

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojírenství
Studijní zaměření: Průmyslové inženýrství a management

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Možnosti průmyslové regulace

Autor: Jiří Šizling

Vedoucí práce: Ing. Petr Hořejší Ph.D.

Akademický rok 2016/2017

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří ŠIZLING**

Osobní číslo: **S16B0338P**

Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**

Studijní obor: **Průmyslové inženýrství a management**

Název tématu: **Možnosti průmyslové regulace**

Zadávací katedra: **Katedra průmyslového inženýrství a managementu**

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

1. Úvod
2. Analýza současného stavu
3. Popis dílčího řešení
4. Realizace řešení
5. Závěr

Rozsah grafických prací: **0 výkresů**

Rozsah kvalifikační práce: **30 - 40 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam odborné literatury:

1. **BENEŠ, P. a kol.** *Automatizace a automatizační technika 1.*
Brno: Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-36287
2. **BENEŠ, P. a kol.** *Automatizace a automatizační technika 2.*
Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-4106-9
3. **MARTINÁSKOVÁ, M., ŠMEJKAL, L.** *PLC a automatizace 1.*
Praha: BEN, 2002. ISBN 80-86056-58-9

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Hořejší, Ph.D.**

Katedra průmyslového inženýrství a managementu

Konzultant bakalářské práce: **Michal Bogner**

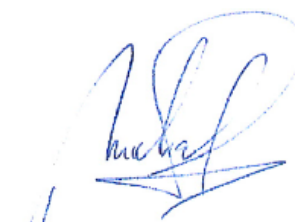
Tenaur, s. r. o.

Datum zadání bakalářské práce: **19. září 2016**

Termín odevzdání bakalářské práce: **2. června 2017**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Michal Šimon, Ph.D.
vedoucí katedry

ANOTAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ (BAKALÁŘSKÉ) PRÁCE

AUTOR	Příjmení Šizling	Jméno Jiří	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016-07 Průmyslové inženýrství a management		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Hořejší Ph.D.	Jméno Petr	
PRACOVISŤE	ZČU - FST - KPV		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Možnosti průmyslové regulace		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KPV	ROK ODEVZD.	2017
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	39	TEXTOVÁ ČÁST	39	GRAFICKÁ ČÁST	
---------------	----	---------------------	----	----------------------	--

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce obsahuje představení technických zařízení budov a technické zhodnocení vhodnosti pro napojení na průmyslovou regulaci. Druhá část práce obsahuje návrh a aplikaci řídicího systému. Závěr práce obsahuje energetické zhodnocení úspor.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Aplikace, regulace, tepelné čerpadlo, vzduchotechnika, rekuperace, fotovoltaika, řídicí systém, úspora, energie

SUMMARY OF DIPLOMA (BACHELOR) SHEET

AUTHOR	Surname Šizling	Name Jiří	
FIELD OF STUDY	2301R016-07 "Industrial Engineering and Management"		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Hořejší Ph.D.	Name Petr	
INSTITUTION	ZČU - FST - KPV		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Possibilities of industrial control		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KPV	SUBMITTED IN	2017
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	39	TEXT PART	39	GRAPHICAL PART	
----------------	----	------------------	----	-----------------------	--

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>Bachelor thesis is dedicated to technical equipment of buildings and an evaluation of the applicability of regulation in the industrial area. The second part of the thesis presents draft and practical application of the operational system.</p> <p>The thesis concludes with the evaluation of energy savings.</p>
KEY WORDS	Applications, regulatory, heating pump, air conditioning, recuperation, photovoltaic, operating system, saving, energy

Čestné prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

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

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Obsah

Čestné prohlášení.....	5
Obsah.....	6
1. Úvod.....	7
2. Cíl práce.....	8
3. Použité TZB systémy jako jednotlivé celky	9
3.1. Vytápění/Chlazení.....	9
3.2. Vzduchotechnika.....	11
3.3. Obnovitelné zdroje.....	12
3.4. Měření a regulace	13
4. Návrh elektroinstalace.....	17
5. Porovnání způsobů regulace	18
5.1. Regulace podle vnitřní teploty vzduchu.....	18
5.2. Regulace podle venkovní teploty	20
5.3. Regulace podle venkovní teploty se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu.....	22
5.4. Kombinace systémů.....	22
6. Návrh systému.....	23
6.1. Vytápění / Chlazení.....	25
6.2. Kvalita ovzduší.....	26
6.3. Obnovitelné zdroje.....	29
6.4. Tvorba systému a návrh webového prostředí.....	32
7. Energetická úspornost	33
7.1. Celková úspornost bez FVE	33
7.2. Úspornost FVE	34
8. Závěr	37
9. Seznam zdrojů	38
9.1. Internetové zdroje.....	38
9.2. Knižní zdroje.....	38
10. Seznam obrázků.....	39
11. Seznam zkratk	39

1. Úvod

V druhé polovině 20. století vznikla tzv. 3. průmyslová revoluce – vstup automatizace do průmyslu. Tato revoluce je spojena s vývojem programovatelného logického automatu **PLC**. Aktuálně zažíváme již 4. průmyslovou revoluci. Ta je spojena s **Internetem**.

Průmyslové revoluce vždy přinesou něco nového. Především technologie, které pomohou lidem s prací. Ale máme se díky těmto technologiím lépe? Opravdu nám pomohou uspořit čas? Autorův úsudek je, že pouze vyrovnávají neustále se zrychlující svět. Nesmíme si však myslet, že by nám přinesli více osobního volna, pouze nám ponechávají to aktuální.

Do průmyslové revoluce zajisté patří i správa budov a technologií, tedy **technická zařízení budov** (Dále jen „TZB“). Ty by měli zajistit spojení a autonomní řízení všech systémů TZB s ohledem na jednoduchost ovládání a úspory energií.

Úspora energie je nyní také velmi aktuální, neboť do roku 2020 má Evropská unie za cíl: [7]

- Snížit spotřebu energie o 20%
- Zvýšit podíl obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě o 20%
- Snížit emise CO₂ o 20%

Všechny výše vyjmenované faktory musí brát moderní systém spojující TZB systémy v úvahu. Moderní systémem lze často nazvat inteligentní elektroinstalaci.

První část práce byla obecně věnována představení technickým zařízením budov. U zařízení, které mají větší množství typů byly popsány výhody a nevýhody, podle kterých je následně vybráno nejvhodnější zařízení.

Dále jsou zmíněny základní druhy regulace, podle kterých lze jednotlivé veličiny řídit. Energeticky nejnáročnější je regulace teploty, proto jsou tak jednotlivé druhy popsány.

[7]

2. Cíl práce

Cílem bakalářské práce s názvem „Možnosti průmyslové regulace“ je představení TZB systémů, které lze využít v soukromých i průmyslových objektech. Nejprve budou představeny základní zařízení budov, aby byly lépe pochopeny navržené regulace. Ty budou následně vybrány podle parametrů, vhodnosti a úspor pro další použití. Naváže představení základních druhů regulace a jejich kombinací.

V druhé části práce je navržena základní funkčnost systému pro jednotlivé zařízení. Tyto jednotlivé celky jsou spojeny do jedné regulace, pro dosažení větších úspor. Výsledkem bude porovnání úspor energie oproti předchozímu stavu.

Jako ukázková instalace bude použita regulace Smart Control, nainstalované v objektu firmy TENAUR s.r.o. Tato instalace slouží jako showroom a testování novinek systému. Popisy technických zařízení jsou obecně popsány. Naopak popis funkčnosti systému pramení ze zkušeností z inovací a obecné znalosti funkčnosti jiných systémů.

Tento systém řídí celý objekt přibližně rok. Předtím řídil objekt předchozí verze systému T-Smarthouse, který neumožňoval rozsáhlé propojení systémů a řídil pouze osvětlení objektu a reklam, umožňoval časové režimy rekuperace a hlídal teploty v místnostech, avšak neřídil tepelné čerpadlo, ani ohřev teplé užitkové vody. Vývoj nového systému Smart Control probíhal odděleně ve zkušebně. Před rokem byl systém aplikován do celého objektu. V tuto chvíli řídí systém Smart Control stovky instalací různých rozsahů. Do systému je navíc připojena fotovoltaická elektrárna se střídačem Fronius, který se systémem komunikuje pomocí ModBus sběrnice. Ta byla do systému přidána v únoru letošního roku. Část práce je věnována právě regulaci podle přebytků energie z fotovoltaické elektrárny a následné zhodnocení hospodárnosti.

Systém je vyvíjen výhradně firmou TENAUR s.r.o. a spolupracuje na něm tým čtyř lidí včetně autora, který má funkci programátora a vývojáře webového prostředí. Znalosti uplatněné v této práci pramení z několikaletého vývoje.

3. Použité TZB systémy jako jednotlivé celky

V této kapitole budou představeny jednotlivé TZB systémy, které budou použity v této práci. Ve výběru je zohledněna schopnost spojení jednotlivých systémů do jednoho funkčního celku, aby bylo zajištěna plná soběstačnost systému a značná ekonomická i energetická úspora.

3.1. Vytápění/Chlazení

Vytápění nebo chlazení je energeticky nejnáročnější úprava klimatu a je důležité pečlivě zvážit který zdroj vybrat:

- Kotel na tuhá paliva
- Plynový kotel
- Elektrokotel
- Tepelné čerpadlo

Existuje velké množství zdrojů. Každý je specifický, má své výhody i nevýhody a možnosti ovládání. Pro jednoduchost kritéria:

- Pořizovací cena
- Náklady na vytápění
- Možnosti regulace a měření
- Funkční soběstačnost
- Možnost chlazení

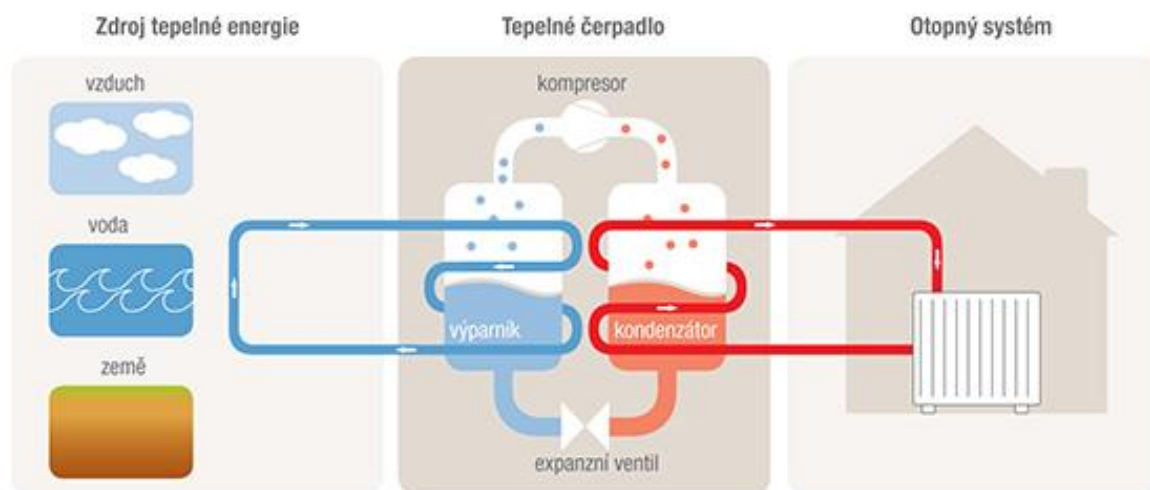
Pro TZB systémy je důležitá plynulá regulace a funkční soběstačnost. Tyto kritéria z výběru vyloučí kotle na tuhá paliva. U ostatních zdrojů nelze jednoznačně vyloučit. Výběr je závislý na tepelné ztrátě objektu. Je nutné uvážit pořizovací cenu s náklady na vytápění. Například tepelné čerpadlo je několikanásobně dražší, než elektrokotel, avšak náklady na vytápění jsou třetinové. Pro pasivní dům se obvykle nevyplácí investice do tepelného čerpadla. Naopak pro energeticky náročnější objekty je výhodnější tepelné čerpadlo. Vysoká počáteční investice se může mít návratnost přibližně 7 let [1]. Pro některé aplikace může být důležitá schopnost chlazení, kterou má pouze tepelné čerpadlo.

Tepelné Čerpadlo

Ochlazují venkovní vzduch, půdu nebo vodu a tak získávají teplo pro firemní prostory. Jak je vidět na obrázku 3.2, nestává se tak samovolně. V případě tepelného čerpadla se teplo z relativně chladného místa převádí – přečerpává – na vyšší teplotní hladinu pomocí **kompresoru**, který je poháněn elektřinou. Teplo je odebíráno "pracovní látkou" (například chladivo R407C, ..), která má nízkou teplotu varu. Kapalná pracovní látka se po odebrání tepla z tepelného zdroje (**země, vzduch, voda**) vypaří a opustí **výparník** v plynném stavu. Následně pracovní látka v plynném stavu vstupuje do **kompresoru**, kde se zvyšováním tlaku ohřeje. Zahřátý plyn vstupuje do **kondenzátoru** a odevzdává teplo topné vodě. Během tohoto procesu pracovní látka kondenzuje a stává se znovu kapalnou. Nakonec pracovní látka projde přes **expanzní ventil**, kde se sníží její stále vysoký tlak a teplota. [1] Venkovní jednotka tepelného čerpadla je vidět na obrázku 3.1.



Obr. 3.1 Tepelné čerpadlo



Obrázek 3.2 Cyklus tepelného čerpadla
(<http://www.envienergyczech.cz/tepelna-čerpadla.php>)

3.2. Vzduchotechnika

Požadavky na vytvoření stanoveného tepelného komfortu a stupně čistoty vnitřního prostředí řeší obor větrání a klimatizace. Tepelné a vlhkostní mikroklima, stejně tak jako čistota ovzduší, jsou pro jednotlivé prostory dle způsobu využití definovány tak, aby vnitřní podmínky vyhovovaly provozu jak z hlediska požadavků osob (klimatizace pro komfort), tak z hlediska požadavků technologických a procesních. V některých případech se tato dvě hlediska kryjí, jsou však i případy, kdy jsou více či méně rozdílná, což vyžaduje zvýšené nároky na návrh větracího a klimatizačního systému.



Obr. 3.3 Vzduchotechnika

Hlavními parametry komfortního tepelného a vlhkostního stavu prostředí jsou: teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, rychlost proudění vzduchu, intenzita turbulence a střední radiační teplota. Čistota vnitřního ovzduší je definována limitním obsahem škodlivin v ovzduší.

Oblast průmyslové vzduchotechniky je zaměřena především na hledisko technologické a procesní. Klimatizace pro technologické účely představuje často velice složité a sofistikované zařízení, neboť se mnohdy musí vypořádat s požadavkem na zajištění konstantních parametrů prostředí celoročně, a to i ve velmi úzkém tolerančním pásmu, ať už se jedná o teplotu, relativní vlhkost nebo čistotu vzduchu. K tomu, aby vzduchotechnické zařízení spolehlivě plnilo svoji funkci, slouží řada komponent, ze kterých je systém složen. Patří mezi ně: Ohřivače, chladiče, zvlhčovače, odvlhčovače, ventilátory, filtry, vyústky, mřížky, anemostaty, zařízení pro zpětné získávání tepla z odpadního vzduchu nebo vzduchotechnické rozvody. Pro řízení celého systému a ověřování shody požadovaných a skutečných parametrů je zapotřebí řídicího

regulačního systému pracujícího s informacemi z čidel umístěných v klimatizovaných prostorách a uvnitř vzduchotechnického systému. Příklad zapojení vzduchotechnického systému na obrázku 3.3. [2]

3.3. Obnovitelné zdroje

Obnovitelné zdroje energie jsou takové zdroje, které v lidském časovém měřítku téměř neubývají. Jsou to tedy prakticky téměř lidstvem nevyčerpatelné zdroje energie. Jde o část energetických toků, které se často přirozeně vyskytují v blízkosti zemského povrchu, a zásoby, které se obnovují alespoň tak rychle, jak jsou spotřebovávány. Jde o zdroje, které činnost člověka nevyčerpává. Jmenovitě jde o sluneční záření a z něj odvozené větrnou energii a vodní energii, dále o energii přílivu, geotermální energii, biomasu a další. [3]

Pro průmyslové použití je nejnázší použít sluneční záření, tedy **fotovoltaickou elektrárnu** nebo **solární kolektory**.

Fotovoltaika

Fotovoltaika je technologie pro přímou přeměnu slunečního záření na elektřinu. Na obrázku 3.4 lze vidět fotovoltaický panel. Jedná se o jediný zdroj elektřiny bez pohyblivých součástí. Pojem fotovoltaika je vytvořen ze dvou slov – řeckého photos, které znamená světlo, a volt, což je jednotka elektrického napětí.

Fotovoltaika je považována za trvale udržitelnou technologii, a to ze dvou důvodů. Především

využívá nejdostupnější obnovitelný zdroj energie na Zemi – sluneční záření. Množství slunečního záření, které každoročně dopadne na zemský povrch, je 4000krát větší než veškerá spotřeba energie celého lidstva. Slunce přitom bude svítit ještě miliardy let. Druhý důvod je, že



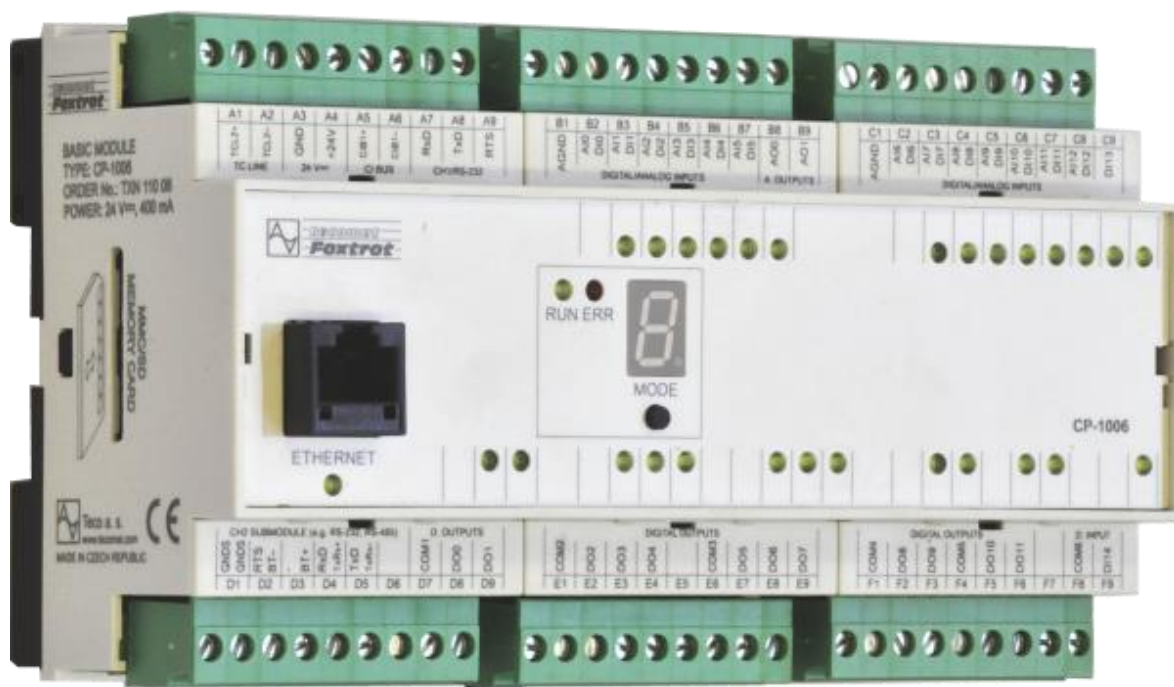
Obr. 3.4 Fotovoltaika

energie vložená do výroby fotovoltaických panelů a dalších komponent fotovoltaické elektrárny se v podmínkách České republiky vrátí zhruba za 2 roky, přičemž očekávaná životnost panelů přesahuje 30 let. [4]

Nevýhodou solárních panelů je nestabilní dodávka energie závislá na počasí, ročním období a denní hodině. Z ekologického hlediska je problém s následnou likvidací panelů.

3.4. Měření a regulace

Pojem měření a regulace ((Dále jen „MaR“) si lze zjednodušeně představit jako spojení všech důležitých systémů do jednoho celku. Výhodou je možnost vytvoření velmi efektivní regulace, která sbírá informace z velkého množství senzorů po celém instalaci. Tyto informace jsou pak cyklicky zpracovány a výsledkem je velmi přesná regulace, bez jakéhokoliv zásahu uživatele. Data lze zaznamenávat do grafů a statistik. Uživatel tím získá velmi přesné informace ohledně spotřeby domu. Základem každého systému je programovatelný logický automat patřičného výkonu a rozšíření, senzory a akční členy.



Obr. 3.5 PLC Foxtrot
(<http://www.tecomat.com/clanek-886-cp-1006.html>)

Programovatelný logický automat

neboli **PLC** (z anglického Programmable Logic Controller) je relativně malý průmyslový počítač používaný pro automatizaci procesů v reálném čase – řízení strojů nebo výrobních linek v továrně. Pro PLC (obrázek 3.5) je charakteristické, že program se vykonává v tzv. cyklech. V moderním pojetí je výraz PLC nahrazován výrazem PAC (z anglického Programmable Automation Controller), i když označení PLC je celosvětově hojně rozšířené a udrží se i nadále.

PLC automaty jsou odlišné od běžných počítačů nejen tím, že zpracovávají program cyklicky ale i tím, že jejich periferie jsou přímo uzpůsobeny pro napojení na technologické procesy. Převážnou část periférií v tomto případě tvoří digitální vstupy (DI) a digitální výstupy (DO). Pro další zpracování signálů a napojení na technologii jsou určeny analogové vstupy (AI) a analogové výstupy (AO) pro zpracování spojitých signálů. S rozvojem automatizace v průmyslu jsou používány i další moduly periferních jednotek připojitelných k PLC, které jsou nazývány funkčními moduly (FM) např. pro polohování, komunikačními procesory (CP) pro sběr a přenos dat a další specifické moduly podle výrobce konkrétního systému.

Z hlediska konstrukce PLC se tyto dělí do skupiny „kompaktních“ a „modulárních“ systémů.

- **Kompaktní systém** je takový systém, který v jednom modulu obsahuje *CPU* (Central Procesor Unit), digitální a analogové vstupy/výstupy a základní podporu komunikace, v některých případech i zdroj. Rozšiřitelnost kompaktních systémů je omezena.
- **Modulární systém** je takový systém, kde jsou jednotlivé komponenty celku rozděleny do modulů. Celý systém PLC se potom skládá z modulů: zdroje, CPU, vstupů/výstupů, funkčních modulů. Modulární systém je možno dále rozšiřovat (s ohledem na limity výstavby systému) a to v nepoměrně větším rozsahu než u kompaktních systémů.

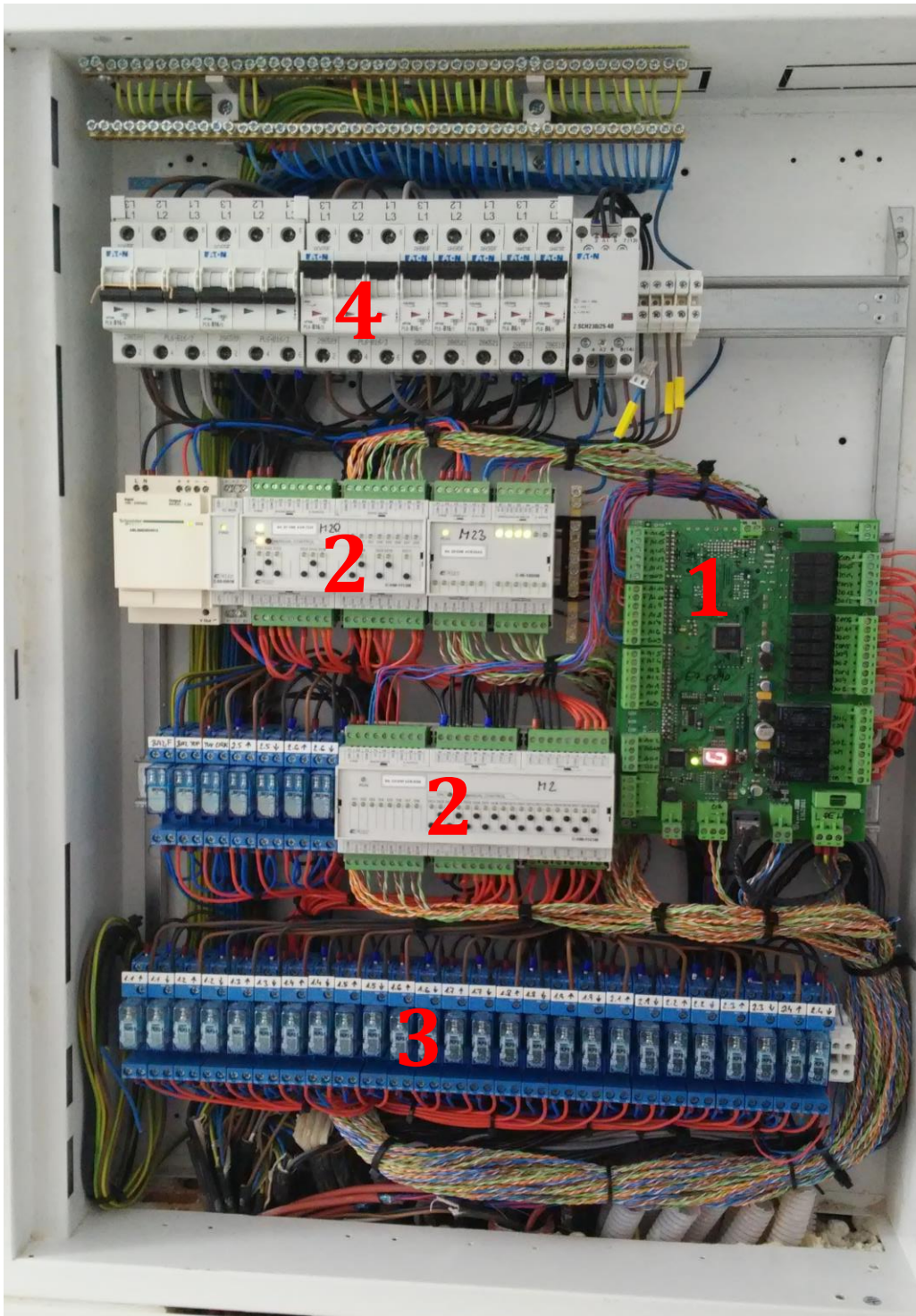
První používané PLC byly převážně schopny zpracovávat binární logiku řízení, jejich prvotním cílem byla náhrada reléových automatů. Postupně se s rozvojem polovodičových součástek rozšiřovalo spektrum použitelnosti těchto systémů na zpracování analogových signálů, matematických funkcí (zprvu v pevné řádové čárce, postupně v plovoucí řádové čárce) až po možnost realizace složitých systémů řízení obsahující zpracování binárních signálů, analogových hodnot, komunikaci s jinými systémy, přenos dat, archivaci naměřených hodnot, vlastní diagnostiku, tiskové výstupy atd.

Původně malé počítače pro automatizaci již dorostly do výkonných řídicích systémů, kdy jádro řídicího systému (modul CPU) obsahuje i několik procesorů, z nichž má každý svoji specifickou funkci. Malé a levné jednotky CPU samozřejmě neobsahují veškeré vymoženosti a komfort jako výkonově velké CPU. U velkých CPU je architektura (více procesorů) použita z důvodu zajištění potřebné odezvy a rychlosti zpracování dat v reálném čase. Každé CPU obsahuje jeden „hlavní“ procesor, který zpracovává programový algoritmus řízení (vytvořený programátorem jako uživatelská aplikace) a další procesory, které jsou tomuto podřízeny. Tyto podřízené procesory zajišťují komunikaci po interní sběrnici s jednotkami vstupu/výstupu, komunikaci s dalšími procesory (např. na síti), sběr dat z decentrálních periférií a další funkce. V dnešní době není výjimkou ani případ, kdy CPU obsahuje WWW server (HTML generátor), tzn. že toto CPU může být připojeno do sítě (zpravidla neveřejné) a být sledováno a řízeno použitím běžného prohlížeče WWW. Řídicí jednotky některých modulárních systémů jsou ve skutečnosti klony osobních počítačů v provedení se zvýšenou odolností vůči vnějším vlivům a s upraveným standardním desktopovým operačním systémem.

Orientačně se cena malých kompaktních systémů pohybuje v cenách od 1 500 – 10 000 Kč, cena velkých a výkonově vyšších systémů v rozsáhlé konfiguraci může dosahovat částek 500 000 Kč i vyšších. Vzhledem k efektivnosti těchto systémů v průmyslu nejsou tyto položky nijak závratné. Tato cena je ale hlavně závislá na systému, který má řídit, protože velkou část pořizovacích nákladů tvoří ne samotné PLC, ale právě snímače a napsání funkčního programu. V případě modulárních systémů samozřejmě i počet samotných modulů.[5] Pro průmyslovou regulaci je výhodné využít modulární provedení, neboť lze snadno rozšířit systém. Sběrníkové propojení jednotlivých modulů dokáže celou instalaci rozdělit do několika částí, není tedy zapotřebí mít elektroinstalaci svedenou do jednoho rozvaděče. Příklad rozvaděče je vidět na obrázku 3.6.

Popište si dílčí komponenty modulárního systému:

1. PLC Tecomat Foxtrot (CP-1970)
2. Vstup/Výstup rozšiřující moduly
3. Silové relé
4. Jističe pro jednotlivě ovládaná zařízení



Obr. 3.6 Rozvaděč TZB

4. Návrh elektroinstalace

Rozvržení kabelů pro regulovanou elektroinstalaci je odlišné od klasické a je třeba s tím dopředu počítat. Do klasické elektroinstalace se inteligentní prvky obtížně přidávají. Většinou je to možné pouze bezdrátově. Avšak to je pouze krajní řešení. Instalace se tím velmi prodrazí, není příliš spolehlivá a je nutné měnit pravidelně baterie.

- **Centrální řešení**

Toto řešení je spolehlivé, levné, avšak je zapotřebí pečlivě zvážit všechny ovládané prvky. Každý ovládaný prvek musí mít extra kabel pro ovládací i ovládanou část. Všechny ovládané části lze pak napojit na rozsáhlé moduly. Ty jsou pak cenově výhodnější. Centrální řešení má výhodu snadného servisu a většinou i jednoduššího programu.

- **Modulární řešení**

Toto řešení je finančně náročnější neboť instalace vyžaduje mnohem větší počet ovládaných modulů, ale přináší větší možnosti dodatečné montáže. Jednotlivé moduly jsou propojeny sběrníci – snadná montáž.

5. Porovnání způsobů regulace

Správně navržená regulace dokáže společně se správně navrženým tepelným zdrojem dokáže uspořit 15 – 30% energie. Nelze jednoznačně určit jaká regulace je nejlepší. Záleží na orientaci objektu, způsobu využití jednotlivých místností a také na požadované přesnosti klimatu. Lze uplatnit plno způsobů regulace a jejich kombinací.

Pro jednoduchý přehled následné rozdělení:

5.1. Regulace podle vnitřní teploty vzduchu

Řízení snímá vnitřní teplotu vzduchu. Regulace vyhodnotí potřebu vytápění. Výhodou této regulace je, že dokáže zaznamenat regulační poruchu. Regulační poruchu lze chápat jako neočekávaný vnější zásah do systému, například otevření okna nebo naopak zvýšení teploty vlivem vaření.

Regulaci podle vnitřní teploty lze následně rozdělit do dvou skupin:

- **Čidlo v referenční místnosti**

Tento způsob se nejčastěji využívá pro jednoduché a regulačně nenáročné instalace. Referenční místnost se většinou volí nejchladnější vytápěná místnost – tím se zaručí, že všechny ostatní místnosti objektu, se stihnou dostatečně vytopit. Pokud by i tak zůstávaly místnosti nevytopené, je nutné omezit průtok teplé vody pro danou místnost. Řízení snímá teplotu dané místnosti a podle té reguluje tepelný zdroj pro celý objekt. Výhodou je

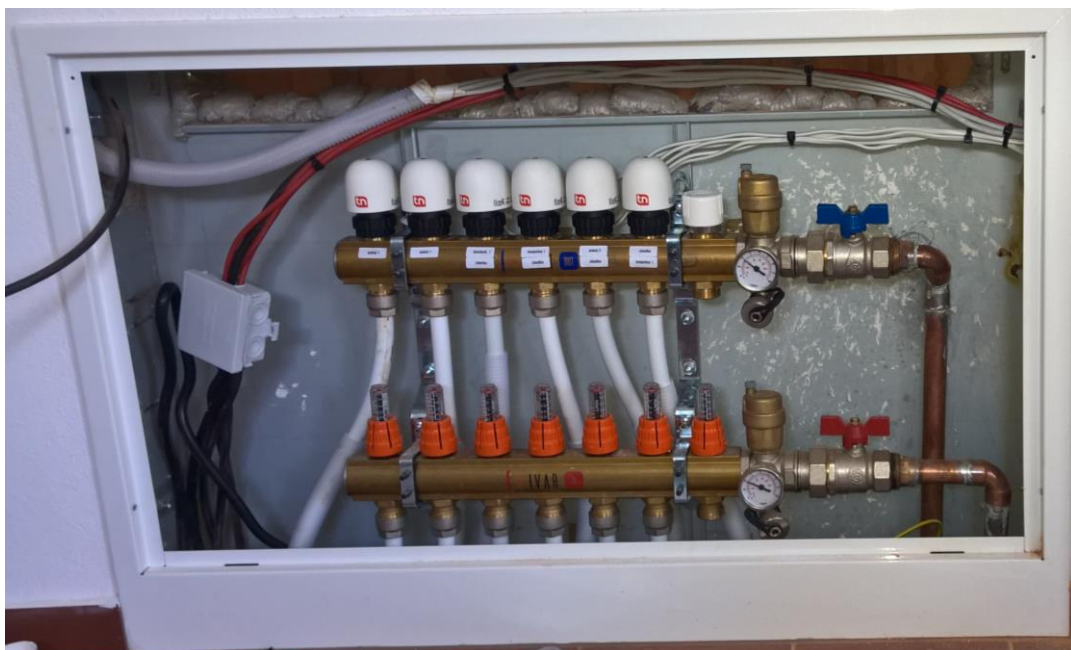


Obr. 5.1 Rozvaděč podlahového topení

nenáročné řízení a montáž, proto se nejčastěji využívá pro montáž mimo novostaveb. Značnou nevýhodou je nepřesná regulace v jiných místnostech a náročné první nastavení. Nesnímané místnosti se regulují průtokem topné vody. Při prvním nastavení jsou všechny místnosti otevřené. Po vytopení objektu jsou některé místnosti přetopené – teplotu snížíme omezením průtoku topné vody. Tento způsob regulace však nedokáže pracovat s regulační poruchou v nesnímaných místnostech. Na obrázku 5.1 je vidět rozvaděč neregulovaného podlahového topení. Tento způsob regulace lze uplatnit pro řízení vytápění, vlhkosti vzduchu, CO₂, ...

- **Čidla v každé místnosti**

Tento způsob vyžaduje elektroinstalační přípravu, proto se většinou využívá v novostavbách. Výhodou je velmi přesná regulace každé místnosti. Lze zaznamenat jednotlivé regulační poruchy a následně na ně reagovat. Řízení dokáže vyhodnotit potřebu tepla pro jednotlivé místnosti a tak správně nastavit výkon tepelného zdroje. Na obrázku 5.2 je vidět rozvaděč podlahového topení s řízením jednotlivých smyček. Tento způsob regulace lze uplatnit také pro řízení vytápění, vlhkosti vzduchu, CO₂, ... Nástěnné termostaty pro nastavení teplot jednotlivých místností je vidět na obrázku 5.3.



Obr. 5.2 Rozvaděč podlahového topení 2



Obr. 5.3 Termostat

5.2. Regulace podle venkovní teploty

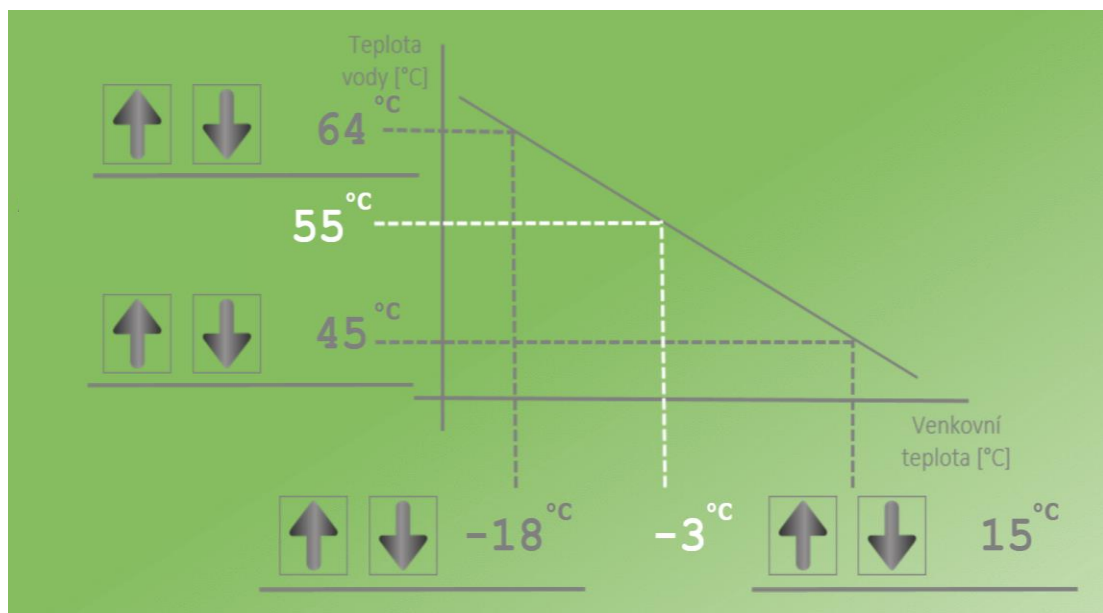
V tomto případě je dodávka tepla z topného zdroje řízena podle venkovní teploty. Jelikož jsou energetické ztráty objektu přímo závislé na venkovní teplotě, lze teplotu topné vody řídit podle ekvitemní křivky. Ekvitemní křivka udává lineární závislost teploty topné vody na venkovní teplotě. Výhodou této regulace je jednoduchost ovládání a celkem přesná regulace, bez velkých výkyvů. Nevýhodou je chybějící zpětná vazba z vytápěného objektu, tudíž nelze reagovat na regulační poruchu. Tato regulace není vhodná pro všechny druhy tepelných zdrojů. Abychom docílily požadované teploty topné vody, je zapotřebí daný zdroj řídit. Proto je vhodné použít tepelné čerpadlo, elektrokotel nebo plynové topení s možností plynulé regulace. Pro jiné zdroje lze využít akumulární nádrž s využitím směšovače, který míchá chladnější vodu přitékající ze zpětného potrubí s horkou vodou ze zdroje. To už se ale jedná o náročnější instalaci. Tento způsob regulace je vhodný pouze pro regulaci teploty.

Pro přesnou regulaci je nutné pro každý objekt nastavit unikátní ekvitemní křivku.

Nastavení ekvitemní křivky

Mění se podle tepelných ztrát objektu a typu topení. Například instalace s použitím radiátorů je nutné nastavit ekvitemní křivku mnohem vyšší, než na instalaci s použitím podlahového topení, kde je mnohem větší topná plocha. Výsledná funkce je přímka, tudíž je nutné znát dva body. Prvotní nastavení je podle projektu. Následně se upravuje sklon křivky případně její posun. Tyto dva body se volí jednou v teplém období a podruhé v chladném. Teplota vody se pak nastaví podle výsledné teploty v domě.

Na obrázku 5.4 je vidět nastavení ekvitemní křivky. Při 15°C venkovní teploty je objekt vytápěn teplotou 45°C topné vody. Naopak při teplotě -15°C je objekt vytápěn 64°C . Při aktuální venkovní teplotě -3°C je výsledná topná voda 55°C .



Obr. 5.4 Nastavení ekvitemní teploty

5.3. Regulace podle venkovní teploty se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu

Vzhledem k tomu, že regulace podle ekvitermní teploty nedokáže počítat s regulační poruchou místností nebo nemusí být vždy správně nastavena ekvitermní křivka, vstupuje do regulace zpětná vazba na vnitřní teplotu. Řízení reguluje soustavu podle nastavené ekvitermní křivky a koriguje jí podle informací z teplotního čidla místnosti. Vliv této korekce lze rozdělit na dlouhodobý a krátkodobý:

- Dlouhodobý vliv teploty v prostoru – řízení koriguje nastavenou ekvitermní křivku. Řízení se tak přesně přizpůsobí danému objektu, bez zásahu uživatele. Tento způsob nedokáže počítat s regulační poruchou.
- Krátkodobý vliv teploty v prostoru – řízení koriguje ekvitermní křivku podle aktuálních informací z čidel. Díky tomu umí reagovat na regulační poruchu. Výsledná teplota topné vody je v intervalech počítána podle vzorce závislým na venkovní teplotě, vnitřní teplotě, požadované vnitřní teplotě a předchozímu stavu řízení.

$$t_{top} = t_{pož} + \frac{K}{2} \cdot (t_{pož} - t_{akt})$$

- t_{top} – Vypočtená teplota topné vody
- $t_{pož}$ – Požadovaná teplota v místnosti
- K – Faktor vlivu prostorové teploty
- t_{akt} – Aktuální teplota místnosti

Pokud se požadovaná teplota rovná nastavené, je teplota topné vody rovna teplotě v místnosti.

5.4. Kombinace systémů

Předchozí typy regulace jsou základní druhy, které lze použít. V praxi se často nepoužívají samostatně, ale jejich kombinace. Rozsáhlé systémy velkých firem lze nastavit různými kombinacemi, těchto regulací, aby se zajistila maximální adaptace systému na daný objekt. Při tvorbě nového řídicího systému je nutné vzít v úvahu, zda bude systém používán na jedné instalaci nebo na více. Podle toho zvolit rozsáhlost nastavení. V této práci bude použita kombinace regulace podle vnitřní teploty vzduchu společně s regulací podle venkovní teploty.

6. Návrh systému

Ukázkou pro návrh průmyslové regulace je zvolen systém Smart Control, který je zcela vyvíjen českou firmou TENAUR s.r.o. Vývoj prvního systému začal v roce 2009 a postupně se rozšiřuje a zdokonaluje. Nyní se jedná již o třetí zcela přepracovanou verzi, která obsahuje kompletní a rozsáhlou správu technických zařízení budov. Nyní je nově doplněna komunikace s fotovoltaickou elektrárnou. Navíc systém dokáže regulovat osvětlení, zásuvky, žaluzie, zabezpečení a podobné jednodušší prvky. Tímto uživatel získá kompletní přehled. Nechybí ani uživatelsky programovatelné časové scény všech prvků.

Systém je vyvíjen týmem čtyř lidí a jeho funkčnost vyplývá ze zkušeností z instalací jiných druhů regulací a technických zařízení budov. Autorovo úloha je tvorba a testování programu včetně návrhu a tvorby webového prostředí. Konzultant práce má na starosti vývoj vnitřní jednotky, návrh konečných rozvaděčů a návrh vhodných zařízení pro danou regulaci. Funkční řízení je pak navrženo celým týmem.

Aktuální verze systému obsahuje plynulou regulaci všech zařízení s funkční návazností a možností predikce budoucích stavů podle předpovědi počasí. Nastavení konkrétní instalace probíhá skrze servisně programovatelné webové masky. Zcela bez programátorského zásahu. V provozu jsou aktuálně stovky instalací různého rozsahu v soukromých i firemních objektech. Velká část slouží jako řídicí systém pro sériově vyráběnou vnitřní jednotku Eco-Watt.

V práci je popsána testovací instalace, používaná jako showroom. Předchozí řízení byla použita stará verze systému, která fungovala víc jako „chytrý termostat“, než inteligentní řídicí systém. Například neobsahovala funkční propojení zařízení nebo napojení na předpověď počasí. Aktuálně je plynule ovládané tepelné čerpadlo Mitsubishi s vnitřní jednotkou Eco-Watt napojené na 8 topných zón s možností chlazení a teplou užitkovou vodu. Rekuperace Stiebel Eltron má pak funkci větrání a je ovládaná ve třech výkonnostních stupních. K instalaci je nově připojená fotovoltaická elektrárna o výkonu 3,5 kW se střídačem Fronius, který se systémem komunikuje Modbus protokolem. Navíc je ovládané osvětlení reklam, vnitřní osvětlení a do budoucna ukázková žaluzie.



Obr. 6.1 Showroom

6.1. Vytápění / Chlazení

Teploty jednotlivých místností budou řízeny podle čidla v každé místnosti. Tím do systému vneseme zpětnou vazbu na aktuální teplotu. Zpětná vazba zajistí přesnou regulaci pro každou místnost zvlášť a dokáže zaznamenat regulační poruchu. Například otevření okna nebo naopak sluneční záření. Topná voda bude řízena podle venkovní teploty za pomoci ekvitermní křivky. Jelikož jsme jako tepelné zdroj využili tepelné čerpadlo, má ekvitermní regulace smysl. U většina moderních tepelných čerpadel lze řídit výkon a tím zajistit přesnou výstupní teplotu topné vody. Účinnost tepelného čerpadla klesá se zvyšující se výstupní teplotou. Úspornost takovéto instalace se zvyšuje se správně nastavenou ekvitermní křivkou.

Regulace místností je tak mnohem přesnější, než za použití konstantní topné vody, neboť teplota vody není dostatečně vysoká, aby místnosti příliš přetápěla nebo naopak přechladila.

Do regulace s použitím tepelného čerpadla navíc vstupuje předpověď počasí. Jelikož se efektivita tepelného čerpadla snižuje s klesající venkovní teplotou, lze za pomoci předpovědi počasí určit, kdy se má systém vytopit a tím se znatelně sníží spotřeba elektrické energie

TZB Topení		17:50		19.8 °C	
		Komfort		Úspora	
● Obývací	19.6 °C	↑ ↓	15.0 °C	↑ ↓	15.0 °C
● Jídelna	0.0 °C	↑ ↓	15.0 °C	↑ ↓	15.0 °C
● Kuchyň	0.0 °C	↑ ↓	15.0 °C	↑ ↓	15.0 °C
● Chodba	0.0 °C	↑ ↓	15.0 °C	↑ ↓	15.0 °C
● Koupelna	0.0 °C	↑ ↓	15.0 °C	↑ ↓	15.0 °C

Okruh 1 [Okruh 2](#) [Okruh 3](#) Zimní Úspora

Obr. 6.2 Nastavení teplot místností

6.2. Kvalita ovzduší

Regulace kvality ovzduší není energeticky náročná jako vytápění nebo chlazení prostorů, ale je v průmyslu hlídána stejně důležitě:

- Obsah škodlivin ve vzduchu, například CO₂.
Řeší se nejčastěji výměnou vzduchu nasávaného skrze filtry.
- Relativní vlhkost vzduchu.
Řeší se zvlhčováním, odvlhčováním nebo větráním.
- Obecná cirkulace vzduchu – rekuperační jednotky.

Pro většinu aplikací v rodinném domě není vzduchotechnika zapotřebí s výjimkou pasivních domů. V průmyslové oblasti je to jiné. Přísné normy předepisují množství vyměněného vzduchu v závislosti na velikosti místností, počtu pracovníků a vykonávané práce.

Způsobů regulace je však velké množství. Pro většinu aplikací je plně dostačující rekuperační jednotka s nastavitelnými časovými režimy. Při dostatečně velké cirkulaci je zajištěna výměna vzduchu a tím i splnění dostatečné čistoty vzduchu. Toto jednoduché řešení bylo aplikované v testovací instalaci.

V důsledné regulaci je zapotřebí rozdělit činnosti vzduchotechniky a přiřadit jim příslušné priority:

- Topení/chlazení
 - Priorita 1 – nejvyšší priorita
 - Použití s tepelným čerpadlem jako zdroj tepla
 - Regulace viz vytápění/chlazení
- Větrání
 - Priorita 2
 - Řízení podle čidla CO₂, případně čidla jiného znečištění
 - Regulace podle rozdílu nastavené a naměřené hodnoty s nastavenou hysterezí

- Zvlhčování/odvlhčování

- Priorita 3
- Řízení podle čidla vlhkosti
- Regulace podle rozdílu nastavené a naměřené hodnoty s nastavitelnou hysterezí. Automatické rozhodování mezi zvlhčováním a odvlhčováním – zajistit dostatečně velkou hysterezi vzhledem k přesnosti regulace, aby nedocházelo k překmitům mezi oběma možnostmi:
 - Zvlhčování – za použití zvlhčovače
 - Odvlhčování – Tepelným čerpadlem zajistíme teplotu na kondenzátoru blízkou rosnému bodu – tím dojde ke kondenzaci vody a následně snížením vlhkosti vzduchu. Teplota nemusí být příliš přesná a z hlediska úspornosti je výhodné ji držet nad vypočtenou. Pro větší komfort je důležité následně vzduch předeřhát na vyšší teplotu.

Výpočet rosného bodu [2]:

$$T_{rs} = T - \frac{100-V}{5}$$

T_{rs} – teplota rosného bodu [°C]

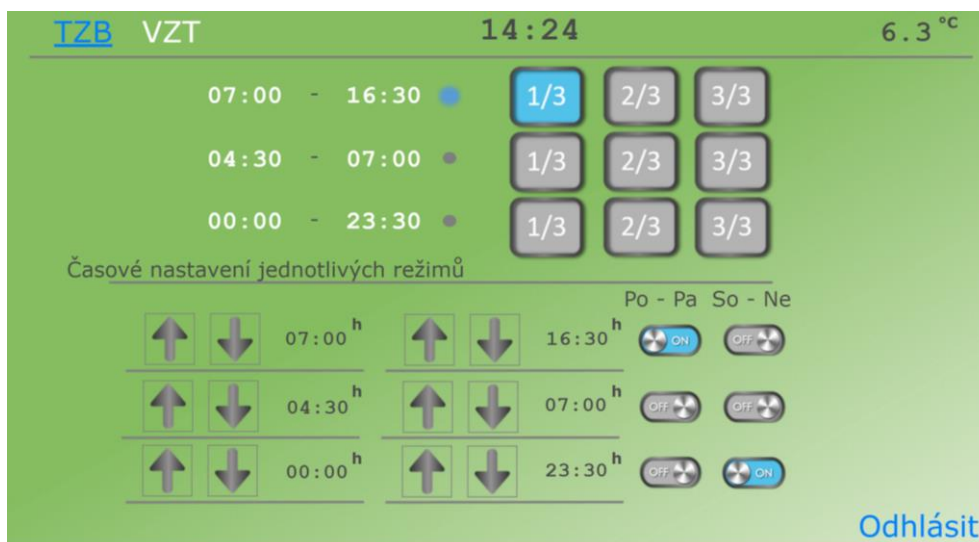
T – Teplota prostředí [°C]

V – Relativní vlhkost [%]

- Časové režimy větrání

Příklad webového prostředí je vidět na obrázku 6.3.

- Priorita 4 – nejnižší priorita, režim slouží jako prevenční a ke zvýšení obecné pohody v objektu
- Řízení podle nastaveného času a požadovaného výkonu vzduchotechniky
- Tento režim je pro většinu aplikací plně dostačující a jedná se o energeticky velmi výhodné řešení. Výměna vzduchu prochází skrze rekuperační výměník s účinností cca 95% - nedochází k úniku tepla jako při klasickém větrání [3].



Obr. 6.3 Časové režimy větrání

Testovací regulace je v nenáročném prostředí a časové režimy větrání jsou plně dostačující, proto je zvolena pouze tato regulace. Topení/chlazení je do místností distribuováno pomocí vodního podlahového vytápění.

6.3. Obnovitelné zdroje

Nevýhodou dostupných obnovitelných zdrojů je nestabilita dodávky energie. Nejdostupnější obnovitelný zdroj je sluneční záření, svítí - nesvítí. Jelikož jiné obnovitelné zdroje jsou opravdovou výjimkou, v návrhu regulace je popsáno pouze řízení solárních kolektorů a fotovoltaické elektrárny[4].

- Termické solární kolektory

Výhodou je nenáročná regulace. Při dostatečné sluneční energii se aktivuje oběhové čerpadlo, které zaručí distribuci energie pomocí média do akumulární nádrže, případně do nádrže pro teplou užitkovou vodu.

Nevýhodou je, že při natopení nádrží na maximální teplotu, není možnost energii distribuovat do dalších spotřebičů a její dodávka se musí přerušit. Tímto se snižuje energetická výnosnost.

V testovací regulaci nejsou solární kolektory nainstalované. Způsob regulace je v této práci pouze informativní.

- Fotovoltaická elektrárna

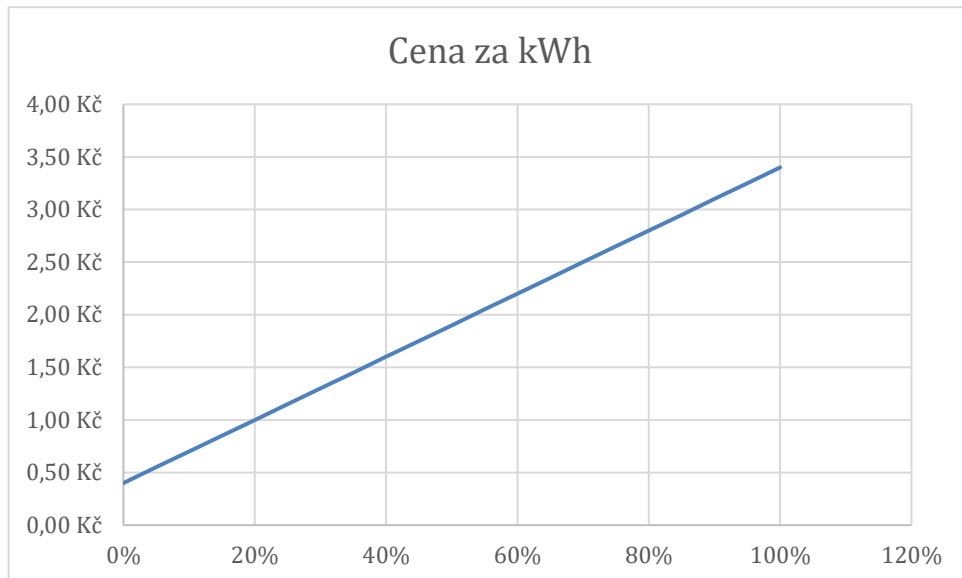
Výhodou oproti termickým solárním panelům je rozsáhlá možnost distribuce energie do různých spotřebičů a do elektrické distribuční sítě.

Nevýhodou je, značné kolísání energie v závislosti na slunečním záření.

Z ekonomického hlediska se fotovoltaická elektrárna vyplatí pouze tehdy, když většinu elektrické energie dům využije pro vlastní potřebu.

Aktuální ceny výkupu se pohybují přibližně od 0,20 – 0,40 Kč/kWh, kdežto nákup se pohybuje kolem 3,40 Kč/kWh. V následující tabulce a grafu (relativní cena za kWh) je vyjádřena relativní cena vyrobené kWh. 0% vlastního využití znamená, že všechna vyrobená energie byla prodána do distribuční sítě za prodejní cenu 0,40 Kč/kWh. 100% vlastní spotřeby znamená, že všechna vyrobená energie nahradila energii z distribuční sítě s nákupem 3,40 Kč/kWh.

Vlastní využití	Cena za kWh
0%	0,40 Kč
5%	0,55 Kč
10%	0,70 Kč
15%	0,85 Kč
20%	1,00 Kč
25%	1,15 Kč
30%	1,30 Kč
35%	1,45 Kč
40%	1,60 Kč
45%	1,75 Kč
50%	1,90 Kč
55%	2,05 Kč
60%	2,20 Kč
65%	2,35 Kč
70%	2,50 Kč
75%	2,65 Kč
80%	2,80 Kč
85%	2,95 Kč
90%	3,10 Kč
95%	3,25 Kč
100%	3,40 Kč



Graf 1 – relativní cena za kWh

Tabulka 1 – relativní cena za kWh

Hospodaření s přebytkem energie:

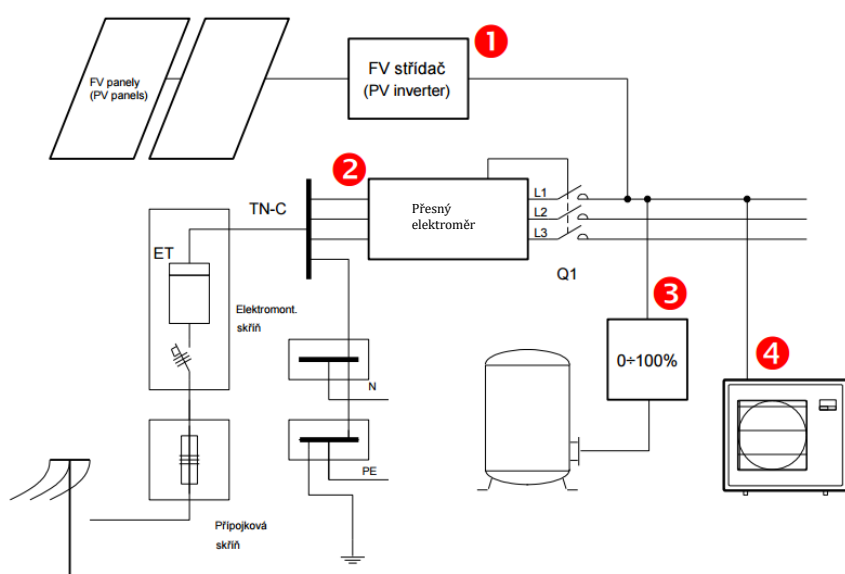
Hospodaření s přebytkem energie má za úkol řídicí systém, který se snaží využít 100% energie pro vlastní spotřebu. Tento úkol není zcela jednoduchý, protože většina spotřebičů neumožňuje plynulou regulaci. Tato problematika se v podobných systémech objevuje teprve krátce a většina instalací je pouze referenční. Z tohoto důvodu pramení následující informace z aktuálního vývoje a ne z obecných zvyklostí. Referenční zapojení je vidět na obrázku 3.3 (Funkční schéma zapojení FVE [5])

Možnosti řízení:

- **On/Off** – Spotřebič je vypnutý, nebo zapnutý, nic mezi neexistuje. Například pračka, trouba, ... Další nevýhodou těchto spotřebičů je, že je důležité brát zřetel na počet startů. Nelze je ihned vypnout, pokud přestane svítit slunce.

- **0 - 100% skokově** – Spotřebič lze regulovat a jeho příkon lze měnit skokově, například po 20%, tj 0% - 20% - 40% - 60% - 80% - 100%. Například kompresor tepelného čerpadla nebo klimatizace. Nevýhodou je, že nelze rychle měnit příkon a je nutné brát zřetel na počet startů, stejně jako u spotřebičů On/Off. Výhodou je velká účinnost. (V případě tepelného čerpadla).
- **0-100% plynule** – Spotřebič lze plynule řídit příkon 0-100%. Například elektrokotel lze řídit jako odporovou zátěž. Výhodou je přesná a rychlá regulace, ale malá účinnost.

V reálném provozu vše funguje tak, že při malém přebytku energie se aktivuje elektrokotel a je regulován, aby nedocházelo k přebytku ani nákupu energie. Pokud je přebytek dostatečně velký a stabilní, aktivuje se kompresor tepelného čerpadla na příslušný výkon, přičemž elektrokotel sjede na nižší výkon. V průběhu je podle potřeby možné aktivovat i ostatní spotřebiče, podle nastavené logiky. Většina energie je využita do topení/chlazení a vytápění teplé užitkové vody. Řídicí systém Smart Control pracuje s předpovědí počasí. Funkčnost je navržena tak, aby nedocházelo ke zbytečnému vytápění v nočních hodinách, pokud předpověď počasí slibuje dostatečné sluneční záření a je tedy předpokládán přebytek energie. Tento způsob řízení je velmi náročný, ale hodně účinný. Příklad funkčního schéma regulace je vidět na obrázku 6.4.



Obr. 6.4 Funkční schéma zapojení FVE

(upraveno dle:

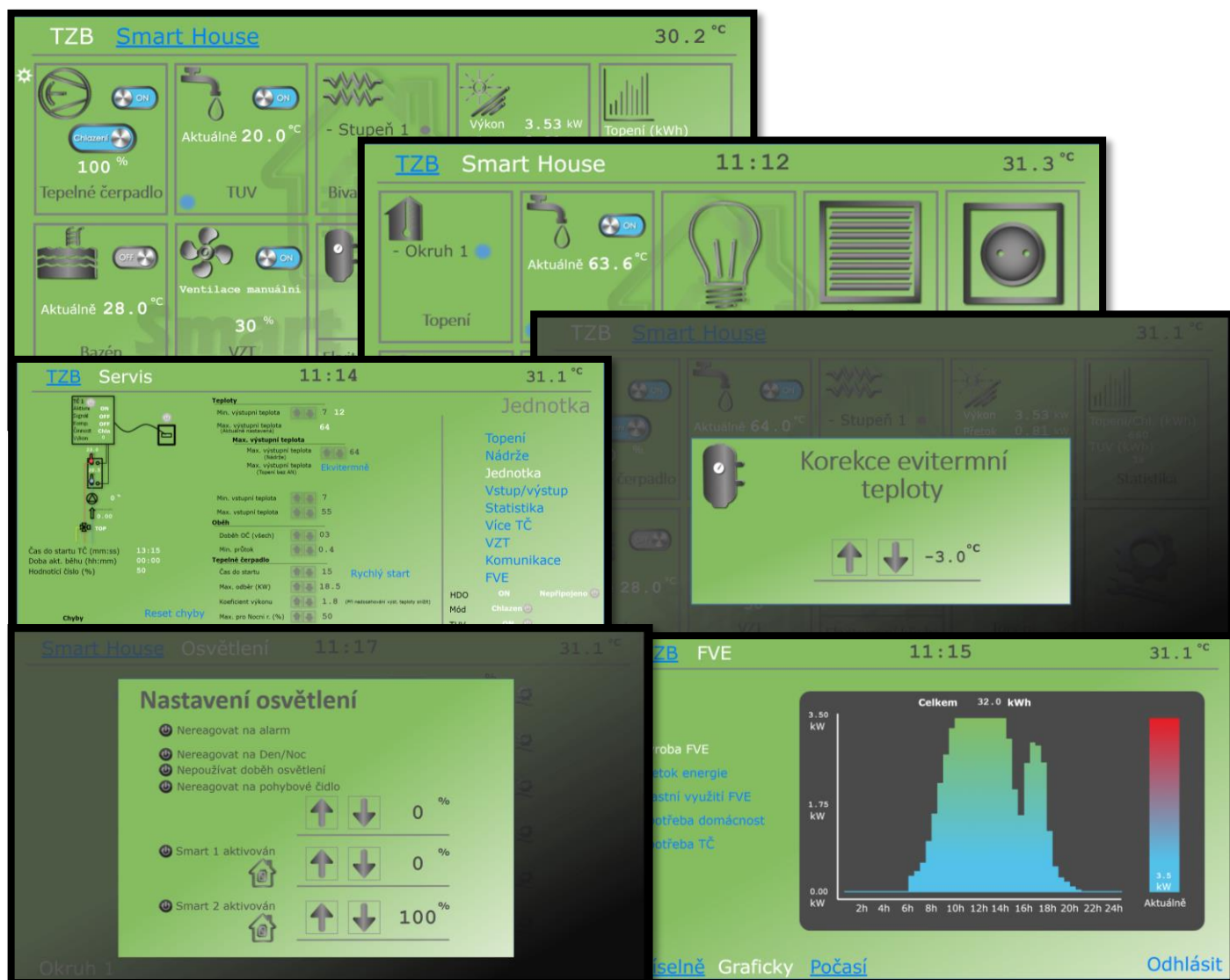
http://www.tecomat.com/wpimages/other/DOC/S/cze/TXV00416_01_CFoxRFoxProjektovani_cz.pdf)

6.4. Tvorba systému a návrh webového prostředí

Důležitou součástí aplikace je uživatelské a servisní prostředí. To je realizované pomocí WebMakeru integrovaného do vývojového prostředí Mosaic dodávaného českou firmou TECO a.s. Celé prostředí je tvořeno přibližně 120 maskami pro různé uživatelské úrovně. Pro snadný přístup se využívá dotykový displej umístěný na vnitřní jednotce, rozvaděči nebo v obytném prostoru. Displej slouží k jednoduché údržbě a je navržen pro jednoduché ovládání pro méně schopné uživatele a základní servis.

Pro rozsáhlé nastavení a vizualizaci slouží webové prostředí, které je optimalizované jak pro počítače, tak chytré telefony bez ohledu na operační systém. Zelené masky použity jako ukázky jsou masky z poslední verze aplikace.

Samotný systém je tvořen také ve vývojovém prostředí Mosaic. Program je psán ve strukturovaném textu a zabírá přibližně 450 stran kódu.



Obr. 6.5 Masky aplikace

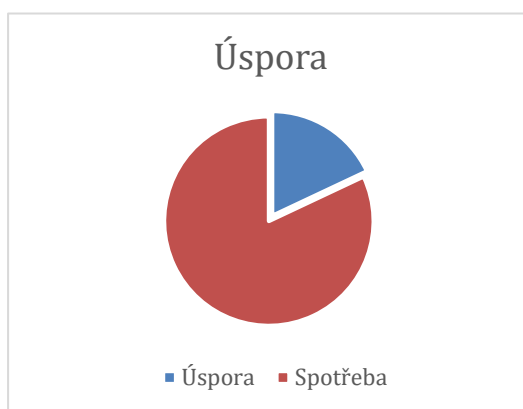
7. Energetická úspornost

7.1. Celková úspornost bez FVE

Celková úspornost systému byla zjištěna po jednom roce běhu. Jak již bylo popsáno, předchozí stav nebylo možné přesně měřit a je tedy vypočítáván podle normy EN 14825 na základě tepelné ztráty objektu a průměrné venkovní teploty [7]. Poslední fakturační období je již instalace aktivní a je k dispozici skutečná hodnota spotřeby tepelného čerpadla pro vytápění a teplou užitkovou vodu. Tato hodnota je porovnána s výpočtovou podle normy a vychází s úsporností 18%.

Počátek období Fakturační období	Konec období Fakturační období	Odebraná el. energie [MWh]	Průměrná teplota v topném období	Potřeba tepla Topení + TUV [MWh] Dle EN 14825	SCOPon TČ Dle EN 14825	Spotřeba Topení + TUV [MWh] Dle EN 14825	Spotřeba Topení + TUV [MWh] Skutečná	Úspora [MWh]	Úspora [%]
04.02.2014	02.02.2015	11,411	6,95	8,27	3,60	2,30			
03.02.2015	09.02.2016	11,381	5,66	9,96	3,37	2,95			
10.02.2016	06.02.2017	11,749	4,16	11,73	3,05	3,85	3,14	0,71	18%

Tab. 2 – porovnání spotřeby



Graf 2 – relativní cena za kWh

Tato úspora vznikla především díky regulaci tepelného čerpadla s ohledem na předpověď počasí. Jelikož má tepelné čerpadlo při vyšších teplotách výrazně vyšší účinnost, není zapotřebí vysokého příkonu. Jak je vidět v tabulce 2, SCOPon (efektivita) při průměrné venkovní teplotě 6,95 °C je 3,60, naopak při venkovní teplotě 4,16 je SCOPon 3,05.

7.2. Úspornost FVE

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, ekonomické podmínky fotovoltaických elektráren jsou nastaveny tak, aby bylo výhodné většinu energie spotřebovat a co nejméně prodávat do sítě.

I s přebytkem energie lze hospodařit různě. Například spotřebování energie v tepelném čerpadle je zhruba 3 výhodnější, než tuto energii spotřebovat pro elektrokotel, případně jiný spotřebič. (Viz předchozí část práce).

Následující tabulka hospodárnosti ukazuje výrobu a následné hospodaření elektrické energie za 10 dní v jarním období. Tyto hodnoty byly naměřeny se vzorkovací periodou 10s.

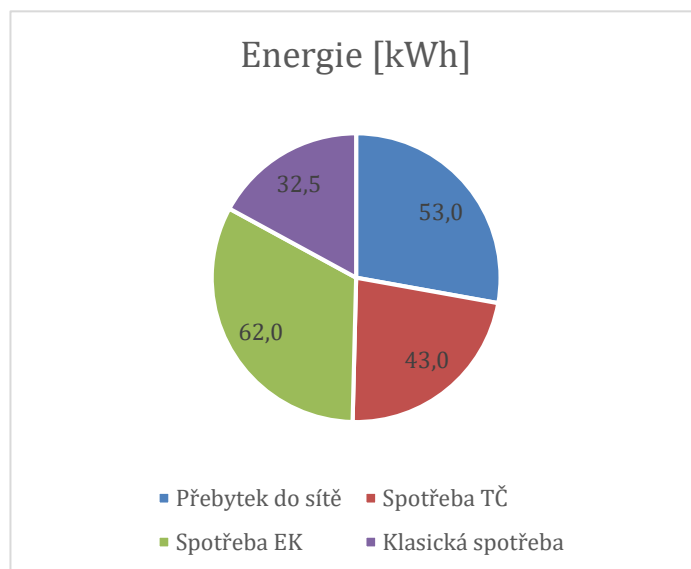
	Energie [kWh]	Využití [%]	Nákupní hodnota [Kč]	Efektivita	Výnos [Kč]
Přebytek do sítě	53,0	27,82%	0,40 Kč	1	21,20 Kč
Spotřeba TČ	43,0	22,57%	3,40 Kč	3	438,60 Kč
Spotřeba EK	62,0	32,55%	3,40 Kč	1	210,80 Kč
Klasická spotřeba	32,5	17,06%	3,40 Kč	1	110,50 Kč
Celkem	190,5	100,00%			781,10 Kč

Tab. 3 - Hospodárnost

- Energie [kWh] – hodnota odečtená z naměřených hodnot
- Využití [%] – Procentuální zastoupení jednotlivých složek
- Nákupní hodnota [Kč] – relativní cena za kWh
- Efektivita – Přibližná efektivita spotřebiče
 - Klasický spotřebič má účinnost vždy menší než 1. Pro jednoduchost byl zvolen koeficient 1
 - Tepelné čerpadlo získává přibližně 1/3 energie z elektřiny a 2/3 ze svého okolí, například vzduchu. Proto je zvolena efektivita 3.
- Peněžní výnos [Kč] – Relativní cena za kWh podle tabulky 1. s ohledem na použitý spotřebič.

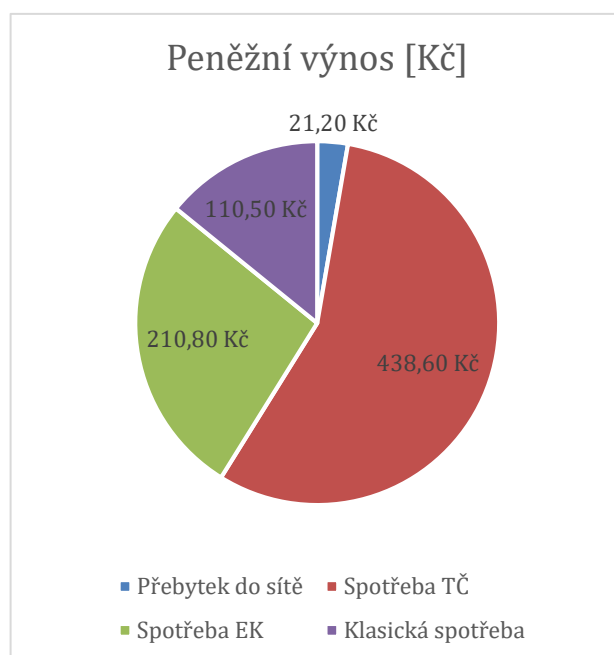
$$\text{Výnos} = \text{Energie} * \text{Nákupní hodnota} * \text{Efektivita}$$

Graf Energie zobrazuje procentuální zastoupení jednotlivých využití vyprodukované energie. Složka „Klasická spotřeba“ je trvalá spotřeba na klasické spotřebiče jako je PC, osvětlení, zásuvky, ... Systém na tuto hodnotu nemá žádný vliv.



Graf 3 – Hospodárnost

Graf peněžní výnos zobrazuje zisk na jednotlivých využití vyprodukované energie v závislosti na relativní ceně za kWh (viz. kapitola obnovitelné zdroje) a na účinnosti těchto zařízení.



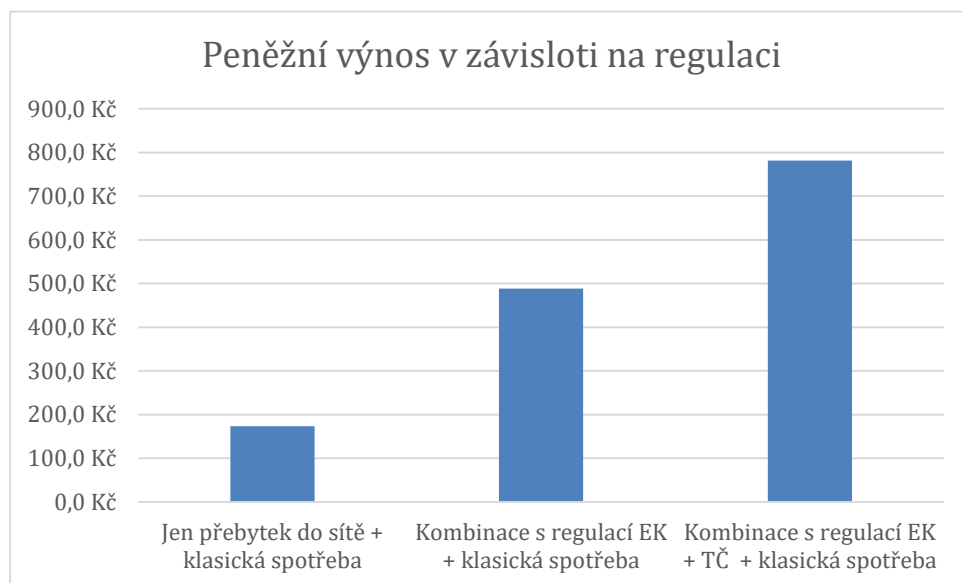
Graf 4 – Peněžní výnos

Tabulka porovnávající peněžní výnos v závislosti na regulaci. Tento peněžní výnos je relativní, neboť to není částka získaná za prodej, ale i za ušetření.

- **Jen přebytek do sítě + klasická spotřeba** – Bez systému => Vyprodukovanou energii využijí pouze aktuálně aktivní spotřebiče. Zbylá energie se změní v přebytek do sítě.
- **Kombinace s regulací EK + klasická spotřeba** – Se systémem => Vyprodukovanou energii lze regulovat do elektrokotlů například v nádrži pro teplou užitkovou vodu. Aktuálně běžící spotřebiče mají stále stejnou spotřebu, jako v předchozím případě.
- **Kombinace s regulací EK + TČ + klasická spotřeba** – Se systémem => Vyprodukované energie je využita v tepelném čerpadle pro topení/chlazení. Elektrokotel přitápí teplou užitkovou vodu. Aktuálně běžící spotřebiče mají stále stejnou spotřebu jako v prvním případě.

	Peněžní výnos
Jen přebytek do sítě + klasická spotřeba	173,7 Kč
Kombinace s regulací EK + klasická spotřeba	488,7 Kč
Kombinace s regulací EK + TČ + klasická spotřeba	781,1 Kč

Tab. 4 – porovnávající peněžního výnosu



Graf 5 – porovnávající peněžního výnosu

8. Závěr

První část práce je obecně věnována představení technickým zařízením budov. U zařízení, které mají větší množství typů jsou popsány výhody a nevýhody, podle kterých je následně vybráno nejvhodnější zařízení.

Práce obsahuje základní princip zapojení chytré elektroinstalace, aby bylo zmíněno rozdílné zapojení oproti klasické.

Dále jsou zmíněny základní druhy regulace, podle kterých lze jednotlivé veličiny řídit. Energeticky je nejnáročnější regulace teploty, proto jsou tak jednotlivé druhy popsány. U každé regulace je zmíněna schopnost řídit i jiné veličiny. Jelikož většina firem používá různé kombinace těchto typů, je jedna taková popsána a zhodnocena.

Druhá část práce ukazuje návrh konkrétního systému. Mimo návrh jsou zmíněny i náročnější instalace, které nejsou v té referenční využity. Větší část návrhu pramení z praktických zkušeností z realizací takovýchto systémů. Některé jsou velmi málo používané, kvůli jejich náročné regulaci.

Práce je ukončena kapitolou o úspornosti těchto systémů. Z naměřených hodnot vyplývá, že největší úsporu přináší regulace spotřebičů podle fotovoltaické elektrárny. Tato byla spuštěna 9.3.2017. Z tohoto důvodu nelze získat statistiky z celoročního provozu, které by byly mnohem přesnější. Avšak hodnoty jsou získané z přechodného jarního období, kdy se velmi střídá počasí a tak i dodávka energie, což je z pohledu regulace nejsložitější stav. Přibližně 6 z 10 měřených dní byl celý objekt vytápěn pouze energií z FVE. Teplá užitková voda byla vytápěna pouze z FVE. Z toho lze usoudit, že v zimních měsících bude využití mnohem vyšší. V letních měsících bude energie využita na chlazení objektu a serverovny.

Celková úspornost systému za rok provozu (bez FVE) vyšla o 18% úspornější, než v předchozím případě a výpočtu podle normy EN 14825. Největší vliv na tuto hodnotu má posun běhu tepelného čerpadla do vyšších hodnot venkovní teploty, kdy je vyšší účinnost. Zanedbatelnější vliv na tuto hodnotu měla přesná regulace teplot místností a celkové propojení systémů. Pokud se do tohoto měření zahrne i fotovoltaická elektrárna, bude celková úspornost systému mnohonásobně vyšší.

9. Seznam zdrojů

9.1. Internetové zdroje

[1] Tenauro [online] [citace 24.10.2016] Dostupné z:

<http://tenaur.cz/cz/menus/tepelna-cerpadla-obecne>

[2] TZB-info [online] [citace 25.10.2016] Dostupné z:

<http://vetrani.tzb-info.cz/prumyslova-vzduchotechnika>

[3] Wikipedia [online] [citace 15.10.2016] Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Obnoviteln%C3%BD_zdroj_energie

[4] TZB-info [online] [citace 29.10.2016] Dostupné z:

<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika>

[5] Wikipedia [online] [citace 15.10.2016] Dostupné z:

https://cs.wikipedia.org/wiki/Programovateln%C3%BD_logick%C3%BD_automat

[6] TZB-info [online] [citace 13.10.2016] Dostupné z:

<http://www.tzb-info.cz/4360-moznosti-modernich-zpusobu-regulace>

[7] Stavebnictví3000 [online] [citace 1.10.2016] Dostupné z:

<http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/preklad/>

9.2. Knižní zdroje

[8] BENEŠ, P. a kol. *Automatizace a automatizační technika 1*. Brno: Computer Press, 2012. ISBN 978-80-251-36287

[9] BENEŠ, P. a kol. *Automatizace a automatizační technika 2*. Brno: Computer Press, 2014. ISBN 978-80-251-4106-9

[10] MARTINÁSKOVÁ, M., ŠMEJKAL, L. *PLC a automatizace 1*. Praha: BEN, 2002. ISBN 80-86056-58-9

10. Seznam obrázků

Obr. 3.1 Tepelné čerpadlo

Obr. 3.2 Cyklus tepelného čerpadla

Obr. 3.3 Vzduchotechnika

Obr. 3.4 Fotovoltaika

Obr. 3.5 PLC Foxtrot

Obr. 3.6 Rozvaděč TZB

Obr. 5.1 Rozvaděč podlahového topení

Obr. 5.2 Rozvaděč podlahového topení 2

Obr. 5.3 Termostat

Obr. 5.4 Nastavení ekvitermní teploty

Obr. 6.1 Showroom

Obr. 6.2 Nastavení teplot místností

Obr. 6.3 Časové režimy větrání

Obr. 6.4 Funkční schéma zapojení FVE

Obr. 6.5 Masky aplikace

11. Seznam zkratk

TZB – Technická zařízení budov

FVE – Fotovoltaická elektrárna

PLC, PAC – Programovatelný logický automat

MaR – Měření a regulace

TUV – Teplá užitková voda

EK – Elektrokotel

TČ – Tepelné čerpadlo