočních hodinách budou tepelná čerpadla vypnutá. V případě nutnosti je možné systém přepnout do manuálního režimu, ve kterém lze vypnout nebo zapnout provozní dobu TČ. Ukázka tohoto nastavení je na *Obr. 2.21*.



Obr. 2.21 Nastavení provozní doby tepelných čerpadel

Kaskádové řízení slouží k postupnému spínání tepelných čerpadel. V případě, že je venkovní teplota vyšší než parametr T1 (Tvypnutí) dojde k odstavení obou tepelných čerpadel vč. oběhových čerpadel zajišťujících vyplachování otopné vody mezi výměníkem tepelného čerpadla a akumulací nádrží. Dojde-li k poklesu venkovní teploty pod parametr T1, dojde k sepnutí jednoho tepelného čerpadla (v závislosti na množství provozních hodin). V případě, že dojde dalšímu poklesu teploty pod parametr T2 (Tpripnutí), dojde automaticky k připojení druhého tepelného čerpadla. Parametr T1 a T2 lze nastavit pomocí uživatelského rozhraní V-Color. Nyní je parametr T1 nastaven na 20 °C a parametr T2 na -5 °C. Nastavení parametru T2 vychází z výpočtu tepelných ztrát provedených v diplomové práci [26] a informace o dodatečném zateplení střešního pláště budovy. V případě, že nebude v reálném provozu některý parametr vyhovovat, dojde k jeho přenastavení tak, aby bylo dosaženo co nejlepší tepelné pohody uživatelů v objektu.

Vliv FVE

Díky vytvořenému algoritmu zajišťující komunikaci mezi multimetrem Nemo 96 HD umožňujícím čtyř-kvadrantové měření a PLC EVCO NODE kilo je možné objektivně sledovat přetok činného výkonu na jednotlivých fázích. Na základě přetoku činného výkonu dojde k připnutí tepelného čerpadla zapojeného do příslušné fáze. K připínání/přepínání tepelných čerpadel dochází tehdy, je-li splněna podmínka, že se venkovní teplota pohybuje mezi parametry T1 a T2, tj. má-li topit jen jedno tepelné čerpadlo. V současnosti jsou připínány tepelná čerpadla při přetoku činného výkonu do sítě o hodnotě 2 kW. Hodnotu lze měnit v programovacím prostředí UNI-PRO. Tabulka

Tab. 2.4 znázorňuje pravidla spínání jednotlivých tepelných čerpadel dle venkovní teploty (In1 a In2) a podle přetoků elektrické energie do distribuční soustavy (In3 a In4).

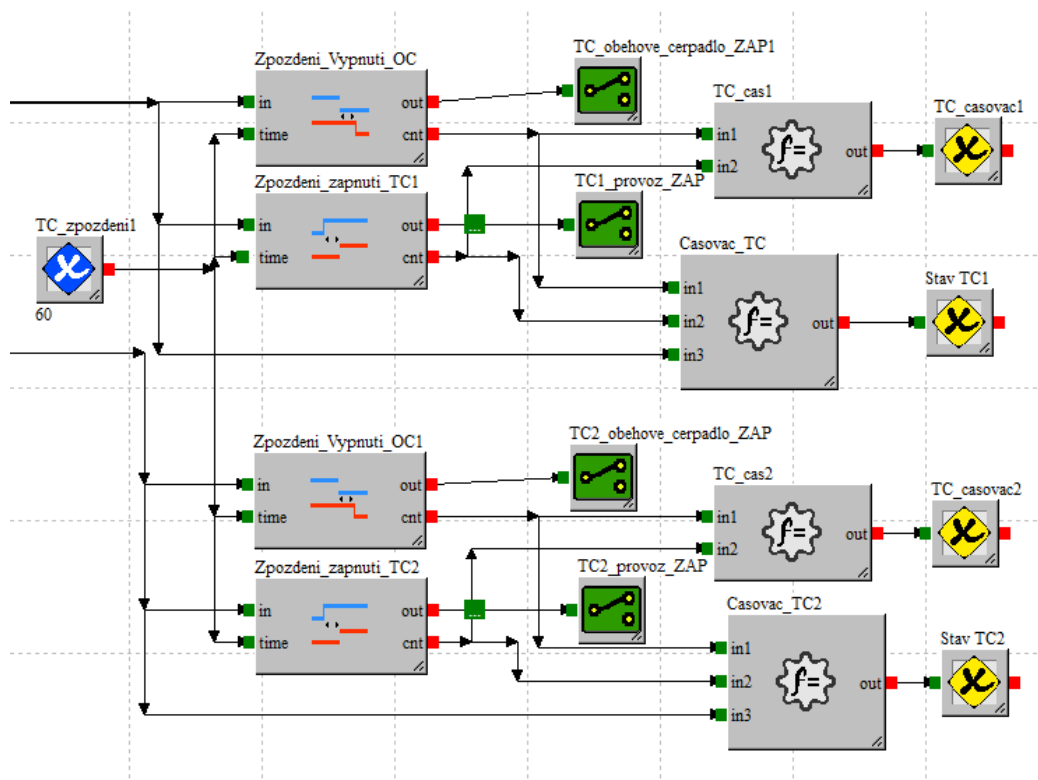
Rovnoměrné opotřebení komponentů tepelných čerpadel

K tomu, aby docházelo k rovnoměrnému opotřebení dílčích komponentů tepelných čerpadel, je nutné měřit dobu chodu jednotlivých čerpadel a na základě tohoto parametru jednotlivá tepelná čerpadla střídat. V současné době je tento parametr nastaven na 10 hodin. V případě potřeby je možné parametr upravit v servisním nastavení pomocí uživatelského rozhraní V-Color.

Vypínání oběhových čerpadel umístěných v hydromodulu TČ

Většina tepelných čerpadel konstrukčně rozdělených na venkovní jednotku a hydromodul (tzv. splitové provedení) disponuje integrovaným oběhovým čerpadlem umístěným v hydromodulu. Toto oběhové čerpadlo zajišťuje vyplachování topného média (vody) mezi výměníkem a akumulací nádobou nebo přímo otopnou soustavou (radiátory), není-li použita akumulací nádoba, která u invertorových tepelných čerpadel není nezbytně nutná. U instalovaných tepelných čerpadel je toto oběhové čerpadlo o maximálním výkonu 200 W permanentně v provozu a k jeho vypnutí dochází pouze při vypnutí celého systému tepelného čerpadla. To představuje značnou spotřebu elektrické energie. Z tohoto důvodu je v naší aplikaci chod oběhového čerpadla řízen.

Ukázka logiky spínání tepelných čerpadel je na *Obr. 2.22*. Tepelná čerpadla jsou k akumulací nádrži připojena paralelně. Proto je nutné řídit chod TČ a oběhového čerpadla pro každou větev odděleně. Pokud teplota v akumulací nádrži poklesne pod stanovenou mez, funkční blok pro řízení TČ (*Obr. 2.23*) rozhodne, které TČ bude spuštěno. Nejprve dojde k sepnutí oběhového čerpadla pro dané TČ. Po 60 sekundách dojde ke spuštění TČ pomocí kontaktu HDO. Po ohřátí nádrže na požadovanou teplotu se nejprve rozpojí kontakt HDO pro TČ a po 60 sekundách se vypne i oběhové čerpadlo. Časování je provedeno z důvodu, aby vlastní řídicí jednotka TČ nehlásila poruchu oběhového čerpadla při zapínání a vypínání. Dobu zpoždění je možné nastavit v programu UNI-PRO. Po několika testech systému byla zvolena hodnota 60 s.

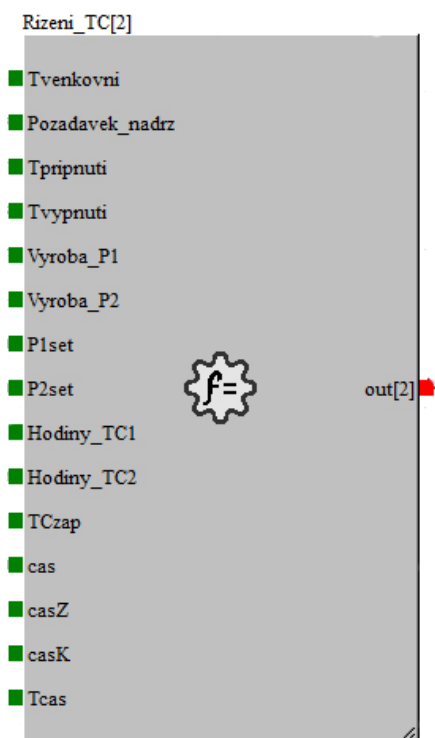


Obr. 2.22 Ukázka spínání tepelných čerpadel

Vzhledem k tomu, že systém řízení je instalován pouze v jednom patře administrativní budovy a ve spodním patře jsou systémem řízení opatřeny pouze společné prostory a toalety, tak by mohlo v ranních hodinách docházet k tepelným skokům při otevření mechanicky ovládaných termohlavic. Z tohoto důvodu bylo využito systému rychlého ohřátí akumulční nádoby mezi 6-7 hod. ranní dojde k sepnutí obou tepelných čerpadel a vytvoří se tak dostatečné množství otopné vody tak, aby se předešlo tomu, že systém nebude okamžitě schopen dodat potřebné množství tepla do otopné soustavy.

Funkční blok pro řízení tepelných čerpadel (Obr. 2.23) obsahuje vstup pro venkovní teplotu "Tvenkovni", která slouží k rozhodování o spínání jednotlivých čerpadel. Informace o tom, zda je teplota v nádrži nižší než požadovaná, je přivedena pomocí dalšího vstupu "Pozadavek_nadrz". Následující vstupy slouží k nastavení teploty připnutí dalšího TČ "Tpripnuti", nastavení teploty pro vypnutí tepelných čerpadel "Tvypnuti". Nastavené hodnoty přetoku výkonu do DS na fázi L1 "P1set" a fázi L2 "P2set" jsou porovnávány s velikostí výkonu dodávaného do DS na fázi L1 "Vyroba_P1" a fázi L2 "Vyroba_P2". Funkční blok obsahuje také vstupy pro měřené provozní hodiny "Hodiny_TC1" a "Hodiny_TC2". Informace o zapnutí nebo vypnutí tepelných čerpadel dle časového plánu

je přivedena vstupem "TCzap". Vstup "cas" slouží přivedení aktuálního času. Čas začátku rychlého ohřátí akumulární nádoby lze nastavit vstupem "casZ" a jeho konec vstupem "casK". Vstup "Tcas" slouží k nastavení teploty, na kterou se má akumulární nádoba ohřát.



Obr. 2.23 Funkční blok pro spínání TČ

Tab. 2.4 Pravidla spínání TČ

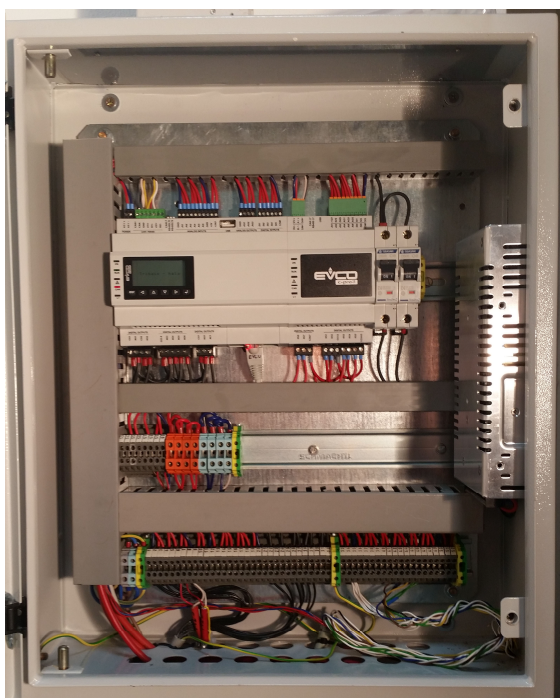
In1	In2	In3	In4	TČ1	TČ2
0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0
0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	1	1
0	1	0	1	1	1
0	1	1	1	1	1
1	0	0	0	S	S
1	0	0	1	0	1
1	0	1	0	1	0
1	0	1	1	1	1

Pravidla pro spínání tepelných čerpadel jsou zobrazeny v

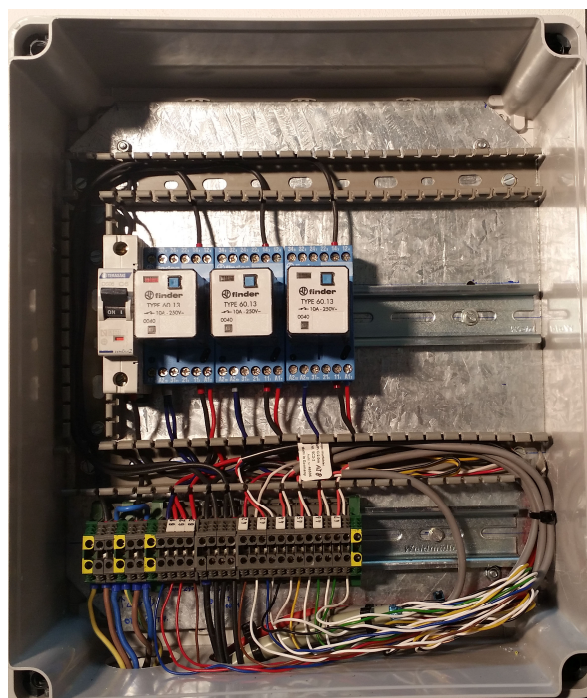
Tab. 2.4. In1 představuje požadavek na topení nad stanovenou teplotu "Tprpnuti" a In2 požadavek na topení pod stanovenou teplotou "Tvypnuti". In3 a In4 jsou stavy při kterých je výkon (na jednotlivých fázích) dodávaný do sítě větší než stanovená mez "P1set" a "P2set". Stav při kterém dochází ke střídání tepelných čerpadel v návaznosti na provozních hodinách je znázorněn červeně.

2.6 Skladová hala

Skladová hala se nachází v zadní části areálů. Před čtyřmi lety prošla kompletní rekonstrukcí při které byla rozdělena na několik částí. V současné době se zde nachází vchodová hala, kancelář, dílna, archiv, šatna se sociálním zařízením a sklad materiálu. Každá z těchto částí má samostatný topný okruh. Pro řízení celého systému jsem vybral kontrolér C-pro 3 NODE kilo s LCD displejem. Počet vstupních a výstupních kontaktů byl rozšířen pomocí expanzního modulu kilo. Pro zvýšení přehlednosti jsou vývody zakončeny na svorkách a očíslovány. Bližší popis je uveden v příloze C. Schéma zapojení celého systému je v příloze D. Zapojení rozvaděčů MaR pro skladovou halu je na *Obr. 2.24* a na *Obr. 2.25*. [17]



Obr. 2.24 Rozvaděč MaR skladová hala



Obr. 2.25 Pomocný MaR rozvaděč pro skladovou halu

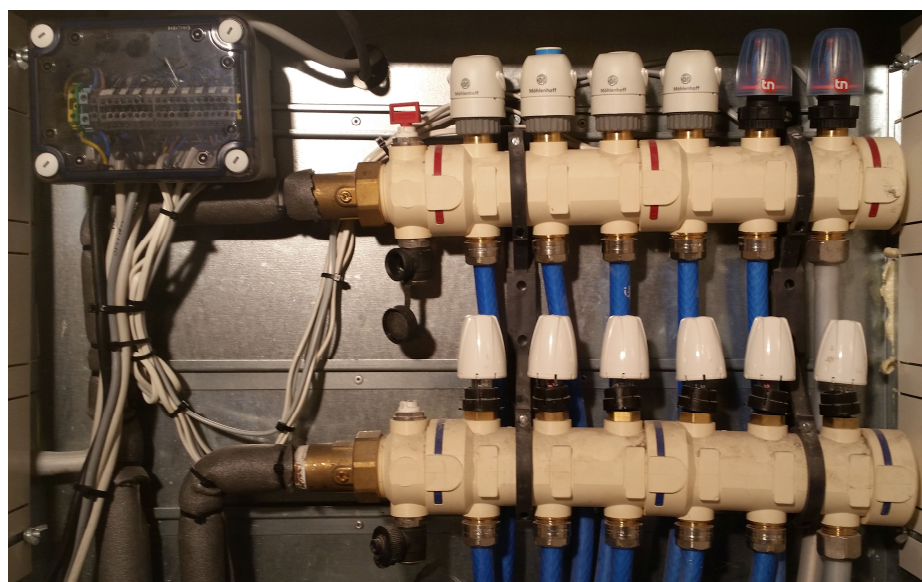
Jako uživatelské rozhraní byl i zde zvolen barevný displej V-Color. Ukázka hlavní stránky pro ovládání systému je na obrázku *Obr. 2.26*.



Obr. 2.26 Hlavní stránka pro skladovou halu

2.6.1 Řízení teploty v místnostech

Stávající systém řízení teploty ve skladové hale spočíval pouze v ručním otevírání a zavírání ventilů v rozdělovači. Instalace byla připravena pro termostaty v jednotlivých místnostech, ale nebyla dokončena. Z tohoto důvodu bylo nutné instalaci předělat a doplnit o prostorová čidla teploty (Pt1000). V rozdělovači byly osazeny termopohony ovládané z kontroléru digitálními výstupy 230 V (Obr. 2.27).



Obr. 2.27 Osazení rozdělovače termopohony

Systém řízení teploty v místnostech funguje obdobně jako v polyfunkční budově. Stejně je to i s uživatelským rozhraním. Bližší popis je a způsoby používání systému jsou

uvedeny v kapitole 2.5.1. Volba jednotlivých místností prostřednictvím displeje V-Color je znázorněna na Obr. 2.28.



Obr. 2.28 Volba místností ve skladové hale

2.6.2 Sběr dat z měřících přístrojů IME

Conto D4-Pd

K měření spotřeby skladové haly slouží elektroměr IME Conto D4-Pd s přímým měřením do 63 A disponující integrovaným rozhraním RS-485. Elektroměr je v provedení na DIN lištu a je instalován v hlavním rozvaděči pro skladovou halu. Hodnoty jsou vyčítány stejným způsobem, jako u měřících přístrojů v polyfunkční budově a jsou zobrazeny na displeji V-Color umístěném v dílně. Jednotlivé hodnoty jsou uvedeny v příloze B. Hodnoty slouží pouze jako informativní měření. Elektroměr je také připojen do měřicího SCADA systému.

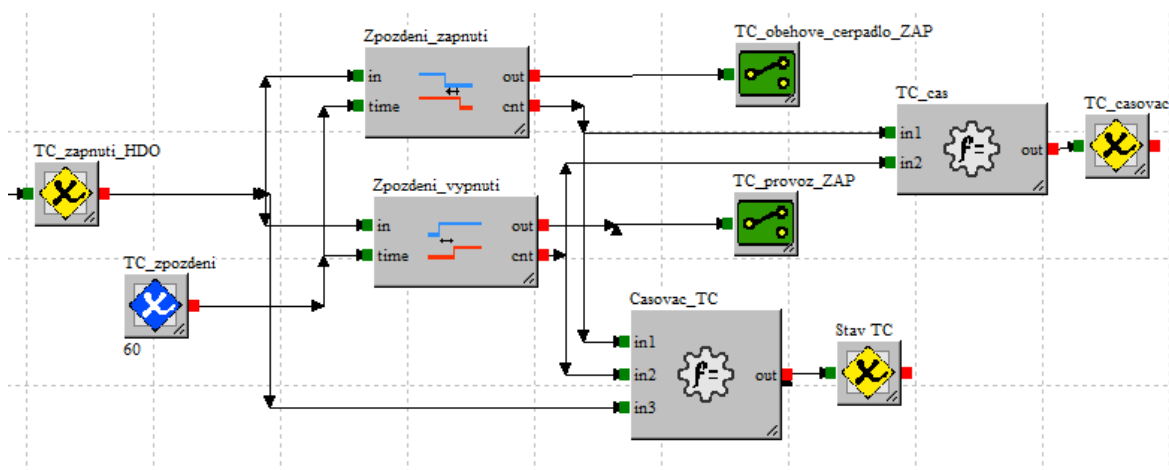
Nemo D4-L

Na objektu haly se nachází fotovoltaická elektrárna o výkonu 27 kWp pracující v režimu přímý prodej, která je opatřena multimetrem Nemo D4-L v provedení na DIN lištu v kombinaci s měřicími transformátory napětí 40/5 s třídou přesnosti 0,5. Výběr měřených elektrických veličin s komunikačními adresami je uveden v příloze B. Hodnoty slouží pouze jako informativní měření. Elektroměr je také připojen do měřicího SCADA systému.

2.6.3 Řízení tepelného čerpadla

Z důvodu snížení spotřeby elektrické energie na vytápění ve skladové hale, je i zde řízen chod tepelného čerpadla a jeho oběhového čerpadla dle časového plánu. Časový plán slouží k tomu, aby tepelné čerpadlo bylo v provozu jen v denních hodinách. V místnostech je instalované podlahové vytápění a akumulční nádrž o objemu 300 l. Díky akumulční schopnosti podlahového vytápění a akumulční nádrži nebude docházet k velkým tepelným výkyvům v jednotlivých místnostech. Tím bude v období topné sezóny větší část vyrobené elektrické energie z FVE (instalované na polyfunkční budově) spotřebována.

Časové plány na jednotlivé dny lze jednoduše nastavovat na uživatelském rozhraní V-Color. V případě nutnosti lze časový plán vypnout a řídit tepelné čerpadlo ručně. Pokud má být dle časového plánu TČ v provozu a zároveň je teplota na nádrži menší než stanovená mez, dojde k sepnutí oběhového čerpadla (instalovaného uvnitř TČ). Po 60 s dojde k přivedení signálu HDO na svorky TČ a tím dojde k jeho zpuštění. Po ohřátí nádrže na požadovanou teplotu se nejprve vypne TČ a po 60 s i oběhové čerpadlo. Ukázka funkčních bloků zajišťujících časovou prodlevu TČ a oběhového čerpadla je na Obr. 2.29. Pokud by nebyla časová prodleva splněna, řídicí jednotka tepelného čerpadla by hlásila poruchu.



Obr. 2.29 Ukázka funkčních bloků pro spínání TČ

Oběhové čerpadlo zajišťující proudění topné vody z topné nádrže do rozdělovače je zapnuto pouze, pokud je otevřen některý z termoventilů. Tím dochází ke snížení spotřeby elektrické energie a prodloužení životnosti oběhového čerpadla.

3 Kalkulace investičních nákladů a úspor

3.1 Polyfunkční budova

Cenová kalkulace vychází z prodejních cen materiálu. Podrobný rozpis a ceny použitých komponentů v projektu polyfunkční budovy jsou uvedeny v (Tab. 3.1). Celkové investiční náklady činí 47396 Kč bez DPH. Cenová kalkulace nezahrnuje cenu programování a montážních prací spojených s vlastní instalací.

Tab. 3.1 Cenový rozpočet - polyfunkční budova

POLYFUNKČNÍ BUDOVA				
	Název	Množství [ks]	Cena za jednotku bez DPH [Kč]	Cena celkem bez DPH [Kč]
Rozvaděč MaR	PLC EVCO NODE kilo	1	8016	8016
	Expanzní modul kilo	2	3811	7622
	Svorkovnice (PLC + exp. modul)	1	1316	1316
	Uživatelské rozhraní Vcolor	1	7199	7199
	Zdroj 24V DC (120W)	1	1480	1480
	Jištění	2	100	200
	Řadové svorky	89	8	712
	Vodiče CYA	1	150	150
	Pomocná rozvodnice	Relé 24 V DC - komplet	4	230
Skříň Gewis		1	350	350
Řadové svorky		16	8	128
Ostatní drobný materiál		1	100	100
Termoventily, čidla a kabeláže	Termoventil Eatec 230V AC	15	450	6750
	Prostorové teplotní čidlo Eatec PT1000	11	491	5401
	Venkovní teplotní čidlo Eatec PT1000	1	409	409
	Teplotní čidlo Eatec NTC	5	227	1135
	Rámeček + kryt Tango (vyvedení ventilu)	15	78	1170
	Svorka Wago 2x2,5	44	3,5	154
	Magnetický kontakt - komplet	6	90	540
	Kabel JY(S)TY 2x2x0,5	430	7,7	3311
	Kabel JY(S)TY 10x2x0,5	15	18,2	273
Celkové náklady na materiál		47336 Kč bez DPH		

Doba programování činila 185 hodin. Nicméně je nutné brát v patrnost to, že se jednalo o prakticky první instalaci založenou na PLC EVCO NODE kilo a řadu algoritmů bylo nutné vytvořit prakticky od nuly. Při dalších instalacích by doba programování byla výrazně kratší. Nemalou část programovací času zabralo také vytvoření správně fungujících algoritmů sloužících ke komunikaci mezi PLC a měřicími přístroji příslušných elektrických veličin.

Doba montáží činila 115 hod. Tato doba by se v případě jiných instalací také lišila, protože v našem případě docházelo k doinstalování systému do stávající budovy, která již prošla celkovou rekonstrukcí. Nicméně obrovskou výhodou byly snížené stropy a pod parapetní kanály, které umožnily prakticky bezproblémovou instalaci potřebných kabelů, čidel, termopohonů a ostatních potřebných komponentů systému.

3.2 Skladová hala

U položkového rozpočtu bylo opět vycházeno z prodejních cen jednotlivých komponentů (*Tab. 3.2*). Docházelo zde také k instalaci potřebných prvků do stávajícího systému. Celkový čas spojený s programováním systému byl výrazně nižší, protože bylo možné řadu algoritmů použitých u polyfunkční budovy pouze modifikovat. Zároveň zde nebylo nutné uvažovat kaskádové řízení tepelných čerpadel (instalováno pouze jedno TČ). Celková doba programování byla 95 hod. Doba vlastní montáže komponentů činila 85 hod.

Tab. 3.2 Cenový rozpočet - skladová hala

SKLADOVÁ HALA				
	Název	Množství [ks/m]	Cena za jednotku bez DPH [Kč]	Cena celkem bez DPH [Kč]
Rozvaděč MaR	PLC EVCO nodeKILO	1	8016	8016
	Expanzní modul Kilo	1	3811	3811
	Svorkovnice (PLC + exp. modul)	1	970	970
	Uživatelské rozhraní Vcolor	1	7199	7199
	Zdroj 24V DC (120W)	1	1480	1480
	Jištění	2	100	200
	Řadové svorky	60	8	480
	Vodiče CYA	1	120	120
	Skříň pro MaR	1	890	890
Pomocná rozdvojnice	Relé 24 V DC - komplet	3	230	690
	Skříň Sarel	1	320	320
	Řadové svorky	16	8	128
	Ostatní drobný materiál	1	100	100
Termoventily, čidla a kabeláže	Termoventil 230V AC	6	680	4080
	Prostorové teplotní čidlo Eatec PT1000	6	491	2946
	Venkovní teplotní čidlo Eatec PT1000	1	409	409
	Teplotní čidlo Eatec NTC	4	227	908
	Teplotní čidlo Eatec Pt1000	1	409	409
	Kabel JY(S)TY 2x2x0,5	30	7,7	231
	Kabel JY(S)TY 10x2x0,5	12	18,2	218,4
Celkové náklady na materiál		33605,4 Kč bez DPH		

Celkové úspory spojené s instalací systému jako celku nelze jednoduše spočítat. Reálné úspory bude možné vyhodnotit až po alespoň jednom kompletním ročním provozu a kompletním odladěním systému. Z tohoto důvodu byl proveden alespoň odhad provozních úspor, který je uveden v Tab. 3.3. Nicméně je nutné brát v potaz také zlepšení tepelné pohody a uživatelský komfort celého systému.

Tab. 3.3 Roční úspora vybraných opatření

Opatření	Roční úspora
Vypínání oběhových čerpadel TČ	3 410 Kč
Snížení spotřeby na vytápění	2 853 Kč
Vypínání oběhového čerpadla sklad	1 062 Kč
Snížení přetoku energie do DS	700 Kč
Celkem	8 025 Kč

Roční úspora vypínáním tří oběhových čerpadel v TČ byla vypočítána vynásobením výkonu oběhového čerpadla (175 W), časem vypnutí za den (11h), délkou topné sezóny (240 dní) [22], cenou za 1 kWh nízkého tarifu (2,44 Kč s DPH) a počtem TČ (3).

$$175 \times 11 \times 240 \times 2,44 \times 3 = 3\,381 \text{ Kč s DPH} \quad (3.1)$$

Náklady na vytápění společných prostor za minulou topnou sezónu činily 4280 Kč. Zde je odhadovaná úspora nákladů instalovanými okenními kontakty a řízením teploty dle časových plánů 30 % (1284 Kč). Roční náklady na vytápění prostor společnosti TRIBASE electric s.r.o. (včetně skladové haly) v roce 2014 činily 24 711 Kč. Zde je předpokládaná úspora 10 % (2 471Kč). Celkové odhadované úspory na vytápění jsou 3 755 Kč s DPH.

$$4\,280 \times 0,3 + 24\,711 \times 0,1 = 3\,755 \text{ Kč s DPH} \quad (3.2)$$

Roční úspora vypínáním oběhového čerpadla mezi akumulací nádrží a rozdělovačem je stanovena vynásobením výkonu oběhového čerpadla (150 W), počtem hodin vypnutí (12 h), délkou topné sezóny 240 dní a cenou za 1 kWh nízkého tarifu (2,44 Kč s DPH).

$$150 \times 12 \times 240 \times 2,44 = 1\,054 \text{ Kč s DPH} \quad (3.3)$$

Za minulý rok činily přetoky výroby elektřiny z FVE od října do dubna 1548 kWh. Díky lepšímu využití vyrobené elektřiny je odhadované snížení těchto přetoků 20 % (309,6 kWh).

$$309,6 \times 2,44 = 755 \text{ Kč s DPH} \quad (3.4)$$

4 Závěry pro praxi

Z cenové kalkulace je patrné, že celkové investiční náklady nejsou příliš vysoké v porovnání s ostatními systémy jako je např. KNX. Bohužel nelze s tímto systémem pracovat se všemi druhy datových sběrnic, jako je to například v systému od společnosti WAGO IO-750. Tato nevýhoda byla však vykoupena výrazně nižšími pořizovacími náklady. Například termoventily pracující po sběrnici jsou několikanásobně dražší než v případě použití termoventilu ovládaného napětím přes impulzní výstup. Naopak systém je instalačně trochu náročnější na prostor v rozvaděči, protože je nutné počítat s větším počtem kabelů svedených do rozvaděče MaR. V našem případě tento aspekt nehrál tak velkou roli, protože v polyfunkční budově bylo v rozvaděči MaR dostatek místa a nacházel se prakticky uprostřed objektu, tzn. že úspora vodičů v případě použití sběrnicevého systému by nebyla markantní. Co se týče skladové haly, bylo nezbytné nainstalovat rozvaděč MaR kompletně nový.

Z výše uvedeného hodnocení vyplývá, že navržený systém se hodí pro menší objekty, kde je potřeba kombinovat celou řadu funkcí. Další výhodou je, že společnost EVCO SpA poskytuje programovací software ke všem PLC zcela zdarma, což u ostatních systémů není pravidlem.

5 Závěr

V první části mé práce jsem provedl popis vybraných objektů. Jednalo se o areál v Domažlicích, který je tvořen skladovou halou a polyfunkční budovou. Zde jsem se zaměřil převážně na způsob vytápění pomocí tepelných čerpadel a instalované fotovoltaické elektrárny.

Další část diplomové práce se zabývá praktickým návrhem zlepšení otopné soustavy a její realizací. Jako nadřazený řídicí systém jsem pro obě aplikace zvolil systém od společnosti EVCO. Tento systém tvoří kontrolér C-pro 3 NODE kilo, expanzní modul kilo a uživatelské rozhraní V-Color. Jeho výhodou je možnost propojení pomocí sériové linky Modbus RS-485 s již instalovanými měřicími přístroji od společnosti IME. Dále možnost libovolného vytváření funkčních bloků a příznivá pořizovací cena. Programování kontroléru a uživatelského rozhraní bylo prováděno pomocí programu UNI-PRO. Uživatel může měnit potřebné hodnoty na displeji V-Color nebo prostřednictvím webového serveru.

Instalovaný systém výrazně zvýšil uživatelský komfort a díky provedeným úsporným opatřením přispěl ke snížení dopadů neustálého růstu cen energií. Celkové náklady na instalaci v polyfunkční budově činily 47 336 Kč a ve skladové hale 33 605 Kč. Cena je bez DPH a nezahrnuje instalační práce a programování. Roční odhadované úspory jsou 8025 Kč s DPH. Přesnou hodnotu úspor bude možné stanovit nejdříve po jednom roce provozu.

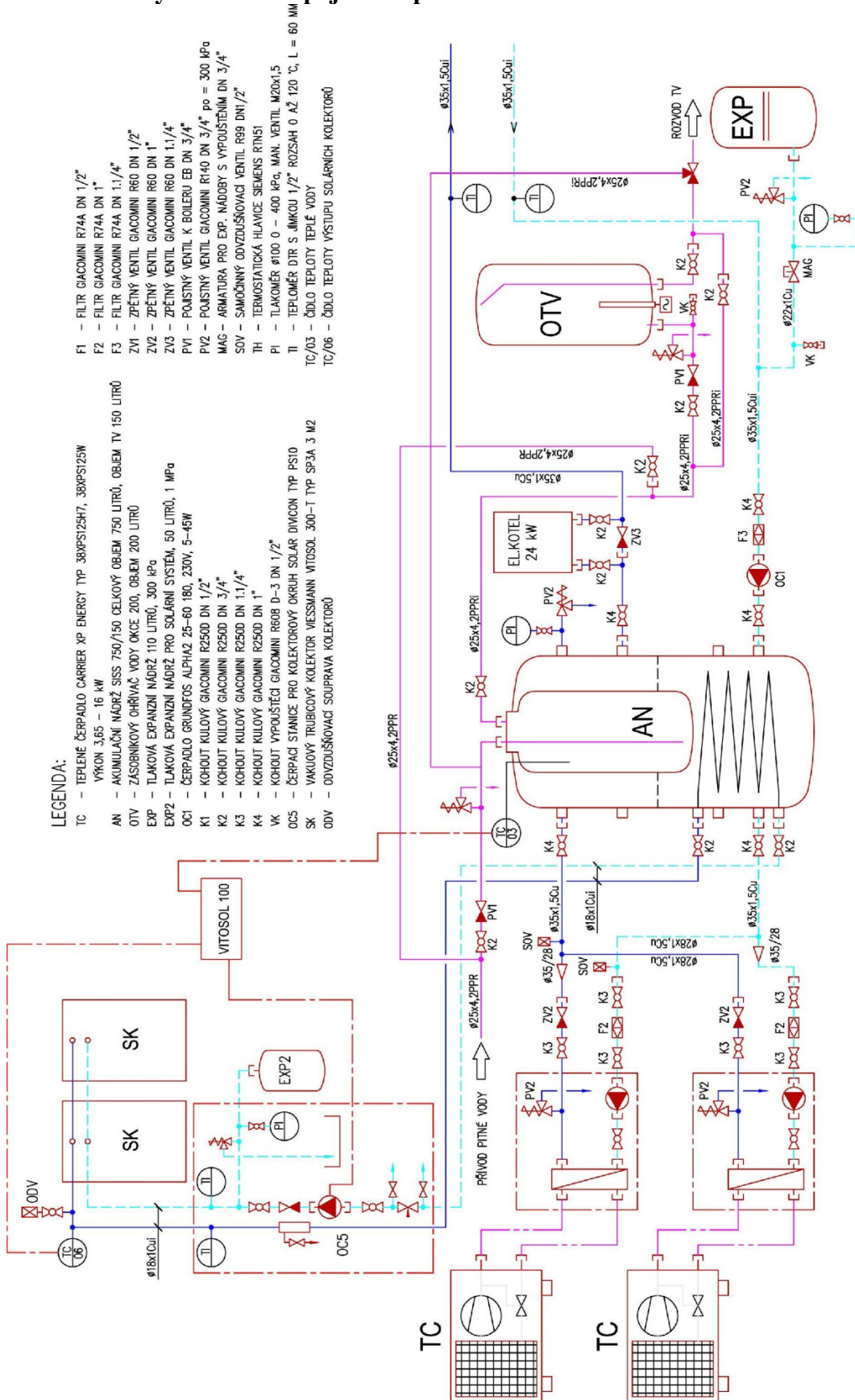
6 Seznam literatury

- [1] SERVIS CARRIER Plzeň: Tepelná čerpadla. *SERVIS CARRIER Plzeň: Tepelná čerpadla* [online]. 2014 [cit. 2015-04-1]. Dostupné z: <http://www.carrierpm.cz>
- [2] KKH Brno: Solární ohřívače vody. *Zelená úsporám: Vyhledávání v seznamu výrobků a technologií* [online]. 2009 [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: http://registrace.zelenausporam.cz/gallery/28033-siss_kat.pdf
- [3] GRUNDFOS ALPHA2: Montážní návod. *KTO international* [online]. 2014 [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: http://www.kto.cz/picture/pdf/grundfos_alpha2_navod.pdf
- [4] Product Portfolio. *ET SOLAR* [online]. 2014 [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: http://www.etsolar.com/PV_components-product-portfolio.asp
- [5] Power one Aurora. *Inelsolar* [online]. 2015 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.inelsolar.com.mk/inel/index.php/en/products-2/solar-inverters/item/27-power-one-aurora-pvi-10-kwp>
- [6] Technical documentation. *IME Istrumenti Misure Elettriche SpA* [online]. 2012 [cit. 2015-04-01]. Dostupné z: <http://www.imeitaly.com/uk/uk15.asp?Famiglia=&CodiceNT=&CodiceArticolo=M F96001&Submit=Search&Invio=Invio>
- [7] *TRIBASE electric s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2015-04-02]. Dostupné z: <http://www.tribaseelectric.cz>
- [8] KUNC, Josef. *Komfortní a úsporná elektroinstalace*. 1. vyd. Brno: ERA, 2002, 120 s. Stavíme. ISBN 80-865-1714-4.
- [9] KUNC, Josef. *Rekonstrukce elektroinstalace*. 1. vyd. Praha: Grada, 2013, 102 s. Profi. ISBN 978-80-247-4789-7.
- [10] EATON. *XComfort: Inteligentní elektroinstalace* [online]. 2012 [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: <http://www.xcomfort.cz/>
- [11] XComfort. EATON. *Eaton Elektrotechnika s.r.o.: Kompletní řešení pro průmyslovou a domovní elektroinstalaci* [online]. 2011 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: http://www.eatonelektrotechnika.cz/produkty-domovni_instalace-system_xcomfort-nikobus#a27
- [12] Ego-n: Inteligentní elektroinstalace. *ABB. ABB: Informační portál o domovní elektroinstalaci* [online]. 2006 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://www117.abb.com/index.asp?thema=10214>
- [13] *HAIDY: Chytré a úsporné bydlení* [online]. 2014 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://haidy.cz>
- [14] KNX. *KNX Association* [online]. 2012 [cit. 2015-04-09]. Dostupné z: <http://knx.org/knx-en/index.php>
- [15] *Automatizace: Elektronika v automatizaci* [online]. 2014 [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/>
- [16] LonWorks: FAQs. *TRIDIUM* [online]. 2015 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://tridieurope.com/117>
- [17] Programmable controllers. *EVCO: Every Control Group* [online]. 2014 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: <http://www.evco.it/en/15691-programmable-controllers>
- [18] Modbus Specifications and Implementation Guides. *The Modbus Organization* [online]. 2005 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: http://modbus.org/docs/Modbus_Application_Protocol_V1_1b3.pdf
- [19] *Simply Modbus* [online]. 2007 [cit. 2015-04-30]. Dostupné z: <http://www.simplymodbus.ca/faq.htm>
- [20] KREIDL, Marcel. *Měření teploty: senzory a měřicí obvody*. 1. vyd. Praha: BEN -

- technická literatura, 2005, 239 s. Senzory neelektrických veličin. ISBN 80-730-0145-4.
- [21] Sensors. EATEC. *Eatec* [online]. 2014 [cit. 2015-04-11]. Dostupné z: <http://www.eatec.it/en/products/sensors.html>
- [22] Topná sezóna. ČEZ. *Skupina ČEZ* [online]. 2012 [cit. 2015-04-16]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/pro-media/aktuality-z-jadernych-elektren/10867.html>
- [23] ŠMEJKAL, Ladislav a Marie MARTINÁSKOVÁ. *PLC a automatizace*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 1999, 223 s. ISBN 80-860-5658-9.
- [24] ŠMEJKAL, Ladislav. *PLC a automatizace*. 1. vyd. Praha: BEN - technická literatura, 2005, 207 s. ISBN 80-730-0087-3.
- [25] JIŘINEC, Jakub. *Otopné systémy s inteligentní regulací teploty*. Plzeň, 2013. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [26] JIŘINEC, Stanislav. *Návrh tepelného čerpadla a solárních termických kolektorů pro vytápění a ohřev TUV*. Plzeň, 2011. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni.

7 Přílohy

Příloha A - Hydraulické zapojení čerpadel



Příloha B - Použité proměnné komunikačního protokolu Modbus**Použité proměnné komunikačního protokolu Modbus**

Umístění	NOD	Zařízení	Registr	Dat. typ	Popis	Jednotka
Hala	20	Conto D4-Pd	4097	Long	Fáze 1: fázové napětí	mV
Hala	20	Conto D4-Pd	4099	Long	Fáze 2: fázové napětí	mV
Hala	20	Conto D4-Pd	4101	Long	Fáze 3: fázové napětí	mV
Hala	20	Conto D4-Pd	4103	Long	Fáze 1: proud	mA
Hala	20	Conto D4-Pd	4105	Long	Fáze 2: proud	mA
Hala	20	Conto D4-Pd	4107	Long	Fáze 3: proud	mA
Hala	20	Conto D4-Pd	4117	Long	Třífázový činný výkon	W/100
Hala	20	Conto D4-Pd	4119	Long	Třífázový jalový výkon	Var/100
Hala	20	Conto D4-Pd	4125	Long	Třífázová činná energie	kWh/100
Hala	20	Conto D4-Pd	4127	Long	Třífázová jalové energie	kVarh/100
Hala	20	Conto D4-Pd	4141	Long	Fáze 1: činný výkon	W/100
Hala	20	Conto D4-Pd	4143	Long	Fáze 2: činný výkon	W/100
Hala	20	Conto D4-Pd	4145	Long	Fáze 3: činný výkon	W/100
FVE hala	21	Nemo D4-L	770	Long	Fáze 1: fázové napětí	mV
FVE hala	21	Nemo D4-L	774	Long	Fáze 2: fázové napětí	mV
FVE hala	21	Nemo D4-L	778	Long	Fáze 3: fázové napětí	mV
FVE hala	21	Nemo D4-L	782	Long	Fáze 1: proud	mA
FVE hala	21	Nemo D4-L	786	Long	Fáze 2: proud	mA
FVE hala	21	Nemo D4-L	790	Long	Fáze 3: proud	mA
FVE hala	21	Nemo D4-L	794	Long	Třífázový činný výkon	W/100
FVE hala	21	Nemo D4-L	798	Long	Třífázový jalový výkon	Var/100
FVE hala	21	Nemo D4-L	806	Long	Třífázová činná energie	kWh/100
FVE hala	21	Nemo D4-L	836	Long	Třífázová jalové energie	kVarh/100
FVE hala	21	Nemo D4-L	862	Long	Fáze 1: činný výkon	W/100
FVE hala	21	Nemo D4-L	866	Long	Fáze 2: činný výkon	W/100
FVE hala	21	Nemo D4-L	870	Long	Fáze 3: činný výkon	W/100

Použité proměnné komunikačního protokolu Modbus

Umístění	NOD	Zařízení	Registr	Dat. typ	Popis	Jednotka
Rohova	10	Nemo 96HD	4097	Long	Fáze 1: fázové napětí	mV
Rohova	10	Nemo 96HD	4099	Long	Fáze 2: fázové napětí	mV
Rohova	10	Nemo 96HD	4101	Long	Fáze 3: fázové napětí	mV
Rohova	10	Nemo 96HD	4103	Long	Fáze 1: proud	mA
Rohova	10	Nemo 96HD	4105	Long	Fáze 2: proud	mA
Rohova	10	Nemo 96HD	4107	Long	Fáze 3: proud	mA
Rohova	10	Nemo 96HD	4117	Long	Třífázový činný výkon	W/100
Rohova	10	Nemo 96HD	4119	Long	Třífázový jalový výkon	Var/100
Rohova	10	Nemo 96HD	4123	Word	Znaménko 3f činného výkonu	0(+),1(-)
Rohova	10	Nemo 96HD	4124	Word	Znaménko 3f jalového výkonu	0(+),1(-)
Rohova	10	Nemo 96HD	4125	Long	Třífázová kladná činná energie	kWh/100
Rohova	10	Nemo 96HD	4127	Long	Třífázová kladná jalové energie	kVarh/100
Rohova	10	Nemo 96HD	4129	Long	Třífázová záporná činná energie	kWh/100
Rohova	10	Nemo 96HD	4141	Long	Fáze 1: činný výkon	W/100
Rohova	10	Nemo 96HD	4143	Long	Fáze 2: činný výkon	W/100
Rohova	10	Nemo 96HD	4145	Long	Fáze 3: činný výkon	W/100
Rohova	10	Nemo 96HD	4147	Word	Fáze 1: znaménko činného výkonu	0(+),1(-)
Rohova	10	Nemo 96HD	4148	Word	Fáze 2: znaménko činného výkonu	0(+),1(-)
Rohova	10	Nemo 96HD	4149	Word	Fáze 3: znaménko činného výkonu	0(+),1(-)
FVE S1	12	Nemo D4 DC	4097	Long	Napětí	mV
FVE S1	12	Nemo D4 DC	4099	Long	Proud	mA
FVE S1	12	Nemo D4 DC	4101	Long	Výkon	W/100
FVE S1	12	Nemo D4 DC	4103	Long	Kladná energie	Wh
FVE S2	13	Nemo D4 DC	4097	Long	Napětí	mV
FVE S2	13	Nemo D4 DC	4099	Long	Proud	mA
FVE S2	13	Nemo D4 DC	4101	Long	Výkon	W/100
FVE S2	13	Nemo D4 DC	4103	Long	Kladná energie	Wh

Příloha C - Použité proměnné komunikačního protokolu Modbus**Přehled použitých kontaktů - polyfunkční budova**

Zařízení	Kontakt	Projekt	Svorka	Přiřazení	Popis
NODE	GND		1	Zem AI1-AI3	
NODE	AI1	AI1	2	Vedení	čidlo teploty PT1000
NODE	AI2	AI2	3	Projekty	čidlo teploty PT1000
NODE	AI3	AI3	4	Obchod	čidlo teploty PT1000
NODE	AI4	AI4	5	Ekopor I	čidlo teploty PT1000
NODE	AI5	AI5	6	Ekopor II	čidlo teploty PT1000
NODE	AI6	AI6	7	Zasedačka	čidlo teploty PT1000
NODE	GND		8	Zem AI4-AI6	
EXP1	AI1	AI7	9	Kancelář II	čidlo teploty PT1000
EXP1	AI2	AI8	10	WC II	čidlo teploty PT1000
EXP1	AI3	AI9	11	WC I	čidlo teploty PT1000
EXP1	AI4	AI10	12	WC Axel	čidlo teploty PT1000
EXP1	AI5	AI11	13	Chodba	čidlo teploty PT1000
EXP1	AI6	AI12	14	Venkovní teplota	čidlo teploty PT1000
EXP1	GND		15	Zem AI1-AI6, DO1-DO3	
EXP2	AI1	AI13	16	TČ vstup	čidlo teploty NTC
EXP3	AI2	AI14	17	TČ výstup	čidlo teploty NTC
EXP4	AI3	AI15	18	Rozdělovač vstup	čidlo teploty NTC
EXP5	AI4	AI16	19	Rozdělovač výstup	čidlo teploty NTC
EXP6	AI5	AI17	20	Nádrž	čidlo teploty NTC
EXP7	AI6	AI18	21		
EXP8	GND		22	Zem AI1-AI6, DO1-DO3	
NODE	GND		23	Zem AO1-AO3	
NODE	AO1	AO1	24		
NODE	AO2	AO2	25		
NODE	AO3	AO3	26		
EXP1	AO1	AO4	27		
EXP1	AO2	AO5	28		
EXP1	AO3	AO6	29		
EXP2	AO1	AO7	30		
EXP2	AO2	AO8	31		
EXP2	AO3	AO9	32		
NODE	DI1	DI1	33	Ekopor I	kontakt okno
NODE	DI2	DI2	34	Ekopor II	kontakt okno
NODE	DI3	DI3	35	WC páni	kontakt okno
NODE	DI4	DI4	36	WC dámy	kontakt okno
NODE	DI5	DI5	37	WC Dokrotka	kontakt okno
NODE	COM		38		
EXP I	DI1	DI6	39	Úklidová místnost	kontakt okno
EXP I	DI2	DI7	40		
EXP I	DI3	DI8	41		
EXP I	DI4	DI9	42		

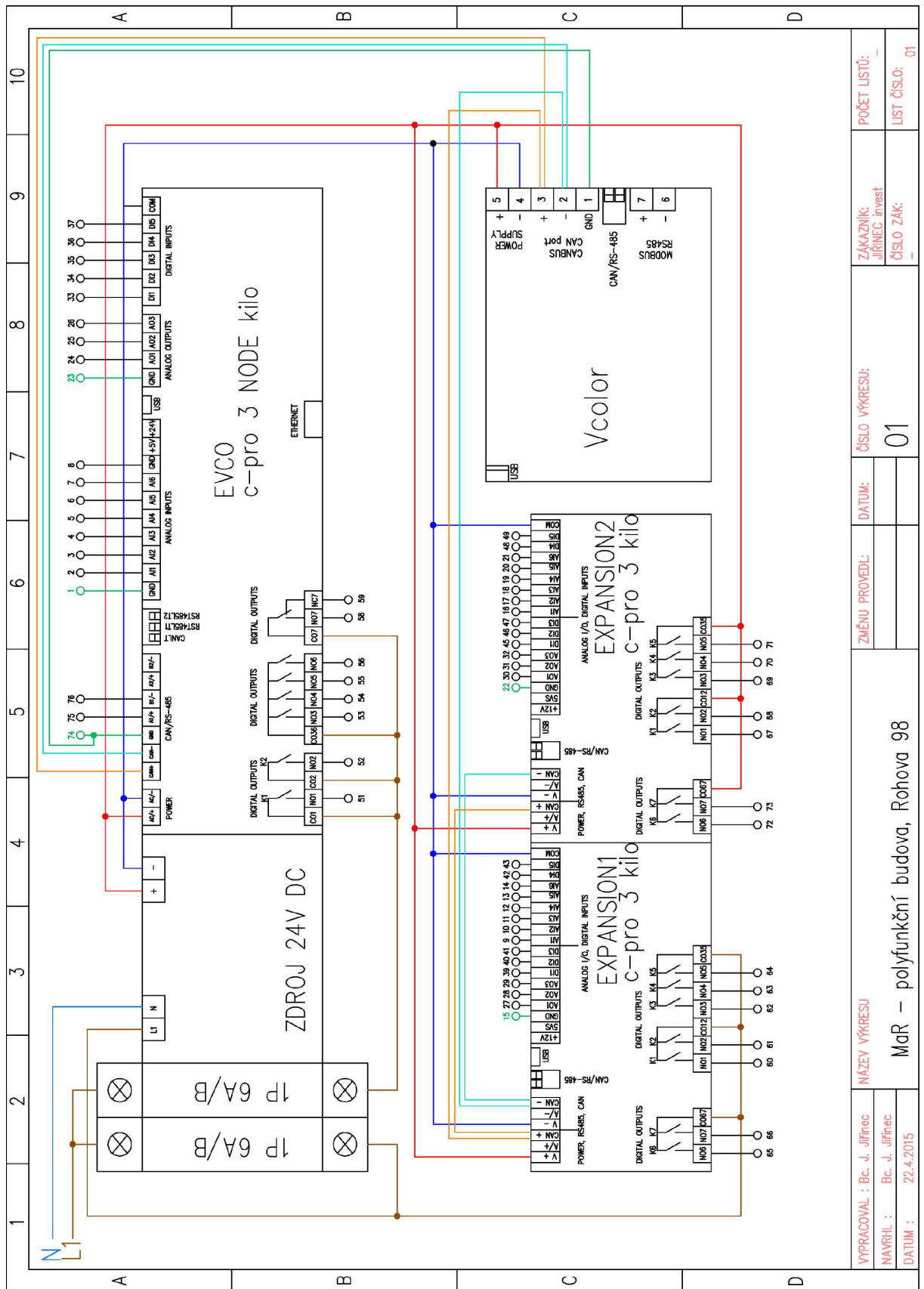
Zařízení	Kontakt	Projekt	Svorka	Přiřazení	Popis
EXP I	DI5	DI10	43		
EXP I	COM		44	Zem pro DI1-DI5	
ESP II	DI1	DI11	45		
ESP II	DI2	DI12	46		
ESP II	DI3	DI13	47		
ESP II	DI4	DI14	48		
ESP II	DI5	DI15	49		
ESP II	COM		50	Zem pro DI1-DI5	
NODE	CO1		x	Napájení NO1	
NODE	NO1	DO1	51	Vedení	hlavice topení
NODE	CO2		x	Napájení NO2	
NODE	NO2	DO2	52	Projekty	hlavice topení
NODE	CO3-6		x	Napájení NO3-6	
NODE	NO3	DO3	53	Obchod	hlavice topení
NODE	NO4	DO4	54	Ekopor I	hlavice topení
NODE	NO5	DO5	55	Ekopor II	hlavice topení
NODE	NO6	DO6	56	Zasedačka	hlavice topení
NODE	CO7		x	Napájení NO7,NC7	
NODE	NO7		58		hlavice topení
NODE	NC7		59		
EXP I	NO1	DO7	60	Kancelář II	hlavice topení
EXP I	NO2	DO8	61	WCII	hlavice topení
EXP I	CO1/2		x		
EXP I	NO3	DO9	62	WCI	hlavice topení
EXP I	NO4	DO10	63	WC Axel	hlavice topení
EXP I	NO5	DO11	64	Chodba vstup	hlavice topení
EXP I	CO3-5		x		
EXP I	NO6	DO12	65	Chodba schodiště	hlavice topení
EXP I	NO7	DO13	66	Světla chodba	reklama
EXP I	CO6/7		x		
EXP II	NO1	DO14	67		
EXP II	NO2	DO15	68		
EXP II	CO1/2		x		
EXP II	NO3	DO16	69		
EXP II	NO4	DO17	70		
EXP II	NO5	DO18	71		
EXP II	CO3-5		x		
EXP II	NO6	DO19	72		
EXP II	NO7	DO20	73		
EXP II	CO6/7		x		

Přehled použitých kontaktů - skladová hala

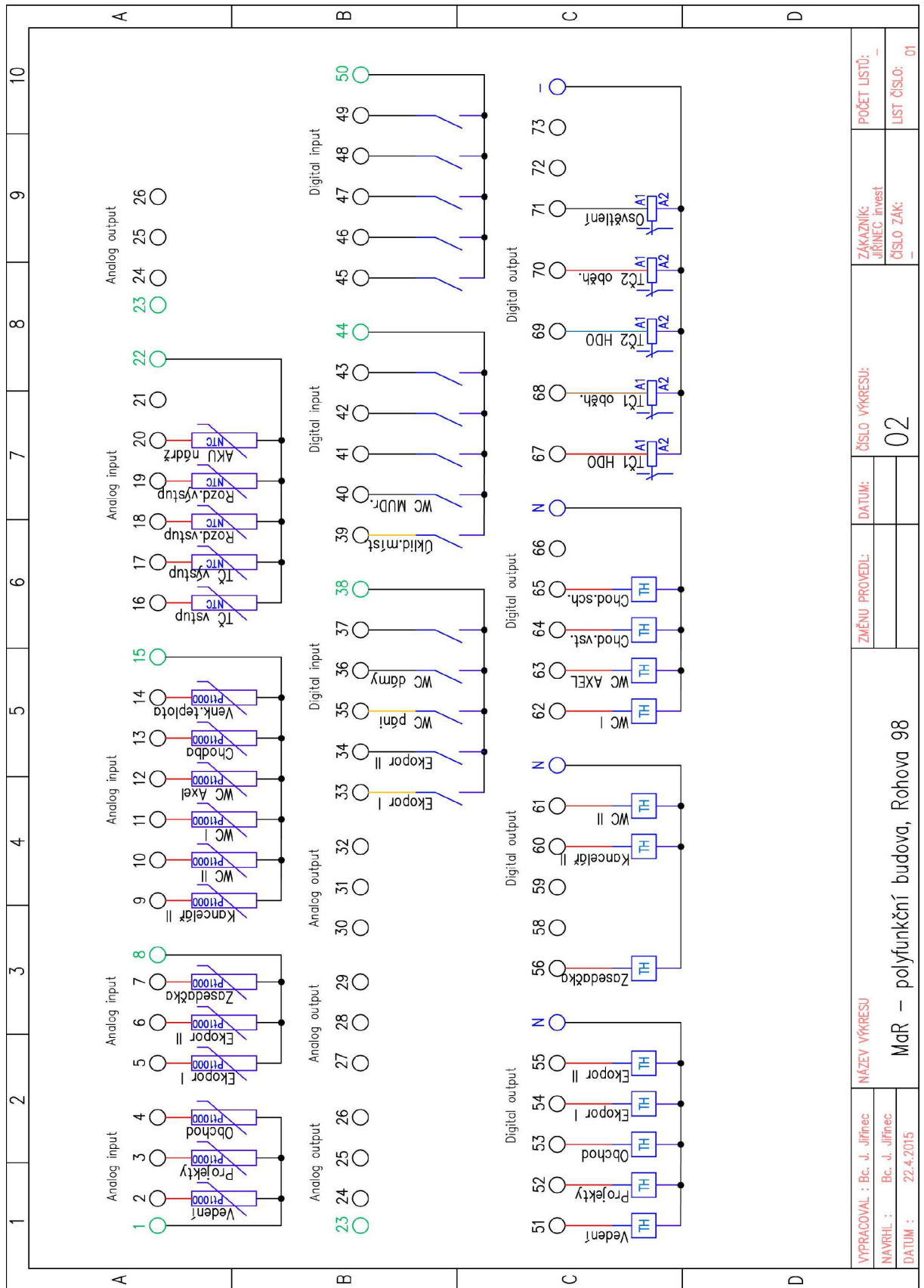
Zařízení	Kontakt	Projekt	Svorka	Přiřazení	Popis
NODE	GND		1	Zem AI1-AI3	
NODE	AI1	AI1	2	Kancelář	čidlo teploty PT1000
NODE	AI2	AI2	3	Dílna	čidlo teploty PT1000
NODE	AI3	AI3	4	Archiv	čidlo teploty PT1000
NODE	AI4	AI4	5	Šatna	čidlo teploty PT1000
NODE	AI5	AI5	6	Vchod	čidlo teploty PT1000
NODE	AI6	AI6	7	Sklad	čidlo teploty PT1000
NODE	GND		8	Zem AI4-AI6	
EXP1	AI1	AI7	42	Venkovní teplota	čidlo teploty PT1000
EXP1	AI2	AI8	43	Teplota nádrž	čidlo teploty PT1000
EXP1	AI3	AI9	44	Rozdělovač vstup	čidlo teploty NTC
EXP1	AI4	AI10	45	Rozdělovač výstup	čidlo teploty NTC
EXP1	AI5	AI11	46	TČ vstup	čidlo teploty NTC
EXP1	AI6	AI12	47	TČ výstup	čidlo teploty NTC
EXP1	GND		35	Zem AI1-AI6, DO1-DO3	
NODE	GND		11	Zem AO1-AO3	
NODE	AO1	AO1	12		
NODE	AO2	AO2	13		
NODE	AO3	AO3	14		
EXP1	AO1	AO4	36		
EXP1	AO2	AO5	37		
EXP1	AO3	AO6	38		
NODE	DI1	DI1	15		
NODE	DI2	DI2	16		
NODE	DI3	DI3	17		
NODE	DI4	DI4	18		
NODE	DI5	DI5	19		
NODE	COM		20	Zem pro DI1-DI5	
EXP I	DI1	DI6	39		
EXP I	DI2	DI7	40		
EXP I	DI3	DI8	41		
EXP I	DI4	DI9	48		
EXP I	DI5	DI10	49		
EXP I	COM		50	Zem pro DI1-DI5	
NODE	CO1		21	Napájení NO1	
NODE	NO1	DO1	22	Kancelář	hlavice topení
NODE	CO2		23	Napájení NO2	
NODE	NO2	DO2	24	Dílna	hlavice topení
NODE	CO3-6		25	Napájení NO3-6	
NODE	NO3	DO3	26	Archiv	hlavice topení
NODE	NO4	DO4	27	Šatna	hlavice topení

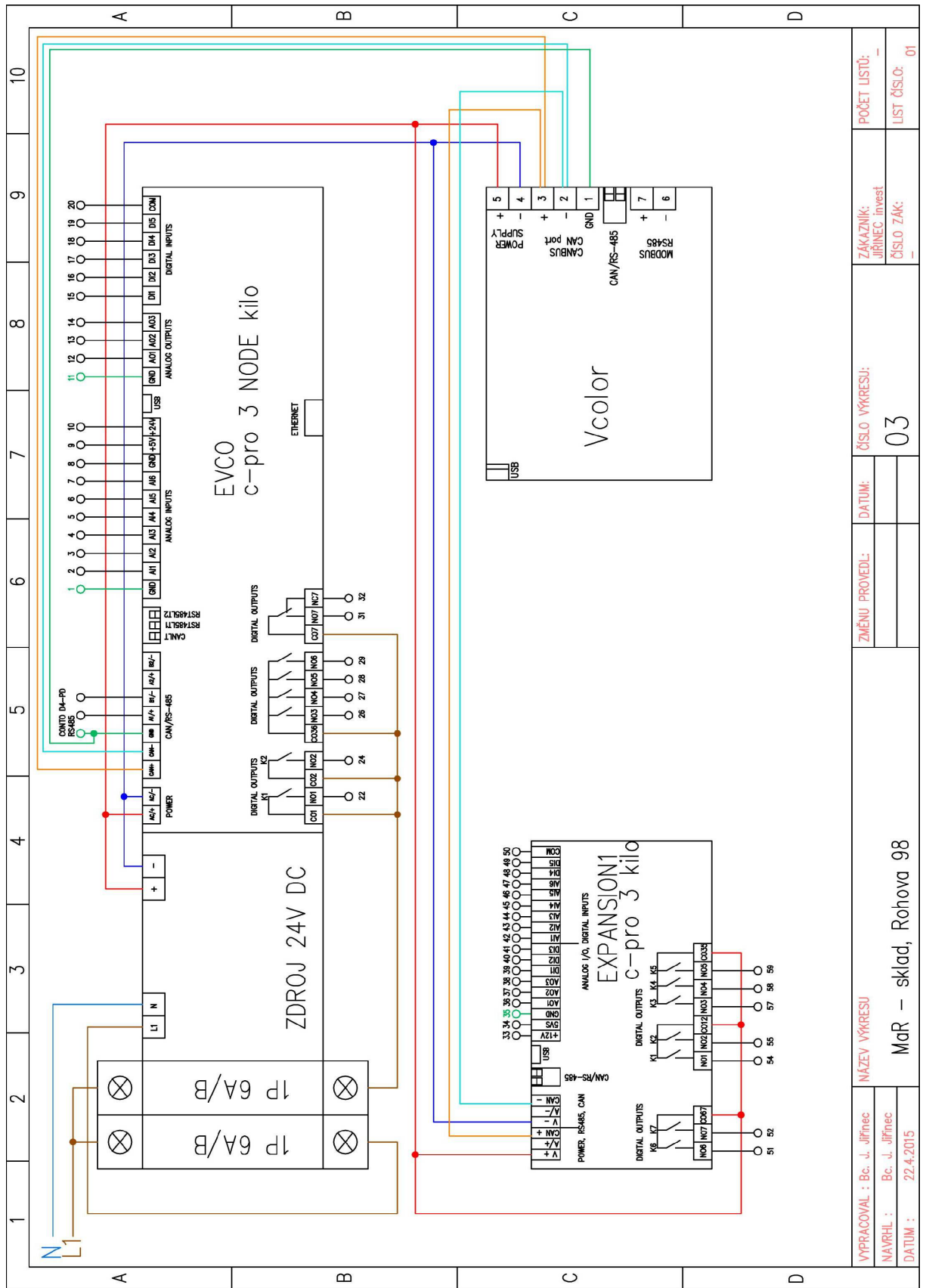
Zařízení	Kontakt	Projekt	Svorka	Přiřazení	Popis
NODE	NO5	DO5	28	Vchod	hlavice topení
NODE	NO6	DO6	29	Sklad	hlavice topení
NODE	CO7		30	Napájení NO7,NC7	
NODE	NO7		31		
NODE	NC7		32		
EXP I	NO1	DO7	54		
EXP I	NO2	DO8	55		
EXP I	CO1/2		56	Napájení NO1-2	
EXP I	NO3	DO9	57	TČ oběh. čerpadlo	spínání
EXP I	NO4	DO10	58	TČ HDO	spínání
EXP I	NO5	DO11	59	Oběhové čerpadlo	spínání
EXP I	CO3-5		60	Napájení NO3-5	
EXP I	NO6	DO12	51		
EXP I	NO7	DO13	52		
EXP I	CO6/7		53	Napájení NO6-7	

Příloha D - Schéma zapojení



VYPRACOVAL : Bc. J. Jiřinec	NÁZEV VÝKRESU	ZMĚNU PROVEDL:	DATAUM:	ČÍSLO VÝKRESU:	ZÁKAZNÍK:	POČET LISTŮ:
NAVRHL : Bc. J. Jiřinec	MaR – polyfunkční budova, Rohova 98			01	Jiřinec Invest	—
DATAUM : 22.4.2015					ČÍSLO ZÁK:	LIST ČÍSLO: 01





VYPRACOVAL : Bc. J. Jiřinec	NAZEV VÝKRESU:	ZMĚNU PROVEDL:	ČÍSLO VÝKRESU:	ZAKAZNÍK:	POČET LISTŮ:
NAVŘEL : Bc. J. Jiřinec	MaR – sklad, Rotohva 98		03	JIRINEC Invest	–
datum : 22.4.2015				ČÍSLO ZÁK:	LIST ČÍSLO: 01

