



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMATIZACE A INFORMATIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

AUTOMATICKÉ ŘÍZENÍ PRO VYTÁPĚNÍ VÝROBNÍ HALY

AUTOMATIC CONTROL FOR FACTORY BUILDING HEATING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MIROSLAV PRUDEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK NĚMEC, CSc.

BRNO 2010

Zadání závěrečné práce

(na místo tohoto listu vložte originál a nebo kopii zadání Vaší práce)

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou automatického řízení vytápění výrobní haly v komplexu První brněnské strojírný Velká Bíteš, a.s.. Součástí diplomové práce je analýza dosavadního stavu technologie pro vytápění a návrh celkové koncepce automatického řízení vytápění. Nedílnou částí koncepce je ohřev užitkové vody a odvod kondenzátu z teplovzdušných jednotek.

Výstupem diplomové práce je návrh algoritmu pro řízení regulované soustavy. Vzdálený dohled a kontrola regulované soustavy bude zajištěna prostřednictvím vizualizačního prostředí, které bude implementováno do stanice centrálního dispečinku. Správnost navržené části regulované soustavy bude ověřena v programu Matlab a jeho modulu Simulink a to jako návrh PID regulátoru. Pro stanovení parametrů PID regulátoru bude použita metoda Ziegler-Nicholse. V rozsahu práce je vyčíslena i reálná doba návratnosti investice na regulační obvod.

ABSTRACT

The graduation thesis is focused on the automatic operating of heating of the production hall of První brněnská strojírna Velká Bíteš, a.s. The thesis consists of an analysis of present state of the heating technology and solution of the general conception of the automatic operating of the heating. Integrated part of the conception is heat-up of the supply water and drain off of the condensation water from the air heating units.

Outcome of this graduation thesis is a design of the algorithm for operating of the regulated system. Remote supervision and control of the regulated system shall be ensured by the visualization setting, which shall be implemented into the station of dispatching centre. The accuracy of the design of the part of regulated system shall be validated as a design of PID regulator with the use of "Matlab" program and it's module "Simulink". To set up parameters of the PID regulator, "Ziegler-Nichols" method shall be applied. The objective pay-off period of investments for regulation controlling system is figured out as a part of this thesis as well.

KLÍČOVÁ SLOVA

Automatická regulace vytápění, regulovaná soustava, řídicí systém, PID regulátor, doba návratnosti investic.

KEYWORDS

Automatic regulation of the heating, regulated system, controlling system, PID regulator, period of investments.

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Zdeňkovi Němcovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky při vypracování této diplomové práce. Také bych chtěl poděkovat panu Miroslavovi Pelikánovi za podporu a poskytnuté rady pro objasnění funkčnosti stávající technologie vytápění.

Obsah

1	Úvod	9
2	Cíl	11
3	Obecný popis výrobního komplexu První brněnské strojírny	13
3.1	Historie společnosti	13
3.2	Současnost	13
3.3	Obecný popis objektu 05	14
4	Stávající vytápěcí distribuční systém	15
4.1	Otopný systém objektu 05	15
4.2	Měření spotřeby tepla	16
4.3	Odporové snímače teploty	17
4.3.1	Odporový snímač teploty Pt1000/3850 ppm	18
4.3.2	Odporový snímač teploty Ni1000/6180 ppm	19
5	Vlastní návrh regulace a řízení vytápění objektu 05	21
5.1	Technologické schéma vytápění a ohřev teplé a topné vody objektu 05	21
5.2	Návrh měření a regulace	23
5.2.1	Měření a regulace teploty ve výrobních prostorách	23
5.2.2	Měření a regulace teploty v kancelářských prostorách	24
5.2.2.1	Ekvitermní regulace vytápění kancelářských prostor	25
5.2.3	Měření a regulace ohřevu teplé užitkové vody	27
5.2.4	Přečerpávací kondenzátní hospodářství	27
5.2.5	Poruchové stavy regulačního obvodu	28
5.3	Požadavky na řídicí systém dle počtu vstupních a výstupních signálů	28
5.3.1	Napájení regulačního obvodu	31
5.3.2	Návrh přepětíové ochrany	31
5.3.3	Blokové schéma regulačního obvodu	33
6	Prvky regulačního obvodu	35
6.1	Kompaktní řídicí systém ART4000AC/1M	35
6.1.1	Konfigurační propojky	36
6.1.2	Nastavení konfiguračních parametrů	36
6.1.3	Sériové rozhraní RS 232	37
6.1.4	Sériové rozhraní RS 485	38
6.1.5	Sběrnice CAN	38
6.2	Rozšiřující modul DM-RDO12	38
6.3	Rozšiřující modul DM-UI8RDO8	39
6.4	Převodník linek DM-232TO485	41
7	Stanovení parametrů spojitého regulátoru	43
7.1	Návrh regulátoru	45
8	Softwarové prostředky	49
8.1	DetStudio	49
8.2	Servisní program ViewDet pro ladění aplikace	50
8.3	Komunikační protokoly	50
8.3.1	Protokol ARION	50
8.3.1.1	Výpočet minimální doby periody	50
8.3.2	Protokol DB-Net	52
9	Popis vytvořené aplikace	53
9.1	Načtení analogového signálu do řídicího systému	56

9.2	Ovládání hlavního uzavíracího ventilu	58
9.3	Prohřev parovodního potrubí	59
9.4	Řízení a regulace hlavních výrobních prostor	61
9.5	Řízení a regulace topné větve	62
9.6	Vyhodnocení poruchových stavů	64
9.7	Archivace naměřených hodnot	64
9.8	Ovládání regulované soustavy z centrálního dispečinku	65
9.9	Ovládání regulované soustavy z řídicího systému	65
10	Ekonomické zhodnocení návrhu vytápění objektu 05	67
10.1	Celkové náklady na vytápění komplexu První brněnské strojírny	67
10.2	Náklady na vytápění objektu 05 za rok 2008.....	68
10.3	Náklady na automatické vytápění a předpokládaná úspora energie.....	69
10.4	Doba návratnost investic	69
11	Závěr.....	71
12	Seznam použité literatury.....	73
13	Přílohy	75

1 Úvod

V rámci Evropského společenství je v současné době jednou z hlavních několika priorit komplexní úspora energie v mnoha odvětvích. Jedním z odvětví, kde lze dosáhnout významných úspor energie za přijatelné vložené náklady, je komplexní úspora provozní energetické náročnosti budov a také zvýšení jejich energetické účinnosti.

Směrnice 2002/91/ES, o energetické náročnosti budov stanovuje požadavky na snižování energetické náročnosti budov ve Společenství s ohledem na vnější klimatické a místní podmínky i požadavky na vnitřní mikroklimatické prostředí a efektivnost nákladů.

Záměrem zpracování směrnice 2002/91/ES je stanovit reálné kroky k hospodárnému využívání přírodních zdrojů, které zahrnují ropné produkty, zemní plyn a pevná paliva, které jsou základními zdroji energie, ale také hlavními zdroji emisí kysličníku uhlíčitého. Zvýšená energetická efektivnost tvoří důležitou součást opatření potřebných ke splnění Kjótského protokolu. Česká republika se v dodatku Kjótského protokolu zavázala, že v letech 2008 až 2012 sníží své emise skleníkových plynů o osm procent v porovnání se stavem v roce 1990. Česká legislativa upravuje požadavky na energetickou náročnost budov vyhláškou č. 148/2007 Sb., o energetické náročnosti budov.

Podpůrným dokumentem pro hodnocení energetické náročnosti budov je evropská norma EN 15217, která definuje a popisuje základní principy a rámce vyjádření a výpočtu energetické náročnosti budov. Tato evropská norma stanovuje všeobecné ukazatele vyjádření energetické náročnosti celých budov, včetně systémů vytápění, větrání, klimatizace, přípravy teplé vody a osvětlení. Zahrnuje možné ukazatele, způsoby vyjádření energetických požadavků pro návrhy nových budov nebo změny stávajících budov, postupy k určení referenčních hodnot, způsoby návrhu postupu energetické certifikace budovy.

Pro zjištění energetické náročnosti budov je nutné nechat vypracovat odbornou osobou energetický audit, ze kterého vyplynou dílčí opatření úspory energií. Ke stále zvyšujícím se cenám energií na provoz budov se První brněnská strojírna Velká Bíteš, a.s. rozhodla provést v roce 2008 energetický audit. Výsledkem tohoto auditu byla zjištěna nadměrná spotřeba energií určená pro vytápění výrobní haly 05 v objektu PBS Velká Bíteš a.s.. Po dohodě se zadavatelem energetického auditu byla navržena úsporná opatření stavebního i strojního charakteru s ohledem na technický stav a finanční možnosti zadavatele. Mezi stavební opatření se uvažuje s výměnou pásů oken a světlíků z drátoskla za nové s výplní z polykarbonátu a zateplení budovy. Ze strojních opatření bude realizována instalace automatické regulace vytápění.

2 Cíl

Cílem mé diplomové práce je zavedení automatického řízení vytápění výrobní haly objektu 05 ve Velké Bíteši. Důvodem pro zavedení automatického řízení je nevyhovující dosavadní stav ovládání vytápěcích teplovzdušných jednotek, kde tyto jednotky jsou mechanicky ovládány obsluhou bez jakéhokoli sofistikovanějšího řízení. Současné možnosti technologií a nutnost snížení energetické náročnosti budovy vyplývající z energetického auditu vede současně představenstvo k zavedení systému automatického řízení vytápění.

Automatické řízení je cílevědomá činnost, při níž se hodnotí a zpracovávají informace o řízeném objektu, nebo procesu a na základě těchto informací se ovlivňují příslušná zařízení tak, aby se dosáhlo požadovaného cíle.

Návrhem celé koncepce řízení bude nejen vytápění výrobní haly, ale i ohřev teplé užitkové vody, teplovodní vytápění kancelářských prostor a řízení odčerpávání vzniklého kondenzátu. Při návrhu programového řešení bude hodnota žádané teploty pro vytápění a ohřev užitkové vody stanovena dle vyhlášky 194/2007 Sb. - Pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody. Teplota v kancelářských prostorách bude regulována dle ekvitemní křivky. Ekvitemní křivka udává závislost teploty topné vody v závislosti na venkovní teplotě. Žádaná teplota v kancelářských prostorách se bude vypočítávat dle aktuální teploty a teploty tlumené. Regulace ohřevu užitkové vody ve výměníku pára - voda bude probíhat na základě skutečné spotřeby teplé vody.

Základním prvkem regulačního obvodu bude řídicí systém ART4000AC/1M od společnosti Amit, spol. s r.o. Dalšími prvky regulačního obvodu jsou přístrojová vybavení, která přináší vstupní informace řídicímu systému. Řídicí systém zpracovává data pomocí vytvořeného algoritmu a dává podnět akčním členům k zásahu do regulované soustavy.

Pro tvorbu aplikace řídicího systému slouží návrhové prostředí DetStudio od společnosti Amit, spol. s r.o.. Prostředí se skládá z několika nástrojů, jejichž vzájemnou kombinací lze vytvářet velmi komplexní aplikace. Doplnující a rozšiřující možností návrhového prostředí je servisní a vizualizační nástroj ViewDet. Vizualizační prostředí ViewDet umožňuje monitoring a ladění aplikace běžící v řídicím systému, sběr a archivaci dat.

Správnost navržené části regulované soustavy bude ověřena v programu Matlab a jeho modulu Simulink a to jako návrh PID regulátoru. Pro stanovení parametrů PID regulátoru bude použita metoda Ziegler-Nicholse. Výstupem práce je výpočet ekonomické návratnosti investice automatického řízení vytápění.

3 Obecný popis výrobního komplexu První brněnské strojírny

3.1 Historie společnosti

Historické kořeny První brněnské strojírny sahají až do roku 1814. Pobočný závod První brněnské strojírny ve Velké Bíteši byl založen v roce 1950. V roce 1991 byla založena akciová společnost První brněnská strojírna Velká Bíteš, a.s., která je zaměřena na strojírenskou výrobu. Roku 1997 byl založen společný podnik První brněnské strojírny Velká Bíteš, a.s. a MAN B & W Diesel A.G. s názvem PBS Turbo, s.r.o., kam přešla výroba plnicích turbodmychadel konstrukce PBS a MAN.

3.2 Současnost

První brněnská strojírna Velká Bíteš, a.s. je moderní a prosperující firmou s divizním uspořádáním, jejíž aktivity jsou zaměřeny na služby a výrobky strojírenského odvětví, které mají dobrou technickou úroveň a vynikají jednoduchostí konstrukce, nenáročností na obsluhu a údržbu spojenou s vysokou spolehlivostí. V současné době zaměstnává První brněnská strojírna Velká Bíteš, a.s. 700 (k 8. 12. 2009) zaměstnanců.



Obr. 1 Komplex První Brněnské Strojírny Velká Bíteš, a.s.

Rozdělení výrobního komplexu První brněnské strojírny na divize:

- Divize vedení a služeb zajišťuje chod a údržbu celého areálu (vytápění, stavební úpravy, elektroinstalace atd.).
- Divize letecké techniky vyrábí zařízení pro civilní, vojenská letadla a vrtulníky (pomocné energetické jednotky, klimatizační systémy, startovací turbíny atd.).
- Divize metalurgie vyrábí přesně lité odlitky pomocí metody vytavitelného modelu (odlitky oběžných a rozváděcích kol turbodmychadel, lopatky plynových turbín atd.).
- Divize strojírna a nářadí vyrábí dílce či výrobky dle požadavků a přání zákazníka (sváření, CNC obrábění atd.).

- Společnost PBS Turbo a.s. se zaměřuje na náročné produkty strojírenského průmyslu určené pro tuzemský i zahraniční trh. Společnost sídlí v objektu 05 v areálu společnosti PBS Velká Bíteš a.s.. Hlavním výrobním programem jsou:
 - Plnicí turbodmychadla konstrukce PBS a MAN B&W Diesel AG.
 - Originální náhradní díly turbodmychadel PBS.

3.3 Obecný popis objektu 05

Objekt 05 je samostatně stojící budova, ve které se nachází výrobní a kancelářské prostory, šatny, sociální zařízení a další zázemí potřebné pro chod výroby. V provozních částech je objekt jednopodlažní, ve zbylých částech je rozčleněn na tři podlaží. Nosná konstrukce objektu je tvořena železobetonovým skeletem založeném na základových patkách. Obvodový plášť je vyzděn z plných cihel tloušťky 300 mm. Povrch zdiva je upraven vápenocementovou omítkou. Podlaha na terénu je bez tepelné izolace.

Výrobní hala je v obvodovém plášti prosvětlena pásy jednoduše zasklených stěn z drátoskla a kovovými okny. Střecha je plochá tvořena železobetonovými panely s krytinou z živičných pásů. Tepelná izolace střechy je tvořena pěnovým polystyrénem tloušťky 5 cm. K prosvětlení vnitřních lodí výrobní haly slouží sedlové světlíky, které jsou jednoduše zasklené drátosklem. Vstupní vrata výrobní haly jsou plechová a zateplená polystyrenem. Orientace hlavních průčelí výrobní haly je sever a východ.

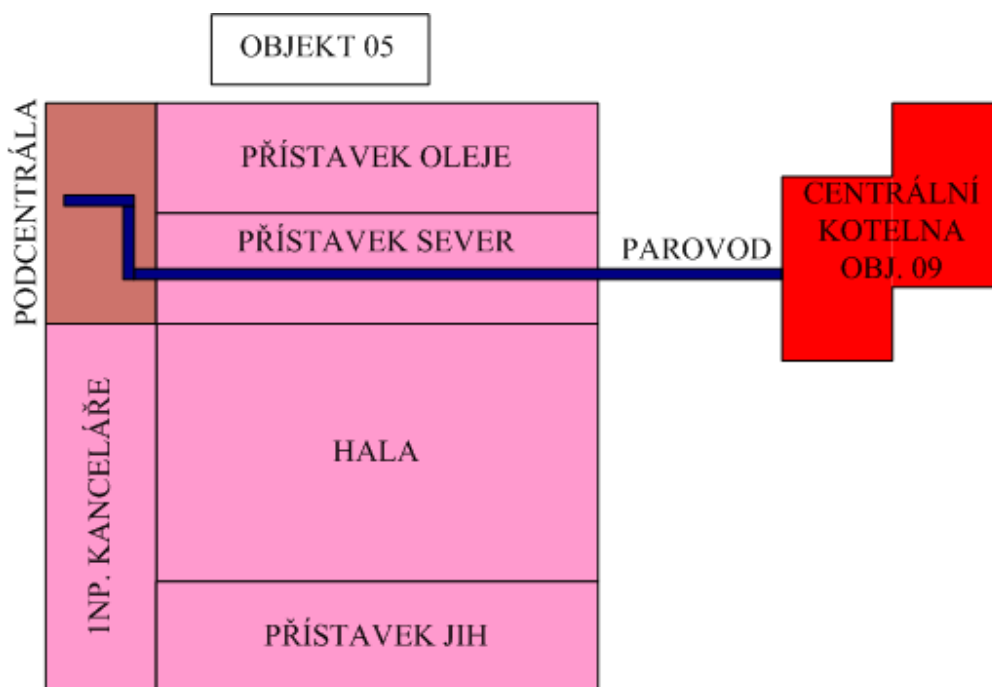
Kancelářské prostory jsou v obvodovém plášti prosvětleny plastovými okny s izolačním dvojsklem a schodiště je prosvětleno skleněnou stěnou z kopilitu. Stropní konstrukce je smontována z železobetonových panelů se spádovou vrstvou ze škvárobetonu a tepelnou izolací z pěnového polystyrénu tloušťky 5cm. Vstupní dveře budovy jsou plastové s izolačním dvojsklem. Orientace hlavních průčelí budovy je na západ.

Výrobní hala objektu 05							
Technické parametry	délka	šířka	Výška	Vytápěný objem	Zastavěná plocha	Užitná plocha	P. provoz objektu
jednotka	m	M	m	m ³	m ²	m ²	Dny/ hod
hodnota	105,2	97,0	7,1	72 451	10 204	9 184	5/ 24

Tab. 1 Základní technické parametry výrobní haly objektu 05

4 Stávající vytápěcí distribuční systém

Pro vytápění výrobního komplexu První Brněnské strojírny byly zřízeny čtyři uhelné středotlaké parní kotle typu S 2500U Slatina Roučka Brno, každý o jmenovitém výkonu 2910 kW. Jako doplňkový zdroj slouží plynový středotlaký parní kotel BK6 - Strojírny Kolín s hořákem M 5001 Dreizler o jmenovitém výkon 4950 kW. Parní kotle jsou umístěny v samostatně stojící budově nazývané centrální kotelna.



Obr. 2 Centrální distribuční systém

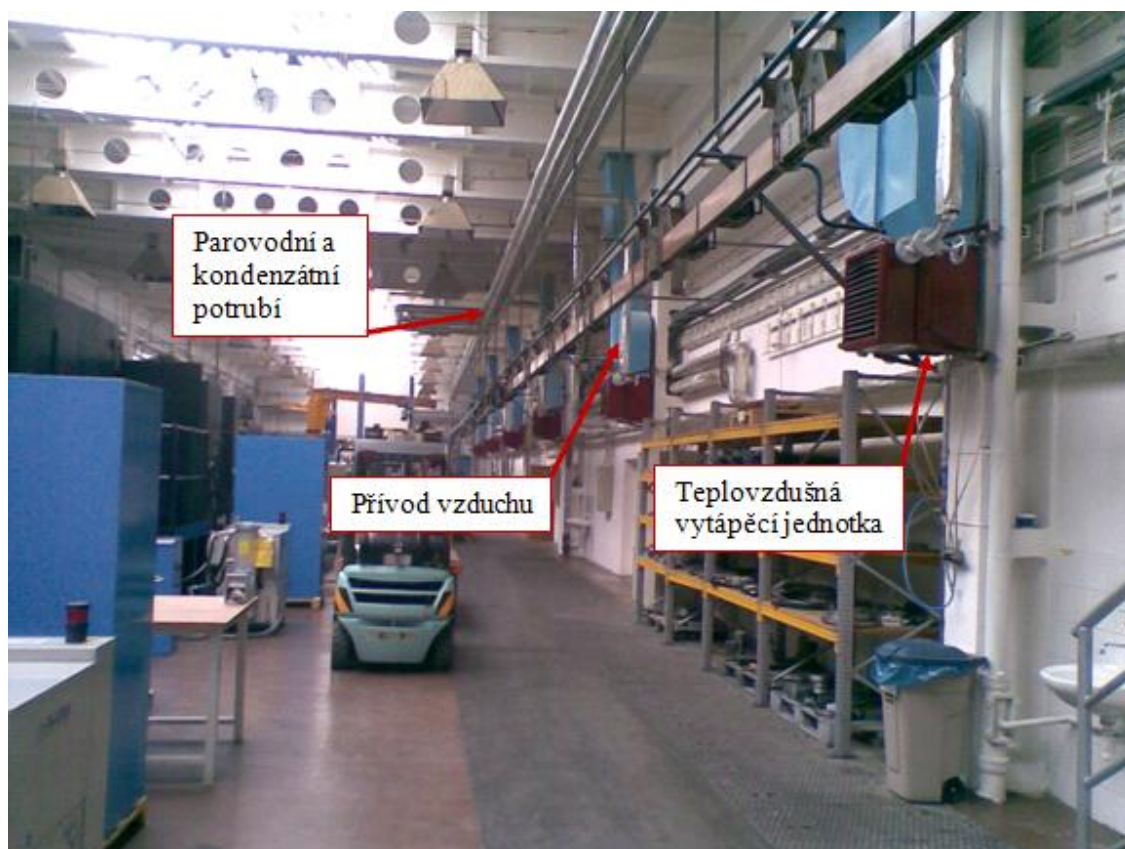
Distribuční systém tepla se stává z ocelového izolovaného potrubí vedeného z kotelny jakožto centrálního zdroje tepla po potrubních mostech a částečně v průlezných kanálech v zemi do předávacích stanic (podcentrál) jednotlivých divizí. Teplonosným médiem je pára o tlaku 0,30 - 0,50MPa a teplotě 160 °C. V předávací stanici se tlak páry redukuje na 0,13 – 0,15MPa. Ta se dále rozvádí do jednotlivých větví otopného systému.

4.1 Otopný systém objektu 05

V současné době je otopný systém objektu 05 rozdělen na šest parovodních větví tj. hlavní výrobní prostory, severní přístavek, jižní přístavek, přístavek olejů a ohřev topné a teplé užitkové vody ve výměníku pára - voda.

Způsob vytápění objektu 05 je kombinovaný, jak teplovodní, tak i nízkotlaký parní. Kancelářské prostory jsou vytápěny teplovodně deskovými radiátory. Hlavní výrobní prostory jsou vytápěny teplovzdušně, nástěnnými teplovzdušnými jednotkami typu 423 (Sahary) s axiálním ventilátorem, které jsou umístěny cca 3m nad zemí. Z celkového počtu 42 kusů teplovzdušných jednotek je 40 kusů se směšovací komorou a nasáváním vzduchu zvenčí. Zbylé dvě jednotky jsou umístěny v prostoru nad vraty, které slouží jako clony pro zamezení úniku tepla.

Prostory přístavků jsou rovněž jako hlavní výrobní prostory haly vytápěny teplovzdušně, nástěnnými teplovzdušnými jednotkami. V každém přístavku se nachází 7 teplovzdušných jednotek se směšovací komorou a nasáváním vzduchu zvenčí. Přístavek oleje navíc obsahuje jednu jednotku umístěnou v prostorách nad vraty, která zamezuje úniku tepla. Distribuci páry a odvod kondenzátu z teplovzdušných jednotek do předávací stanice zajišťuje ocelové hladké zesílené potrubí upevněno na výložnících ve výšce cca 4,4 m. Kondenzát, který vznikne vysrážením páry v otopných tělesech je samospádem sváděn do kondenzační nádrže a je přečerpáván zpět do kotelny.



Obr. 3 Nástěnné teplovzdušné jednotky

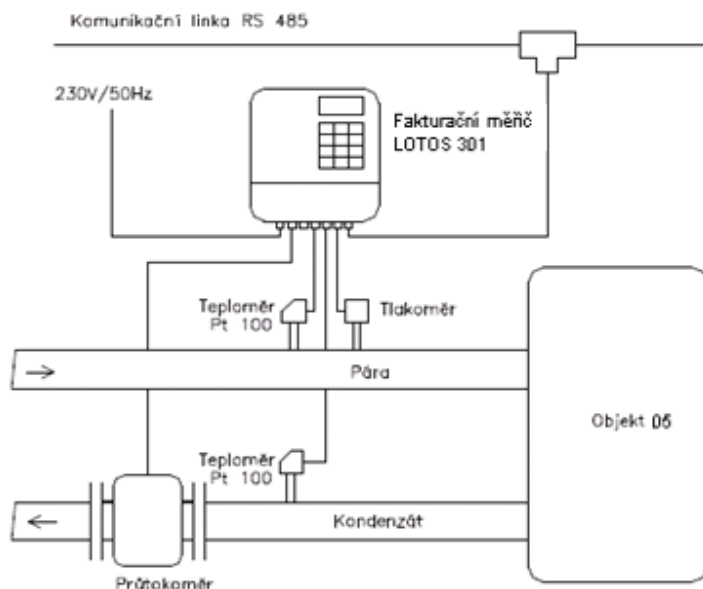
Ovládání a regulace jednotlivých teplovzdušných jednotek se provádí mechanicky obsluhou bez jakéhokoli sofistikovanějšího řízení. Je velmi nepřesná v závislosti na tepelné pohodě a často dochází k přetápění nebo naopak k podchlazení jednotlivých částí haly.

Zavedením automatizovaného systému se předpokládá významná úspora energie na vytápění. Úspora energie vznikne vlivem pružné reakce systému na aktuální potřeby vytápění.

4.2 Měření spotřeby tepla

Součástí otopného systému je programovatelný fakturační měřič spotřeby tepla LOTOS 301, který je umístěn v centrální kotelně objektu 09. Je metrologicky ověřen jako stanovené měřidlo pro měření tepla v páře metodou přímou (měří se přímo průtok páry) i nepřímou metodou (průtok páry se stanovuje nepřímo na základě měření průtoku vratného kondenzátu), s možností odečtu tepla vratného kondenzátu. Měřič přímo zobrazuje údaje o spotřebě tepla v MWh nebo GJ, které přes sériový port

RS485, přenáší na centrální pult obsluhy. Údaje o spotřebě jsou dále zpracovávány za účelem fakturace.



Obr. 4 Schéma měření tepla nepřímou metodou fakturačním měřidlem LOTOS 301

Při měření tepla přímou i nepřímou metodou, fakturační měřič tepla poskytuje shodné údaje o předaném teple. Nepřímou metodou však lze ušetřit poměrné náklady na průtokoměr pro měření páry. Pro nepřímou metodu měření tepla dodaného parou je množství předaného tepla vyhodnocováno jako rozdíl samostatně vypočteného množství tepla v páře na výstupu z centrální kotelnou a množství tepla kondenzátu přečerpávaného na vstup do centrální kotelnou z vytápěného objektu 05. Měření teploty páry a vratného kondenzátu zajišťuje čtyřvodičové odporové čidlo Pt100. Ke snímání tlaku páry slouží čidlo tlaku s převodníkem na proudový vstup 4-20mA. Průtok kondenzátu je zaznamenáván impulsním vodoměrem, kde jednomu impulzu je přiřazena hodnota 100 litrů proteklého objemu kondenzátu.

4.3 Odporové snímače teploty

Odporové snímače teploty se nejčastěji vyrábí z čistých kovových materiálů, jakými jsou platina, nikl, měď a jejich slitin. Odporové snímače teploty využívají závislost odporu materiálu na teplotě. Jestliže se zvětšuje měřená teplota, pak roste hodnota odporu materiálu. Tato změna je charakterizována teplotním koeficientem odporu.

Teplotní koeficient odporu TCR je definován jako střední relativní změna odporu na stupeň Celsia mezi teplotami 0 až 100 °C.

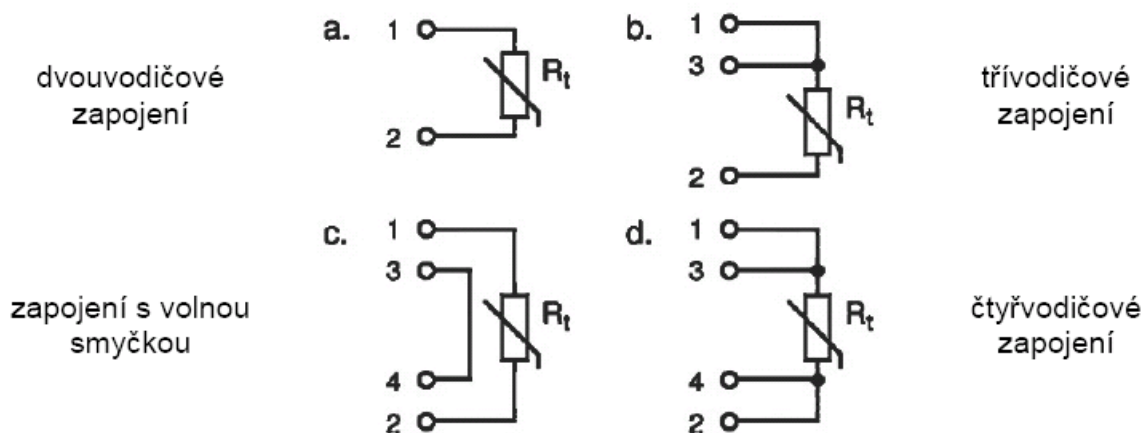
$$TCR = \frac{R_{100} - R_0}{100 \cdot R_0} \cdot 10^6 \left[\frac{ppm}{^\circ C} \right] \quad (4.1)$$

Pro platinová odporová čidla (Pt 100, Pt 500, Pt 1000) teploty platí, že TCR = 3850 ppm/°C. Pro niklová odporová čidla (Ni 1000, Ni 10000) teploty platí, že TCR = 6180 ppm/°C.

Zapojení odporových snímačů teploty může být:

- Dvou vodičové – používá se pro běžná měření na kratší vzdálenosti.
- Třívodičové – kompenzuje vliv změny odporu přívodních vodičů do jejich délky asi 100m. Výhodou je možnost změření odporu vnitřního vedení za provozu.
- Čtyřvodičové zapojení – měřící odpor je v tomto případě vybaven dvěma proudovými a dvěma napěťovými vodiči. Měří se úbytek napětí na měřícím odporu napájeného konstantním proudem. Odpor vnitřního vedení je zcela vyloučen. Používá se pro přesná měření.
- Zapojení s volnou smyčkou – kompenzuje vliv změny odporu přívodních vodičů libovolné délky.

Způsob zapojení a materiál vnitřního vedení má vliv na chybu měření. Pro snížení vlivu vnitřního vedení se používají odporové snímače teploty s vyšším odporem čidel např. 500 ohmu, 1000ohmu.



Obr. 5 Schéma zapojení odporových snímačů teploty

4.3.1 Odporový snímač teploty Pt1000/3850 ppm

Nejčastější použití čidel Pt 1000 je v oblasti vytápění a klimatizace ve strojírenském, plynárenském a potravinářském průmyslu.

Teplotní závislost odporu čidla je vyjádřena rovnicí:

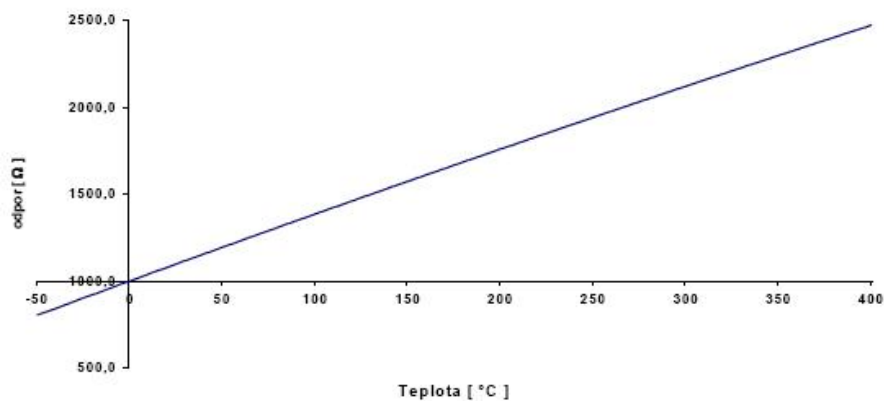
- Pro rozsah teplot -50°C až 0°C .¹

$$R = 1000 * [1 + At + Bt^2 + C * (t - 100)t^3] [\Omega] \quad (4.2)$$

- Pro rozsah teplot 0°C až 400°C .

$$R = 1000 * (1 + At + Bt^2) [\Omega] \quad (4.3)$$

,kde konstanta $A = 3,9083 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $B = -5,775 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$; $C = -4,183 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$



Obr. 6 Závislost teploty na odporu snímače Pt1000/3850 ppm

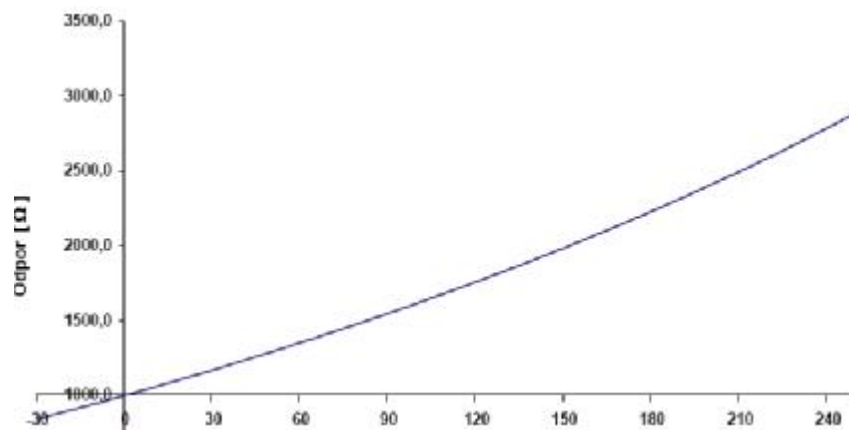
4.3.2 Odporový snímač teploty Ni1000/6180 ppm

Odporové snímače teploty Ni1000 se nejčastěji používají při regulaci velkých technologických celků, ve vzduchotechnice, v systémech pro řízení budov atd.

Teplotní závislost odporu čidla v rozsahu teplot -60°C až 250°C je vyjádřena rovnicí:

$$R = 1000 * (1 + At + Bt^2 + Ct^4 + Dt^6) \text{ [}\Omega\text{]} \quad (4.4)$$

,kde konstanta $A = 5,485 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$; $B = 6,650 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$; $C = 2,805 \cdot 10^{-11} \text{ } ^\circ\text{C}^{-4}$; $D = -2,00 \cdot 10^{-17} \text{ } ^\circ\text{C}^{-6}$



Obr. 7 Závislost teploty na odporu snímače Ni1000/6180 ppm

5 Vlastní návrh regulace a řízení vytápění objektu 05

5.1 Technologické schéma vytápění a ohřev teplé a topné vody objektu 05

V rámci návrhu koncepce automatického vytápění musí být definovány požadavky na regulaci vytápění výrobních a kancelářských prostor a požadavky na regulaci ohřevu teplé a topné vody (např. kde a jaké fyzikální veličiny je nutné monitorovat a na základě těchto veličin provádět příslušné akční zásahy). Žádaná hodnota teploty v objektu a žádaná teplota topné vody bude stanovena dle vyhlášky 194/2007 Sb. - Pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody a dále upravena po dohodě s vedením společnosti.

Žádaná teplota v objektu 05 bude regulována následovně:

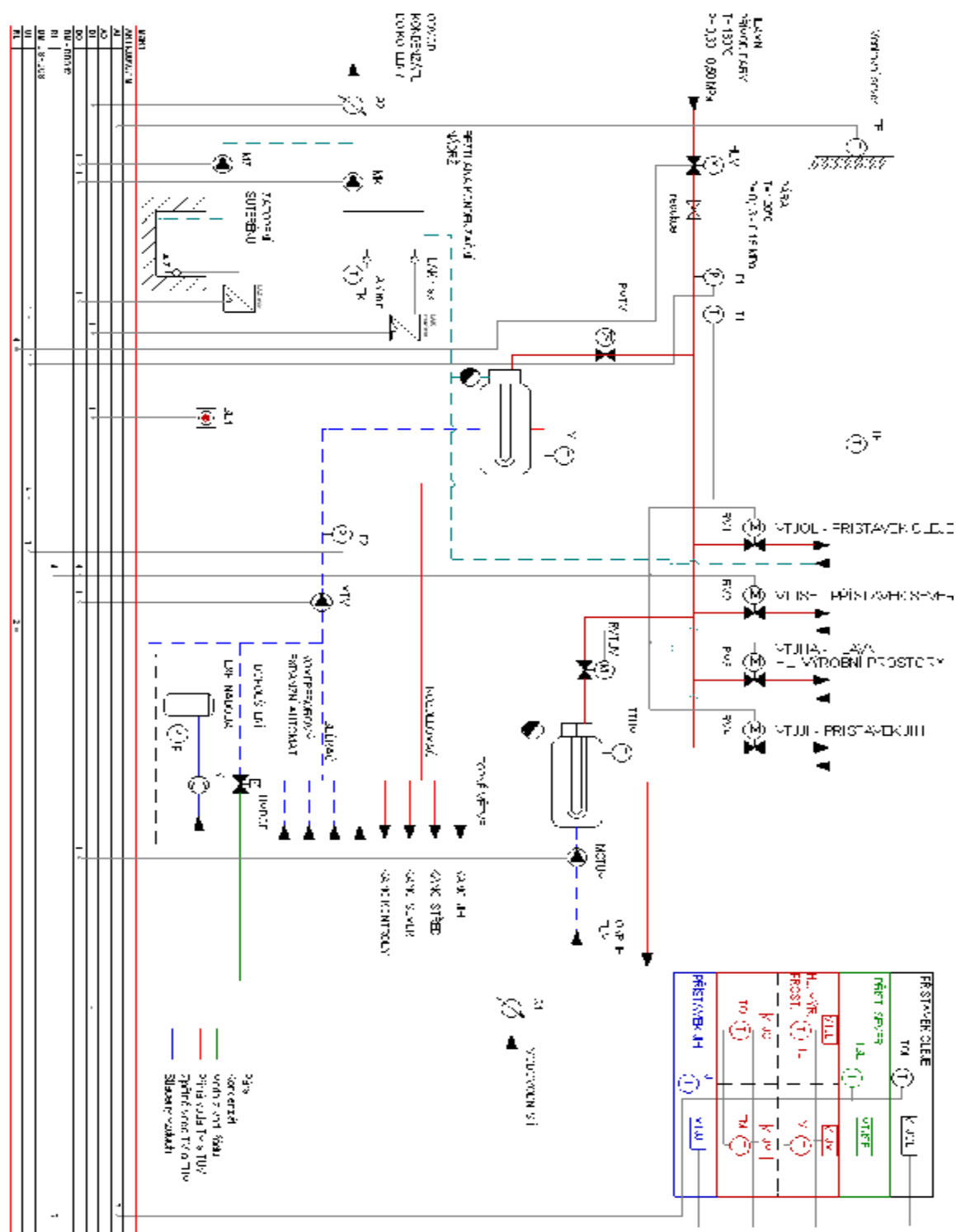
- Hlavní výrobní prostory a přístavky 18,5 °C.
- Kancelářské prostory 20,5 °C.

Žádaná teplota teplé užitkové vody:

- Teplota na výtoku z výměníku pára - voda bude 45°C až 60°C

Technologické schéma je rozděleno na 3 okruhy, ve kterých se bude měřit a regulovat:

- Teplota ve výrobních prostorech.
- Ohřev topné vody.
- Ohřev teplé užitkové vody.



Obr. 8 Technologické schéma vytápění a ohřevu TUV

Teplota ve výrobních prostorách bude regulována na základě porovnávání aktuální teploty a teploty žádané. Pro dosažení žádané teploty se pomocí servoventilu bude regulovat množství přivedeného teplotonosného média. V kancelářských prostorách bude teplota regulována pomocí ekvitermní regulace, která spočívá v nastavení teploty topné vody v závislosti na venkovní teplotě. Regulace ohřevu teplé užitkové vody ve výměníku pára - voda bude probíhat na základě skutečné spotřeby teplé vody.

5.2 Návrh měření a regulace

Pára o teplotě 160°C je přivedena potrubím z centrální kotelny do předávací stanice objektu 05. Při vstupu do předávací stanice je parovod osazen uzavíracím hlavním ventilem HUV a redukčním ventilem. V předávací stanici je tlak páry redukován z 0,30-0,50 MPa na 0,13 – 0,15 MPa. Za uzavíracím a redukčním ventilem je potrubí osazeno snímačem tlaku P1 a teploty T1. Tyto snímače získávají vstupní hodnoty přiváděného média. V prostorách předávací stanice (podcentrály) bude umístěn odporový snímač teploty TP. Překročí-li teplota TP požadovanou mez a současně poklesne tlak P1 a nebo pouze poklesne tlak v parovodu pod zadanou mezní hodnotu, dojde k okamžitému uzavření hlavního ventilu HUV a nahlášení poruchového stavu na pult centrální obsluhy.

V předávací stanici je parovodní potrubí větveno na tři okruhy regulace a to:

- Regulace teploty ve výrobních prostorách.
- Regulace ohřevu topné vody.
- Regulace ohřevu teplé užitkové vody.

5.2.1 Měření a regulace teploty ve výrobních prostorách

Teplotonosné medium (pára) je přivedeno z podcentrály do nástěnných teplovzdušných jednotek (Sahar), které jsou umístěné ve výrobních prostorách. Pro účely vytápění jsou výrobní prostory členěny na čtyři topné větve a to na hlavní výrobní prostory, severní přístavek, jižní přístavek a přístavek olejů. Hlavní výrobní prostory jsou virtuálně rozděleny na čtyři sekce. Pro získání aktuálních hodnot teploty bude v každé části výrobního prostoru a každé sekci umístěn odporový snímač teploty. Na základě vyhodnocení teploty v jednotlivých částech výrobních prostor se pomocí servoventilů RV1 až RV4 bude regulovat přívod média do teplovzdušných jednotek.

Pro vytápění hlavního výrobního prostoru slouží 42 stávajících teplovzdušných jednotek. Každá sekce hlavního výrobního prostoru bude vytápěna 10 teplovzdušnými jednotkami, které budou ovládány jako celek. Zapínání a vypínání jednotek se bude řídit dle žádané teploty v jednotlivých sekcích.

Při zahájení procesu vytápění i v jeho průběhu se musí nejprve vyhodnotit, zda-li je třeba prohřívat parovodní potrubí. Potrubí není potřeba prohřívat, když je ventil otevřen důsledkem regulace alespoň na okamžik na hodnotu 50%. Od této chvíle po dobu jedné hodiny musí být splněna podmínka otevření ventilu více jak 5%. Pokud podmínka splněná není a ventil se do 15minut nezačne otevírat, je nutné při následném náběhu vytápění provést prohřev parovodního potrubí. Potrubí se začne prohřívat tak, že se nejprve otevře ventil RV1 na hodnotu 5% po dobu 10 minut. Po prohřátí se ventil RV1 začne po dobu 15 minut pozvolna otvírat na hodnotu 100%. Pozvolné prohřívání potrubí se provádí z důvodu vysoké teploty média 160 °C, za účelem snížení poruchovosti a zvýšení životnosti potrubí.

Vzhledem k tomu, že není nutné celý rok topit, lze nastavit režim dle data nebo dle venkovní teploty. Při nastavení režimu vytápění dle data je nutné nastavit počáteční a koncové datum pro období, kdy není nutné topit. Při nastavení režimu vytápění dle venkovní teploty se porovnává průměrná hodnota venkovní teploty s minimální stanovenou hodnotou teploty. V případě, že průměrná venkovní teplota dosáhne minimální stanovené teploty, dojde k uzavření RV1 a blokaci jednotek.

Regulace vytápění jednotlivých přístavků bude shodná s vytápěním hlavních výrobních prostor s tím rozdílem, že přístavky nebudou dále rozděleny na samostatně regulované sekce. Do každého přístavku tj. sever, jih a oleje je přivedeno parovodní potrubí osazeno regulačním ventilem RV2, RV3 a RV4.

Vytápění výrobních prostor bude mít svůj vlastní časový plán, který bude mít tři úrovně tj.:

- Denní - žádaná teplota 18,5 °C (4³⁰-00⁵⁹).
- Noční - žádaná teplota 19 °C až 19,5 °C (1⁰⁰-4²⁹).
- Útlum - žádaná teplota 14 °C (nevyrábí se sobota od 6⁰⁰ do neděle 4²⁹).

5.2.2 Měření a regulace teploty v kancelářských prostorech

Zdrojem tepla pro ohřev vody ústředního vytápění je výměník pára - voda. Při náběhu procesu vytápění se provede prohřev parovodního potrubí, přičemž se regulační ventil RVTV postupně otvírá stejně, jako tomu bylo u náběhu vytápění výrobních prostor, současně však musí být splněna podmínka otevřeného hlavního uzavíracího ventilu (HUV).

Po prohřátí parovodu se přechází do stavu, kdy ventil RVTV s pomocí odvaděče kondenzátu, reguluje teplotu vody za parním výměníkem. Odvaděč kondenzátu je umístěn na potrubí odvodu kondenzátu, který se při poklesu teploty pod 99°C začíná otevírat a zkondenzovaná pára teče samovolně do zachytné kondenzátní nádrže.

Pro získávání hodnot skutečné teploty topné vody je otopné potrubí na výstupu výměníku osazeno snímačem teploty TTV. Přímá větev teplovodního potrubí je osazena rozdělovačem, který slouží pro rozdělení přívodního potrubí na čtyři otopné větve kancelářských prostor a to jih, střed, sever a kontrola.

Teplota v kancelářských prostorech bude regulována dle ekvitermní křivky. Regulace teploty jednotlivých místností je dále zajištěna termostatickými hlavicemi, umístěnými na deskových otopných tělesech.

Ve zpětné větvi otopného systému je umístěn sběrač a samoregulační oběhové čerpadlo Grundfos MTV, které slouží pro dopravu chladnoucí vody z topných prvků do parního výměníku a dále udržuje v otopné soustavě konstantní tlak nezávisle na proměnném hydraulickém odporu soustavy. Čerpadlo je spuštěno, když ventil RVTV bude otevřen více jak 10%, nebo teplota topné vody za výměníkem bude větší jak 40°C. Odvod zbytkového tepla topné vody z výměníku je zajištěn tak, že čerpadlo je spuštěno po dobu, když je ventil RVTV otevřen alespoň nad 5% a současně je teplota větší jak 40°C. Klesne-li teplota topné vody pod hodnotu 40°C nebo se ventil uzavře pod hodnotu 5%, čerpadlo se automaticky zastaví.

Ve zpětné větvi je rovněž umístěn stávající kompresorový expanzní automat, který obsahuje vlastní řídicí jednotku pro automatickou regulaci tlaku v otopném systému. Při zvyšující se teplotě topné vody, tudíž i tlaku se z nádoby pomocí solenoidového ventilu odpouští vzduch. Při chladnutí soustavy se automaticky sepne kompresor, který natlakuje expanzní nádobu na požadovaný tlak. Jestliže tlak v otopném systému i po natlakování expanzní nádoby kompresorem nedosáhne žádané hodnoty, pak se pomocí dopouštěcího ventilu provede automatické dopouštění vody z vodovodního řádu do otopného systému. Pro vzdálený dohled a kontrolu tlaku v otopném systému bude osazeno potrubí zpětné větve snímačem tlaku P2.

Klesne-li hodnota teploty topné vody pod minimální hodnotu, pak se důsledkem regulace zvýší teplota vody na minimální hodnotu, aby nedošlo k zamrznutí vody v otopné soustavě. Vzroste-li hodnota teploty topné vody nad maximální hodnotu, pak se důsledkem regulace sníží teplota vody na maximální hodnotu, aby nedošlo k destrukci otopné soustavy důsledkem tepelného namáhání.

Společný časový plán pro vytápění kanceláří bude mít tři úrovně tj.:

- Denní - žádaná teplota 20,5 °C (4^{30} - 12^{59}).
- Noční - žádaná teplota 14 °C (13^{00} - 4^{29}).
- Útlum - žádaná teplota 14 °C (nevyrábí se pátek od 13^{00} do neděle 4^{29}).

5.2.2.1 Ekvitermní regulace vytápění kancelářských prostor

Ekvitermní regulace teploty v kancelářských prostorách spočívá v nastavení teploty topné vody v závislosti na venkovní teplotě. Při nižší venkovní teplotě je požadována vyšší teplota dodávané topné vody, aby došlo k rovnováze mezi dodaným teplem a tepelnými ztrátami kancelářských prostor a teplota v kancelářských prostorách tak zůstala konstantní.

Jsou dva hlavní důvody pro aplikaci ekvitermní regulace:

- Větší tepelná pohoda z důvodu potlačení dynamiky (kolísání) teplot v místnosti.
- Úspora energie, kdy není třeba zdroj tepla ohřívat na maximum a vydávat z něj největší výkon ale pouze vydat takový výkon, který stačí k ohřátí místnosti na požadovanou teplotu v závislosti na venkovní teplotě.

Projektová dokumentace otopného systému kancelářských prostor objektu 05 stanovuje teplotní spád 80/60°C. Na základě teplotního spádu byl proveden výpočet topné křivky přívodní vody (ekvitermní křivky) a výpočet topné křivky zpětné vody při stanovené venkovní teplotě -17°C a vnitřní teplotě 20,5°C.

Výpočet topné křivky přívodní vody:

$$t_1 = 0,5 \left[B \left[\frac{t_{ij} - t_e}{C} \right]^h + A \left[\frac{t_{ij} - t_e}{C} \right] \right] + t_{ij} \text{ [} ^\circ\text{C]} \quad (5.5)$$

$$t_1 = 0,5 \left[99 \left[\frac{20,5 + 17}{37,5} \right]^{0,8} + 20 \left[\frac{20,5 + 17}{37,5} \right] \right] + 20,5 = 80 \text{ [} ^\circ\text{C]} \quad (5.5)$$

Výpočet topné křivky zpětné vody:

$$t_1 = 0,5 \left[B \left[\frac{t_{ij} - t_e}{C} \right]^h - A \left[\frac{t_{ij} - t_e}{C} \right] \right] + t_{ij} \text{ [} ^\circ\text{C]} \quad (5.6)$$

$$t_1 = 0,5 \left[99 \left[\frac{20,5 + 17}{37,5} \right]^{0,8} - 20 \left[\frac{20,5 + 17}{37,5} \right] \right] + 20,5 = 60 \text{ [} ^\circ\text{C]} \quad (5.6)$$

Výpočet konstant:

$$A = t_{1j} - t_{2j} \text{ [K]} \quad (5.7)$$

$$A = 80 - 60 = 20 \text{ [K]}$$

$$B = t_{1j} + t_{2j} - 2 * t_{ij} \text{ [K]} \quad (5.8)$$

$$B = 80 + 60 - 2 * 20,5 = 99 \text{ [K]}$$

$$C = t_{ij} - t_{ej} \text{ [K]} \quad (5.9)$$

$$C = 20,5 - (-17) = 37,5 \text{ [K]}$$

$$h = \frac{1}{n} \text{ [-]} \quad (5.10)$$

$$h = \frac{1}{1,25} = 0,8 \text{ [-]}$$

V těchto vztazích je:

t_1 - teplota přívodní vody [°C]

t_2 - teplota zpětné vody [°C]

t_{1j} - výpočtová teplota přívodní vody 80°C [°C]

t_{2j} - výpočtová teplota zpětné vody 60°C [°C]

t_{ij} - výpočtová vnitřní teplota 20,5°C [°C]

t_e - venkovní teplota [°C]

t_{ej} - výpočtová venkovní teplota -17°C [°C]

A - konstanta [K]

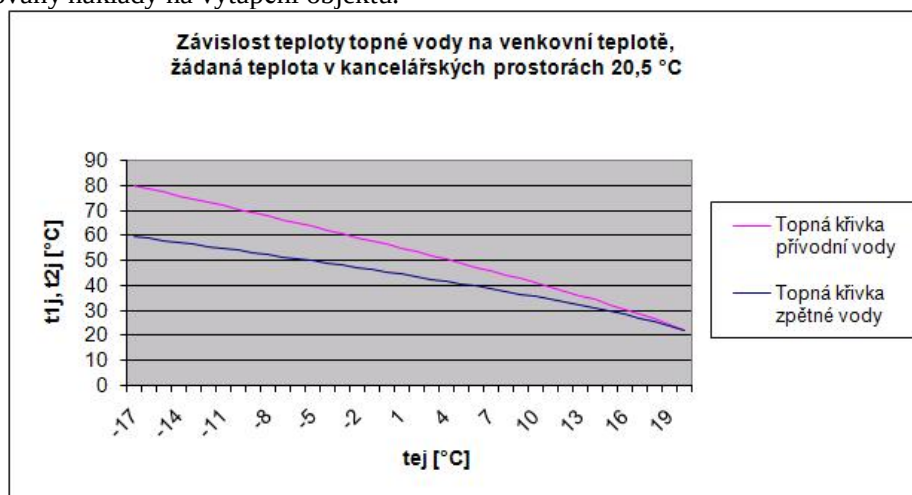
B - konstanta [K]

C - konstanta [K]

n - teplotní exponent - 1,33 pro článková a 1,25 pro desková a trubková otopná tělesa [-]

h - teplotní exponent - 1 / n zaveden pro jednodušší zápis výpočtových vztahů [-]

Nastavení ekvitermní křivky je dlouhodobá záležitost. Proto byly vytvořeny v prostředí ViewDet studia konstanty, které umožňují vertikální posun ekvitermní křivky a tím měnit hodnotu teploty topné vody při neměnné venkovní teplotě. Při optimálním nastavení ekvitermní křivky jsou minimalizovány náklady na vytápění objektu.



Obr. 9 Ekvitermní křivka pro vytápění kancelářských prostor

Z grafu je například patrné, že při požadované teplotě místnosti 20,5 °C a při venkovní teplotě 0 °C je nutné dodávat topnou vodu o teplotě 56,7 °C.

5.2.3 Měření a regulace ohřevu teplé užitkové vody

Zdrojem tepla pro ohřev teplé užitkové vody je výměník pára – voda. Při náběhu procesu vytápění se provede prohřev parovodního potrubí, přičemž se regulační ventil RVTUV postupně otvírá stejně jako tomu bylo u náběhu vytápění výrobních prostor, současně však musí být splněna podmínka otevřeného hlavního uzavíracího ventilu (HUV).

Po prohřátí parovodu se přechází do stavu, kdy ventil RVTUV s pomocí odvaděče kondenzátu, reguluje teplotu vody za parním výměníkem. Odvaděč kondenzátu je umístěn na potrubí odvodu kondenzátu, který se při poklesu teploty pod 99°C začíná otvírat a zkondenzovaná pára teče samovolně do zachytne kondenzační nádrže.

Pro získávání hodnot skutečné teploty teplé užitkové vody je výměník osazen snímačem teploty teplé užitkové vody (TTUV).

Do parního výměníku je přivedena užitková voda z vodovodního řádu. Na vstupní části přívodního potrubí užitkové vody je osazen impulsní vodoměr pro získávání hodnot spotřeby užitkové vody. Jednomu impulzu je přiřazena hodnota 10 litrů proteklého objemu užitkové vody.

Cirkulační čerpadlo MCTUV teplé užitkové vody zajišťuje oběh teplé užitkové vody v okruhu a tím umožňuje její odběr. Čerpadlo bude spuštěno, bude-li teplota užitkové vody ve výměníku větší jak 50°C. Bude-li teplota užitkové vody nižší jak 40°C, dojde k vypnutí čerpadla.

Rozsah teploty teplé užitkové vody je stanoven dle vyhlášky 194/2007 Sb. - Pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody. Obsluha bude mít možnost nastavit žádanou teplotu teplé užitkové vody v rozsahu od 45°C do 60 °C.

Dojde-li v důsledku zatuhnutí kuželky regulačního ventilu RVTUV k překročení hodnoty havarijní maximální teploty teplé užitkové vody, následuje uzavření HUV a nahlášení havarijního stavu na pult centrální obsluhy.

5.2.4 Přecherpací kondenzátní hospodářství

Ze soustavy vytápění výrobních, kancelářských prostor a ohřevu teplé užitkové vody se vrací zkondenzovaná pára jednotlivými kondenzátními větvemi přes odvaděč kondenzátu do otevřené kondenzátní zachytne nádrže. Kondenzátní nádrž slouží k shromažďování vzniklého beztlakého kondenzátu z vytápěného objektu, který je následně automaticky přecherpáván zpět do centrální kotelny. Odčerpávání kondenzátu z nádrže je řízeno dvěma elektrodami, které hlídají minimální a maximální výšku hladiny kondenzátu v nádrži. Při nastoupaní kondenzátu v nádrži na úroveň snímače maximální výšky (LAK max) se automaticky sepne čerpadlo kondenzátu (MK), které odčerpává kondenzát a vypne v úrovni minimální výšky hladiny snímače (LAK min).

Snímač teploty kondenzátu (TK), je umístěn na kondenzátní nádrži který přináší informaci o teplotě kondenzátu. Na výtokovém potrubí z kondenzátní nádrže je osazen impulsní vodoměr (Q2), který měří odčerpávané proteklé množství kondenzátu. Jednomu impulzu je přiřazena hodnota 100 litrů proteklého objemu kondenzátu. Z počtu impulsů načítaných v definovaném časovém intervalu je spočítán objem proteklého kondenzátu.

V případě havárie soustavy vytápění a ohřevu teplé užitkové vody dojde k zaplavení nejnižší položeného místa v suterénu podcentrály. V tomto místě je umístěn hladinový snímač (LAZ), který poskytuje informace o zaplavení řídicímu systému. Systém vyhodnotí stav a v případě zaplavení spustí čerpadlo kondenzátu (MK) a čerpadlo zaplavení (MZ). Následně se uzavře hlavní uzavírací ventil (HUV) a regulační ventily (RV1 až RV4) soustavy a nahlásí se poruchový stav na pult centrální obsluhy.

5.2.5 Poruchové stavy regulačního obvodu

Navržený regulační obvod bude sledovat stav technologie a v případě, že zaznamená nežádoucí stav, vyhlásí poruchu. Vzniklé poruchy se dělí na závažné poruchy, bránící provozu předávací stanice (Stisk tlačítka stop, zaplavení předávací stanice, nízký tlak topné vody, vysoká teplota předávací stanice), a na výstrahy, které nebrání provozu, ale znamenají nestandardní situaci.

Seznam poruch:

Popis	Význam
Havarijní tlačítko SB1	Sepnuto havarijní tlačítko (rozpínací kontakt).
Tlak páry za redukci P1	Sepnuta signalizace nízkého tlaku páry.
Teplota TP	Sepnuta signalizace vysoké teploty prostoru předávací stanice.
Tlak topné vody P2	Sepnuta signalizace vysokého tlaku topné vody.
Tlak topné vody P2	Sepnuta signalizace nízkého tlaku topné vody.
Teplota TTUV	Teplota TUV nad havarijní mezí.
Teplota topné větve TTV	Teplota topné vody nad havarijní mezí.
Zaplavení suterénu LAZ	Sepnuta signalizace zaplavení suterénu předávací stanice (rozpínací kontakt).
Čidlo TE	Detekována chybná hodnota čidla venkovní teploty.
Čidlo TM	Detekována chybná hodnota čidla teploty prostoru dílny (montáž).
Čidlo TV	Detekována chybná hodnota čidla teploty prostoru dílny (vývoj).
Čidlo TO	Detekována chybná hodnota čidla teploty prostoru dílny (odjehl.).
Čidlo TL	Detekována chybná hodnota čidla teploty prostoru dílny (lakovna).
Čidlo TSE	Detekována chybná hodnota čidla teploty prostoru přístavek sever.
Čidlo TJI	Detekována chybná hodnota čidla teploty prostoru přístavek jih.
Čidlo TOL	Detekována chybná hodnota čidla teploty prostoru přístavek oleje.
Čidlo TP	Detekována chybná hodnota čidla teploty prostoru předávací stanice.
Čidlo TTUV	Detekována chybná hodnota čidla teploty TUV.
Čidlo TTV	Detekována chybná hodnota čidla teploty topné větve.
Čidlo TK	Detekována chybná hodnota čidla teploty kondenzátu v kon. nádrži.
Čidlo T1	Detekována chybná hodnota čidla teploty páry za redukci.

Tab. 2 Seznam poruch

5.3 Požadavky na řídicí systém dle počtu vstupních a výstupních signálů

Dle návrhu technologického schématu je nutné zajistit, aby řídicí systém disponoval minimálně 15 analogovými vstupy, 5 digitálními vstupy a 25 digitálními výstupy. Vzhledem k tomu, že byl zvolen řídicí systém ART4000AC/1M společnosti Amit, spol. s r.o., který obsahuje pouze 8 analogových vstupů, 8 digitálních vstupů, 8 digitálních výstupů a 2 analogové výstupy, je nutné doplnit řídicí systém o rozšiřující moduly. Použitými rozšiřující moduly bude DM-RDO12 a DM-UI8RDO8, které budou komunikovat s řídicím systémem pomocí protokolu Arion.

Dle návrhu technologického schématu vytápění a ohřevu teplé užitkové vody byl vytvořen přehled potřebných vstupů a výstupů pro zapojení regulované soustavy.

Analogové vstupy ART4000AC/1M				
Signál	Označení	Název signálu	Typ snímače / akčního členu	Poznámky
AI0.0	TE	Teplota venkovní (externí)	Pt 1000/3850ppm	-50 ÷ 100 °C
AI0.1	TM	Teplota prostory haly (montáž)	Pt 1000/3850ppm	-30 ÷ 100 °C
AI0.2	TV	Teplota prostory haly (vývoj)	Pt 1000/3850ppm	-30 ÷ 100 °C
AI0.3	TO	Teplota prostory haly (odjehl.)	Pt 1000/3850ppm	-30 ÷ 100 °C
AI0.4	TL	Teplota prostory haly (lakovna)	Pt 1000/3850ppm	-30 ÷ 100 °C
AI0.5	TSE	Teplota prostory přístavek sever	Pt 1000/3850ppm	-30 ÷ 100 °C
AI0.6	TJI	Teplota prostory přístavek jih	Pt 1000/3850ppm	-30 ÷ 100 °C
AI0.7	TOL	Teplota prostory přístavek oleje	Pt 1000/3850ppm	-30 ÷ 100 °C
Analogové výstupy ART4000AC/1M				
Signál	Označení	Název signálu	Typ snímače / akčního členu	Poznámky
AO0.0	R	Rezerva	0-10 V	
AO0.1	R	Rezerva	0-10 V	
Digitální vstupy ART4000AC/1M				
Signál	Označení	Název signálu	Typ snímače / akčního členu	Poznámky
DI0.0	Q1	Průtok užitková voda (vodoměr)	Impulz	
DI0.1	Q2	Průtok kondenzát (vodoměr)	Impulz	
DI0.2	SB01	Havarijní tlačítko	Kontakt	Log. 1=OK
DI0.3	LAK	Min/Max hladina v nádrži kond.	Kontakt	
DI0.4	LAZ	Zaplavení suterénu předávací stanice	Kontakt	Log. 1=OK
DI0.5	R	Rezerva	Kontakt	
DI0.6	R	Rezerva	Kontakt	
DI0.7	R	Rezerva	Kontakt	
Digitální výstupy ART4000AC/1M				
Signál	Označení	Název signálu	Typ snímače / akčního členu	Poznámky
DO0.0	MZ	Čerpadlo zatopení suterénu	RDO	
DO0.1	RV1	Regulační ventil hlavních výrobních prostor	RDO	Otvírá
DO0.2	RV2	Regulační ventil přístavek sever	RDO	Otvírá
DO0.3	RV3	Regulační ventil přístavek jih	RDO	Otvírá
DO0.4	RV4	Regulační ventil přístavek oleje	RDO	Otvírá
DO0.5	MTV	Čerpadlo topné větve	RDO	
DO0.6	MK	Čerpadlo kondenzátu	RDO	
DO0.7	MCTUV	Cirkulační čerpadlo TUV	RDO	

Digitální výstupy DM-RDO12				
Signál	Označení	Název signálu	Typ snímače / akčního členu	Poznámky
RL0.0	R	Rezerva	RDO	
RL0.1	RV1	Regulační ventil hlavních výrobních prostor	RDO	Zavírá
RL0.2	RV2	Regulační ventil přístavek sever	RDO	Zavírá
RL0.3	RV3	Regulační ventil přístavek jih	RDO	Zavírá
RL0.4	RV4	Regulační ventil přístavek oleje	RDO	Zavírá
RL0.5	VTJOL	Vyt. jednotky přístavek oleje	RDO	
RL0.6	VTJSE	Vyt. jednotky přístavek sever	RDO	
RL0.7	VTJJI	Vyt. jednotky přístavek jih	RDO	
RL0.8	VTJL	Vyt. jednotky u lakovny	RDO	
RL0.9	VTJV	Vyt. jednotky u vývoje	RDO	
RL1.0	VTJO	Vyt. jednotky u odjehlování	RDO	
RL1.1	VTJM	Vyt. Jednotky u montáže	RDO	
Univerzální vstupy DM-UI8RDO8				
Signál	Označení	Název signálu	Typ snímače / akčního členu	Poznámky
UI0.0	TP	Teplota prostory předávací stanice	Pt 1000/3850ppm	-30 ÷ 100 °C
UI0.1	TTUV	Teplota užitkové vody v boileru	Pt 1000/3850ppm	-30 ÷ 200 °C
UI0.2	TTV	Teplota topné větve	Pt 1000/3850ppm	-30 ÷ 200 °C
UI0.3	TK	Teplota kondenzátu v kon. nádrži	Pt 100/3850ppm	-30 ÷ 180 °C
UI0.4	T1	Teplota páry za redukcí	Pt 100/3850ppm	-30 ÷ 180 °C
UI0.5	P1	Tlak páry za redukcí	DMP 331	4-20 mA
UI0.6	P2	Tlak topné vody	DMP 331	4-20 mA
UI0.7	R	Rezerva		
Digitální výstupy DM-UI8RDO8				
Signál	Označení	Název signálu	Typ snímače / akčního členu	Poznámky
RL0.0	HUV	Uzavírací ventil páry	RDO	Otvírá
RL0.1	HUV	Uzavírací ventil páry	RDO	Zavírá
RL0.2	RVTV	Regulační ventil TV	RDO	Otvírá
RL0.3	RVTV	Regulační ventil TV	RDO	Zavírá
RL0.4	RVTUV	Regulační ventil TUV	RDO	Otvírá
RL0.5	RVTUV	Regulační ventil TUV	RDO	Zavírá
RL0.6	R	Rezerva	RDO	
RL0.7	R	Rezerva	RDO	

Tab. 3 Přehled vstupních a výstupních signálů regulované soustavy

5.3.1 Napájení regulačního obvodu

Při výběru napájecího zdroje je nutné spočítat celkový odběr řídicího systému včetně rozšiřujících modulů, snímačů a akčních členů, které jsou napájeny ze stejného zdroje. K výsledné spotřebě je nutno připočítat odběr všech číslicových vstupů a relé, které jsou také napájeny ze stejného zdroje jako řídicí systém.

Název	Počet (ks)	I _{max} (mA)
Řídicí systém ART4000AC/1M	1	250
Rozšiřující modul DM-RDO12	1	160
Rozšiřující modul DM-UI8RDO8	1	120
Převodník linek DM-232TO485	1	100
Celkem		630
Pomocné relé	8	31 (0,75W)
Celkem		250
Číslicový vstup	5	10

Tab. 4 Přehled odběru proudu dílčích komponent regulačního obvodu

Výpočet dimenzování zdroje:

$$I = I_{RMax} + X * 10 + I_{SRe} \quad [A] \quad (5.11)$$

$$I = 630 + 5 * 10 + 250 = 0,93 \quad [A]$$

I_{RMax} - Maximální odběr řídicího systému s rozšiřujícími moduly a převodníkem.

X - Počet číslicových vstupů zapojených v řídicím systému.

I_{SRe} - Součet proudů relé.

Pro napájení řídicího systému je vhodné použít zdroj s maximálním výstupním proudem minimálně o 30 % vyšším, než je maximální vypočítaný odběr. Důvodem jsou náběhové proudy připojených zařízení.

$$I_{MAX} = 0,93 * 1,3 = 1,21 \quad [A]$$

Dle vypočítané hodnoty maximálního proudu lze použít stabilizovaný zdroj AZ1 24V/2,5A z produkce firmy Amit s.r.o.. Stabilizovaný zdroj zajistí konstantní výstupní napětí i při kolísání síťového střídavého napětí 230V. Pro jištění zdroje proti nadproudům a zkratu na primární straně vinutí bude sloužit tavná pojistka 0,5 A / 250 V. Na sekundární straně vinutí bude použita trubičková pojistka s hodnotou 2,5 A.

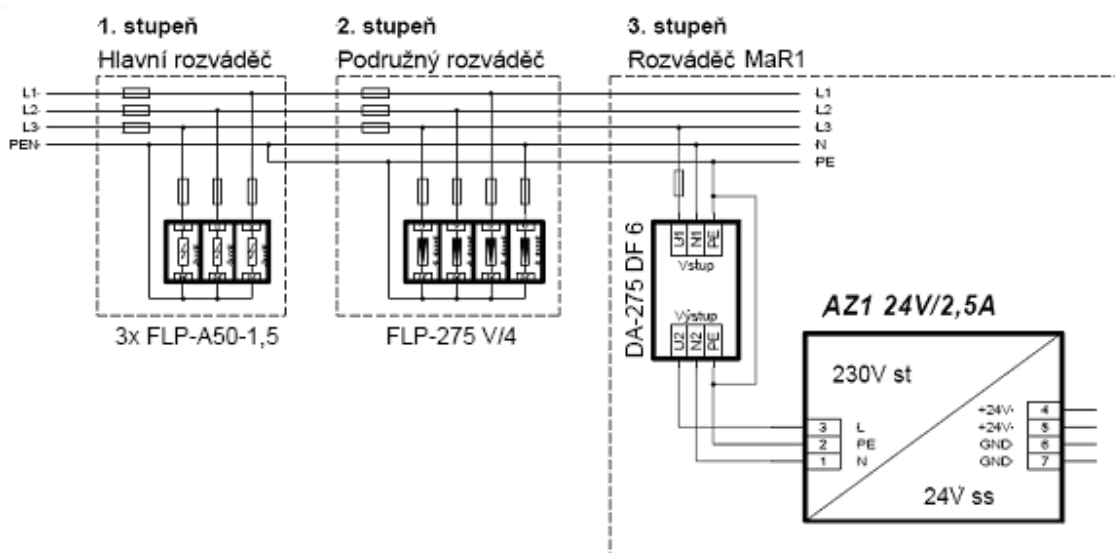
5.3.2 Návrh přepětové ochrany

Pro zvýšení odolnosti prvků regulačního obvodu proti pulznímu přepětí a vysokofrekvenčnímu rušení v síti je nutné na síťové straně napájecího zdroje navrhnout vhodný typ přepětové ochrany. Přepětovou ochranu rozdělujeme do tří stupňů podle úrovně přepětí, které dokáže příslušná ochrana bez zničení omezit.

Typy přepět'ových ochran:

- Ochrana prvního stupně je schopná ochránit zařízení při přímém úderu blesku. Svodič bleskového proudu, se umísťuje do hlavního rozváděče objektu. Většinou jsou realizovány pro třífázovou síť TN-C.
- Ochrana druhého stupně je určena pro omezení vlivu středních napětí. Tento typ ochrany nesnese přímý úder bleskem a ochrana je při prvním výboji zničena. Ochrana se umísťuje do podružných rozváděčů v objektu. Pro síť TN-C-S je nutno použít čtyři jednofázové ochrany.
- Ochrana třetího stupně je určena k omezení vlivu zbytkových napětí a je určena pro návaznou ochranu za druhý stupeň ochrany. Ani tato ochrana nesnese přímý úder blesku. Při prvním výboji je ochrana zničena a další výboje projdou bez omezení na již nechráněné zařízení. Tyto ochrany jsou často kombinované s vysokofrekvenčním filtrem omezujícím rušení a vyzařování. Ochrana se umísťuje do podružných rozváděčů do blízkosti chráněných zařízení.

Vzdálenost vedení mezi 2. a 3. stupněm ochrany musí být alespoň 15 m, vzdálenost mezi 1. a 2. stupněm ochrany musí být minimálně 10 m. Pokud je vzdálenost mezi stupni ochrany menší, je třeba mezi ně vložit rázové oddělovací tlumivky.



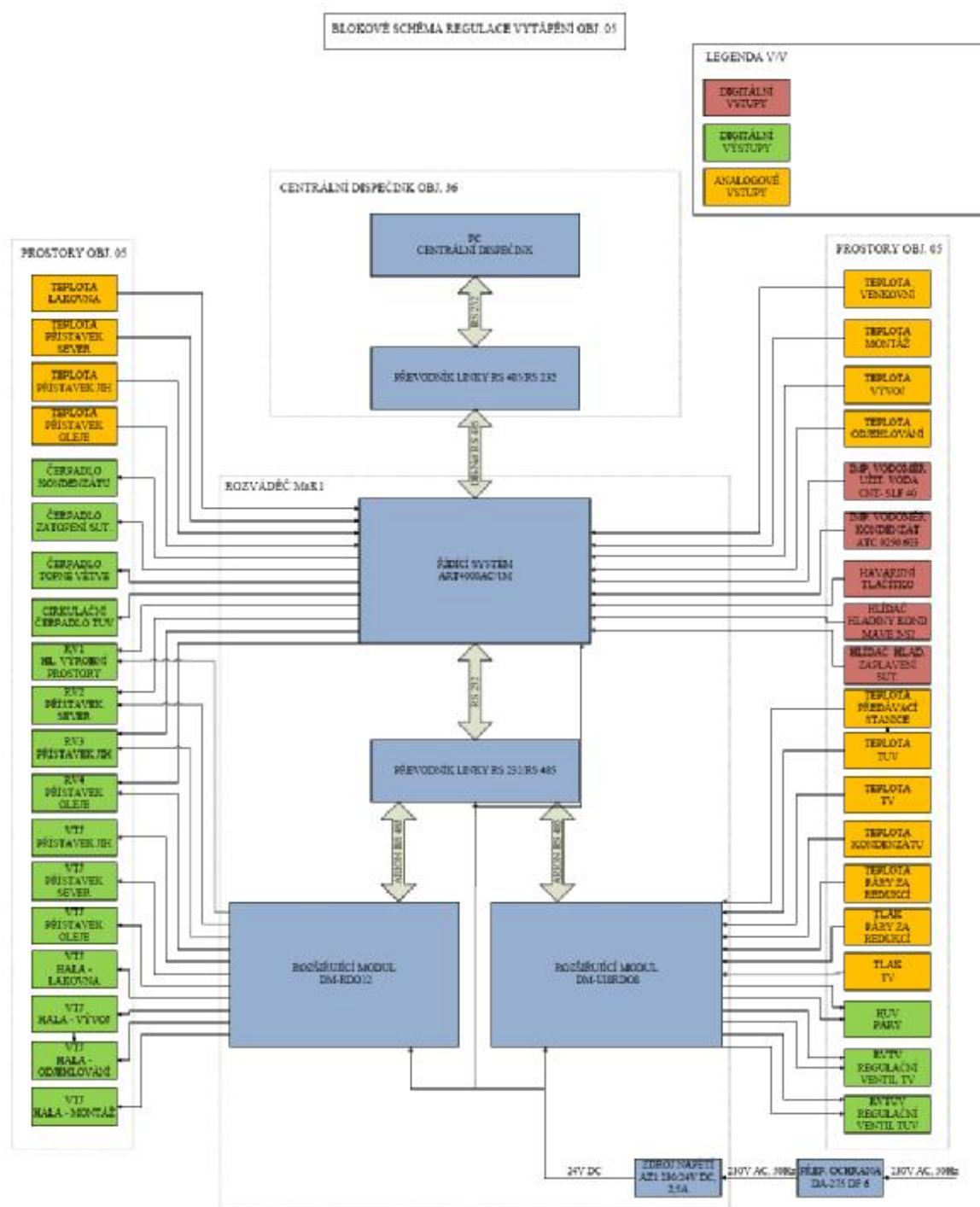
Obr. 10 Schéma zapojení přepět'ové ochrany v rozváděčových skříních

Součástí řešení regulačního obvodu bude navržena i přepět'ová ochrana, návrh vychází z technické dokumentace výrobce.

Napájecí vedení třífázové sítě TN-C hlavního rozváděče, kterým se rozumí rozvodna nízkého napětí objektu 05, se osadí svodičem bleskového proudu SPD typ 1-FLP-A50-1,5. V podružném rozváděči, který je vzdálen od rozvodny cca 80m se napájecí vedení tří fázové sítě TN-C-S osadí druhým stupněm přepět'ové ochrany SPD typ 2-FLP-275 V/4. Jednofázové napájecí vedení sítě TN- S v rozváděči podcentrály (MaR1), se osadí ochranou třetího stupně SPD typu 3 s vysokofrekvenčním filtrem DA-275 DF 6. Vzdálenost mezi rozváděčem podcentrály a podružným rozváděčem je cca 25m.

5.3.3 Blokové schéma regulačního obvodu

Blokové schéma zobrazuje propojení všech prvků regulačního obvodu. Základní a důležitou částí je rozváděč MaR1, který bude umístěn v předávací stanici objektu 05. Ten bude osazen řídicím systémem s rozšiřujícími moduly a dalšími potřebnými prvky pro regulaci vytápění a ohřev teplé užitkové vody. Řídicí systém bude propojen přes sériový port RS485 na centrální dispečink objektu 36.



Obr. 11 Blokové schéma regulačního obvodu

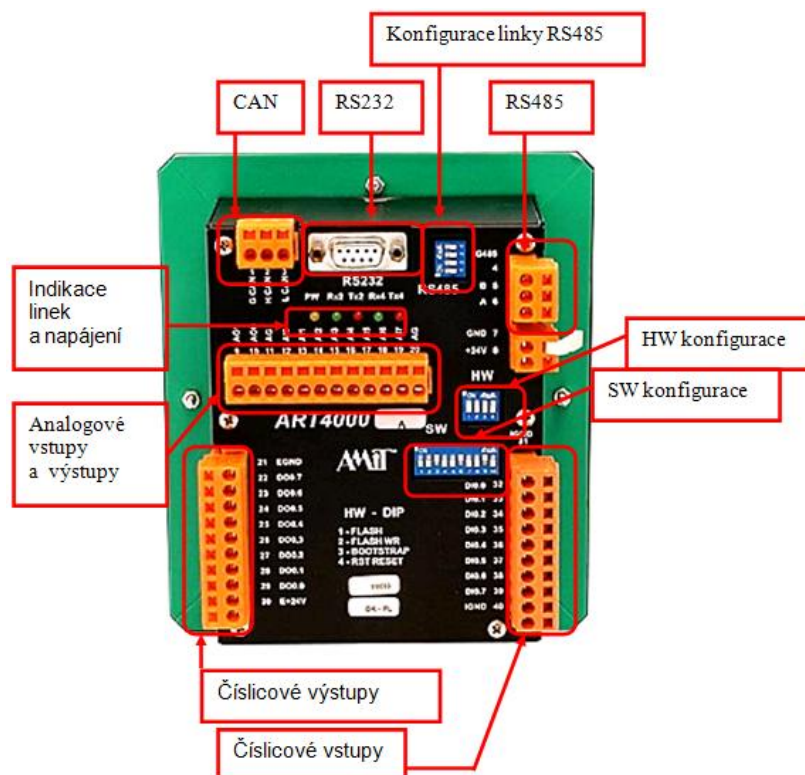
6 Prvky regulačního obvodu

V této kapitole bude uveden popis a nastavení jednotlivých prvků regulačního obvodu. Pro správnou funkci navrženého regulačního obvodu je nutné správně nastavit všechny požadované parametry jednotlivých modulů.

6.1 Kompaktní řídicí systém ART4000AC/1M

ART4000AC/1M je kompaktní řídicí systém, který obsahuje podsvětlený LCD displej s 4 x 20 znaky a membránovou klávesnicí s 27 tlačítky. ²Řídicí systém je tvořen 8 číslicovými vstupy, 8 číslicovými výstupy, 8 analogovými vstupy a 2 analogovými výstupy.

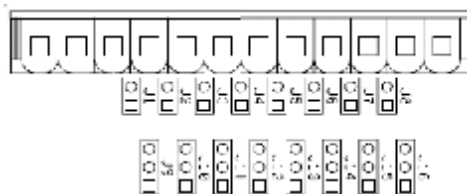
Galvanicky oddělené číslicové vstupy slouží pro připojení 24V střídavého i stejnosměrného signálu. Číslicové výstupy jsou realizovány galvanicky oddělenými MOS spínači, které spínají 24V stejnosměrného signálu s maximálním proudovým zatížením 0,5 A na jeden spínač. Analogové vstupy jsou bez galvanického oddělení a jsou nezávisle konfigurovatelné pro rozsahy 0-5 V, 0-10 V, 0-20 mA a pro přímé připojení čidel Ni1000. Načtena vstupní hodnota signálu se pomocí A/D převodníku převádí na digitální signál. Součástí systému jsou i dva analogové výstupy 0-10 V/10 mA, které jsou realizovány na principu pulzně šířkové modulace PWM. Řídicí systém dále obsahuje sériové rozhraní RS232 bez galvanického oddělení, RS 485 galvanicky oddělené a sběrnici CAN. V řídicím systému jsou použity zálohovací obvody pro zachování údajů v paměti RAM a pro obvod reálného času. Maximální odběr řídicího systému je 250 mA při stejnoměrném napětí 24 V.



Obr. 12 Rozmístění konektorů a svorek řídicího systému

6.1.1 Konfigurační propojky

Při nastavení analogových vstupů bude zvolena varianta s rozsahem 0 až 5V. Důvodem použití této varianty je možnost volit mezi snímači Pt1000/3800 ppm a Ni1000/6800 ppm. Konfigurace analogových vstupů se provádí pomocí konfiguračních propojek, které jsou umístěny pod plechovým krytem řídicího systému a musí být zapojeny dle následujícího schématu.



Obr. 13 Zapojení konfiguračních propojek pro rozsah 0 až 5V

6.1.2 Nastavení konfiguračních parametrů

Nastavení komunikačních parametrů se provádí u řídicího systému pomocí DIP přepínačů. DIP přepínače umožňují softwarovou a hardwarovou konfiguraci řídicího systému a nastavení komunikační linky RS485.

Nastavení konfiguračních parametrů:

- Nastavení softwarové konfigurace se provádí pomocí 10 DIP přepínačů, kterými se nastavuje adresa řídicího systému v rámci sítě DB-Net, komunikační rychlost, komunikační rozhraní a stav aplikace. Adresa musí být v rámci sítě jedinečná. Operační systém umožňuje fyzickou adresaci až 32 stanic. Komunikační rychlost řídicího systému musí být na všech řídicích systémech stejná.

Přepínač	Význam DIP SW	
1 až 5	Adresa v rámci sítě DB-Net	
DIP1	Váha 1	
DIP2	Váha 2	
DIP3	Váha 4	
DIP4	Váha 8	
DIP5	Váha 16	
6 a 7	Komunikační rychlost	
DIP6	DIP7	
OFF	OFF	9600 Bd
ON	OFF	19200 Bd
OFF	ON	38400 Bd
ON	ON	57600 Bd
	Komunikační rozhraní pro DB-Net	
DIP8	ON/OFF	RS485/RS232
	Stav aplikace	
DIP9	ON/OFF	Zapnutí/Vypnutí
	Konfigurovatelný přepínač (nevyužit)	
DIP10	ON/OFF	Zapnutí/Vypnutí

Tab. 5 SW konfigurace v rámci sítě DB-Net

Řídicímu systému bude v rámci sítě DB-Net přidělena adresa s váhou 11. Důvodem volby adresy je skutečnost, že v síti DB-net komplexu První brněnské strojírny je již připojeno 10 řídicích systémů, které jsou použity na různé aplikace. Komunikační rychlost bude nastavena na 19200 Bd (bit/s). Komunikační protokol DB-Net umožňuje komunikaci mezi řídicími systémy vždy pouze prostřednictvím jednoho sériového rozhraní tzn. buď prostřednictvím linky RS232 nebo linky RS485. Při návrhu propojení řídicího systému s centrálním dispečinkem byla zvolena varianta komunikace po lince RS485 důvodem je značná vzdálenost mezi propojovanými systémy.

- Hardwarová konfigurace má význam při zavádění a běhu aplikace. Nastavení se provádí pomocí 4 DIP přepínačů s následujícím významem:

Význam DIP HW		
Přepínač	ON	OFF
1	Start z FLASH	Start z RAM
2	Povolení zápisu do FLASH	-
3	Bootstrap povolen	Bootstrap zakázán
4	Povolen restart po lince RS232	Zakázán

Tab. 6.HW konfigurace

Dle doporučení výrobce bylo provedeno nastavení následujícím způsobem. Aplikace bude spuštěna z Flash paměti řídicího systému. V režimu Bootstrap je možné do interní paměti RAM procesoru zavést servisní program, který umožňuje testovat komponenty systému, obsluhovat periférie, programovat paměť FLASH, nebo pouze zavést libovolný program do paměti RAM. Režim Bootstrap a restart po lince RS232 bude zakázán z důvodu zásahu nepověřené osoby.

- Konfigurace linky RS485 - Konfigurace zakončovacího odporu linky a odporu pro definici klidového stavu.

Přepínač	Význam DIP RS485	
Klidový stav signálu A		
DIP1	ON/OFF	Povolen / Zakázán
Klidový stav signálu B		
DIP2	ON/OFF	Povolen / Zakázán
Zakončení linky RS485		
DIP3	ON/OFF	Povolen / Zakázán
Nevyužit		
DIP4	ON/OFF	Povolen / Zakázán

Tab. 7. Konfigurace linky 485

6.1.3 Sériové rozhraní RS 232

Řídicí systém bude s rozšiřujícími moduly propojen přes převodník linky DM-232TO485, který převádí sériovou linku RS 232 na RS 485. Rozhraní RS232 je vyvedeno na konektoru typu zásuvka CANON DB9 řídicího systému. Propojení řídicího systému bude prostřednictvím kabelu 232XV, který je osazen z jedné strany vidlicí CANON 9 a druhá strana je ukončena vodiči pro propojení převodníku DM-232TO485.

Linka RS232 je vhodná pro připojení na vzdálenost do 10 m a to v rámci jednoho rozváděče. Nevýhodou rozhraní RS232 je použití pouze pro komunikaci dvou systémů, malý dosah a nízká odolnost proti rušení.

CANON 9 ART4000	Význam	Barva vodiče
PIN 1	Neobsazeno	-
PIN 2	Rx Data	Žlutá
PIN 3	Tx Data	Bílá
PIN 4	DTR	-
PIN 5	GND	Hnědá
PIN 6	DSR	-
PIN 7	RTS	-
PIN 8	CTS	Zelená
PIN 9	Neobsazeno	-

Tab. 8 Fyzické propojení řídicího systému a převodníku

6.1.4 Sériové rozhraní RS 485

Řídicí systém bude propojen přes sériový port RS485 s externím převodníkem linky 232TO485PC, který bude připojen na sériový port RS 232 stanice centrální obsluhy. Rozhraní RS485 je vyvedeno na konektoru WAGO 231 řídicího systému. Lze zapojit až 32 jednotek na jeden segment. Všechny jednotky komunikují po jednom signálovém páru (A-B). ³Vedení musí být provedeno stíněným krouceným párem s impedancí blízkou $120 \Omega \pm 20 \%$ a zakončeno na obou koncích charakteristickou impedancí 120Ω . Maximální délka jednoho segmentu činí 1200m/19200 Bd (bit/s). Linkové obvody rozhraní RS485 obsahují ochrany proti přepětí. Obvody rozhraní RS485 jsou galvanicky odděleny od ostatní elektroniky systému ART4000AC/1M.

6.1.5 Sběrnice CAN

Řídicí systém obsahuje sběrnici CAN, která se používá převážně pro připojení zařízení jiných výrobců, kteří tuto sběrnici podporují. V současné době rozšiřující moduly společnosti Amit s.r.o. nedisponují sběrnici CAN a komunikují pomocí protokolu ARION po sériové lince RS485.

Maximální délka sítě CAN je 5200 m při rychlosti 10 kbit/s. Pro vyšší rychlosti délka úměrně klesá. S ohledem na zatížení sítě a zajištění správných statických i dynamických parametrů lze do sítě připojovat maximálně 30 jednotek. Vedení musí být provedeno stíněným krouceným párem s impedancí blízkou $120 \Omega \pm 20 \%$. Konce vedení komunikační sítě CAN je třeba impedančně přizpůsobit, aby nedocházelo k odrazům, proto se musí na koncových jednotkách zařadit zakončovací rezistory s hodnotou blízkou charakteristické impedanci 120Ω . Na průběžných jednotkách se zakončovací rezistory zapojovat nesmí, jelikož by docházelo k přetížení linkových obvodů.

6.2 Rozšiřující modul DM-RDO12

Modul DM-RDO12 umožňuje, prostřednictvím komunikační sítě Arion, rozšířit počet digitálních výstupů řídicího systému. Modul obsahuje 12 releových výstupů s nominálním spínaným střídavým napětím 230V, nebo 24V stejnosměrného, s maximálním proudovým zatížením 6A.

Komunikace s řídicím systémem probíhá po sériové lince RS485. Pro správnou funkci rozšiřujícího modulu DM-RDO12 je nutné nastavit adresu, která musí být jedinečná v rámci sítě Arion. Dále je nutné nastavit komunikační rychlost, v rámci sítě Arion. Všechny rozšiřující moduly v síti Arion musí být nastaveny na stejnou hodnotu komunikační rychlosti. Maximální odběr rozšiřujícího modulu je 160 mA při stejnoměrném napětí 24 V.

Váhy jednotlivých přepínačů adresy i možnosti nastavení komunikační rychlosti jsou uvedeny v následující tabulce:

Přepínač	Význam DIP SW	
1 až 6	Adresa v rámci sítě ARION	
ADR0	Váha 1	
ADR1	Váha 2	
ADR2	Váha 4	
ADR3	Váha 8	
ADR4	Váha 16	
ADR5	Váha 32	
7 a 8	Komunikační rychlost	
BAUD0	BAUD1	
OFF	OFF	9600 Bd
ON	OFF	19200 Bd
OFF	ON	38400 Bd
ON	ON	57600 Bd
Konfigurační propojky J6 - linky RS485		
1 a 2	linka A nezakončena	
3 a 4	linka B nezakončena	

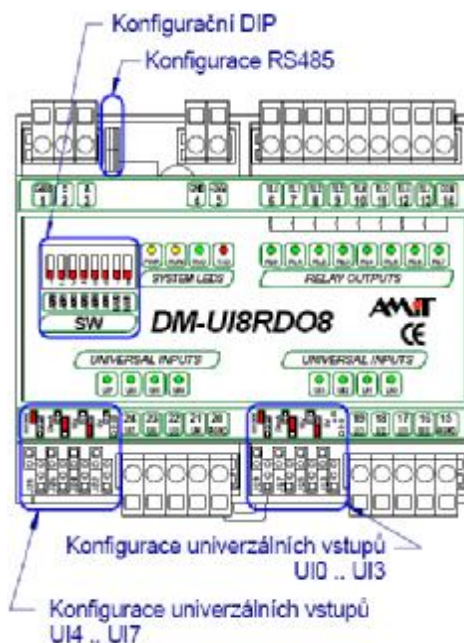
Tab. 9 SW konfigurace v rámci sítě ARION

Rozšiřující modul DM-RDO12 má v rámci sítě ARION přidělenou adresu s váhou 1 a komunikační rychlost 19200 Bd. Modul na komunikační lince RS485 je průběžný a nesmí mít nastaveny zakončovací odpory.

6.3 Rozšiřující modul DM-UI8RDO8

Důvodem volby modulu DM-UI8RDO8 je jeho variabilita. Modul umožňuje připojení zbývajících odporových snímačů teploty a nechává rezervu releových výstupů pro případné připojení dalších regulačních prvků. Modul DM-UI8RDO8 obsahuje 8 univerzálních vstupů a 8 releových výstupů.

Univerzální vstupy jsou bez galvanického oddělení a jsou nezávisle konfigurovatelné pro rozsahy, které lze použít jako analogové 0-5 V, 0-10 V, 0-20 mA, pro přímé připojení čidel Ni1000 nebo Pt1000, nebo číslicové vstupy 24V stejnosměrného signálu. Dále modul obsahuje 8 releových výstupů s nominálním spínaným napětím 230V střídavého napětí, nebo 24V stejnosměrného napětí s maximální proudovou zatížitelností kontaktů 2A. Komunikace s řídicím systémem probíhá po sériové lince RS485. Maximální odběr rozšiřujícího modulu je 120 mA při stejnoměrném napětí 24 V.



Obr. 14 Rozmístění svorek a konektorů modulu



Obr. 15 Nastavení propojek pro rozsah 0 až 5V

Váhy jednotlivých přepínačů adresy i možnosti nastavení komunikační rychlosti jsou uvedeny v následující tabulce:

Přepínač	Význam DIP SW	
1 až 6	Adresa v rámci sítě ARION	
ADR0	Váha 1	
ADR1	Váha 2	
ADR2	Váha 4	
ADR3	Váha 8	
ADR4	Váha 16	
ADR5	Váha 32	
7 a 8	Komunikační rychlost	
BAUD0	BAUD1	
OFF	OFF	9600 Bd
ON	OFF	19200 Bd
OFF	ON	38400 Bd
ON	ON	57600 Bd
Konfigurační propojky J3 - linky RS485		
1 a 2	Def. stavu linky a zakončení A	
3 a 4	Def. stavu linky a zakončení B	

Tab. 10 SW konfigurace v rámci sítě ARION

Rozšiřující modul DM-UI8RDO8 má v rámci sítě ARION přidělenou adresu s váhou 2, a komunikační rychlost 19200 Bd. Modul na komunikační lince RS485 musí mít nastaveny zakončovací odpory. K nastavení zakončení slouží konfigurační propojky J3.

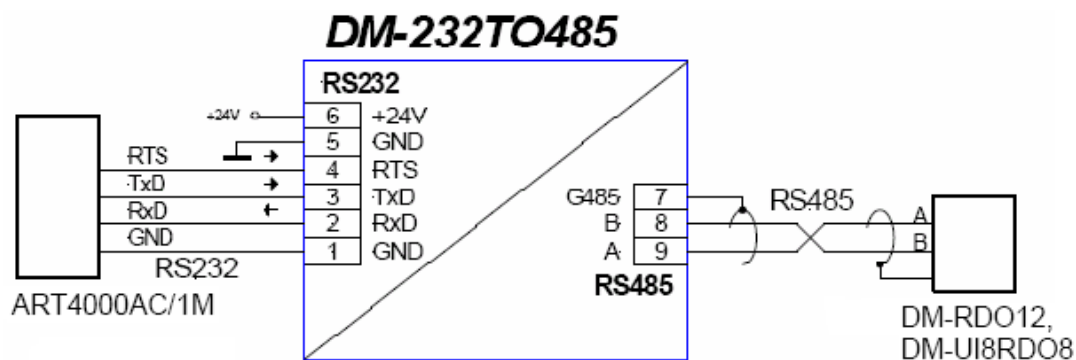
6.4 Převodník linek DM-232TO485

Při komunikaci mezi řídicím systémem a rozšiřujícími moduly je nutné převést komunikační linku RS232 na komunikační linku RS485. K tomuto účelu lze využít převodník DM-232TO485 z produkce firmy Amit s.r.o.. Převodník pracuje v automatickém režimu s maximální přenosovou rychlostí 115 kBd, ve kterém se automaticky přepíná směr přenosu signálu RTS. Převodník je napájen z externího zdroje stejnosměrným napětím 24V s maximálním odběrem 100 mA. V následující tabulce uvádím nastavení DIP přepínačů pro aktivaci převodníku.

DIP1	DIP2	Volba	Význam
-	ON	Automatic	Vysílač linky RS485 je aktivován stavem signálu Tx automaticky
OFF	OFF	RTS	Vysílač linky RS485 je aktivován řídicím signálem RTS ve stavu LOG 0
ON	OFF	non RTS	Vysílač linky RS485 je aktivován řídicím signálem RTS ve stavu LOG 1

Tab. 11 Nastavení řízení přenosu signálu po lince RS 485

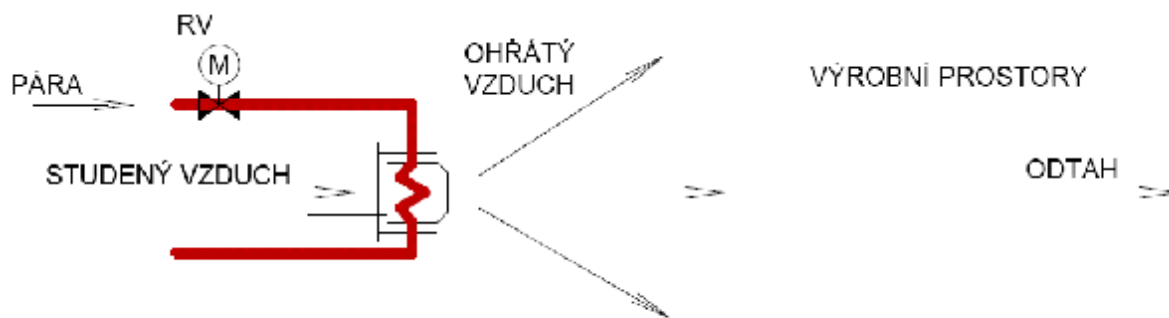
Převodník DM-232TO485 připojený k RS232 řídicího systému se nastavuje jako řízený signálem RTS, kde musí být oba přepínače na převodníku v poloze OFF (RTS).



Obr. 16 Příklad zapojení řídicího systému s rozšiřujícími moduly

7 Stanovení parametrů spojitého regulátoru

Pro stanovení parametrů regulátoru je nezbytné znát matematický popis soustavy, která se má regulovat. K tomu účelu je nutné provést identifikaci soustavy, tj. změřit vstupní a výstupní veličiny soustavy a následně vyhodnotit závislosti mezi nimi.



Obr. 17 Schéma vytápění prostor výrobní haly

Pomocí regulačního ventilu páry se reguluje teplota ohřátého vzduchu v prostorách výrobní haly. Ohřátý vzduch je snímán prostorovými snímači teploty. Teplo dodávané párou se spotřebovává na akumulaci do tělesa výměníku, na ohřev vzduchu a na ztráty do okolí. Vstupem soustavy je procento otevření ventilu a výstupem je teplota ohřátého vzduchu.

Regulační ventil nelze přestavit na požadovanou hodnotu za nekonečně krátkou dobu, ale přestavuje se vždy nějakou definovanou rychlostí. V našem případě je přestavení ventilu z 0% na 100% za dobu 120s.

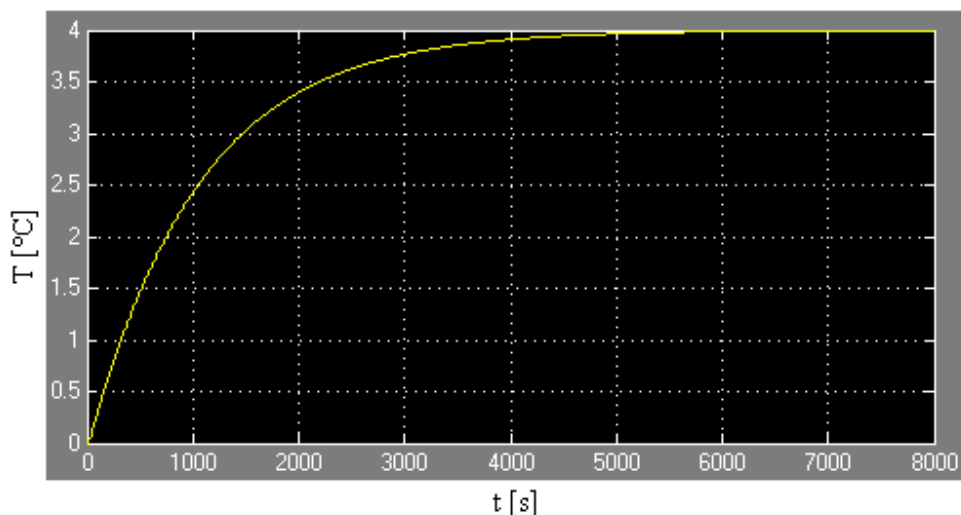
Přenos regulačního ventilu:

$$G_v(s) = \frac{1}{120 s}$$

Zbývající část regulované soustavy sestává ze dvou částí – teplovzdušná jednotka a výrobní hala. Vzhledem ke značné rozdílnosti dynamik obou částí a k omezeným možnostem přesnější identifikace soustavy bylo postupováno následovně. Po zapnutí teplovzdušné jednotky (skokový vstup) se její teplota zvyšovala z 14 °C až na konečnou teplotu 135 °C, přičemž 63 % z této změny se realizovala za 20 s. Současně s tím se sledovala teplota ve výrobní hale. Její teplota se za dlouhou dobu zvýšila z 14 °C až na konečnou teplotu 18 °C, přičemž 63 % z této změny trvalo cca 1050 s. Přenos teplovzdušné jednotky $G_{TJ}(s)$ a přenos výrobní haly $G_M(s)$ tedy jsou:

$$G_{TJ}(s) = \frac{121}{20 s + 1}$$

$$G_M(s) = \frac{4 / 121}{1050 s + 1}$$

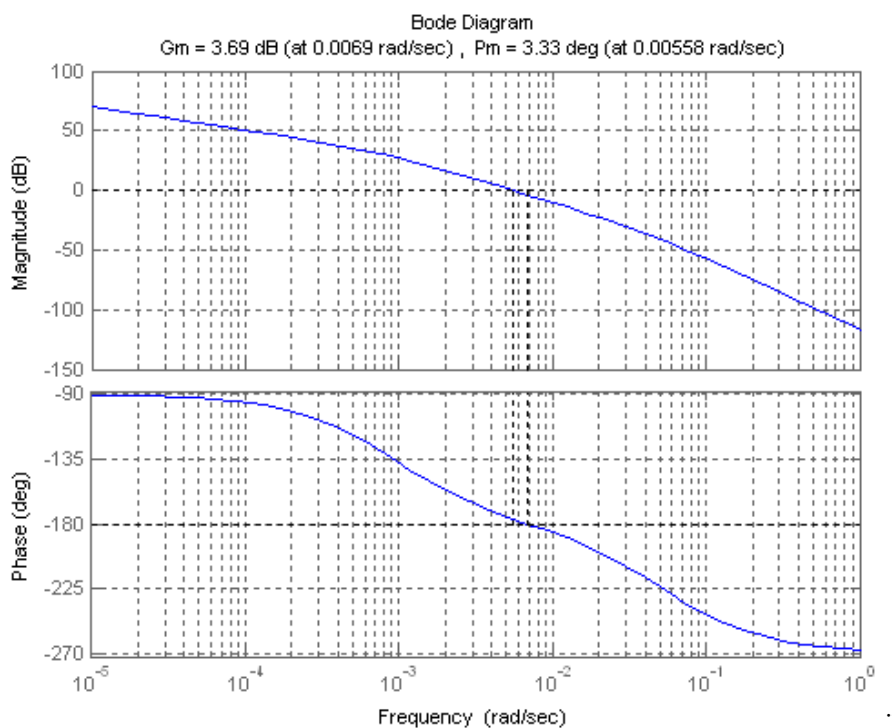


Obr. 18 Přechodová charakteristika části soustavy s přenosem $G_{TJ}(s) * G_M(s)$

Přenos celé regulované soustavy je součinem uvedených tří částí:

$$G_s(s) = G_v(s) * G_{TJ}(s) * G_M(s) = \frac{1}{120s} * \frac{121}{20s+1} * \frac{4/121}{1050s+1} = \frac{4}{(120s)(20s+1)(1050s+1)}$$

Ze známého přenosu regulované soustavy byla vykreslena frekvenční charakteristika.

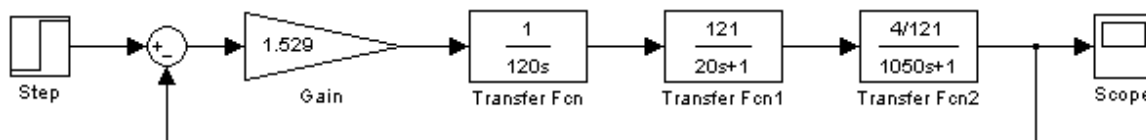


Obr. 19 Frekvenční charakteristika regulované soustavy

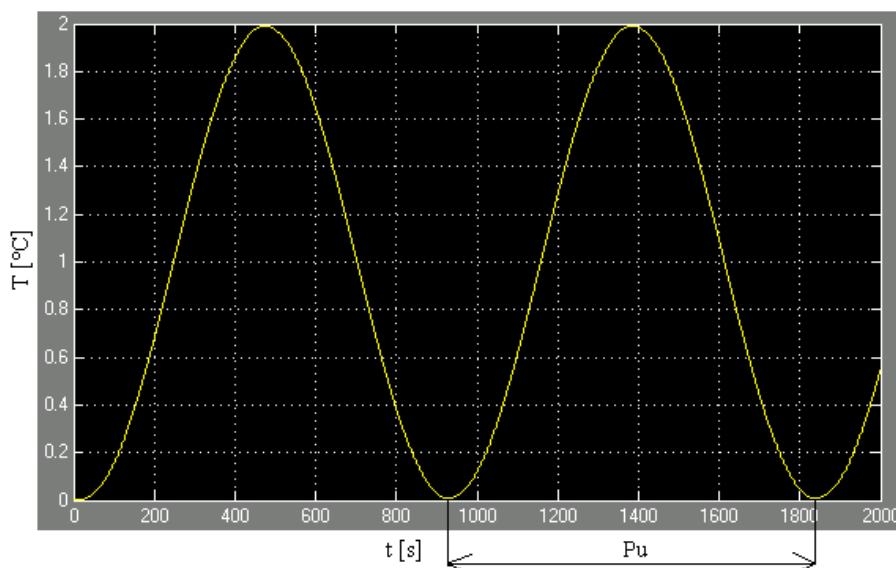
7.1 Návrh regulátoru

Na základě známého přenosu regulované soustavy byl v modulu Simulink vytvořen model regulačního obvodu. Pro správnou funkci regulačního obvodu musí být navržen vhodný typ regulátoru a jeho následné seřízení z hlediska zadaných požadavků na kvalitu regulace. Pro řízení vytápění se nejlépe uplatní regulátor obsahující proporcionální, integrační a derivační složku. Parametry PID regulátoru byly stanoveny z druhé metody Zieglera – Nicholse, metoda uzavřeného regulačního obvodu.

Dle metody Zieglera – Nicholse se vyřadí integrační a derivační část PID regulátoru, následně se provede skok žádané hodnoty. Skok žádané hodnoty byl opakován, dokud nebyla zaznamenána regulační odezva na mez stability. Pro mez stability byla zaznamenána hodnota proporcionálního zesílení K_u a odečtena kritická perioda P_u .



Obr. 20 Schéma regulačního obvodu (mez stability)



Obr. 21 Mez stability regulačního obvodu

Z obr. 21 byla odečtena kritická perioda:

$$P_u = 1840 - 930 = 910 \text{ [s]}$$

$$K_u = 1,529 \text{ [} ^\circ\text{C}^{-1}\text{]}$$

Výpočet optimálních parametrů PID regulátoru:

$$^4 k_p = 0,6 * Ku = 0,6 * 1,529 = 0,917 \text{ [} ^\circ\text{C}^{-1} \text{]} \quad (7.12)$$

$$T_I = \frac{Pu}{2} = \frac{910}{2} = 455 \text{ [s]} \quad (7.13)$$

$$T_D = \frac{Pu}{8} = \frac{910}{8} = 113,75 \text{ [s]} \quad (7.14)$$

Pro přenos regulátoru platí následující vztah:

$$G_R(s) = k_p * \left[1 + \frac{1}{T_I s} + T_D s \right] = k_p + \frac{k_p}{T_I s} + k_p * T_D s \quad (7.15)$$

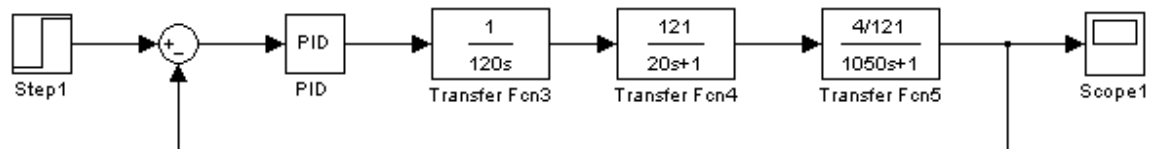
Jelikož prostředí Simulink pracuje s částečně odlišnou symbolikou, je potřeba vypočítat konstanty.

$$P = k_p = 0,917 \text{ [} ^\circ\text{C}^{-1} \text{]}$$

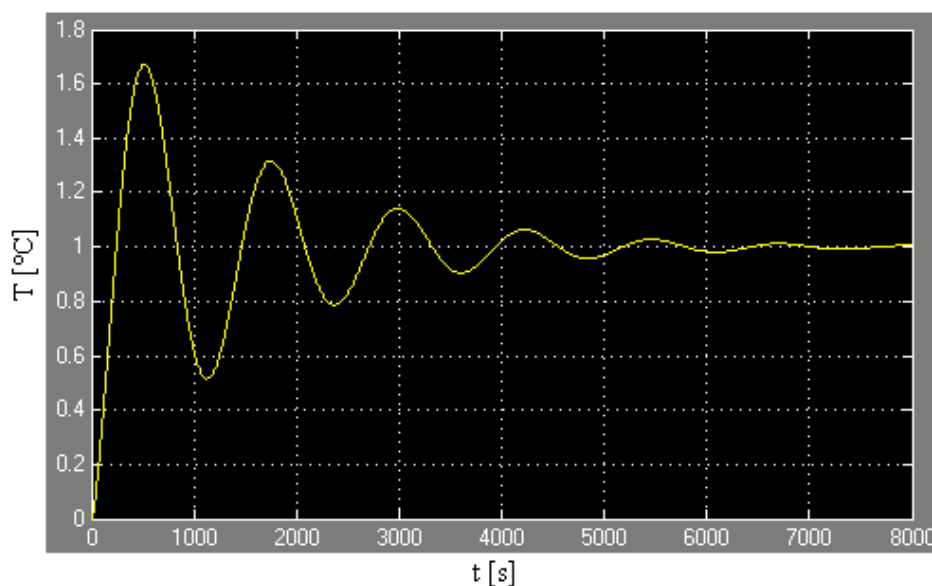
$$I = \frac{k_p}{T_I} = \frac{0,917}{455} = 0,00202 \text{ [} ^\circ\text{C}^{-1}\text{s}^{-1} \text{]} \quad (7.16)$$

$$D = k_p * T_D = 0,917 * 113,75 = 104,31 \text{ [} ^\circ\text{C}^{-1} \text{s]} \quad (7.17)$$

Vypočtené konstanty P, I a D byly dosazeny do PID bloku modulu regulačního odvodu a následně byla vykreslena přechodová charakteristika.



Obr. 22 Schéma regulačního obvodu



Obr. 23 Přechodová charakteristika regulačního obvodu

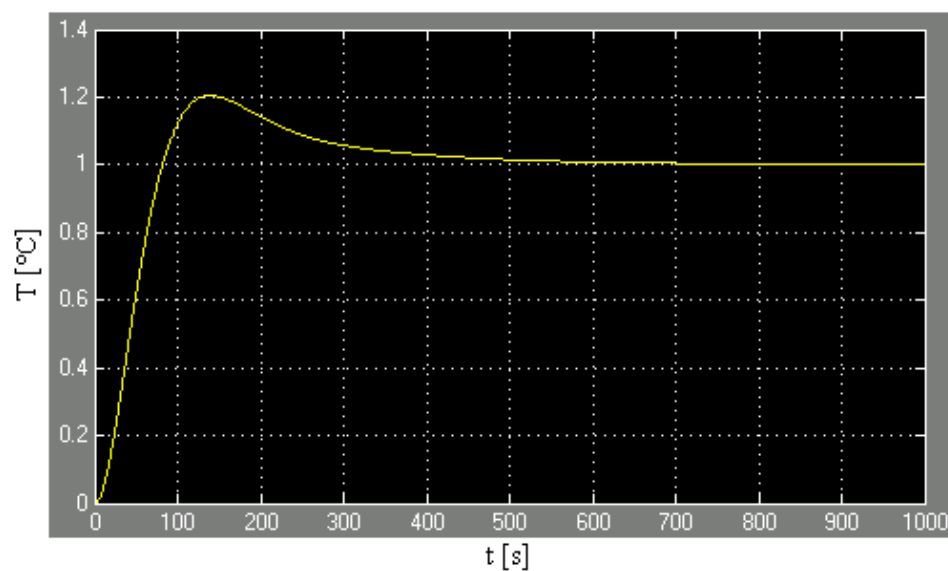
Po vykreslení přechodové charakteristiky regulačního obvodu byl relativní překmit větší než povolených 20 % a doba ustálení byla 5000 s. Doba ustálení je doba, za kterou trvale klesne odchylka regulované veličiny pod 5%. Regulační obvod se choval stabilně, avšak stanovené konstanty nejsou optimální (metoda Zieglera – Nicholse není příliš přesná). Na základě tohoto zjištění bylo nutné pozměnit proporcionální, integrační a derivační konstantu, abychom zmenšili velikost relativního překmitu a dobu ustálení.

Po upravení konstant:

$$P = 3,9 \text{ [} ^\circ\text{C}^{-1} \text{]}$$

$$I = 0,001 \text{ [} ^\circ\text{C}^{-1}\text{s}^{-1} \text{]}$$

$$D = 700 \text{ [} ^\circ\text{C}^{-1} \text{ s]}$$



Obr. 24 Přechodová charakteristika regulace teploty, výsledek řešení

Po upravení proporcionální, integrační a derivační konstanty PID regulátoru byl relativní překmit roven 20 % a doba ustálení byla cca 300s.

8 Softwarové prostředky

Pro tvorbu aplikací řídicích systémů slouží návrhové prostředí DetStudio od firmy Amit, spol. s.r.o.. Program lze po registraci zdarma stáhnout z firemního webu <http://www.amit.cz>. Pro instalaci návrhového prostředí DetStudia je nezbytné nejprve nainstalovat komunikační ovladač AtouchX, který zajišťuje přenos dat mezi řídicími systémy firmy Amit spol. s. r.o. a počítačem. Dalším krokem je instalace instalační služby systému Windows 3.0 instalační soubor WindowsInstaller-KB893803-v2-x86.exe, který je nutnou podmínkou pro instalaci NETFramework verze 2.0. Rozhraní NETFramework verze 2.0 zvyšuje škálovatelnost a výkon aplikací prostřednictvím vylepšeného využití mezipaměti, nasazení aplikací a jejich aktualizace. Posledním krokem je instalace návrhového prostředí DetStudia. Požadované volné místo na disku je 50 MB.

8.1 DetStudio

Návrhové prostředí slouží pro tvorbu uživatelských aplikací pro všechny řídicí systémy firmy Amit s.r.o.. Prostředí se skládá z několika nástrojů, jejichž vzájemnou kombinací lze vytvářet velmi komplexní aplikace včetně ovládacího a informačního rozhraní.

Hlavním nástrojem je editor procesů a podprogramů, ve kterém se do procesů a podprogramů jednoduchou formou zapisují příkazy programovacího jazyka a vytváří se algoritmická část řídicí aplikace.

Proces je část programu, která pracuje samostatně a nezávisle na ostatních částech programu (dalších procesech). Většina procesů je spouštěna periodicky, některé procesy mají specifické parametry spouštění. Je-li proces spuštěn, nemůže být přerušen jiným normálním procesem. Další normální proces může být spuštěn až po dokončení předchozího. Sejdou-li se v jednom okamžiku požadavky na spuštění více procesů, jsou spuštěny v pořadí od procesu s nejnižším číslem směrem k nejvyššímu. Program procesu může být psán jedním ze tří jazyků (ST, RS nebo LA). Zvláštním typem procesů jsou podprogramy. Nejsou spouštěny periodicky jako procesy, ale příkazy z jednotlivých procesů (podmíněné či nepodmíněné volání). Mají stejné formy zápisu a editory se od těch procesních neliší. Rozdíl je pouze ve vytváření procesů, které se neodehrává ve správci procesů, ale správci podprogramů.

Dalším nástrojem je editor obrazovek. V něm se vytváří vizualizace ve formě obrazovek pro řídicí systém do, kterých se vkládají ovládací prvky. Úkolem každé obrazovky je zobrazovat údaje odvozené od hodnoty proměnné v řídicí stanici. Hodnoty proměnné se zobrazují pomocí ovládacích prvků, na které lze navázat konkrétní proměnnou, v číselné nebo jiné (např. teploměr) vizualizované formě. Vzájemné přechody mezi obrazovkami jsou pak řízeny pomocí vlastností některých prvků nebo pomocí skriptů. Každá obrazovka musí mít své jméno. Obrazovka zajišťuje základní časování pro všechny prvky, které jsou na této obrazovce umístěny.

Řídicí stanice umožňují vést systémový i aplikační provozní deník. Provozní deník slouží k evidenci chyb a hlášení, které se vyskytují při provozu řídicího systému. Systémový provozní deník je umístěn v operačním systému NOS, lze ho prohlížet pouze na řídicím systému. Aplikační deník tak zcela nahrazuje systémový deník a poskytuje možnost zpracování všech hlášení, která vznikají mimo běh aplikace (např. start síťového zavaděče apod.) na stanicích PC v síti. Tento aplikační deník může mít libovolnou hloubku, která je omezena pouze velikostí volné paměti ve stanici PC. Vkládání záznamů do provozního deníku zajišťuje operační systém NOS procesní stanice. Záznam obsahuje datum a čas, kdy byl záznam vložen, kód hlášení, označení místa v programovém vybavení (funkčního modulu, fáze zpracování apod.), kde hlášení vzniklo a doplňující informaci závislou na kódu hlášení.

Komunikace DetStudia se stanicí řídicího systému se realizuje po sériové lince RS485, která po nastavení komunikace umožňuje:

- Nahrání vygenerovaného projektu do stanice.
- Nastavovat datum a čas ve stanici.
- Provádět identifikaci stanice.
- Nahrát do stanice operační systém NOS.
- Provádět Reset stanice.
- Vyčíst zdrojový kód nahraný ve stanici.

8.2 Servisní program ViewDet pro ladění aplikace

ViewDet je samostatný servisní a vizualizační nástroj určený pro operační systém Windows XP a jeho vyšší verze. Doplnjuje a rozšiřuje možnosti návrhového prostředí DetStudio v oblasti sledování, ladění a nastavení aplikace v řídicím systému. V omezené míře lze program použít jako jednoduchou vizualizaci. Základní vlastností servisního programu je čtení a zápis jednotlivých hodnot databázových proměnných a aliasů. ViewDet dále umožňuje zobrazovat, tisknout a exportovat archivy a provozní deník z řídicího systému. Archivy lze zobrazit buď v tabulce, nebo formou grafu. Zobrazované proměnné lze umístit libovolně v tzv. "scéně" s nadefinovaným obrázkem na pozadí. Pomocí zámku se zajistí, aby uživatel nechtěně nezměnil proměnné a parametry zobrazování v ViewDet.

8.3 Komunikační protokoly

Komunikační protokoly umožňují elektronickou komunikaci a přenos dat mezi dvěma koncovými body (realizované nejčastěji počítači). Protokol definuje pravidla řídicí syntaxi, synchronizaci vzájemné komunikace atd..

8.3.1 Protokol ARION

Protokol Arion je komunikační sériový poloduplexní protokol na komunikačním rozhraní RS485 pro komunikaci řídicích systémů společnosti Amit, spol. s.r.o. s rozšiřujícími moduly. Pomocí těchto rozšiřujících modulů lze navýšit počet vstupů/výstupů (jak číslicových, tak analogových) řídicího systému. Maximální počet rozšiřujících modulů připojených do jedné komunikační sítě je 63, čímž lze dosáhnout rozšíření řídicího systému až o 1512 číslicových, nebo až o 756 analogových vstupů.

Při vzrůstajícím počtu připojených rozšiřujících zařízení narůstají časové nároky na přenos dat a tomu odpovídá i prodlužující se perioda možné komunikace s připojenými moduly. Výpočet minimální periody, se kterou je možné komunikovat s připojenými moduly, je uveden níže.

8.3.1.1 Výpočet minimální doby periody

Při startu programu, který komunikuje s rozšiřujícími moduly prostřednictvím protokolu ARION, je nutné celou síť inicializovat. Při inicializaci řídicí systém posílá do jednotlivých modulů na síti rámce dat, které obsahují informace o režimech komunikace, a čeká na jejich odpověď. Pokud odpověď nedostane do uplynutí stanovené doby, prohlásí, že modul není připojen a pokračuje dalším modulem. Celou inicializaci je nutné provést programově v procesu INIT. Doba nutná k inicializaci sítě je přímo úměrná počtu inicializovaných modulů a nepřímo úměrná komunikační rychlosti. Následující tabulka udává dobu nutnou k inicializaci sítě, kde N je počet modulů, které jsou inicializovány.

Doba inicializace sítě [ms]	
9600 Bd	$T = 30 \times N + 11$
19200 Bd	$T = 17 \times N + 4$
38400 Bd	$T = 10 \times N + 3$
57600 Bd	$T = 7 \times N + 5$

Tab. 12 Doba inicializace

Stanovení doby inicializace sítě pro přenosovou rychlost 19200 Bd :

$$T = 17 * N + 4 = 17 * 2 + 4 = 38 \text{ [ms]} \quad (8.18)$$

Po úspěšném ukončení inicializace sítě se již může odehrávat vlastní komunikace s moduly. Pro optimální nastavení komunikace mezi moduly se musí nejprve stanovit minimální perioda komunikace. Minimální perioda komunikace je doba, která uplyne od vložení požadavku na komunikaci do fronty po úspěšné získání nebo vložení dat, je závislá především na typu modulu (moduly zpracovávající analogové signály mají delší dobu vybavení než moduly zpracovávající signály číslicové), dále na momentálním vytížení komunikační linky a v neposlední řadě na rychlosti komunikace.

Pro výpočet minimální periody (TDM) lze použít zjednodušený vzorec z následující tabulky.

Přenosová rychlost [Bd]	Minimální perioda komunikace [ms]
9600	$TDM = 50 \times DIG + 150 \times ANL$
19200	$TDM = 25 \times DIG + 80 \times ANL$
38400	$TDM = 15 \times DIG + 45 \times ANL$
57600	$TDM = 12 \times DIG + 35 \times ANL$

Tab. 13 Minimální perioda komunikace

Minimální perioda komunikace je dána součtem minimálních period všech definovaných uzlů. Pro stanovení minimální periody byla zvolena přenosová rychlost 19200 Bd. Dle tabulky číslo 13, použijeme vztah:

$$TDM = 25 * DIG + 80 * ANL = 25 * 2 + 80 * 1 = 130 \text{ [ms]} \quad (8.19)$$

,kde

DIG - Počet rozšiřujících modulů zpracovávajících číslicový signál (DM-RDO12, DM-UI8RDO8).

ANL- Počet rozšiřujících modulů zpracovávajících analogový signál (DM-UI8RDO8).

Minimální perioda pro všechny uzly je 130 ms. Pro zaručení vyšší spolehlivosti komunikace, bude stanovena dvojnásobně dlouhá perioda

$$T_D = 2 * 130 = 260 \text{ [ms]}$$

Zvýše uvedených výpočtů byla zjištěna minimální perioda komunikace, mezi rozšiřujícími moduly DM-RDO12 a DM-UI8RDO8. Pro případné rozšíření byly hodnoty minimální periody nastaveny následovně:

- DI 2000 ms
- DO 2000 ms
- AI 2000 ms

8.3.2 Protokol DB-Net

Protokol DB-Net je asynchronní síťový komunikační protokol implementovaný na lince RS485 nebo na lince RS232 (spojení typu bod-bod). Použitá topologie vychází z definice linky RS485, tedy jde o topologii typu sběrnice. Linka RS232 je v tomto uspořádání považována jenom za speciální případ sítě tvořené dvěma stanicemi. Přenos dat probíhá metodou žádost-odpověď. Tedy stanice s oprávněním vysílat vyšle rámec s požadavkem a očekává odpověď od protistanice. Kterákoliv stanice, jež právě nemá token, může kdykoliv obdržet žádost, kterou musí zpracovat a vyslat neprodleně odpověď. Přístup stanic na sběrnici je řízen metodou předávání tokenu v logickém kruhu, protokol je tzv. multimaster-multislave. Stanice, která má token, může začít vysílat žádost na přenos dat, stává se master (řídí celou síť). Po zpracování svých komunikačních požadavků předá token dál, stane se slave (pouze odpovídá na žádosti).

9 Popis vytvořené aplikace

Návrhové prostředí DetStudio umožňuje programátorovi zvolit si vlastní způsob tvorby programu. Od strukturovaného textu, přes jazyk logických adres až po releové schéma. Při návrhu algoritmu byla zvolena varianta zápisu ve formě strukturovaného textu. Zápis programu formou strukturovaného textu nabízí dostatečné množství funkcí podobné programovacím jazykům (např. Basic). Navržená aplikace se skládá z procesů, podprogramů a funkčních bloků, ve kterých je deklarován algoritmus určený pro danou činnost.

Navržená aplikace obsahuje čtyři procesy:

1. Režimy – Tento proces je hlavní kostrou programu, z kterého se volají jednotlivé podprogramy, které se spouští periodicky s délkou periody 1000 ms. Podprogramy vyvolávají funkční bloky, které umožňují zjednodušit zápis opakujících se činností v algoritmu.
2. Vstupy_Al – Proces zajišťuje načtení digitálního a analogového vstupního signálu. Obnovení vstupního signálu se děje periodicky po 2000 ms.
3. Pquick_ImpIn – Proces je určen k obsluze rychlých dějů v procesní stanici, k načítání impulsu od vodoměrů. Tento proces je spouštěn každých 100 ms.
4. ProcIDLE – Proces je určen k obsluze grafického výstupu na stanici ART4000 a je spouštěn vždy v okamžicích, kdy si žádný jiný proces nenárokuje procesor stanice.

Vývojový diagram uvedený na obrázku 25 graficky znázorňuje navržený algoritmus pro vytápění výrobních prostor objektu 05. Aplikace je navržena tak, aby si obsluha mohla zvolit režim pro vytápění (vypnuto, automatický, manuální).

Ve vypnutém stavu je hlavní uzavírací ventil HUV a regulační ventil RV1 uzavřen, regulovaná soustava není aktivní. V manuálním režimu obsluha nastavuje hodnotu procentuálního otevření ventilu a tím i žádané teploty ve výrobních prostorách. V manuálním režimu obsluha nastavuje hodnotu procentuálního otevření ventilu a tím ovlivňuje hodnotu teploty ve výrobních prostorách.

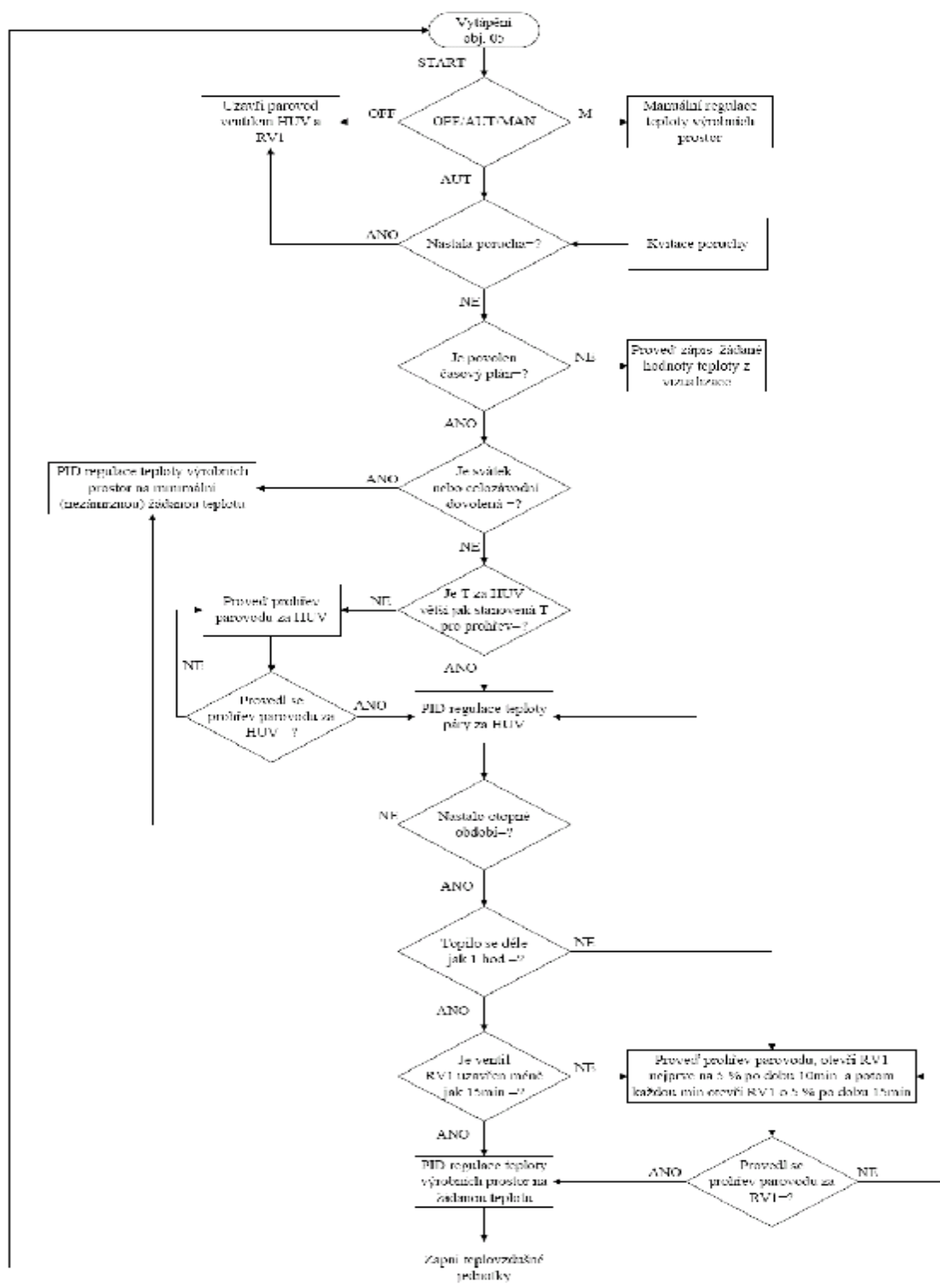
V automatickém režimu nejprve dojde k vyhodnocení poruchových stavů. Nastane-li porucha, provede se uzavření hlavního uzavíracího ventilu HUV, regulačního ventilu RV1 a vypnutí teplovzdušných jednotek.

V případě, že porucha nenastane, vyhodnocuje se, zda-li je povolen zápis žádané hodnoty z časového plánu. Není-li povolen zápis žádané hodnoty teploty z časového plánu, zapisuje se hodnota teploty z vizualizace. Je-li období svátků nebo období celozávodní dovolené bude regulovaná soustava vypnuta, při dosažení zámrzné hodnoty teploty se regulovaná soustava aktivuje.

Je-li splněn požadavek z časového plánu na ohřev teplé užitkové vody nebo na vytápění a není - li splněna podmínka svátků nebo dovolené musí se vyhodnotit, zda-li je nutné provádět prohřev parovodního potrubí za hlavním uzavíracím ventilem. Vyhodnocení se provádí tak, že se porovnává teplota teplotnosného média za hlavním uzavíracím ventilem s minimální hodnotou teploty pro zahájení prohřevu parovodu. Je-li minimální hodnota teploty pro prohřev parovodu vyšší jak skutečná teplota teplotnosného média provede se prohřev parovodu a to tím způsobem, že se každou minutu zvýší hodnota teploty teplotnosného média o povolený přírůstek. Po ukončení prohřevu parovodního potrubí regulátor reguluje hodnotu teploty teplotnosného média na žádanou hodnotu teploty v potrubí.

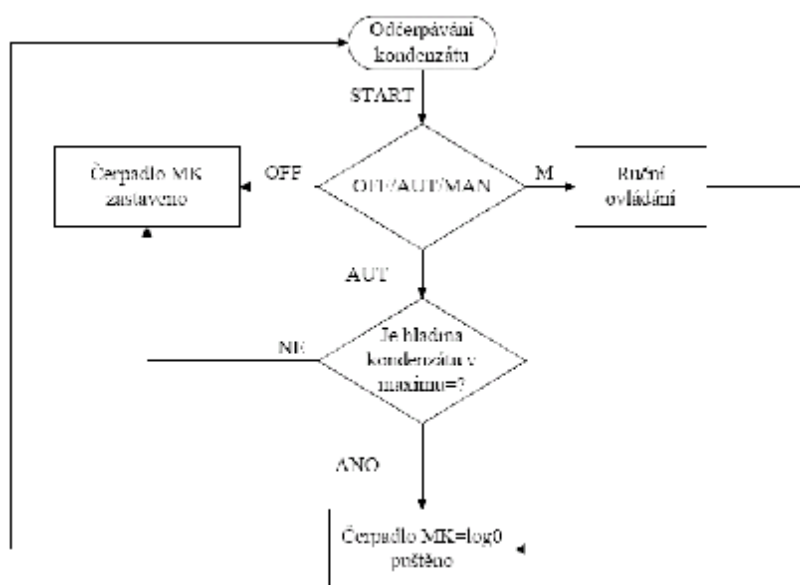
Pro zahájení procesu vytápění musí být splněna podmínka otopného období. Otopné období se definuje nezávisle z vizualizace, buďto dle data nebo dle venkovní teploty. Není-li splněna podmínka otopného období, teplota se ve výrobních prostorách bude regulovat na minimální (nezámrznou) hodnotu teploty. Je-li splněna podmínka otopného období, tak se vyhodnocuje, zda je nutné provést prohřev parovodního potrubí za regulačním ventilem RV1.

Vyhodnocení se provádí tak, že se průběžně testuje, zda se topilo déle jak 1 hodina a pokud je podmínka splněna, zjišťuje se, zda není ventil uzavřen déle jak 15 minut. Nejsou-li obě podmínky splněny, začne se provádět prohřev parovodu za regulačním ventilem a to tím způsobem, že se regulační ventil otevře na hodnotu 5 % a parovod se začne prohřívat po dobu 10 minut. Po uplynutí této doby se začne regulační ventil po dobu 15 minut pozvolna otvírat až na hodnotu cca 100 %. Po ukončení prohřevu celé soustavy parovodního potrubí regulátor reguluje hodnotu teploty ve výrobních prostorách na žádanou hodnotu a následně se zapnou teplovzdušné jednotky.



Obr. 25 Vývojový diagram pro vytápění výrobních prostor

Vývojový diagram uvedený na obrázku 26 graficky znázorňuje navržený algoritmus pro odčerpávání kondenzátu vzniklého při vytápění výrobních prostor. Aplikace je navržena tak aby si obsluha mohla zvolit režim pro odčerpávání vzniklého kondenzátu (vypnuto, automatický, manuální). Při nastoupení kondenzátu v kondenzátní nádrži na úroveň maximální hladiny se v automatickém režimu zpustí čerpadlo kondenzátu. Při odčerpávání kondenzátu z kondenzátní nádrže se čerpadlo automaticky vypne při dosažení úrovně minimální hladiny kondenzátu. Při zvolení manuálního režimu obsluha nezávisle na hladině kondenzátu zapíná a vypíná čerpadlo kondenzátu.



Obr. 26 Vývojový diagram odčerpávání kondenzátu

9.1 Načtení analogového signálu do řídicího systému

Analogové vstupy řídicího systému AI0.0 až AI0.7 slouží pro načítání vstupního signálu s následným přepočtem na napěťový signál, jeho interpolaci a následnou filtraci.



Obr. 27 Schéma načtení a zpracování analogového signálu

```
//Načtení analogového signálu
```

```
AnIn #AI00_0, AI00_X[0,0], AI00_X_Param[0,0], AI00_X_Param[0,1], AI00_X_Param[0,2],  
AI00_X_Param[0,3], AI00_X_Param[0,4]
```

Modul AnIn čte analogový údaj z logického vstupního kanálu AI00_0 a přepočítává jej na fyzikální veličinu. Pro přepočet na fyzikální veličinu jsou zapotřebí dva body, které udávají hodnotu fyzikální veličiny odpovídající dané hodnotě elektrické veličiny. Parametr AI00_X je výstupní proměnná do které se uloží hodnota elektrického signálu.

```
If @SP_AI00_Typ
```

Příkaz testuje podmínku nastavení použitého snímače teploty. Je-li podmínka splněna, vykoná se přiřazení snímače Pt1000. Narazí-li na příkaz Else, přeskočí následující funkční moduly. Zpracování pokračuje prvním funkčním modulem za příkazem EndIf. Není-li podmínka splněna, pokusí se předat řízení prvnímu funkčnímu modulu za příkazem Else, vykoná se přiřazení snímače Ni1000.

```
Interpol AI00_X[0,0], AI00_X_Ni[0,0], Kriv_Pt1000
```

Modul Interpol zajišťuje lineární interpolaci vstupního signálu podle zadaných hodnot teploty a elektrického signálu uložené v matici parametru Kriv_Pt1000.



Obr. 28 Závislost teploty na napětí

Do výstupní proměnné AI00_X_Ni modulu Interpol se uloží teplota přiřazená podle naměřeného elektrického signálu. Závislost teploty na napětí je definována funkcí $y = f(x)$.

```
Else
```

```
Ni1000U2T AI00_X[0,0], AI00_X_Ni[0,0], 6180, 15.000, 3920.000
```

Modul Ni1000U2T převádí přivedený vstupní signál ze snímače teploty Ni1000/6180ppm na odpovídající teplotní údaj, který se uloží do proměnné AI00_X_Ni. Modul Ni1000U2T se používá v případech, kdy měřená hodnota vstupu není přiřazena do logického kanálu.

Operační systém řídicího systému na těchto kanálech zajišťuje, že měřicí napětí se připojuje pouze na dobu nezbytnou pro měření vstupního signálu. Tímto mechanismem se odstraňuje chyba snímače, která by jinak vznikala vlivem vlastního zahřívání.

EndIF

Let AI00_X_Fx[0,0]= AI00_X_konst[0,0]*AI00_X_Ni[0,0]+AI00_X_konst[0,1]

Do proměnné AI00_X_Fx se uloží naměřená hodnota teploty ve stupních Celsia, která je korigována a doladěna pomocí hodnot, které jsou uloženy v matici proměnné AI00_X_konst. Hodnotu každého naměřeného vstupního signálu lze korigovat dle vztahu:

$$Y = A * T + B \text{ [} ^\circ\text{C]} \quad (9.20)$$

kde:

Y – Výsledná hodnota po korekci [°C].

A – Směrnice korekční přímky, pro nekorigované hodnoty A = 1.

T – Naměřená hodnota vstupu [°C].

B – Lineární posuv korekční přímky, pro nekorigované hodnoty B = 0.

//filtrace venkovní teploty

Filtr1R AI00_X_Fx[0,0], PV_T_Venku, AI00_X_konst[0,2]

Modul realizuje filtr prvního řádu, který se aplikuje na výslednou hodnotu měřenou analogovým vstupem. V proměnné AI00_X_konst je uložena hodnota časové konstanty. Časová konstanta je doba, za kterou dosáhne výstupní hodnota 63 % hodnoty vstupní při odezvě na skokovou změnu vstupu.

9.2 Ovládání hlavního uzavíracího ventilu

//Automatický režim

Case 1

If @ERRsum_HUV//v případě poruchy

Let PIDm_HUV.1=**true** //Vypni PID regulaci

Let PIDo_HUV=0 //Zavři hlavní uzavírací ventil

Else //Jestliže není porucha

Let PIDm_HUV.1=**false** //Zapni PID regulaci

//Jestliže je teplota páry za hlavním uzavíracím ventilem menší než teplota páry stanovená pro prohřev parovodu a zároveň teplota páry zvětšená o přírůstek je menší jak žádaná teplota páry, tak zapni prohřev

Let @HUV_Prohrev=**IF**((PV_T_ParRed<SP_T_HUV_Lim[0,0])**AND**(SP_T_HUVinit < SP_T_HUV),**true,false**)

If @HUV_Prohrev //Každou minutu zvyš hodnotu teploty páry o povolený přírůstek

Let SP_T_HUVinit = **IF** (CV_Time_Zmen.1,SP_T_HUVinit+SP_T_HUV_Lim[1,0], SP_T_HUVinit)

Let SP_T_HUVpid = SP_T_HUVinit //Pro regulaci použij inkrementující hodnotu

ELSE

```

Let SP_T_HUVinit = PV_T_ParRed //Dokud není prohřev, tak si pamatuj výchozí hodnotu
Let SP_T_HUVpid = SP_T_HUV //Pro regulaci použij nastavenou hodnotu
EndIf
EndIf
EndCase

```

Nastane-li porucha, PID regulátor se přepne do manuálního režimu a do proměnné PIDo_HUV se uloží hodnota nula, která udává procento otevření hlavního uzavíracího ventilu. Pokud porucha nenastane, PID regulátor je v autonomním provozu.

Pro zahájení prohřevu parovodního potrubí musí být teplota páry za hlavním uzavíracím ventilem uložená v proměnné PV_T_ParRed menší, jak teplota páry stanovena pro prohřev parovodu (SP_T_HUV_Lim[0,0]). Současně však musí být hodnota žádané teploty SP_T_HUV za hlavním uzavíracím ventilem větší, jak teplota páry zvětšena o přírůstek teploty (SP_T_HUVinit). Pokud je podmínka splněna, provede se blok If a každou minutu se k proměnné SP_T_HUVinit přičte přírůstek teploty zadaný z vizualizace. Tento pochod se provádí tak dlouho, dokud hodnota proměnné SP_T_HUVinit nebude větší, jak teplota páry stanovena pro prohřev parovodu, nebo jak žádaná teplota, potom se provede blok Else.

```

//PID regulátor HUV
PID SP_T_HUVpid, PV_T_ParRed, PIDo_HUV, PIDm_HUV, PIDp_HUV
//Polohování ventilu
Valve PIDo_HUV, Trun_HUV, PV_Poz_HUV, @DO_HUV_Z, @DO_HUV_O

```

Modul PID realizuje regulátor, který reguluje teplotu teplonosného média za hlavním uzavíracím ventilem. Skutečná teplota páry je načtena do proměnné PV_T_ParRed a porovnává se s žádanou hodnotou, která je načtena do proměnné SP_T_HUVpid. Potřebné akční zásahy zapisuje modul do proměnné PIDo_HUV. Řídicí proměnnou regulátoru je PIDm_HUV, ve které se nastavuje provoz hlavního uzavíracího ventilu. Do matice proměnné PIDp_HUV se zadávají parametry regulátoru např. proporcionální, integrační, derivační konstanta atd.

Valve modul se používá ve spolupráci s modulem PID, který určuje žádanou polohu pro hlavní uzavírací ventil v automatickém režimu. Nastavení ručního režimu se provede přepnutím modulu PID a následně lze manuálně měnit žádanou polohu ventilu. Modul PID tyto změny zaznamenává a je schopen se beznárazově přepnout zpět do automatického režimu. V ručním režimu se do proměnné PIDo_HUV z vizualizace zapisuje žádaná poloha ventilu 0 až 100%. Zadaná doba přeběhu hlavního uzavíracího ventilu je uložena v proměnné Trun_HUV, dobu přeběhu lze rovněž editovat z vizualizace. Do proměnné PV_Poz_HUV modul zapisuje odhad polohy, která je následně zobrazena ve vizualizaci.

Ventil se řídí dvěma výstupními bity, je-li bit @DO_HUV_Z nastaven na log. 1 ventil se začne uzavírat. Je-li bit @DO_HUV_O nastaven na log 1 ventil se začne otevírat. Modul zajišťuje, aby nikdy nebyly současně oba bity v log 1. Poloha ventilu se odhaduje na základě zadané doby přeběhu.

9.3 Prohřev parovodního potrubí

```

//Prohřev parovodu za regulačními ventily
LET @TimerIn_1 = IF (PV_Poz_RV>50,true, false) //Jestliže se topilo tzn. ventil min 50%
TimerOn @TimerIn_1, 3600000, @TimerOut_1, NONE //Za 1h nastav příznak 1 hodina topení
Let @RV_1hodTop=IF (@TimerOut_1,true, @RV_1hodTop) //Topilo se déle jak 1h nastav true

```

Na začátku vytápění a v jeho průběhu se vyhodnocuje, je-li nutné prohřívát parovodní potrubí za regulačními ventily RV1 až RV4. Vyhodnocuje se, zda-li byl regulační ventil otevřen více jak na 50%. Bit @TimerIn_1 se nastaví na hodnotu true a modul TimerOn začne odpočítávat čas jedné hodiny. Po uplynutí této doby je zaručeno, že parovodní potrubí je dostatečně prohřáté. Modul realizuje zpoždění náběžné hrany digitálního signálu. V případě, že po hodině vytápění nastane důsledkem regulace uzavření regulačního ventilu pod hodnotu 50%, tak se bit @TimerIn_1 nastaví na log0 a bit @RV_1hodTop se nastaví na předcházející hodnotu, tudíž nenastane přerušení vytápění.

//Netopilo se déle jak 15minut nastav false

Let @RV_1hodTop=**IF** (@TimerOut_2,**false**,@RV_1hodTop)

LET @TimerIn_2 = **IF** (PV_Poz_RV<5,**true**, **false**) //Jestliže se netopilo tzn. ventil < 5 %

TimerOn @TimerIn_2, 900000, @TimerOut_2, NONE //Za 15min nastav příznak 15 min netopení

Jestliže se přestalo topit, předpokládá se otevření regulačního ventilu méně jak 5 %. Pokud se tak stane bit @TimerIn_2 se nastaví na hodnotu true. V modulu TimerOn se nastartuje odpočet 15ti minut. Po uplynutí této doby se bit @TimerOut_2 nastaví na log 1 a do bitu @RV_1hodTop se uloží false. Tímto definujeme opětovný prohřev parovodu.

//Jestliže se netopilo déle jak 15min nastav true

Let @RV_15minZa=**IF**(@TimerOut_2,**true**, @RV_15minZa)

//Jestliže se topilo déle jak 1hod nastav false

Let @RV_15minZa=**IF**(@TimerOut_1,**false**, @RV_15minZa)

//Stanovení podmínek zahájení prohřevu parovodního potrubí

//Jestliže se topilo déle jak 1h a odstaveno méně jak 15 min, zruš prohřev

Let @RV_Prohrev=**IF** (@RV_1hodTop AND NOT @RV_15minZa, **false**, @RV_Prohrev)

Let @RV_Prohrev=**IF** (@RV_15minZa, **true** , @RV_Prohrev) //nad 15 min odstavení zapni prohřev

//po 10+15 minutách prohřevu a limitace nuluj příznak prohřevu

Let @TimerIn_4=@RV_Prohrev

TimerOn @TimerIn_4, 1500000, @TimerOut_4, NONE

If @TimerOut_4

Let @RV_Prohrev=**false**

EndIf

If @RV_Prohrev //Každou minutu zvyš žádanou hodnotu polohy o povolený přírůstek

Let @TimerIn_3=@RV_Prohrev

TimerOn @TimerIn_3, 600000, @TimerOut_3, NONE

If @TimerOut_3 //po 10 minutách limituj výstup po dobu 15min

Let PIDo = **IF** (@ZmenaMinuty AND (PIDo>SP_G_RV_Lim[0,0]),SP_G_RV_Lim[0,0]+
 SP_G_RV_Lim[1,0], PIDo)

Else

Let PIDo=5 //Po dobu 10 minut jen na 5%

EndIf

Else

Let SP_G_RV_Lim[0,0] = 5 //Nulování když není prohřev

EndIf

Jestliže bude regulační ventil otevřen méně jak 5 % po dobu delší než 15minut, nastaví se bit @RV_Prohrev a bit @TimerIn_4 na hodnotu true. Modul TimerOn vyhradí čas 25minut tj. 1500000 ms na prohřev parovodu. Prvních 10minut z této doby je vyhrazeno pro prohřev, kde regulační ventil bude otevřen na hodnotě 5 %. Nejprve se provede blok else a po uplynutí 10 minut se provede blok if. Zbývajících 15minut se bude regulační ventil otvírat každou minutu o 5%. Po uplynutí vyhrazené doby se prohřev přeruší a modul PID reguluje na žádanou teplotu.

9.4 Řízení a regulace hlavních výrobních prostor

```
//Výpočet průměrné měřené teploty hl. výrobních prostor s vyloučením vadných snímačů
Let Sum_Thala=0; Sum_Thala_i=0 //Nulování proměnných
Let Sum_Thala=IF (@Err_ThalaV, Sum_Thala, Sum_Thala+PV_T_HalaV)
Let Sum_Thala=IF (@Err_ThalaO, Sum_Thala, Sum_Thala+PV_T_HalaO)
Let Sum_Thala=IF (@Err_ThalaM, Sum_Thala, Sum_Thala+PV_T_HalaM)
Let Sum_Thala=IF (@Err_ThalaL, Sum_Thala, Sum_Thala+PV_T_HalaL)
Let Sum_Thala_i=IF (@Err_ThalaV, Sum_Thala_i, Sum_Thala_i+1)
Let Sum_Thala_i=IF (@Err_ThalaO, Sum_Thala_i, Sum_Thala_i+1)
Let Sum_Thala_i=IF (@Err_ThalaM, Sum_Thala_i, Sum_Thala_i+1)
Let Sum_Thala_i=IF (@Err_ThalaL, Sum_Thala_i, Sum_Thala_i+1)
Let CV_Tavg_HALA=Sum_Thala/Sum_Thala_i //Průměrná teplota hl. výrobních prostor
```

Stanovení aktuální průměrné teploty hlavních výrobních prostor se provádí tak, že se nejprve vyhodnotí, zda naměřená hodnota teploty v jednotlivých sekcích leží v daných mezích. Leží-li naměřená teplota v daných mezích, uloží se teplota do proměnné Sum_Thala. Výstupem je součet naměřených hodnot teplot ze všech snímačů kromě poruchových. Hodnota teplot se podělí aktivními snímači a uloží se do proměnné CV_Tavg_HALA.

```
//Výpočet minimální měřené teploty hl. výrobních prostor s vyloučením vadných snímačů
Let PV_T_HalaV=IF (@Err_ThalaV, 99, PV_T_HalaV)
```

Jestliže aktuální hodnota naměřené teploty leží v daných mezích je bit @Err_ThalaV nastaven v log 0 a do proměnné PV_T_HalaV se uloží aktuální hodnota teploty z dané sekce. V případě vzniku poruchy se do proměnné PV_T_HalaV uloží hodnota 99.

```
//Najdi min. hodnotu teploty hl. výrobních prostor
Let CV_Tmin_HALA = MIN ( PV_T_HalaV, PV_T_HalaO, PV_T_HalaM, PV_T_HalaL)
```

Vybere se minimální hodnota aktuální teploty a uloží se do proměnné CV_Tmin_HALA.

```
//PID regulace na minimální hodnotu žádané teploty
PID SP_T_HALA, CV_Tmin_HALA, PIDo_HALA, PIDm_HALA, PIDp_HALA
```

```
//PID regulace na minimální hodnotu žádané teploty v bezporuchovém provozu
```

```
Let PIDm_HALA.1=false //Přepni PID do automatu
```

```
If @CPenb_HALA //Jestliže je povoleno plánování tak plánuj žádané hodnoty
```

```
    DayPlan 0x0000, 8, 0x0001, 0x0002, 0x0004, 0x0008, 0x0010, 0x0020, 0x0040, 0x0080,
    CP_Svatky, CPcas_Hala, CPval_HALA, CPout_HALA
```

```

Let SP_T_HALA=CPout_HALA //Přiřazení výstupní hodnoty z časového plánu do žádané
    hodnoty načtené z klávesnice
Else //Jinak se zapisuje žádaná hodnota teploty přímo z vizualizace
EndIf

```

Jestliže je bit @CPenb_HALA nastaven na hodnotu log 1, bude se teplota v hlavních výrobních prostorách regulovat na žádanou teplotu z časového plánu. Jinak se zapisuje žádaná hodnota teploty ručně z vizualizace.

//Ovládání vytápěcích jednotek

```

Hyst PV_T_HalaV, @DO_VTJ_V, SP_T_HALA, SP_Thys_HALA, 0x0001

```

Modul Hyst porovnává hodnotu teploty v jednotlivých sekcích hlavních výrobních prostor s hodnotou žádané teploty. V okolí žádané teploty je možné zadat pásmo necitlivosti (hysterezi). Hystereze potlačí zbytečné mnohonásobné spouštění teplovzdušných jednotek v případě, že se skutečná hodnota teploty pohybuje v těsném okolí žádané teploty. Teplovzdušné jednotky budou spouštěny s nastavenou hysterezí 1°C žádané teploty.

//Omezující regulace, prohřev parovodního potrubí za hlavním uzavíracím ventilem

```

If @HUV_Prohrev //Jestliže probíhá prohřev za hlavním uzavíracím ventilem

```

//Vypni teplovzdušné jednotky

```

    Let @DO_VTJ_V=false; @DO_VTJ_O=false; @DO_VTJ_M=false; @DO_VTJ_L=false

```

```

EndIf

```

Probíhá-li prohřev parovodu za hlavním uzavíracím ventilem jsou vytápěcí jednotky vypnuty.

//Prohřev na RV1, funkční blok prohřevu parovodu

```

fb_Prohrev PV_Poz_RV1, @RV1_Prohrev, SP_T_HALA, @Cas_Min_Zme, SP_RV1_Lim

```

//Akce plynoucí z probíhajícího prohřevu

```

If @RV1_Prohrev //Jestliže probíhá prohřev za RV1

```

//Vypni vytápěcí jednotky

```

    Let @DO_VTJ_V=false; @DO_VTJ_O=false; @DO_VTJ_M=false; @DO_VTJ_L=false

```

```

EndIf

```

Probíhá-li prohřev parovodu za regulačním ventilem jsou vytápěcí jednotky vypnuty.

//ovládání 3 polohového ventilu

```

Valve PIDo_HALA, Trun_RV1, PV_Poz_RV1, @DO_RV1_ZA, @DO_RV1_OT

```

9.5 Řízení a regulace topné větve

//Přepočet požadované teploty topné větve dle venkovní teploty

//Průměrování aktuální venkovní teploty 5 vzorků, posun po 10 minutách

```

TimerOn @TimerIn_0, TimerSP_0, @TimerOut_0, TimerPV_0

```

```

IF @TimerOut_0

```

```

    AvgVar PV_T_Venku, Tvenku_5vzr, 5

```

```

    LET @TimerIn_0=false

```

```

Else

```

```
LET @TimerIn_0=true
EndIf
```

Modul TimerOn každých 10minut nastaví bit @TimerOut_0 na hodnotu log1 a provede se příkaz If.

Následně se provede modul AvgVar, který vytváří klouzavý průměr z pěti vzorků venkovní teploty a ukládá jej do proměnné Tvenku_5vzr. Ze získaných hodnot teplot uložených v proměnných PV_T_Venku „AKTUÁLNÍ“ a Tvenku_5vzr „TLUMENÁ“ se vypočte průměrovaná venkovní teplota dle vzorce $(PV_T_Venku / 2) + (Tvenku_5vzr / 2)$.

```
//Výpočet průměrované venkovní teploty  $(T\_aktuální/2)+(T\_5vzr/2)$ 
Let Tvenku_Prum= $(PV\_T\_Venku/2)+(Tvenku\_5vzr/2)$ 
```

```
//Výpočet požadované teploty TV pomocí ekvitermní křivky 1-5 a korekce
```

```
Switch Ekviterm_K
```

```
Case 1
```

```
    Interpol Tvenku_Prum, SP_T_TV_e, Ekviterma_1
```

```
EndCase
```

```
Case 2
```

```
    Interpol Tvenku_Prum, SP_T_TV_e, Ekviterma_2
```

```
EndCase
```

Switch přepínač umožňuje zvolit jednu z pěti typů ekvitermních křivek. Pomocí modulu Interpol se průměrovaná venkovní teplota Tvenku_Prum interpoluje na hodnoty teploty vody topné větve dle zadané tabulky, která je uložena v matici proměnné Ekviterma_1.

```
LET SP_T_TV_u=SP_T_TV_e-Ekviterm_Pos //Korekce na útlum
```

V případě že by nastávalo přetápění kancelářských prostor, se provede korekce, která sníží teplotu topné vody o zadanou hodnotu teploty z vizualizace a uloží se do proměnné SP_T_TV_u.

```
//Korekce na limitní hodnoty min, max
```

```
Let SP_T_TV=IF(SP_T_TV_u < SP_T_TV_Lim[0,0], SP_T_TV_Lim[0,0], SP_T_TV_u)
```

```
Let SP_T_TV=IF(SP_T_TV_u > SP_T_TV_Lim[1,0], SP_T_TV_Lim[1,0], SP_T_TV_u)
```

Dojde-li k poklesu teploty topné vody SP_T_TV_u pod minimální teplotu topné vody SP_T_TV_Lim[0,0], uloží se do proměnné SP_T_TV minimální hodnota teploty topné vody (nezámrzná teplota). V případě, že dojde k překročení maximální teploty topné vody SP_T_TV_Lim[1,0], uloží se do proměnné SP_T_TV maximální hodnota teploty topné vody.

```
//Ovládání čerpadla MCTV od polohy RVTV a teploty
```

```
//Zapnout pokud je regulační ventil RVTV pootevřen více jak 10%, nebo teplota je větší jak 40°C
```

```
Let @DO_Ce_MCTV= IF((PV_Poz_RVTV>10) OR (PV_T_TV>40),true,@DO_Ce_MCTUV)
```

```
//Vypnout pokud je RVTV zavřen více jak 5% a současně akt. teplota TV je menší jak 40°C
```

```
Let@DO_Ce_MCTV=IF((PV_Poz_RVTV<5)AND NOT (PV_T_TV>40),false, DO_Ce_MCTUV)
```

Cirkulační čerpadlo bude spuštěno právě tehdy, jestliže regulační ventil RVTV bude otevřen více jak 10% (PV_Poz_RVTV), nebo skutečná teplota topné vody (PV_T_TV) bude větší jak 40°C.

Bude-li regulační ventil RVTV otevřen méně jak 5% a současně teplota topné vody poklesne pod hodnotu 40 °C, vypne se čerpadlo.

9.6 Vyhodnocení poruchových stavů

//Err venkovní teplota mimo rozsah-porucha snímače venkovní teploty

Let ERR1_Trig.0=IF((PV_T_Venku<ERRs_Limits[0,0])OR(PV_T_Venku>ERRs_Limits[1,0]), true, false)

Naměřené hodnoty venkovní teploty se ukládají do proměnné PV_T_Venku. Pro zjištění poruchy snímače se naměřená venkovní teplota porovnává s nastavenými minimálními a maximálními mezemi (ERRs_Limits[0,0], ERRs_Limits[1,0]). Pokud naměřená hodnota venkovní teploty překročí zadané meze, bit ERR1_Trig.0 se nastaví na hodnotu true a nahlásí se poruchový stav.

//Err 16 nízký tlak za redukci páry připotevřeném ventilu HUV

Let ERR1_Trig.16=IF((PV_Poz_HUV>20)AND(PV_P1_ZaRed<ERRs_Limits[16,0]), true, false)

Poklesne-li tlak v parovodním potrubí za hlavním uzavíracím ventilem vlivem jeho náhlé destrukce, nahlásí se poruchový stav pro nízký tlak v parovodním potrubí. Poruchový stav nízkého tlaku nastane, bude-li hlavní uzavírací ventil proměnná PV_Poz_HUV otevřen více jak 20% a současně tlak páry za hlavním uzavíracím ventilem proměnná PV_P1_ZaRed bude větší jak limit pro poruchu.

//Obsluha a detekce chyb se zápisem do provozního deníku

ErrSig32 ERR1_Trig, 0x00000001, ERR1_Kvit, 0x00000001, @ErrOn_0, ERR1_Ignore.0, 100, 100, 1000, 0, 0, 0

Modul ErrSig32 slouží pro obsluhu a detekci vzniklých chyb v regulované soustavě. Přejde-li nulový bit proměnné ERR1_Trig do log. 1 a nevrátí se po uplynutí doby 100 s zpět na hodnotu log. 0, je detekována chyba. Bit @ErrOn_0 se nastaví do log1 a do provozního deníku se generuje hlášení s kódem 1000 „nastala chyba“. Vzniklou chybu je možné odkvitovat z vizualizace v záložce poruchy. Bit proměnné ERR1_Kvit se nastaví na hodnotu log 1, což způsobí, že se bit @ErrOn_0 vrátí zpět do log0 a generuje se hlášení 1002 „chyba kvitována“. Pokud se po uplynutí doby 100 s nepodaří chybu odstranit, je znovu detekována chyba a bit @ErrOn_0 se nastaví do log. 1 s hláškou 1003 „kvitace skončila - chybu se nepodařilo odstranit“. Pokud chyba skončí, je shozen příznak chyby @ErrOn_0 do log 0 a vygeneruje se hlášení 1001 „chyba skončila“.

9.7 Archivace naměřených hodnot

Let @Arc_Syc_1h=@Cas_Hod_Zme //Synchronizační bit

Každou hodinu se bit @Arc_Syc_1h nastaví na hodnotu log. 1.

//Archivace hodnot tlaku páry za hlavním uzavíracím ventilem v intervalu 1h

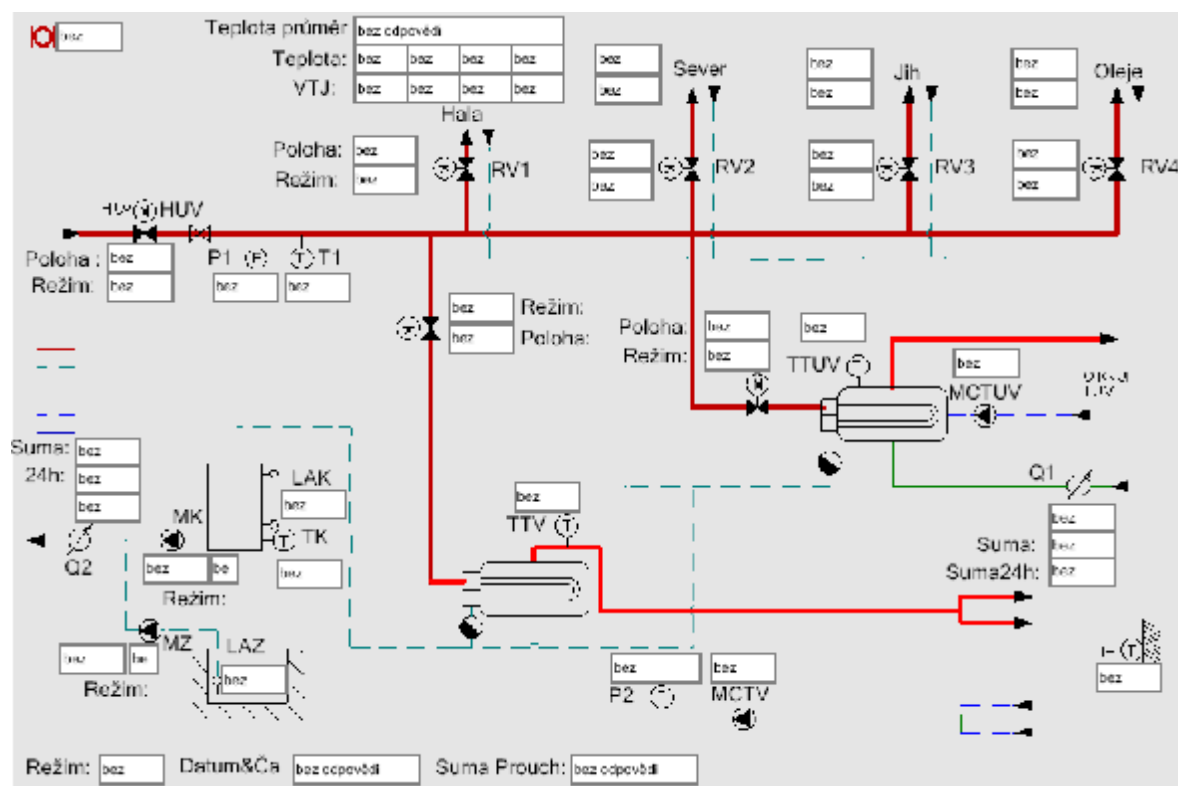
SyncArch PV_P1_ZaRed, 1, Arc1_Data[0,*], Arc_Time_1h, @Arc_Syc_1h, @Arc_Syc_1h, 3, Arc_Idx_1h, 0x0000

Modul SyncArch umožňuje archivaci hodnoty v intervalu 1hodiny. Je-li hodnota synchronizačního bitu@Arc_Syc_1h při vstupu do modulu log. 1, vloží se nová hodnota tlaku

proměnné PV_P1_ZaRed do archivní matice proměnné Arc1_Data[0,*] a hodnota synchronizačního bitu se vynuluje. Uložená hodnota je dále zobrazována a archivována v archivním deníku vizualizace. Archivní matice času Arc_Time_1h je databázová matice, do které modul ukládá časy archivovaných vzorků. Proměnná Arc_Idx_1h určuje index příště archivované položky v archivní proměnné Arc1_Data[0,*] a matici časů Arc_Time_1h. Lze archivovat až 9000 hodnot. Po zaplnění archivu modul SyncArch postupně odstraňuje nejstarší záznamy archivovaných vzorků, hodnota 3 udává příznak odstranit záznam celého dne.

9.8 Ovládání regulované soustavy z centrálního dispečinku

Pro přehledné ovládání celé regulované soustavy byl vytvořen grafický návrh v prostředí WieDet. Návrh byl zpracován do třinácti grafických záložek, ve kterých se zobrazují aktuální měřené hodnoty ve výrobních a kancelářských prostorách. Součástí návrhu je i archivace naměřených hodnot a provozní deník, který slouží k evidenci chyb a jiných hlášení vzniklých při provozu regulované soustavy. Aplikace bude spouštěna na počítači obsluhy centrálního dispečinku. Obrázek číslo 29. znázorňuje regulovanou soustavu objektu 05 ve vizualizačním prostředí WieDet.



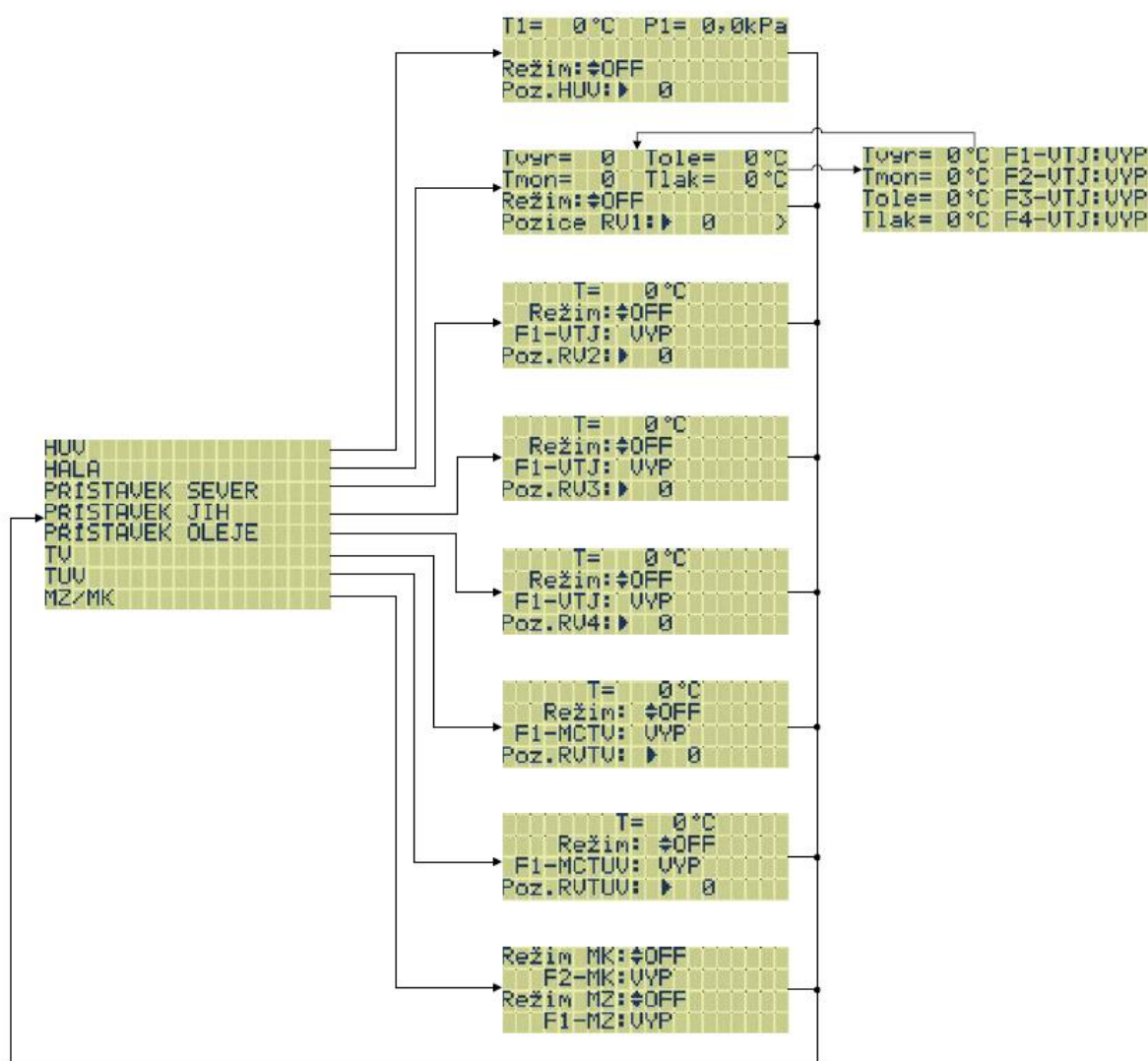
Obr. 29 Hlavní obrazovka vizualizace přehledu hodnot

9.9 Ovládání regulované soustavy z řídicího systému

Regulovanou soustavu lze ovládat přímo z displeje řídicího systému. Programátor musí vytvořit jednotlivé obrazovky a vzájemně je provázat. Obrazovky slouží k zobrazování hodnot

proměnných přímo na displeji řídicího systému. Obrazovka se svým implicitním nastavením se stará o aktualizaci stavu příslušných ovládacích prvků.

Menu hlavní obrazovky se člení na 8 okruhů. Prvních 6 okruhů je určeno pro ovládání vytápění výrobních a kancelářských prostor objektu 05. Zbýlé dva okruhy jsou určeny pro ovládání ohřevu teplé užitkové vody a ovládání čerpadla kondenzátu a čerpadla zatopení. Na obrázku číslo. 30 je znázorněno propojení jednotlivých obrazovek řídicího systému.



Obr. 30 Zobrazení a propojení obrazovek

10 Ekonomické zhodnocení návrhu vytápění objektu 05

10.1 Celkové náklady na vytápění komplexu První brněnské strojírny

Pro stanovení ceny za jeden GJ je třeba provést kalkulaci celkových nákladů na vytápění komplexu První brněnské strojírny.

Náklady na vytápění stávajícího distribučního systému tvoří proměnné náklady a stálé náklady. Proměnné náklady jsou náklady, které jsou ovlivňovány hodnotami venkovní teplotou a teploty žádané v objektech. Stálé náklady tvoří náklady, které přímo souvisí s distribučním systémem, těmito náklady jsou např. mzdy na zaměstnance, odpisy, atp.

	spotřeba	jednotka	Cena za jed.	Cena celková v Kč
Proměnné náklady				15 475 280,00
Hnědé uhlí	4 500,00	t	1 467,00	6 601 500,00
Zemní plyn	573 000,00	m ³	12,50	7 162 500,00
Pitná voda	1 200,00	m ³	86,40	103 680,00
Užitková voda	6 100,00	m ³	16,00	97 600,00
El. energie	300 000,00	kWh	3,72	1 116 000,00
Ostatní proměnné náklady				394 000,00
Stálé náklady				8 751 350,00
Odpisy				324 000,00
Mzda				4 832 000,00
Opravy a údržba				759 000,00
Správní režie				1 470 000,00
Ostatní stálé náklady				1 366 350,00
Celkové náklady				24 226 630,00
Množství tepelné energie	72 000,00	GJ/rok		
Množství tepelné energie	20 000,00	MWh/rok		
Cena za GJ bez DPH				336,50
Cena za GJ včetně DPH				400,50
Cena za MWh bez DPH				1 211,50
Cena za MWh včetně DPH				1 442,00

Tab. 14 Celkové náklady na vytápění komplexu První brněnské strojírny a.s.

Na základě celkových nákladů a množství spotřebované energie na vytápění byla stanovena cena 336,50 Kč bez DPH za jeden GJ.

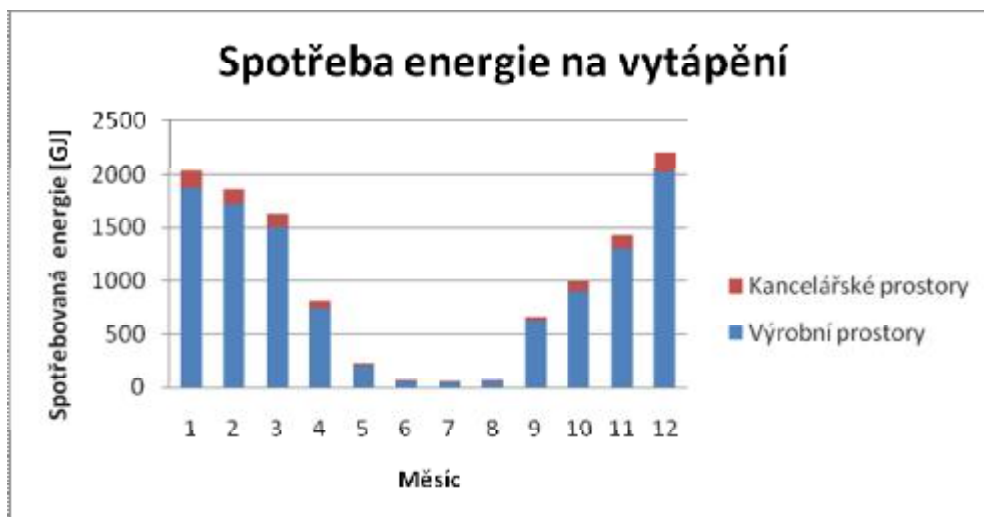
10.2 Náklady na vytápění objektu 05 za rok 2008

Náklady na vytápění objektu 05 jsou stanoveny ze spotřebované energie na vytápění. Údaje o roční spotřebě energie na vytápění byly získávány na základě měření spotřeby tepla nepřímou metodou, fakturačním měřičem tepla LOTOS 301. V tabulce jsou uvedeny hodnoty spotřeby tepla a cena za rok 2008 v jednotlivých měsících.

Měsíc roku 2008	Spotřebovaná energie na vytápění (GJ)			Náklady na vytápění (Kč bez DPH)		
	Výrobní prostory	Kancelářské prostory	Celkem	Výrobní prostory	Kancelářské prostory	Celkem
leden	1879,43	165,93	2045,36	632428,20	55835,45	688263,60
únor	1724,71	142,65	1867,36	580364,90	48001,73	628366,60
březen	1500,95	124,97	1625,92	505069,70	42052,41	547122,10
duben	740,51	71,89	812,40	249181,60	24190,99	273372,60
květen	203,62	22,60	226,22	68518,13	7604,90	76123,03
červen	57,29	10,76	68,05	19278,09	3620,74	22898,83
červenec	50,53	8,90	59,43	17003,35	2994,85	19998,20
srpen	59,78	8,71	68,49	20115,97	2930,915	23046,89
Září	616,45	42,47	659,15	207435,40	14291,16	221726,60
říjen	904,65	87,70	992,35	304414,70	29511,05	333925,80
listopad	1308,27	118,02	1426,29	440232,90	39713,73	479946,60
prosinec	2035,10	176,36	2211,46	684811,20	59345,14	744156,30
celkem	11 081,28	980,97	12 062,25	3728854,00	330093,00	4058947,00

Tab. 15 Údaje o spotřebě energie na vytápění objektu 05 za rok 2008

Spotřebovaná energie objektu 05 za rok 2008 činila 12 062,25 GJ z čehož více než 90 % energie byla spotřebována ve výrobních prostorách. Celkové náklady za rok 2008 byly vyčísleny ve výši **4058947,00 Kč bez DPH**.



Obr. 31 Spotřeba energie na vytápění

Z výše uvedeného grafu je patrné, že energie na vytápění je nejvíce spotřebována v zimních měsících. Na začátku roku má tedy tendenci klesající a od poloviny roku má tendenci stoupající.

10.3 Náklady na automatické vytápění a předpokládaná úspora energie

Zavedení automatického vytápění objektu 05, se dle energetického auditu předpokládá úspora energie 1327 GJ (368,60 MWh) z celkové spotřeby objektu 05. Z celkové úspory energie tvoří 70% uhlí tj. 928,90 GJ (258,0 MWh) a 30% zemního plynu tj. 398,10 GJ (110,58 MWh).

Aby však mohla být zjištěna výše úspor je třeba vycházet z energetických výpočtů, které se následně přepočítávají na finanční jednotky.

Dle rozložení spotřebované energie vznikla úspora **446 535,50 Kč bez DPH**.

Náklady na automatické vytápění jsou rozděleny na dvě části a to na část materiálovou, která tvoří 200 984,00 Kč a montáž v hodnotě 213 900,00 Kč. Celkové náklady tvoří 414 884,00 Kč. V příloze č. 1, je uveden podrobný výpis materiálu.

Náklady na provoz automatického systému vytápění na rok 2010 při stanovené ceně 3 Kč bez DPH za 1 kWh a roční spotřebě elektrické energie 2438 kWh je celková cena 7314 Kč bez DPH.

10.4 Doba návratnosti investic

Doba návratnosti investic vyjadřuje dobu, kdy jsou prvotní investiční výdaje plně pokryty příjmy z investice. Doba návratnosti investic se vypočítá jako poměr mezi dosažených ročních přínosů projektu a vynaloženými investičními náklady.

Výpočet doby návratnosti:

$$T_s = \frac{IN}{CF} = \frac{IN}{V - Np} = \frac{414884}{446535,50 - 7314} = 1,82 \text{ [rok]} \quad (10.21)$$

,kde

IN - Investiční (jednorázové) náklady na realizaci.

CF – Roční peněžní toky.

V - Výnosy z realizace (roční hodnota úspor energie).

Np - Roční provozní náklady.

Investice na pořízení automatické regulace vytápění objektu 05 se investorovi vrátí za 1 rok a 10 měsíců.

11 Závěr

Současné možnosti technologií umožňují automatické řízení procesů, které nevyžadují nepřetržitou pozornost a ruční zásahy operátora. Optimální nastavení automatického řízení procesů může mít významný vliv na úsporu energie. V současné době je jedním ze světových trendů komplexní úspora energie při realizaci mnoha procesů. Proto, aby společnost přistoupila k snižování spotřeby energie a k tomuto účelu prováděla technologické, stavební a jiné úpravy musí být přesvědčena, že úspora energie bude minimálně pokrývat vynaložené náklady na investici a náklady na provoz po dobu její životnosti. Pro posouzení možných úspor energie si společnost První brněnská strojírna Velká Bíteš, a. s. nechala vypracovat energetický audit, kde jednou z vhodných variant úspor bylo zavedení automatického vytápění výrobní haly objektu 05.

Aby mohl být systém automatického řízení správně implementován, bylo nutné analyzovat dosavadní stav technologie pro vytápění a navrhnout celkovou koncepci automatického řízení vytápění. Nedílnou částí koncepce je ohřev užitkové vody a odvod kondenzátu z regulované soustavy.

Vlastní návrh koncepce automatického vytápění spočíval ve vytvoření technologického schématu, dle kterého byly stanoveny potřebné vstupní a výstupní rozhraní pro nasazení řídicího systému a jeho rozšiřujících modulů.

Na základě navržených komponent byl pro napájení regulačního obvodu dimenzován napájecí zdroj, a dále byla navržena přepětíová ochrana, která svede případné přepětí a tím se minimalizuje ztráta funkčnosti celého regulačního obvodu. Pro přehledné znázornění propojení jednotlivých prvků regulačního obvodu bylo vytvořeno blokové schéma.

Pro stanovení parametrů spojitého regulátoru vytápění výrobních prostor, se musela identifikovat regulovaná soustava a na základě identifikace stanovit přenos regulované soustavy. Při návrhu parametrů PID regulátoru byla zvolena metoda Ziegler-Nicholse. Návrh parametrů PID regulátoru byl simulován v programu MATLAB 7.1 a jeho modulu SIMULINK. Seřízení regulátoru pomocí Ziegler-Nicholsovou metodou kritického zesílení je velmi jednoduché a proto v praxi často používané. Nastavení parametrů PID regulátoru touto metodou není optimální, ale blíží se k němu. Po vykreslení přechodové charakteristiky se obvod choval stabilně, ale vykazoval dlouhou dobu ustálení a velký relativní překmit. Tyto nepřesnosti mohly vzniknout špatným odečtením z charakteristik a následným určením konstant.

Návrh aplikace byl proveden v prostředí DetStudio ve formě strukturovaného textu. Jazyk je tvořen několika specializovanými funkčními moduly, které nabízejí podobné možnosti jako velmi jednoduché programovací jazyky (např. BASIC). Jednotlivé části algoritmu jsou rozděleny na procesy a podprogramy. Část práce se zabývá popisem základních bloků navržené aplikace a vysvětluje základní principy programování. Součástí aplikace je i návrh vizualizace v prostředí ViewDet, která bude sloužit jako rozhraní mezi operátorem a počítačem centrálního dispečinku.

V ekonomické části jsou vyčísleny náklady na pořízení a provoz automatického vytápění výrobní haly. Návrh investičního záměru se předpokládá do dvou let. Z toho plyne, že investice do automatického vytápění je výhodná. Dalším přínosem je zvýšení tepelné pohody na pracovištích, a tím očekávané zvýšení efektivnosti pracovníků. Důsledkem větší stálosti teplot se očekává nižší provozní náklady na údržbu a opravy.

Tato práce mi přinesla praktické znalosti v oblasti regulace vytápění provozních celků, programování řídicího systému ART4000AC/1M v programovacím prostředí DetStudio a vizualizačním prostředí ViewDet od společnosti AMiT, spol. s.r.o.

12 Seznam použité literatury

- [1] ŠVARC, I.; ŠEDA, M.; VÍTEČKOVÁ, M. *Automatické řízení*. 1. vyd. Brno : Cerm, s.r.o., 2007. 324 s. ISBN 978-80-214-3491-2.
- [2] DOUBRAVA, JIŘÍ. *Regulace ve vytápění*. 2. vyd. Praha : Společnost pro techniku prostředí, 2007. 184 s. ISBN 978-80-02-01951-0.
- [3] AMIT, spol. s.r.o.. *DetStudioprůvodce první aplikací*. [online]. [cit. 2009-06-03]. Dostupné z: <http://www.amit.cz/docs/cz/sw/detstudio_g_cz_101.pdf>.
- [4] PODOLÁK, STANISLAV. *ART4000 kompaktní řídicí terminál*. [online]. [cit. 2009-06-17]. Dostupné z: <http://www.amit.cz/docs/cz/ridici_terminaly/art4000ac1m_d_cz_100.pdf>.
- [5] KACZMARCZYK, V. ; PALÁT, J. *Komunikace v síti Arion*. [online]. [cit. 2009-07-12]. Dostupné z: <http://www.amit.cz/support/cz/aplikacni_poznamky/ap0005_cz_02.pdf>.
- [6] ŘÍHA, ZBYNĚK. *Komunikace v síti DB-Net*. [online]. [cit. 2009-07-25]. Dostupné z: <http://www.amit.cz/support/cz/aplikacni_poznamky/ap0009_cz_01.pdf>.
- [7] ŘÍHA, ZBYNĚK. *Měření teploty a odporu*. [online]. [cit. 2009-08-09]. Dostupné z: <http://www.amit.cz/support/cz/aplikacni_poznamky/ap0015_cz_01.pdf>.
- [8] PEŠEK, ANTONÍN. *Odporové snímače teploty*. [online]. [cit. 2009-08-09]. Dostupné z: <http://sensit.cz/images/stories/download/prirucky/Prirucka_CZ_kveten2008.pdf>.
- [9] BRZEZINA, Petr. *Charakteristiky čidel* [online]. [cit. 2009-08-10]. Dostupný z: <<http://www.sensit.cz/ke-stazeni/charakteristiky-cidel>>
- [10] ŘÍHA, ZBYNĚK. *Zásady používání RS485*. [online]. [cit. 2009-08-16]. Dostupné z: <http://www.amit.cz/support/cz/aplikacni_poznamky/ap0016_cz_01.pdf>.
- [11] PALÁT, JIŘÍ. *Čítačové vstupy, měření otáček/ impulsů*. [online]. [cit. 2009-08-25]. Dostupné z: <http://www.amit.cz/support/cz/aplikacni_poznamky/ap0017_cz_01.pdf>.
- [12] ŘÍHA, ZBYNĚK. *Propojování řídicích systémů s periferiemi*. [online]. [cit. 2009-08-30]. Dostupné z: <http://www.amit.cz/support/cz/aplikacni_poznamky/ap0027_cz_01.pdf>.
- [13] ŘÍHA, ZBYNĚK. *Alternativní použití analogových vstupů*. [online]. [cit. 2009-08-30]. Dostupné z: <http://www.amit.cz/support/cz/aplikacni_poznamky/ap0033_cz_01.pdf>.
- [14] ŘÍHA, ZBYNĚK. *Použití časových plánů*. [online]. [cit. 2009-09-05]. Dostupné z: <http://www.amit.cz/support/cz/aplikacni_poznamky/ap0031_cz_01.pdf>.
- [15] AMIT, spol. s.r.o.. *ViewDet průvodce první aplikací*. [online]. [cit. 2009-12-23]. Dostupné z: <http://www.amit.cz/docs/cz/sw/viewdet_g_cz_100.pdf>.
- [16] AMIT, spol. s.r.o.. *DM-RDO12 modul releových výstupů s protokolem Arion*. [online]. [cit. 2009-01-02]. Dostupné z: < http://www.amit.cz/docs/cz/dm-xx/dm-rdo12_d_cz_102.pdf>.
- [17] AMIT, spol. s.r.o.. *DM-UI8RDO8 kombinovaný modul s protokolem Arion*. [online]. [cit. 2009-01-17]. Dostupné z: < http://www.amit.cz/docs/cz/dm-xx/dm-ui8rdo8_d_cz_100.pdf>.
- [18] DUŠEK FRANTIŠEK. *MATLAB a SIMULINK - úvod do používání*. 1. vyd. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2000. 147 s. ISBN 80-7194-273-1.
- [19] 2002/91/ES : 2002. *Směrnice Evropského parlamentu, O energetické náročnosti budov*. [online]. [cit. 2010-04-05]. Dostupné z: <<http://docs.google.com/viewer?url=http://www.tzb-info.cz/docu/predpisy/download/D91-2002.pdf>>.
- [20] Vyhláška č. 148/2007 Sb.: 2007. *O energetické náročnosti budov*. [online]. [cit. 2010-04-10]. Dostupné z: < <http://docs.google.com/viewer?url=http://www.tzb-info.cz/docu/predpisy/download/V148-2007.pdf>>.
- [21] Vyhláška č. 194/2007 Sb.: 2007. *Kterou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a pro přípravu teplé vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům*. [online]. [cit. 2009-08-23]. Dostupné z:

- <<http://docs.google.com/viewer?url=http://www.tzb-info.cz/docu/predpisy/download/V194-2007.pdf>>.
- [22] ČSN EN 15217 : 2008. Energetická náročnost budov – Metody pro vyjádření energetické náročnosti a pro energetickou certifikaci budov. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008. 32s.
- [23] První brněnská strojírna Velká Bíteš, a.s.. *O firmě* [online]. [cit. 2010-02-20]. Dostupný z: <<http://www.pbsvb.cz/index.php?lang=cs>>.
- [24] VALENTA, Vladimír. *Akumulační zásobníky tepla – zapojení, provoz a řízení, navrhování (II)* [online]. [cit. 2009-10-27]. Dostupný z: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=3953>>.
- [25] MATOUŠEK, JAROSLAV. *Snímač hladiny MAVE 2*. [online]. [cit. 2010-01-17]. Dostupný z: <<http://www.mave-nymburk.cz/files/katalog/mave2.pdf>>.
- [26] MATOUŠEK, JAROSLAV. *Průmyslové snímače tlaku*. [online]. [cit. 2009-03-06]. Dostupný z: <http://www.bdsensors.cz/products/pressure/industry/cat_1>.
- [27] CHADIM, TOMÁŠ. *Výpočtová pomůcka EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST INVESTIC (II)*. [online]. [cit. 2010-04-23]. Dostupný z: <<http://www.tzb-info.cz/t.py?t=2&i=2786>>.
- [28] ZÁLEŠÁK, MARTIN. *Energetický audit PBS Velká Bíteš, a.s.. Brno, 2008*. 43 s.

13 Přílohy

Příloha 1: Výpis materiálu pro automatickou regulaci vytápění objektu 05.

Popis	m.j.	počet	j.c.materiál	j.c.montáž	materiál	montáž	celkem
Rozváděč MaR1							
Rozvodnice ocelová, WSM1006260 Schrack	ks	1	3500,00		3500,00		
Rozbočovací můstek PE 7, zelený	ks	1	30,00		30,00		
Rozbočovací můstek N 7, modrý	ks	1	30,00		30,00		
Lišta DIN, TS 35x7,5	m	1	40,00		40,00		
Řadové svorkovnice pojistkové RSP 4	ks		30,00		0,00		
Hlavní vypínač Telemecanique VARIO 20A	ks	1	400,00		400,00		
Relé 2P, 24V DC	ks	10	95,00		950,00		
JISTIČ LPN_16B_1,	ks	1	87,00		87,00		
Vývodka s mat. PG11, ELCON	ks	10	12,00		120,00		
Řídicí systém s moduly							
Řídicí systém ART4000AC/1M	ks	1	17900,00		17900,00		
Rozšiřující modul DM-RDO12, 12x spínací relé 250V/6A	ks	1	6300,00		6300,00		
Rozšiřující modul DM-UI8RDO8, 8x univ. IN, 8x spínací relé 230V	ks	1	6750,00		6750,00		
Převodník RS232 na RS485, DM-232TO485, nap. 24V DC, DIN	ks	1	2400,00		2400,00		
Převodník RS232 na RS485, 232TO485PC A,, pro PC	ks	1	3470,00		3470,00		
Spinaný zdroj AZ1 24V/2.5A	ks	1	3470,00		3470,00		
Přepětová ochrana							
Přepětová ochrana s VF filtrem pro MaR- DA-275 DF 6	ks	1	1875,00		1875,00		
Svodiče bleskových proudů a přepětová ochrana							
Svodičem bleskového proudu SPD typ 1-FLP-A50-1,5	ks	3	4050,00		12150,00		
přepětové ochrany SPD typ 2-FLP-275 V/4	ks	1	8200,00		8200,00		
Snímače teploty a tlaku							
Snímač teploty plastový Pt1000/3850, PTS310, délka stonku 25mm , měřící rozsah -30 až 100 °C	ks	9	780,00		7020,00		
Snímač teploty kovový Pt1000/3850, PTK 360, délka stonku 50mm, měřící rozsah -30 až 200 °C, šroubení M20x1,5 (TTV, T1)	ks	2	1145,00		2290,00		

Snímač teploty kovový Pt1000/3850, PTK 320, délka stonku 180mm, měřící rozsah -30 až 200 °C, (TTUV, TK)	ks	2	935,00	1870,00	
Jímka JS 130, délka stonku 220mm, šroubení M20x1,5 (TTUV, TK)	ks	2	295,00	590,00	
Jímka JTP 16, délka stonku 70mm, šroubení M20x1,5 (TTV, T1)	ks	2	290,00	580,00	
Snímač tlaku DMP 331	ks	2	2340,00	4680,00	
				0,00	
				0,00	
Servoventily a impulsní vodoměry					
Ventil s regulační kuželkou a el. servopohonem V 411135125, DN 125, EKV (ekviprocentní charakt.)	ks	1	17680,00	17680,00	
Ventil s regulační kuželkou a el. servopohonem V 41113580, DN 80, EKV (ekviprocentní charakt.)	ks	3	13540,00	40620,00	
Ventil s regulační kuželkou a el. servopohonem V 41113540, DN 40, EKV (ekviprocentní charakt.)	ks	2	12230,00	24460,00	
Přírubový impulsní vodoměr ETATRON CNT-SLF 80, DN80 pro studenou vodu max 40C, Průtok vody od 15 m3/hod, l imp/10l,	ks	1	12345,00	12345,00	
Přírubový impulsní vodoměr ACT 0250 603, DN50 pro teplo vody, Průtok vody od 15 m3/hod, l imp/25l a teplotou vody (do 130°C	ks	1	9867,00	9867,00	
Kabelové rozvody					
CYKY-J 3 x 2.5	m	35	18,00	630,00	
JYTY 4 x 1 RE	m	80	13,00	1040,00	
SYKFY 1 x 2 x 0,5	m	456	5,00	2280,00	
Trubka plastová tuhá typ 1532 KA	m	320	23,00	7360,00	
Hodinové zúčtovací sazby					
Montáž rozváděče MaR1	h	24		300,00	7200,00
Montáž svod přep. a přepet. V podružných rozváděčích	h	32		300,00	9600,00
Montáž snímačů teploty a tlaku	h	180		300,00	54000,00
Montáž servoventilů a vodoměrů	h	120		300,00	36000,00
Montáž snímačů teploty	h	150		300,00	45000,00
Montáž servoventilů a vodoměrů	h	80		300,00	24000,00
Komplexní zkouška a odstranění závad	h	7,5		300,00	2250,00
Výchozí revize elektrického zařízení a sepsání revizní zprávy	h	7,5		300,00	2250,00
Projekční a technická činnost	h	112		300,00	33600,00
Celkem v Kč bez DPH			200984,00	213900,00	414884,00