

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

PROVOZ KLIMATIZACE ADMINISTRATIVNÍ BUDOVOY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Souhrn

Práce se zabývá především klimatizací administrativní budovy firmy M-tech, s.r.o. Klade důraz na spotřebu energií a zpracování poskytnutých dat a dále kontrolou systému a provozem administrativní budovy. Data jsou zpracována a vyhodnocena graficky a početně. Z výstupů poté vycházejí jednotlivé spotřeby elektrické energie pro provoz klimatizačního systému a tepelných čerpadel.

Summary

The work deals mainly conditioned administrative building of the company M-tech, ltd. Emphasis on energy consumption and the processing by the data and control system and the operation of the office building. The data is processed and analyzed graphically and numerically. From then outputs based on the individual electrical energy consumption for the operation of the air conditioning system and heat pumps.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem: „Klimatizace administrativní budovy“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Miloše Laina, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé diplomové práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 13.01.2017

.....

Libor Dbalý

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval panu Ing. Miloši Lainovi, Ph.D., za mnoho užitečných rad a připomínek, které mi pomohly při vypracování mé diplomové práce.

Dále bych chtěl poděkovat společnosti M-tech, s.r.o. za poskytnutí podkladů a informací k zadanému objektu.

Obsah

1.	Úvod.....	9
2.	Klimatizační systémy.....	10
2.1	Základní kategorie klimatizací.....	10
2.2	Návrh klimatizace.....	11
2.3	Rozdělení klimatizačních systémů.....	11
2.4	Chladivové systémy.....	12
2.4.1	Koncepce chladivových systémů.....	13
3.	Popis objektu.....	14
3.1	Seznámení s objektem.....	15
3.2	Konstrukce budovy.....	15
4.	Popis klimatizačního systému budovy.....	15
4.1	Klimatizované zóny budovy.....	15
4.2	Přehled klimatizačních zařízení v objektu.....	16
4.3	Specifikace klimatizačních chladivových zařízení.....	17
4.3.1	Popis klimatizace 1. NP.....	18
4.3.2	Popis klimatizace 2. NP.....	19
4.3.3	Popis klimatizace 3. NP.....	19
4.4	Souhrn klimatizačních jednotek.....	20
4.5	Provoz a regulace klimatizačního systému.....	22
4.6	Měření spotřeby elektrické energie.....	23
4.7	Kontrola systém.....	24
5.	Popis vytápění budovy.....	24
5.1	Specifikace tepelných čerpadel.....	24
6.	Naměřená data.....	25
7.	Zpracování naměřených dat.....	26
7.1	Elektrické příkony klimatizačních jednotek.....	26
7.1.1	Týdenní průběhy elektrických příkonů klimatizačních zařízení.....	29
7.1.2	Hodnocení vybraných grafů.....	29
7.2	Elektrické příkony tepelných čerpadel.....	32
8.	Spotřeba elektrické energie.....	34
8.1	Vztažné plochy.....	34
8.2	Rozbor naměřené spotřeby elektrické energie.....	34
8.2.1	Rozbor spotřeb klimatizace.....	34

8.2.2	Rozbor spotřeb tepelných čerpadel.....	41
8.3	Dopočet spotřeb elektrické energie.....	42
9.	Vyhodnocení spotřeby elektrické energie.....	43
9.1	Spotřeba elektrické energie klimatizace.....	43
9.1.1	Měsíční měrné spotřeby el. energie klimatizace.....	45
9.2	Spotřeby elektrické energie na vytápění a ohřev vody.....	47
9.3	Návrhy na vylepšení měření spotřeb elektrické energie a chladičového systém.....	49
10.	Závěr.....	49

Přehled základních veličin

COP	[-]	topný faktor (coefficient of performance)
EER	[-]	chladičí faktor (Energy Efficiency Ratio)
Q_N	[W]	chladičí výkon
P_N	[W]	elektrický příkon
Q_H	[W]	topný výkon

1 Úvod

Diplomová práce se zabývá zejména provozem chladivového klimatizačního systému administrativní budovy v Pardubicích a jeho kontrolou. Dále se zabývá provozem tepelných čerpadel, která slouží pro vytápění a přípravu teplé vody. U obou těchto systémů jsou zpracována naměřená data a porovnána vůči sobě.

Teoretická část obsahuje základní popis klimatizačních systémů a následně popis konkrétního řešeného systému. Součástí je i popis objektu a dalších zařízení v budově, jako jsou již zmíněná tepelná čerpadla. V budově je také vzduchotechnický systém, který je popsán okrajově, jelikož není hlavním tématem této práce.

Praktická část se zabývá zpracováním dat, vytvořením grafů pro příkony jednotek, výpočet spotřeb elektrické energie pro jednotlivá zařízení. Z těchto hodnot jsou určeny měrné spotřeby el. energie a následně jejich porovnání.

Hodnoty pro zpracování jsou získané z instalovaného systému měření v budově. Data jsou zpracována z let 2011 až 2016.

..

2 Klimatizační systémy

Klimatizace je proces úpravy tepelného a vlhkostního stavu ovzduší, čistoty a proudění vzduchu pro obytné, společenské a průmyslové budovy, dopravní prostředky, technologické procesy. Proměnnost okrajových podmínek (venkovního klimatu, vnitřních tepelných i vlhkostních zátěží) vyžaduje převážně automatické řízení procesů úpravy vzduchu v závislosti na změnách vnitřních i venkovních parametrů. [1]

2.1 Základní kategorie

- **Klimatizace komfortní** - úprava ovzduší z hlediska hygienického – pro činnost lidského organismu. Patří sem klimatizace obytných a pobytových prostorů (byty, divadla, kina, hotely). Ale i prostory pracovní, nevýrobní – administrativní budovy apod. Klimatizace komfortní je vždy spojena s přívodem čerstvého venkovního vzduchu-větráním.
- **Klimatizace technologická** – úprava ovzduší z hledisek technologických – pro funkci pracovních/výrobních procesů, strojů, procesů biologických, mikrobiologických. Prostředí pro technologické účely lze dále upravovat v prostoru budov, místnostech s přítomností osob - *technologická prostorová klimatizace*. Jsou to např. čisté prostory pro elektroniku, farmacii, přesnou strojírenskou výrobu apod. Uvnitř technologických linek, bez přítomnosti osob se jedná *klimatizací procesní technologie*.

Úplná klimatizace zahrnuje veškeré úpravy tepelného a vlhkostního stavu prostředí a čistoty vzduchu celoročně na požadované parametry. Oproti tomu *dílčí klimatizace* slouží jen k úpravě některých parametrů, např. teploty chlazení v letním období. Klimatizační zařízení pro dílčí úpravu vzduchu lze kombinovat i s vytápěcími zařízeními, např. komfortní klimatizace zajišťuje chlazení, větrání v létě a v zimě pouze doplňuje vytápění větráním. [1]

Klimatizační systém

Je koncepční soubor funkčních prvků pro úpravu vzduchu (venkovního, čerstvého i vzduchu oběhového), distribuci tepla, chladu a vzduchu v objektu. Systémy zahrnují filtraci, směšování, ohřev, chlazení, vlhčení, odvlhčování a třídí se podle druhu tekutiny přenášející teplo a chlad v budově a podle počtu zón, ve kterých klimatizační systém upravuje prostředí a v nichž dochází k individuálním změnám tepelné a vlhkostní zátěže. [1]

Klimatizační zařízení

Tento pojem platí pro konkrétní provedení určitého systému, případně jeho dílčí části, např. "Klimatizace 1. NP", je konkrétním provedením, vícezónového klimatizačního chladičového systému. [1]

2.2 Návrh klimatizace

Pro návrh klimatizačního zařízení jsou nutné základní výchozí údaje:

- a) Dokumentace stavby (dispozice, tepelně technické vlastnosti, stínění)
- b) Požadované klimatické parametry vnitřního prostředí (teplota, relativní vlhkost, čistota ovzduší)
- c) Parametry venkovního prostředí (tepelná zátěž)
- d) Vnitřní zdroje tepla, chladu, vlhkosti
- e) Požadavky na přívod čerstvého vzduchu

2.3 Rozdělení klimatizačních systémů

- podle tekutiny přenášející chlad a teplo po budově:
 - vzduchové
 - vodní
 - kombinované indukční vzduch-voda
 - chladičové
- podle způsobu sdílení tepla na systémy:
 - konvektivní
 - sálavé
- podle počtu zón, ve kterých klimatizační systém upravuje prostředí a v nichž dochází k individuálním změnám tepelné a vlhkostní zátěže na systémy:

- jednozónové
- vícezónové [1]

Mezi nejčastější typy klimatizačních systémů patří:

- vzduchové systémy jednozónové
 - jednokanálový systém s konstantním průtokem vzduchu
- vzduchové systémy vícezónové
 - jednokanálový systém s proměnným průtokem vzduchu
 - dvoukanálový systém s konstantním průtokem vzduchu
- vodní systémy vícezónové
 - systém s ventilátorovými konvektory (dvoutrubkový, čtyřtrubkový rozvod vody)
 - systém s chladícími/otopnými plochami (např. stropy)
- kombinovaný indukční systém vzduch – voda, vícezónový s indukčními (parapetními) jednotkami/ chladícími trámci
- chladičové systémy jedno i vícezónové
 - jednozónový systém - jedna venkovní jednotka, jedna vnitřní jednotka (split)
 - vícezónový systém – jedna venkovní jednotka, více vnitřních jednotek (multisplit) [1]

2.4 Chladičové systémy

Klimatizační chladičový systém je instalovaný v řešeném objektu, a proto je dále podrobněji popsán jeho vývoj a koncepce.

Chladičové systémy patří k nejmladším klimatizačním systémům, uplatňují se od 80. let minulého století, především díky vývoji kompresorových chladících zařízení. Hlavním důvodem vývoje byla stále narůstající potřeba odvodu tepelné zátěže klimatizovaných budovách v teplých klimatických částech světa.

Chladičový systém může chladit nebo ohřívat vzduch. V prostorách kde pobývají osoby je vždy systém doplněn větracím systémem a vyústění vzduchu může být samostatně do prostoru přes vyústky nebo do směšovací komory vnitřní jednotky. [1]

Postupným vývojem se mezi nejčastěji používané chladivové systémy vyvinul systém split s invertorovým řízením elektromotoru a multisplit s proměnným průtokem chladiva, označovaným výrobcí VRV (Variable Refrigerant Volume) nebo VRF (Variable Refrigerant Flow). [1]

Dnešní systémy jsou schopné podle aktuální potřeby chladit a vytápět najednou. Tohoto se využívá například u velkých administrativních komplexů, kdy se z jedné části může odebrat teplo a přesunout ho do jiné části nebo jinak využít.

2.4.1 Koncepce chladivových systémů

Mezi hlavní součásti chladivového systému patří *venkovní* a *vnitřní* jednotka, které jsou propojeny chladivovým potrubím.

Venkovní jednotka obsahuje kompresorové chladicí zařízení, expanzní škrťací ventil, výměník tepla chladivo/vzduch a ventilátor venkovního vzduchu (obr. 2.1). Při režimu chlazení je výměník provozován kondenzátor, při ohřevu jako výparník. Změna režimu se provádí změnou směru toku chladiva pomocí přepínacího čtyřcestného ventilu. [1, 2]

Vnitřní jednotky obsahují filtr, ventilátor, expanzní škrťací ventil, výměník tepla vzduch/chladivo a vyústku pro rozptýlení vzduchu v místnosti (obr. 2.2). Ventilátory bývají vybaveny regulací otáček (změnou průtoky). Teplota povrchu výparníku bývá kolem 5 °C, tím může dojít ke kondenzaci vodní páry z okolního ochlazovaného vzduchu. Jednotky se proto vybavují potrubím pro odvod kondenzátu nebo čerpadly na jeho odvod. [1, 2]

3. Popis objektu

Samostatně stojící budova se nachází v Pardubicích v části Pardubičky na adrese Průmyslová 526, Pardubice 530 03. Jedná se o třípodlažní administrativní budovu, zprovozněnou v roce 2009, ve kterém má svou centrálu firma M-tech s.r.o. (obr 3.1). Byla zde také zřízena fotovoltaická elektrárna, umístěná u jižní strany objektu. Samotná budova je postavena na ploše 412 m² a obestavěný prostor je 2940 m³.

V prvním poschodí se nachází vstupní hala, recepce, několik kanceláří a školící centrum, zázemí a showroom. Ve druhém a třetím podlaží jsou především kanceláře a dvě zasedací místnosti. Kanceláře jsou umístěné na západní straně objektu, což je výhodné vzhledem k venkovním tepelným ziskům. Samozřejmostí jsou sociální zařízení v každém poschodí. Ostatní místnosti jsou technického rázu. Dispoziční řešení jednotlivých podlaží je na výkresech uvedených v příloze č. 1.



Obr. 3.1 Budova firmy M-tech, s.r.o

3.1 Seznámení s objektem

V průběhu dvou návštěv jsem získal základní přehled o dispozičním řešení objektu. Postupně jsem prošel areál budovy a zjistil tak umístění venkovních klimatizačních jednotek a tepelných čerpadel, pozice vnitřních jednotek a proběhlo i letmé představení centrálního řízení klimatizačního systému. Dále jsme zhotovil fotografie, které jsou uvedeny v následujících kapitolách.

3.2 Konstrukce objektu

Nosná část objektu je zhotovena ze železobetonového skeletu. Obvodové stěny jsou vyzděné z cihelných bloků. Venkovní fasáda je z pohledových panelů. Okna a vchodové dveře jsou z hliníkových profilů vyplněných izolačním dvojsklem, okna nejsou opatřena venkovními stíníci prvky.

4 Popis klimatizačního systému budovy

Úprava vnitřního stavu prostředí je zajištěna komfortní klimatizací. Instalovaný systém je v provozu po celý rok. Kromě úpravy vnitřních teplot systém zajišťuje větrání. Vzduchotechnické systémy pracují nezávisle na chladivovém klimatizačním systému a nejsou předmětem této práce.

4.1 Klimatizované zóny budovy

Klimatizované zóny jsou pro účely této práce definovány jako prostor klimatizovaný jedním klimatizačním zařízením. Na základě projektové dokumentace a podkladů k administrativní budově M-tech však není možné tuto definici respektovat. Zónou dle charakteristiky v tab. 4.1 se rozumí prostor klimatizovaný a větraný komfortní klimatizací v rámci jednoho patra budovy.

Tab. 4.1 Členění objektu na jednotlivé zóny

Číslo zóny	1	2	3
Název zóny	1. NP	2.NP	3.NP
Parametry venkovního vzduchu (projekt)			
- léto	31 °C / 56,2 kJ/kg s.v.		
- zima	-12 °C / 100 %		
Parametry vnitřního vzduchu (projekt)			
- léto	25 °C / vlhkost negarantována		
- zima	20 °C (kanceláře), 18 °C (zázemí) / vlhkost negarantována		
Tepelné zisky			
Venkovní tepelné zisky (projekt)	neuvedeno		
- větrání	4,7 kW	2,8 kW	4,2 kW
Vnitřní tepelné zisky (projekt)			
- osoby	3,6 kW	1,95 kW	2,1 kW
- elektrické vybavení	1 kW	1,95 kW	2,1 kW
- osvětlení	6,1 kW	4,4 kW	5 kW
Ochrana proti slunečnímu záření			
- typ	bez stínících prvků (typ zasklení není znám)		
- stínicí součinitel s (projekt)	0,8		
Větrání			
	nucené		
- průtok přiváděného vzduchu	1700 m ³ /h	1000 m ³ /h	1500 m ³ /h
- příkon ventilátorů	0,82 kW	0,455 kW	0,75 kW
- teplota přiváděného vzduchu	20 °C	20 °C	20 °C
- Zpětné získávání tepla	rekuperační výměník s přenosem vlhkosti a účinností cca 80%		

4.2 Přehled klimatizačních zařízení v objektu

V objektu je celkem dvanáct klimatizačních a větracích zařízení, které zajišťují úpravy vnitřního prostředí. Tři největší klimatizační zařízení (č. 1, 2, 3) jsou vybaveny systémem pro přímé měření spotřeb elektrické energie (venkovních i vnitřních jednotek). Každé z těchto klimatizačních zařízení slouží pro úpravu teplot v jedné klimatizované zóně (Tab. 4.2).

Tab. 4.2 Přehled klimatizačních zařízení v budově

Číslo zařízení	Název	Typ	Měření příkonu	Příslušnost k zóně
1	Klimatizace 1.NP	Chladivový systém - VRV (VRF)	ano	1
2	Klimatizace 2.NP	Chladivový systém - VRV (VRF)	ano	2
3	Klimatizace 3.NP	Chladivový systém - VRV (VRF)	ano	3
4	Školící místnost 1.NP	Split, inverter v provedení tepelné čerpadlo	-	1
5	Serverovna 1.NP	Split, inverter v provedení tepelné čerpadlo	-	-
6	Serverovna 2.NP	Split, inverter v provedení tepelné čerpadlo	-	-
7	Serverovna 3.NP	Split, inverter v provedení tepelné čerpadlo	-	-
8	Větrání kanceláří 1.NP	Větrací systém s rekuperací	-	1
9	Větrání školící místnosti 1.NP	Větrací systém s rekuperací	-	1
10	Větrání kanceláří 2.NP	Větrací systém s rekuperací	-	2
11	Větrání kanceláří 3.NP	Větrací systém s rekuperací	-	3
12	Větrání zasedací místnosti 3.NP	Větrací systém s rekuperací	-	3

4.3 Specifikace klimatizačních chladivových zařízení

Podrobněji jsou popsány pouze klimatizační chladivové systémy č. 1-3, u kterých probíhalo měření spotřeby elektrické energie a je provedeno zpracování naměřených dat. Pro tyto systémy platí, že se jedná o vícezónové (multisplit) chladivové klimatizační systémy, které mohou pracovat v režimu chlazení nebo ohřevu. Systémy pracují s chladivem R 410A. Venkovní jednotky jsou vybaveny invertorovou technologií s plynulou regulací.

Klimatizační zařízení č. 1-3 mají venkovní jednotky umístěné vedle budovy M-techu na betonové podestě, viz. obr. 4.1. Všechny vnitřní klimatizační jednotky obsahují čerpadla kondenzátu a jsou připojena přes zápachovou klapku do kanalizačního systému. Celková klimatizovaná plocha je 601,6 m².



Obr. 4.1 Venkovní klimatizační jednotky

4.3.1 Popis klimatizace 1. NP

Pro klimatizaci prvního podlaží je použitý systém R2, což znamená, že tímto systémem lze najednou chladit i vytápět. Systém je složen z venkovní jednotky PURY-EP250YHM – A. Jmenovitý chladicí výkon jednotky je 28,0 kW, topný 31,5 kW. Jmenovitý příkon zařízení pro chlazení je 6,86 kW a pro vytápění je 7,6 kW. Chladicí faktor (EER) je 4,08 a topný faktor (COP) je 4,02. [3]

Venkovní jednotka je propojena měděným potrubím s BC Controllerem CMB P108V-G, na který je napojeno šest vnitřních kazetových jednotek (Tab. 4.3). Klimatizovaná plocha je 177,1 m².

Tab. 4.3 Vnitřní klimatizační jednotky (1. NP)

Vnitřní jednotky	PLFY-P25 VLMD	PLFY-P32 VLMD	PLFY-P50 VLMD	PLFY-P40 VBM	Celkem
Počet kusů	2	1	2	1	6
Typ jednotky	dvoucestná kazetová	dvoucestná kazetová	dvoucestná kazetová	čtyřcestná kazetová	
Jmenovitý chladicí výkon [kW]	2,8	3,6	5,6	4,5	24,9
Jmenovitý topný výkon [kW]	3,2	4	6,3	5	28
Jmenovitý el. příkon [kW] (chlazení)	0,072	0,072	0,082	0,04	0,42
Jmenovitý příkon [kW] (vytápění)	0,065	0,065	0,075	0,03	0,38

BC - Controller je zařízení pomocí kterého lze připojit k venkovní jednotce více vnitřních jednotek a efektivně tak rozdělit chladivo mezi vnitřními jednotkami, podle požadavků na vytápění (plynná fáze) nebo na chlazení (kapalná fáze).

4.3.2 Popis klimatizace 2. NP

Ke klimatizaci druhého podlaží je použitý systém bez BC-Controlleru, celý tento systém tak pracuje v režimu vytápění nebo chlazení. Venkovní jednotka je zde PUHY-EP250YHM – A. Jmenovitý chladicí výkon Q_N jednotky je 28,0 kW, topný výkon Q_H je 31,5 kW. Jmenovitý příkon P_N zařízení pro chlazení je 6,82 kW a pro vytápění je 7,59 kW. Chladicí faktor (EER) je 4,11 a topný faktor (COP) je 4,15. [4]

Venkovní jednotka je propojena měděným potrubím s devíti vnitřními kazetovými jednotkami. (Tab. 4.4). Klimatizovaná plocha je 169,9 m².

Tab. 4.4 Vnitřní klimatizační jednotky (2. NP)

Vnitřní jednotky	PLFY-P25 VLMD	PLFY-P50 VLMD	PLFY-P40 VLMD	Celkem
Počet kusů	7	1	1	9
Typ jednotky	dvoucestná kasetová	dvoucestná kasetová	dvoucestná kasetová	
Jmenovitý chladicí výkon [kW]	2,8	5,6	4,5	29,7
Jmenovitý topný výkon [kW]	3,2	6,3	5	33,7
Jmenovitý příkon [kW] (chlazení)	0,072	0,082	0,081	0,67
Jmenovitý příkon [kW] (vytápění)	0,065	0,075	0,074	0,60

4.3.3 Popis klimatizace 3. NP

Obdobný systém je pro instalovaný i pro třetí podlaží jednotky. Zde je venkovní jednotka PUHY – EP300YHM – A. Jmenovitý chladicí výkon jednotky je 33,5 kW, topný 37,5 kW. Jmenovitý el. příkon zařízení pro chlazení je 8,25 kW a pro vytápění je 9,28 kW. Chladicí faktor je 4,06 a topný faktor je 4,04. [5]

Tento klimatizační systém má jedenáct vnitřních jednotek. (Tab. 4.5) Klimatizovaná plocha je 254,6 m².

Tab. 4.5 Vnitřní klimatizační jednotky (3. NP)

Vnitřní jednotky	PMFY-P20 VBM-E	PMFY-P25 VBM-E	PLFY-P50 VLMD	Celkem
Počet kusů	2	7	2	11
Typ jednotky	jednocestná kasetová	jednocestná kasetová	dvoucestná kasetová	
Jmenovitý chladicí výkon [kW]	2,2	2,8	5,6	35,2
Jmenovitý topný výkon [kW]	2,5	3,2	6,3	40
Jmenovitý příkon [kW] (chlazení)	0,042	0,044	0,082	0,556
Jmenovitý příkon [kW] (vytápění)	0,042	0,044	0,075	0,54

4.4 Souhrn instalovaných klimatizačních jednotek

V tab. 4.6 a 4.7 je souhrn všech klimatizačních jednotek instalovaných v budově a jejich celkový instalovaný výkon pro chlazení a vytápění a na obr. 4.2, 4.3, 4.4 je možno vidět ukázky instalovaných vnitřních jednotek. Parametry vnitřních jednotek jsou převzaty z katalogu v příloze č.2.

Tab. 4.6 Souhrn instalovaných vnitřních jednotek v budově

Vnitřní jednotky	1. NP	2. NP	3. NP	Celkem
Počet kusů	6	9	11	26
Jmenovitý chladicí výkon [kW]	24,9	29,7	35,2	89,8
Jmenovitý topný výkon [kW]	28	33,7	40	101,7
Jmenovitý el. příkon [kW] (chlazení)	0,42	0,67	0,556	1,6
Jmenovitý el. příkon [kW] (vytápění)	0,38	0,60	0,54	1,5

Tab. 4.7 Souhrn instalovaných venkovních jednotek v budově

Venkovní jednotky	1. NP	2. NP	3. NP	Celkem
Počet kusů	1	1	1	
Jmenovitý chladicí výkon [kW]	28,0	28,0	33,5	89,5
Jmenovitý topný výkon [kW]	31,5	31,5	37,5	100,5
Jmenovitý el. příkon [kW] (chlazení)	6,9	6,8	8,3	21,9
Jmenovitý příkon [kW] (vytápění)	7,6	7,6	9,3	24,5



Obr. 4.2 Vnitřní dvoucestná kazetová jednotka



Obr. 4.3 Vnitřní jednocestná kazetová jednotka



Obr. 4.4 Vnitřní čtyřcestná kazetová jednotka

4.5 Provoz a regulace klimatizačního systému

Systém klimatizace a jeho ovládání a regulace je kompletně od výrobce Mitsubishi Electric. Provoz systému je řízen centrálně ovládací jednotkou (Obr. 4.5). Tato jednotka umožňuje i zcela individuální nastavení parametrů (požadované vnitřní teploty, časový interval spínání, atd.) každé vnitřní jednotky. Dále uživatel může zasáhnout individuálně pro každou jednotku zvlášť pomocí dálkového ovladače umístěného v dané klimatizované místnosti.

Sepnutí ovladačem je umožněno v pracovních dnech od 6:45 do 19:00, klimatizace se automaticky vypne v 16:00, ale uživatel si ji ovladačem může spustit. O víkendu je povoleno sepnutí od 7:00 do 12:00.

Teplotu si uživatel může regulovat individuálně v rozmezí teplot 23 až 29 °C pro léto a 18 až 26 °C pro zimu. Zdroje chladu mají autonomní regulaci a regulace chladících okruhů probíhá změnou průtoku chladiva.



Obr. 4.5 Centrální řídicí jednotka

4.6 Měření spotřeby elektrické energie na klimatizaci

Měření a monitoring spotřeby el. energie na klimatizaci je v budově prováděn od ledna roku 2011. V tomto roce bylo měření spotřeby stanoveno s použitím systému AG – 150A firmy Mitsubishi Electric. Byla stanovena spotřeba el. Energie venkovních klimatizačních jednotek na základě nepřímého měření provozních parametrů chladivového okruhu (tlaků a teplot), kompresorů (tlaku a frekvence napájení elektromotorů kompresoru) a ventilátorů venkovních jednotek (frekvence napájení elektromotoru ventilátorů). Spotřeba energie venkovní klimatizační jednotky je zaznamenávána v pětiminutových intervalech, data jsou tedy použitelná i pro podrobnou analýzu systému.

V průběhu roku 2012 byla realizována přímá metoda měření spotřeby elektrické energie všech venkovních i vnitřních klimatizačních jednotek. Pro každou venkovní jednotku je nainstalován elektroměr. Spotřeby el. energie vnitřních jednotek jsou zaznamenány jako součet všech jednotek v dané klimatizované zóně. Systém měření od firmy DOMAT byl integrován do stávajícího systému monitoringu. Souběžně s měřením spotřeby elektrické energie je měřen také příkon jednotlivých jednotek.

4.7 Kontrola klimatizačního systému

Kontrola klimatizačních systémů se provádí podle § 4 vyhlášky č. 193/2013 Sb., o kontrole klimatizačních systémů. Vztahuje se na kontrolu klimatizačních systémů, které upravují vnitřní prostředí pro užívání osob. Kontrola zahrnuje např. hodnocení dokumentace a dokladů klimatizačního systému, kontrolu provozuschopnosti přístupných zařízení, hodnocení dimenzování klimatizačního systému atd. [6]

Dále by bylo možné zkontrolovat dimenzování systému kontrolním výpočtem vnitřních a vnějších tepelných zisků, tepelných ztrát atd. a následným návrhem a dimenzováním chladících a větracích zařízení.

V této práci bude kontrola provedena analýzou a vyhodnocením naměřených dat a porovnáním se jmenovitými hodnotami jednotlivých systémů.

5 Popis vytápění budovy

O vytápění se společně s již zmíněným systémem klimatizace stará teplovodní otopná soustava s otopnými tělesy a jako zdroj tepla jsou zde dvě tepelná čerpadla vzduch – voda Ecodan (vnitřní jednotka) s technologií Zubadan (venkovní jednotka). Jedno z čerpadel slouží i pro ohřev vody. Jako záložní zdroj pro vytápění je instalovaný elektrokotel. Dále se budu zabývat jen provozem tepelných čerpadel, pro které také probíhá měření spotřeby elektrické energie.

5.1 Specifikace tepelných čerpadel

Tato tepelná Zubadan PUAZ – HRP100 YHA (Obr. 5.1) poskytují společně s vnitřní jednotkou Ecodan svůj topný výkon až do venkovní teploty $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Režim vytápění umožňují až do teploty $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ bez použití přídavného topného zdroje.

Topný výkon tepelného čerpadla je udáván 11,2 kW topný faktor COP je 4,26. Z těchto hodnot lze dopočítat elektrický příkon při jmenovitých podmínkách 2,63 kW. Výrobce garantuje provozní rozsah od $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Invertorová technologie Mitsubishi Electric zajišťuje kontinuální provoz systému, který dodává pouze takové množství energie, které je potřebné k zajištění vytápění. [7]

Schéma zapojení tepelných čerpadel je ke zhlédnutí v příloze č. 3.



Obr. 5.1 Tepelná čerpadla Zubadan

6 Naměřená data

Jak již bylo popsáno v kapitole 4.6 data jsou měřena dvěma různými způsoby. V roce 2011 měřily pouze tři největší venkovní klimatizační jednotky (uvedené v kap. 4.3) nepřímou metodou. Hodnoty jsou z období 19. 1. 2011 až 11. 9. 2011, ve kterém byly zaznamenány přímo hodnoty spotřeby el. energie a el. příkonu.

Od roku 2012 se při měření v časových intervalech zaznamenává stav elektroměrů jednotlivých jednotek a jejich příkon. Hodnoty jsou z období 31. 7. 2012 až 20. 11. 2012 a jsou měřeny venkovní a vnitřní klimatizační jednotky zvlášť a hodnoty vnitřních jednotek se udávají jako součet všech jednotek v daném podlaží (zóně). Další data jsou naměřena z období 11. 7. 2013 až 18. 2. 2014. Následující soubor obsahuje data pouze od 28. 6. až do 9. 7. 2014 a 2. až 20. 7. 2015. Mezi rokem 2014 až 2015 je tedy více než roční výpadek v měření. Poslední data jsou od 27. 9. 2016 do 7. 12. 2016. Od roku 2013 bylo také započato měření pro dvě tepelná čerpadla ve stejných časových úsecích.

Časový krok (interval pro záznam) je 5 minut pro rok 2011 a 2012. V ostatních případech je interval různý. V měření je tedy dost prázdných míst. Data mi byly poskytnuty celkem v pěti souborech MS Excel a různém rozsahu dat.

7 Zpracování naměřených dat

Časově nejnáročnější částí této práce bylo zpracování poskytnutých dat.

Postup zpracování dat byl kromě dat z roku 2011 stejný a je proveden v MS Excel.

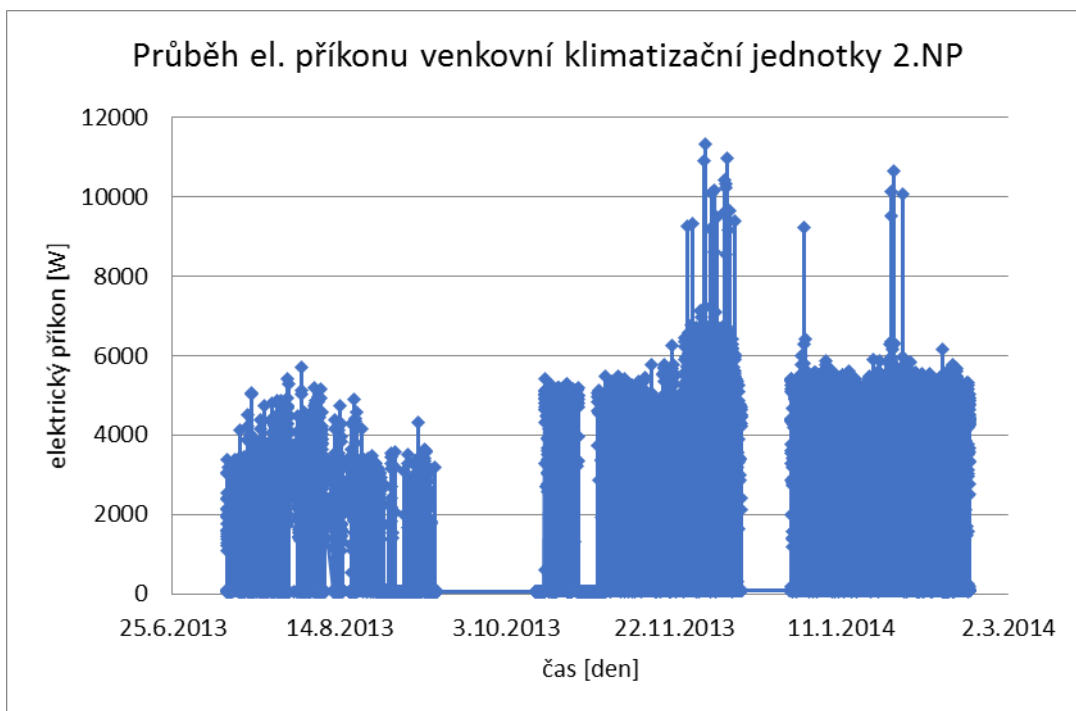
Nejprve bylo nutné zkontrolovat formát času a převést na stejný formát pomocí funkce ZLEVA. Naměřená data jsem poté chronologicky seřadil. Poté jsem začal se samotnou analýzou dat. Nejprve jsem se zaměřil na elektrický příkon klimatizačních jednotek a poté na jejich spotřeby elektrické energie.

Zpracování dat spotřeb el. energie bylo jednoduché. Hodnoty jsou zpracované pro jednotlivé měsíce. V roce 2011 se při měření zapisovali přímo hodnoty spotřeb v příslušném časovém kroku. Tyto hodnoty stačilo sečíst a získal jsem tím celkové měsíční spotřeby el. energie pro každou měřenou jednotku. Pro získání hodnot spotřeb z následujících měření bylo třeba odečítat od sebe stavy elektroměrů. Spotřebám elektrické energie se podrobněji věnuji v kap. 8.

Stejně vyhodnocení je provedeno i pro tepelná čerpadla. Ze všech zpracovaných dat o spotřebách jsem vytvořil početní i grafické výstupy.

7.1 Elektrické příkony klimatizačních jednotek

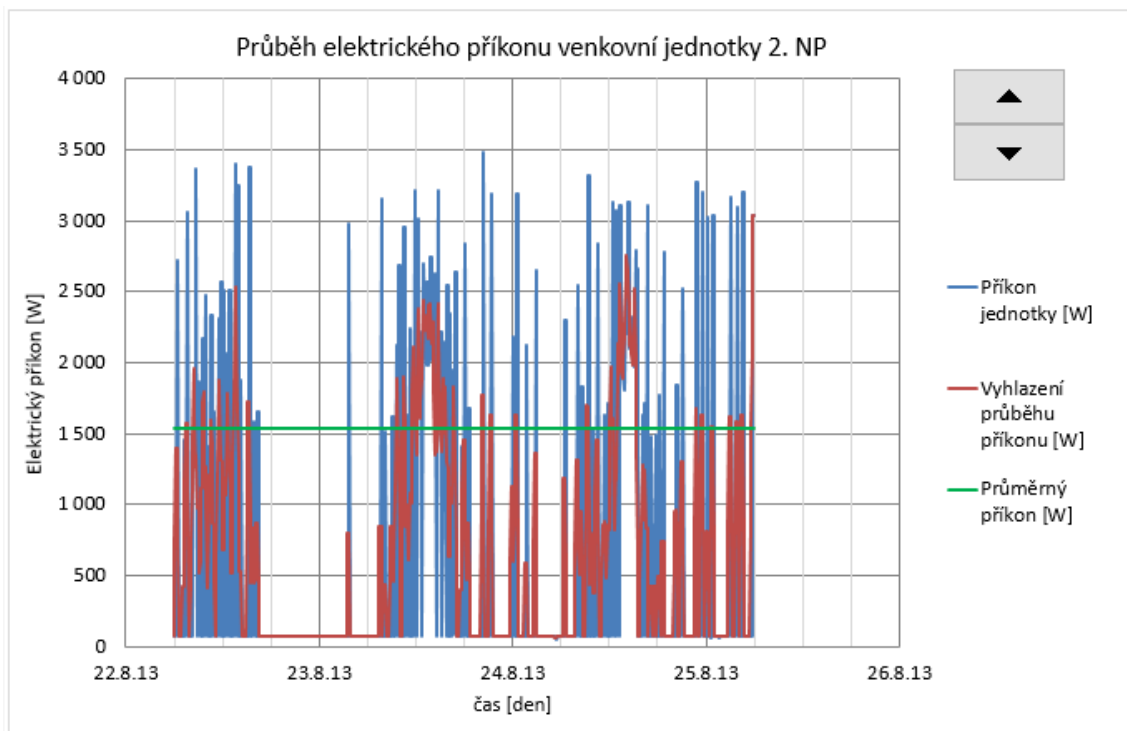
Při zpracování hodnot elektrických příkonů jednotek jsem nejdřív zkusil vytvořit graf průběhu elektrického příkonu celého změřeného období jedné venkovní klimatizační jednotky. Tento graf je na obr. 7.1. a můžete vidět, že výsledek je nepřehledný graf, ze kterého nelze mnoho vyčíst. Také jsou zde vidět již zmíněné nezměřené časové úseky.



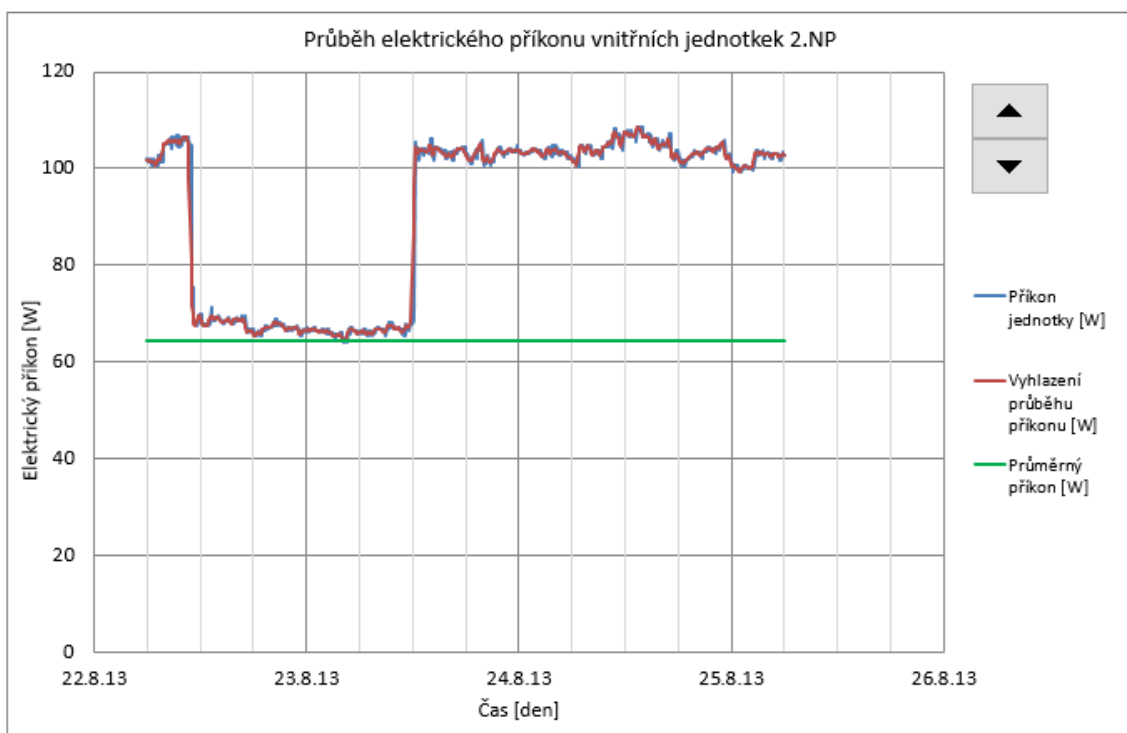
Obr. 7.1 Elektrický příkon venkovní klimatizační jednotky pro 2. NP

Proto jsem pro další zpracování zvolil systém grafu s třídním krokem zobrazených hodnot el. příkonu, pro celé období. Pomocí funkce SVYHLEDAT a ovládacího tlačítka jsem vytvořil graf s průběžným zobrazením hodnot. Tímto způsobem jsem získal podrobný přehled o průběhu el. příkonu jednotky, tedy o tom, kdy byla jednotka v provozu. Dále jsem do provedl vyhlazení průběhu el. příkonu, tím jsem odstranil extrémní hodnoty, které mohou být způsobeny spuštěním jednotky na maximální výkon nebo chybou měření. V grafu je zobrazen ještě průměrný příkon za celé období, viz obr. 7.2.

Na obr. 7.3 je vidět pro porovnání průběh elektrického příkonu pro vnitřní jednotky 2. NP ze stejného období. To je v porovnání s venkovní jednotkou velice nízká hodnota, protože ve vnitřní jednotce je ventilátor a čerpadlo kondenzátu s nízkými příkony.



Obr. 7.2 Elektrický příkon venkovní klimatizační jednotky pro 2. NP



Obr. 7.3 Elektrický příkon vnitřních klimatizačních jednotek pro 2. NP

Toto zpracování jsem provedl pro všechny měřené klimatizační jednotky a získal tím značné množství grafů (celkem 39) a pomocí nich by se dala udělat podrobná analýza klimatizačního systému.

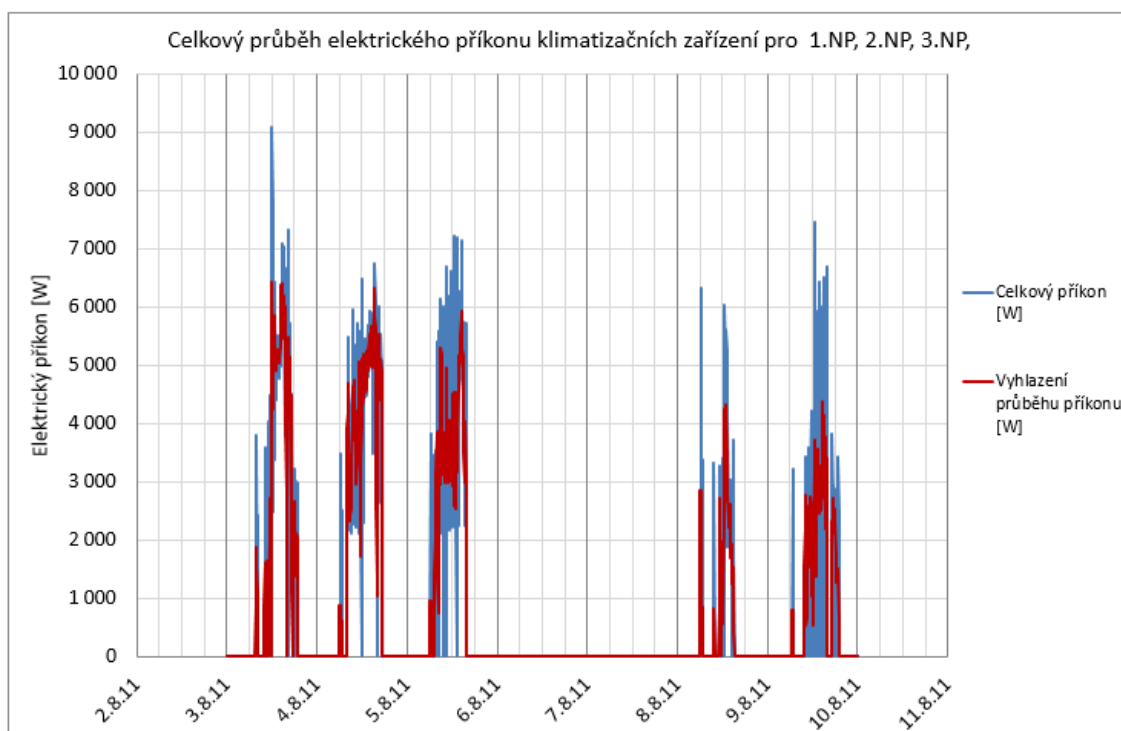
7.1.1 Týdenní průběhy elektrických příkonů klimatizačních zařízení

Pro tuto práci jsem následně zpracoval průběhy elektrických příkonů pro celkový příkon všech jednotek v budově, což ukazuje, jak systém pracuje jako celek. Celkový el. příkon jsem získal sečtením všech dílčích příkonů. Tyto grafy mají týdenní krok. Každý den je pak ještě rozdělen na čtyři úseky. To je výhodné jednak kvůli přehlednosti a čitelnosti grafu, tak i z důvodu výpadku měření nebo jejich nesouvislosti. Například při měsíčním nebo čtvrtletním kroku by byly v grafech prázdná místa.

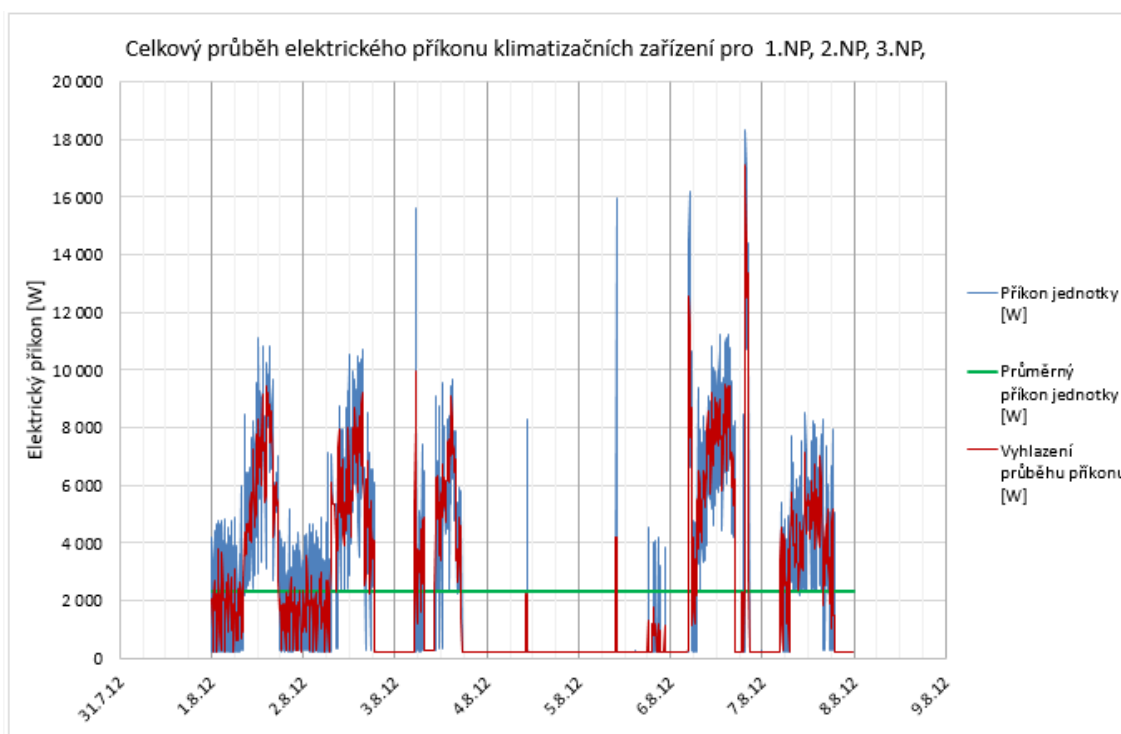
7.1.2 Hodnocení vybraných grafů

Nyní bych se věnoval hodnocení několika vybraných grafů. Na grafu na obr. 7.4 je zobrazený týdenní průběh příkonu klimatizace v roce 2011 v měsíci červenci. V tomto měření a následně i v grafu se vyskytují často nulové hodnoty, to může být způsobeno charakterem měření. Nulové hodnoty se zapisují jen když jsou v provozu kompresory venkovních jednotek nebo ventilátory. Jednotky se udržují stále v pohotovostním režimu, ve kterém si zahřívají olej, aby byly připraveny rychle najet na své provozní parametry. Z grafu je také patrné, že jednotky jsou v provozu jen v pracovní dny, jelikož dny 6. a 7. 8 2011 byly sobota a neděle. Nejvyšší příkonů jednotky dosahují po poledni a jsou v provozu zhruba od 8 do 18 hodiny. Náhle změny můžou být způsobeny např. zásahem uživatele.

Graf na obr. 7.5 je už zhotoven ze zpracovaných dat z roku 2012, kdy bylo doplněno měření, které zaznamenává také spotřeby a příkon v pohotovostním režimu jednotek. Hodnoty příkonů jsou podobné jako v předešlém roce, ale toto srovnání je velice přibližné, protože záleží na venkovní i vnitřních podmínkách. Po zprovoznění měření probíhalo také testování systému, a proto byly jednotky někdy v provozu i přes noc. (např. 3.8. a 4. 8.)



Obr. 7.4 Celkový elektrický příkon klimatizačních jednotek (2011 - letní provoz)

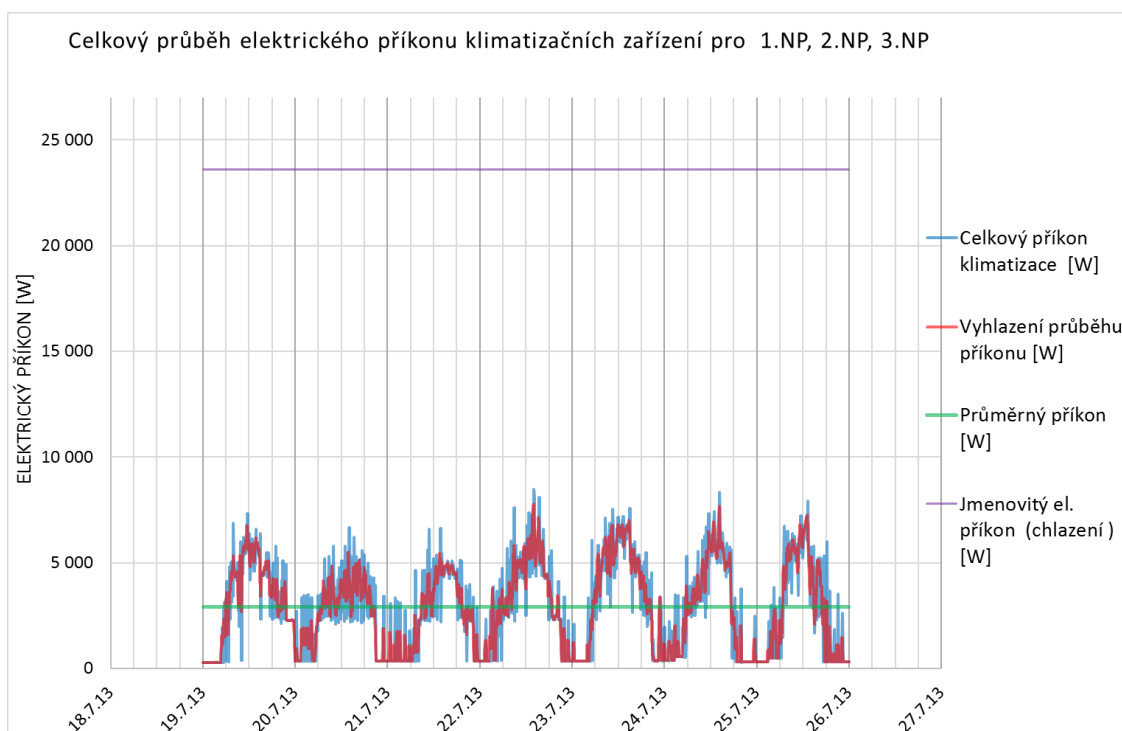


Obr. 7.5 Celkový elektrický příkon klimatizačních jednotek (2012 - letní provoz)

Na dalším grafu (obr. 7.6) jsem jako ukázkou vybral týden z léta 2013 a porovnal změřené hodnoty se jmenovitými. Z tab. 4.6 a 4.7 jsem vzal hodnoty jmenovitých elektrických příkonů pro režim chlazení, celkem 23,6 kW. Jak můžete vidět, tak instalovaný klimatizační systém má velkou rezervu a jednotky nemusí pracovat na vysoké výkony.

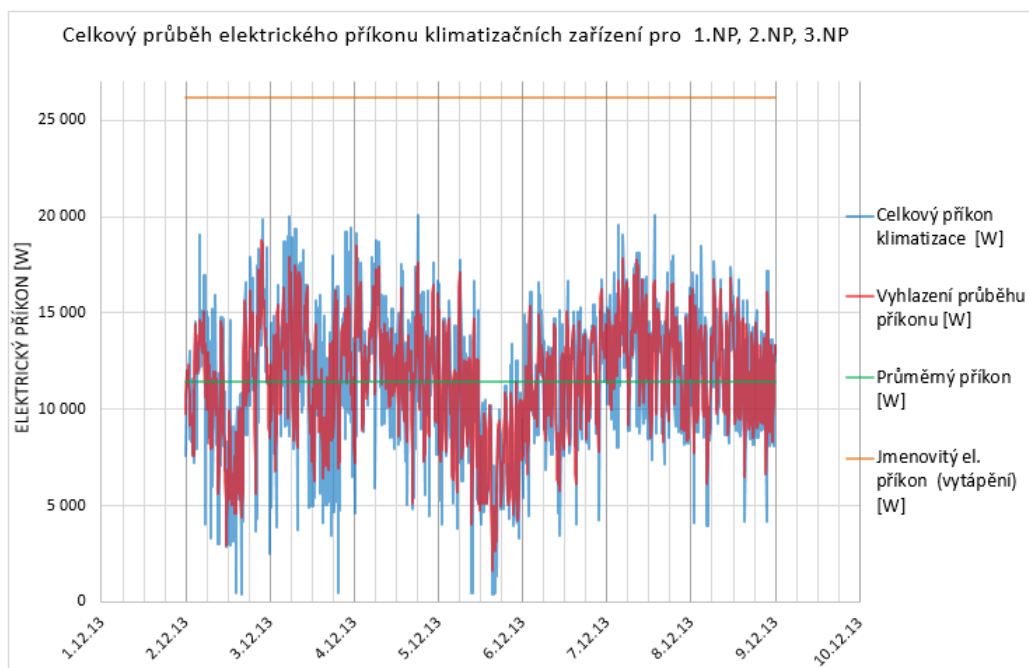
Graf z obr. 7.7 nám ukazuje průběh příkonu ve vybraném týdnu v zimním období 2013 a jeho porovnáním se jmenovitou hodnotou příkonu pro vytápění 26,2 kW (viz. tab. 4.6 a 4.7). Z posouzení posledních dvou grafů je vidět, že příkon pro letní provoz je menší než pro zimní.

Toto hodnocení může také posloužit jako kontrola dimenzování klimatizačního systému a vyplývá z toho, že systém je navržen správně.



Obr. 7.6 Celkový elektrický příkon klimatizačních jednotek (2013 - letní provoz)

Grafy z vybraných úseků 2014 až 2016 jsou v příloze č.4

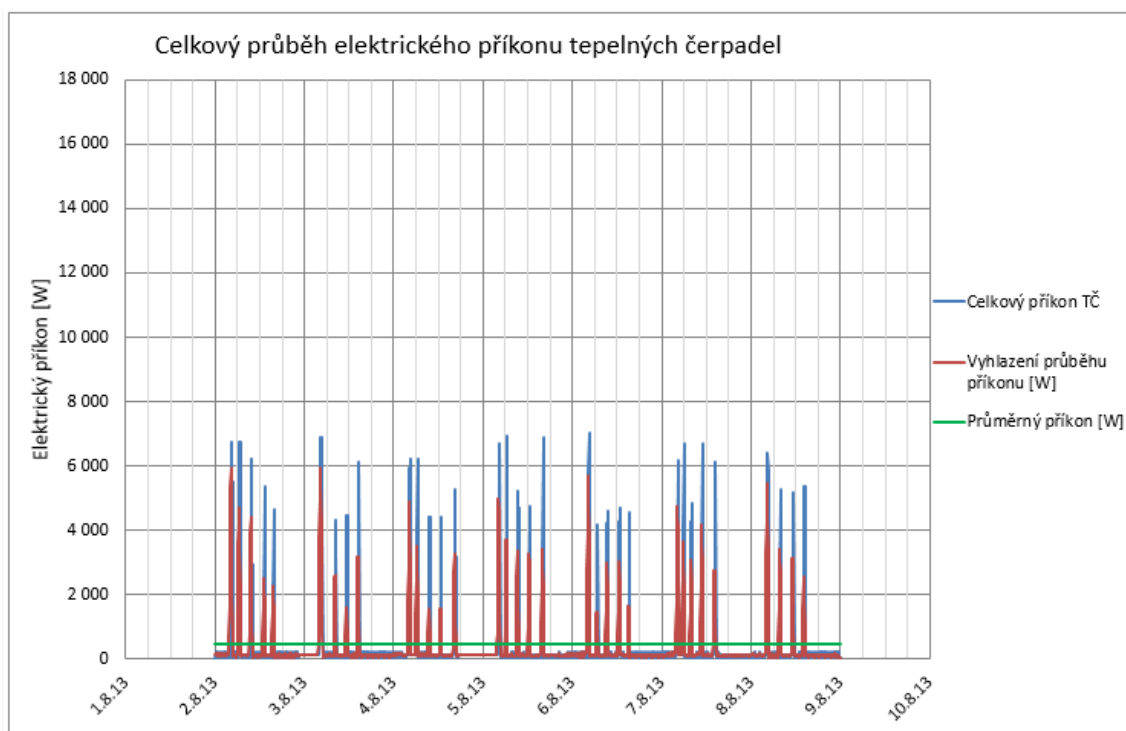


Obr. 7.7 Celkový elektrický příkon klimatizačních jednotek (2013 - zimní provoz)

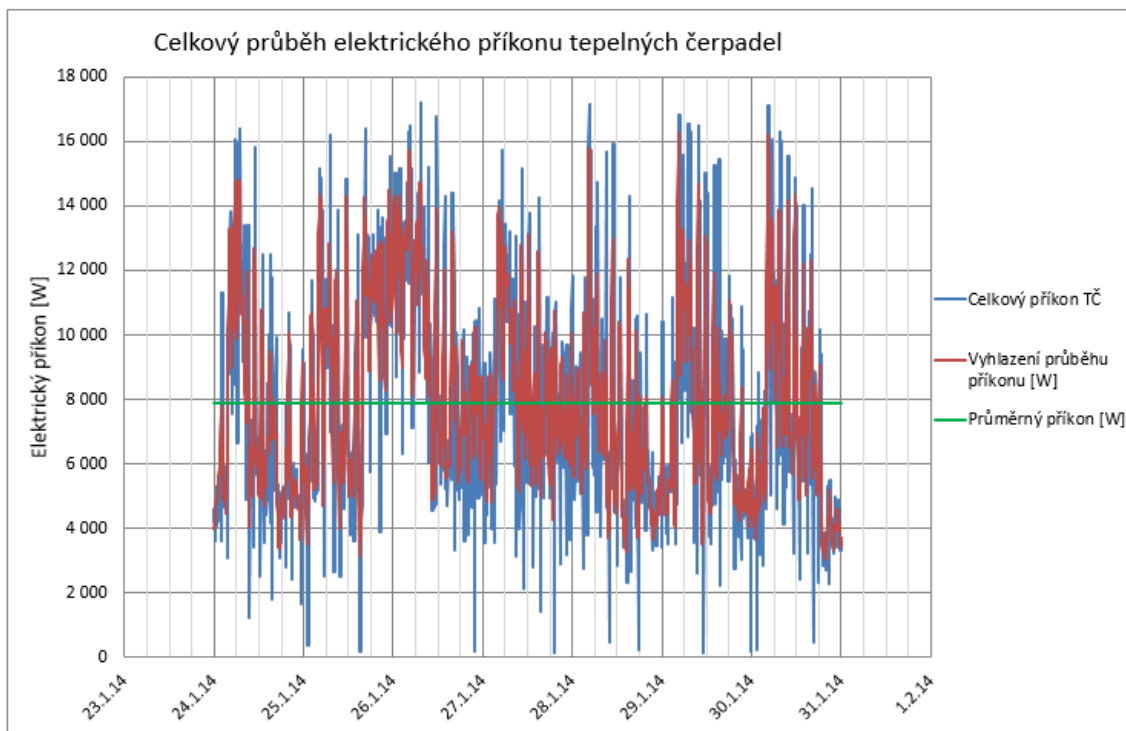
7.2 Elektrické příkony tepelných čerpadel

Tepelná čerpadla jsou měřena od roku 2013. Data jsem zpracoval stejným způsobem jako u klimatizačních jednotek. Zde bych uvedl jen příklad pro letní a zimní provoz. Na grafu na obr. 7. 8 je provoz tepelných čerpadel pro vybraný týden v létě 2013, v provozu je jenom jedno tepelné čerpadlo, které je určeno pro ohřev vody.

Na grafu (obr.7.9) je vybraný týdenní cyklus provozu tepelných čerpadel v zimním období. Tepelná čerpadla dosahují velkých el. příkonů, v maximech až 16 kW. Vzhledem k jmenovitému celkovému příkonu tepelných čerpadel, který činí 5,26 kW při COP 4,26 (viz. kap. 5.1), je trojnásobná hodnota. Hodnota topného faktoru (COP) není však jedno konstantní číslo, ale je závislé okolní parametrech, např. venkovní teplota. Hodnotě 16 kW elektrického příkonu by tedy odpovídal topný faktor cca 1,4 jednoho tepelného čerpadla. Další možností je, že došlo k sepnutí záložního zdroje tepla na vytápění. Takto vysoké hodnoty nemají však velkou četnost výskytu.



Obr. 7.8 Celkový elektrický příkon tepelných čerpadel (2013 - léto)



Obr. 7.9 Celkový elektrický příkon tepelných čerpadel (2014 - zima)

8 Spotřeba elektrické energie

V této kapitole se detailněji věnuji spotřebám elektrické energie na provoz chladivového klimatizačního systému. Dále se zde zabývám spotřebou el. energie tepelných čerpadel. Vzhledem k tomu že je měření přerušované, už teď lze konstatovat, že vyhodnocení a porovnání spotřeb nebude úplně vypovídající o provozu řešeného systému.

8.1 Vztažné plochy

Získané hodnoty spotřeb jsou vztaženy na jednotku plochy a tím jsem dostal měrné spotřeby. Zvolil jsem dohromady čtyři možnosti vztažných ploch, viz tab. 8.1. Tyto plochy jsem vypočítal z výkresů každého podlaží [P1]. Zastavěná plocha odpovídá čistě půdorysu budovy. Součtem všech ploch místností jsem získal vnitřní plochu. Podlahová plocha je vnitřní plocha bez místností jako je např. zádveří, místnosti technického rázu apod. Klimatizovaná plocha odpovídá plochám klimatizovaných místností a prostor.

Tab. 8.1 Vztažné plochy

[m ²]	Zastavěná plocha	Vnitřní plochy	Podlahová plocha	Klimatizovaná plocha
1.NP	412,2	318,6	289,7	177,1
2.NP	412,2	302	281,4	169,9
3.NP	412,2	302	281,4	254,6
Celkem	412,2	922,6	852,5	601,6

8.2 Rozbor naměřených spotřeb elektrické energie

8.2.1 Rozbor spotřeby klimatizace

V následujících odstavcích se zabývám rozbohem zpracovaných hodnot spotřeb el. energie a měrných spotřeb pro každé klimatizační zařízení (respektive podlaží). Blíže jsou rozebrány data z let 2011 až 2016, kromě roku 2015, kdy je naměřeno pouze 18 dní.

Rok 2011

V tab. 8.2 můžete vidět měsíční hodnoty z roku 2011, kdy proběhlo první měření. Spotřeba pro únor (zimní provoz) výrazně převyšuje ostatní hodnoty, to může být způsobeno nepříznivým počasím a velmi nízkými venkovními teplotami. Další možností je také možnost, že nejsou v provozu tepelná čerpadla. Dalším zajímavým měsícem je červenec (letní režim), kde jsou spotřeby velice nízké. To může být naopak příznivými venkovními podmínkami, malými tepelnými zisky a není potřeba chladit. Z celkové spotřeby připadá 40 % el. energie na provoz klimatizace pro třetí podlaží. Měrná měsíční spotřeba (tab. 8.3) se pro celou budovu pohybuje okolo hodnoty 1 kWh/m²

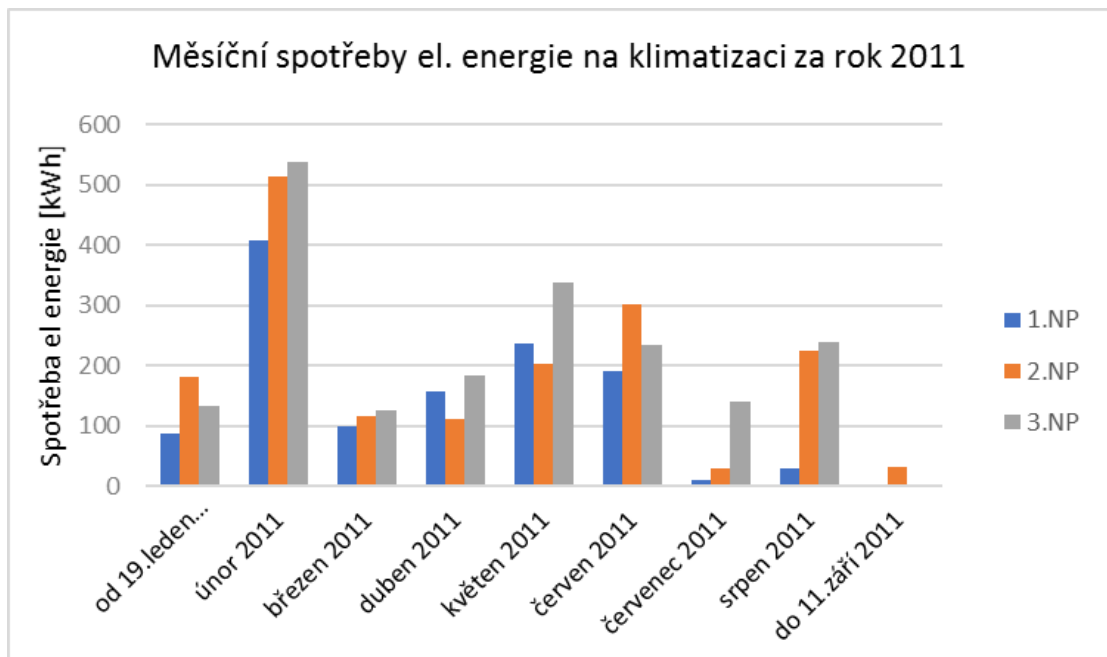
Tab. 8.2 Spotřeby el. energie na klimatizaci

[kWh]	1.NP	2.NP	3.NP	celkem
od 19.leden 2011	88	181	133	402
únor 2011	408	514	537	1459
březen 2011	98	116	124	338
duben 2011	157	112	183	452
květen 2011	235	203	338	777
červen 2011	191	302	235	727
červenec 2011	9	29	141	178
srpen 2011	29	225	239	493
do 11.zář 2011	0	30	0	30
Celkem	1214	1712	1931	4857
Podíl	25 %	35 %	40 %	

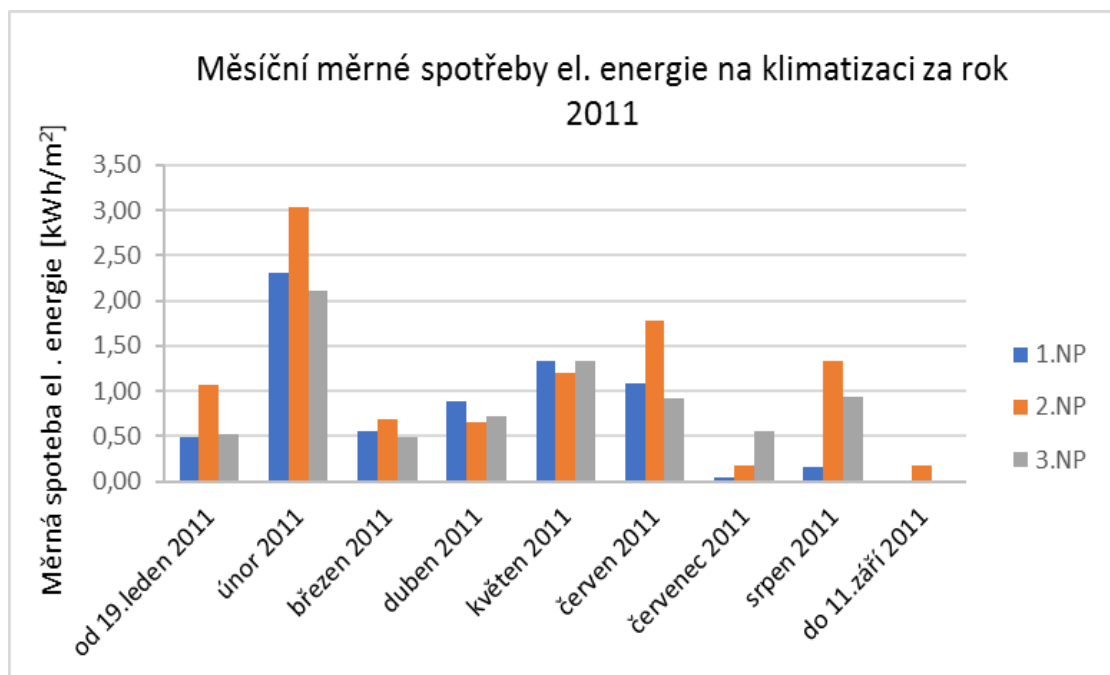
Tab. 8.3 Měsíční měrné spotřeby el. energie na klimatizaci

[kWh/m ²]	1.NP	2.NP	3.NP	celkem
od 19.leden 2011	0,50	1,06	0,52	0,67
únor 2011	2,30	3,03	2,11	2,43
březen 2011	0,55	0,68	0,49	0,56
duben 2011	0,89	0,66	0,72	0,75
květen 2011	1,33	1,19	1,33	1,29
červen 2011	1,08	1,77	0,92	1,21
červenec 2011	0,05	0,17	0,55	0,30
srpen 2011	0,16	1,32	0,94	0,82
do 11.zář 2011	0,00	0,18	0,00	0,05
-vztaženo ke klimatizované ploše				

Na grafech (obr. 8.1, 8.2) jsou pro přehlednost porovnány spotřeby za celé období pro každé klimatizační zařízení.



Obr. 8.1 Měsíční spotřeby el. energie



Obr. 8.2 Měrné měsíční spotřeby el. energie (vztaženo ke klimatizované ploše)

Porovnání spotřeb z let 2012 a 2013

V tabulkách 8.4 a 8.5 můžete vidět že porovnání dvou stejných období ze dvou let a je patrné, že hodnoty spotřeb jsou si podobné. Změny v jednotlivých měsících jsou také podobné. V srpnu (letní režim) je potřeba energie na chlazení, v září je pokles spotřeby zhruba o polovinu a dá se usoudit, že se jedná o přechodné období, protože další měsíc je spotřeba zase vyšší a jedná se už o měsíc říjen a klimatizace je v zimním režimu.

Tab. 8.4 Spotřeby el. energie na klimatizaci (2012)

[kWh]	1.NP	2.NP	3.NP	celkem
srpen 2012	608	440	621	1669
září 2012	291	239	301	831
říjen 2012	694	288	275	1257
Celkem	1593	967	1197	3758
Podíl	42 %	23 %	28 %	

Tab. 8.5 Spotřeby el. energie na klimatizaci (2013)

[kWh]	1.NP	2.NP	3.NP	celkem
srpen 2013	185	596	641	1422
září 2013	136	476	79	691
říjen 2013	974	450	75	1499
Celkem	1295	1522	795	3612
Podíl	36 %	42 %	22 %	

Pro měrné měsíční spotřeby (tab. 8.6 a 8.7) platí stejná porovnání jako u spotřeb celkových za každý zmíněný měsíc. Průměr z hodnot pro vybrané měsíce z roku 2012 je 2,08 kWh/m², pro rok 2013 to pak činí 2,00 kWh/m².

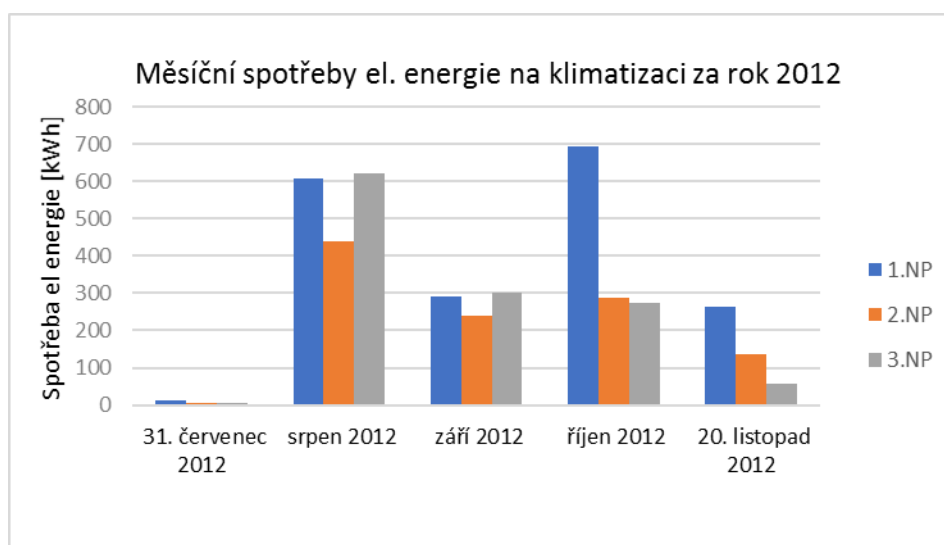
Tab. 8.6 Měsíční měrné spotřeby el. energie na klimatizaci (2012)

[kWh/m ²]	1.NP	2.NP	3.NP	celkem
srpen 2012	3,43	2,59	2,44	2,77
září 2012	1,64	1,41	1,18	1,38
říjen 2012	3,92	1,69	1,08	2,09
-vztaženo ke klimatizované ploše				

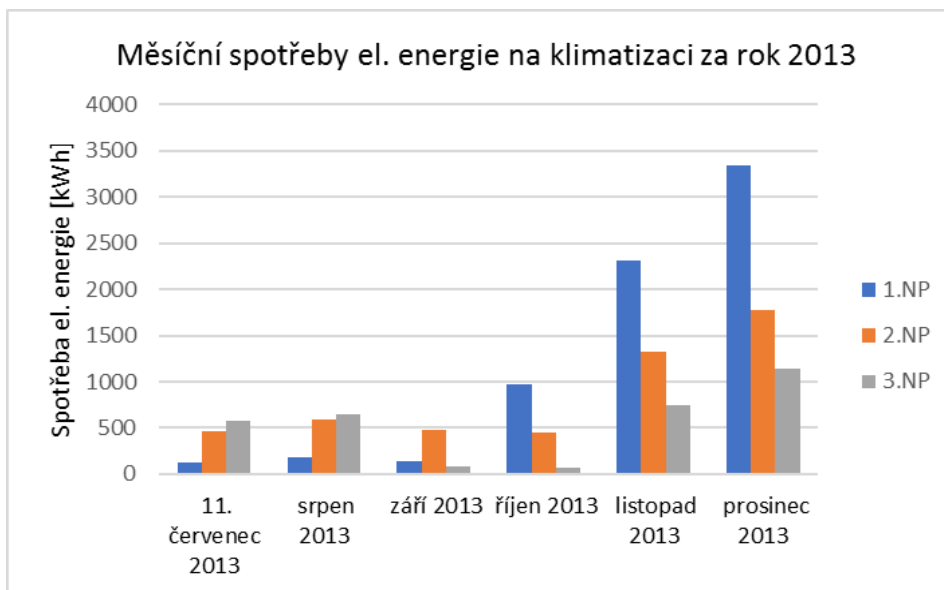
Tab. 8.7 Měsíční měrné spotřeby el. energie na klimatizaci (2013)

[kWh/m ²]	1.NP	2.NP	3.NP	celkem
srpen 2013	1,05	3,51	2,12	2,36
září 2013	0,77	2,80	0,26	1,15
říjen 2013	5,50	2,65	0,25	2,49
-vztaženo ke klimatizované ploše				

Na grafech (obr. 8.3 a 8.4) jsou zobrazeny všechny naměřené hodnoty spotřeb, kdy byly naměřeny spotřeby i z dalších měsíců, např. část července z roku 2012 a 2013. Porovnávat nebo hodnotit jen částečné měsíční hodnoty je ne zcela vypovídající údaj. Na průběhu spotřeb v roce 2013 je patrný nárůst spotřeby v zimním období a také je patrné, jak se mění spotřeba pro jednotlivá podlaží. Pro letní období jsou spotřeby nejmenší pro chlazení 1. NP a při přechodu na zimní provoz zase největší.



Obr. 8.3 Měsíční spotřeby el. energie



Obr. 8.4 Měsíční spotřeby el. energie

Rok 2014

Z tohoto roku jsou spotřeby z části zimního a letního období, které jsou zobrazeny v tab. 8.7. I z těchto hodnot je však zřejmé, že v zimních měsících se spotřeba el. energie mnohem výrazněji a dominantněji je spotřeba klimatizace pro 1. NP. Hodnoty měrných měsíčních spotřeb (tab. 8.8) jsou kompletní jen pro měsíc leden.

Tab. 8.7 Měsíční spotřeby el. energie na klimatizaci (2014)

[kWh]	1.NP	2.NP	3.NP	celkem
leden 2014	3052	1647	676	5375
do 18. únor 2014	1662	730	349	2740
od 28.červen 2014	4	19	12	35
do 9.červenec 2014	79	168	194	441
Celkem	4796	2564	1231	8591
Podíl	56 %	30 %	14 %	

Tab. 8.8 Měsíční měrné spotřeby el. energie na klimatizaci (2014)

[kWh/m ²]	1.NP	2.NP	3.NP	celkem
leden 2014	17,23	9,69	2,66	8,93
do 18. únor 2014	9,38	4,29	1,37	4,55
od 28.červen 2014	0,02	0,11	0,05	0,06
do 9.červenec 2014	0,44	0,99	0,76	0,73
-vztaženo ke klimatizované ploše				

Rok 2015

V tomto probíhalo pouze v 18- ti dnech v měsíci červenci, a tak není z čeho vytvořit měsíční rozbor hodnot.

Rok 2016

Jako poslední a nejaktuálnější jsou data z podzimu 2016 uvedená v tab. 8.9. V měsíci říjnu je pro 3. NP naměřena velmi nízká hodnota spotřeby, to může být např. kvůli částečné odstávce systému.

Tab. 8.9 Měsíční spotřeby el. energie na klimatizaci (2016)

[kWh]	1.NP	2.NP	3.NP	celkem
od 27.zář 2016	20	6	17	43
říjen 2016	1328	1838	68	3234
listopad 2016	2754	586	1371	4711
do 7. prosinec 2016	629	22	507	1159
Celkem	4731	2452	1963	9146
Podíl	52 %	27 %	21 %	

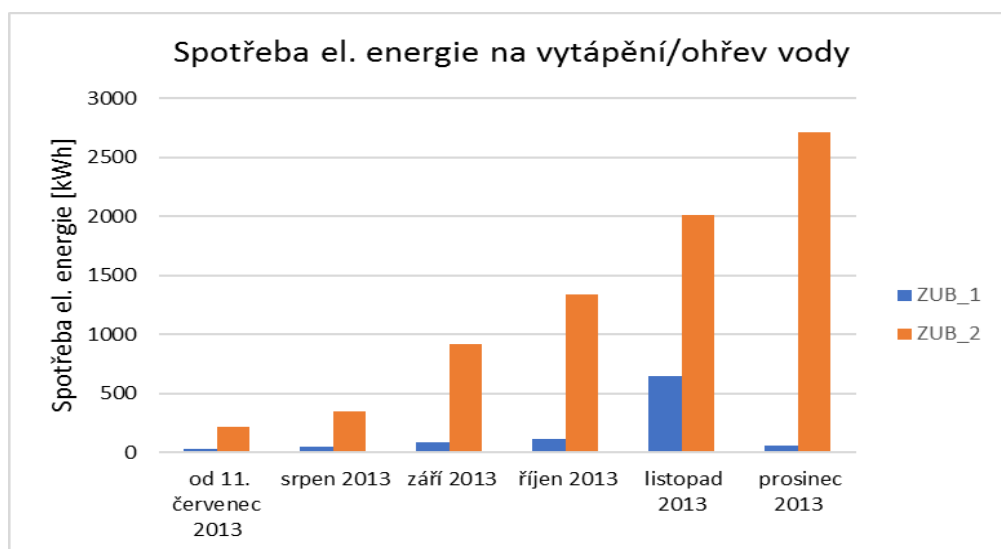
Tab. 8.10 Měrné měsíční spotřeby el. energie na klimatizaci (2016)

[kWh/m ²]	1.NP	2.NP	3.NP	celkem
od 27.zář 2016	0,11	0,04	0,07	0,07
říjen 2016	7,5	10,82	0,27	5,38
listopad 2016	15,55	3,45	5,38	7,83
do 7. prosinec 2016	3,55	0,13	1,99	1,93
-vztaženo ke klimatizované ploše				

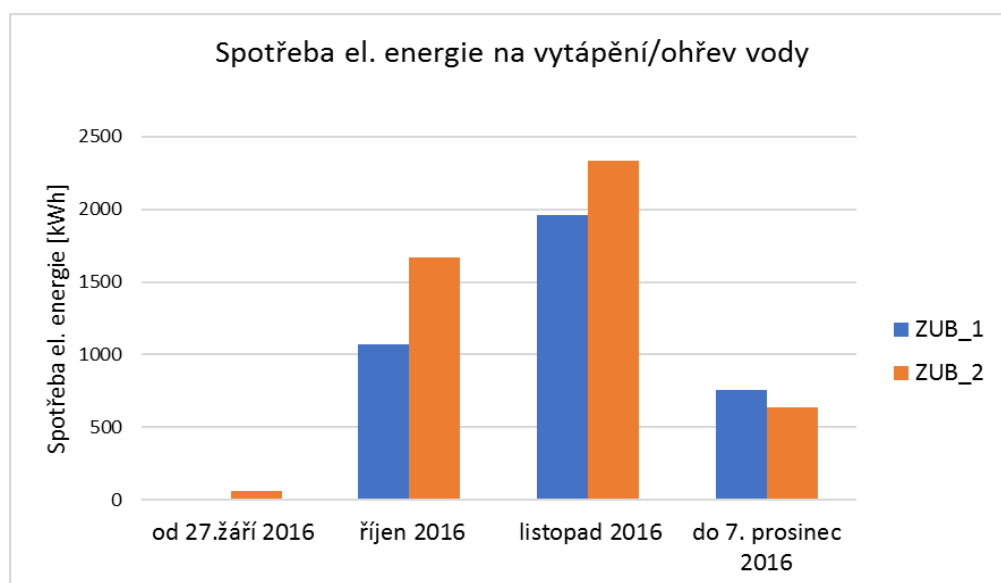
Z předešlých hodnocení je zřejmé, že pro vytvoření celkového hodnocení měrných měsíčních spotřeb el. energie je nedostatek hodnot. Naměřená období nejsou souvislá a nelze z nich vytvořit komplexní přehled o spotřebách jak už měsíčních, tak třeba za letní/ zimní období, čtvrtletních nebo celoročních. Tyto data jsem dopočítal a vytvořil tak přehled za celé měření, což je uvedeno v kap. 8.4.

8.2.2 Rozbor spotřeby tepelných čerpadel

Spotřeby el. energie tepelných čerpadel jsou zahrnují spotřebu energie na vytápění budovy a ohřev vody. Kolik procent elektrické energie se spotřebuje na ohřev vody není v tuto chvíli podstatné, jedná se hlavně o měsíční přehledy spotřeb. Ty to hodnoty nejsou stejně jako u klimatizačního systému kompletní (přerušované měření) a navíc jsou měřeny až od roku 2013. Získané hodnoty zde uvádím jen jako měsíční spotřeby formou grafů. Jako ukázkou můžete vidět grafy z let 2013 a 2016 (obr. 8.5 a 8.6). Pro TČ proveden také dopočet spotřeb, viz kap. 8.4.



Obr. 8.5 Měsíční spotřeby el. energie na provoz TČ (2013)



Obr. 8.6 Měsíční spotřeby el. energie na provoz TČ (2016)

8.3 Dopočet spotřeb elektrické energie

Pro vypočítání chybějících hodnot jsem využil toho, že i když se měření přerušilo a přestaly se zapisovat data do systému a na příslušném elektroměru byl konečný stav, tak po zapnutí měření v dalším období byl stav elektroměru větší. Z toho jsem usoudil, že je možné od sebe tyto stavy odečíst a tím jsem získal spotřebu energie v době výpadku měření a také že nedošlo k výměně měřičů. Poté stačilo hodnoty vydělit počtem měsíců. Výsledkem jsou průměrné hodnoty v době výpadku měření. Tohoto postupu bylo možné použít díky doplnění měření z roku 2012 instalováním elektroměrů. Hodnoty mezi výpadkem v měření 2011 a 2012 jsou nakonec dopočteny jako průměrné hodnoty ze stejných měsíčních hodnot ze zbylých let.

V tab. 8.10 můžete tedy vidět kompletní zpracování měsíčních hodnot. Černou barvou jsou označeny hodnoty přímo změřené a ty nebylo třeba nijak upravovat. Červeně označené hodnoty jsou vypočtené výše popsaným postupem, zelenou jsou označeny spotřeby, které byly částečně změřené a dopočítané. Fialová barva značí hodnoty získané zprůměrováním okolní měsíčních hodnot ze stejného řádku.

Pro tepelná čerpadla jsem použil stejný postup a výsledkem jsou hodnoty uvedené v tab. 8.11

Tab. 8.10 Měsíční spotřeby el. energie na provoz klimatizace

[kWh]	2011	2012	2013	2014	2015	2016
leden	402	2227	1148	5375	2395	1814
únor	1459	1783	1148	2101	2395	1814
březen	338	1559	1148	2101	2395	1814
duben	452	1582	1148	2101	2395	1814
květen	777	1647	1148	2101	2395	1814
červen	727	1637	1148	2101	2395	1814
červenec	178	1229	1148	2395	1814	1814
srpen	493	1669	1422	2395	1814	1814
září	1263	831	691	2395	1814	1814
říjen	2040	1257	1499	2395	1814	3234
listopad	2888	1148	4374	2395	1814	4711
prosinec	2552	1148	6247	2395	1814	2552

Tab. 8.11 Měsíční spotřeby el. energie na provoz tepelných čerpadel

[kWh]	2013	2014	2015	2016
leden	2504	3913	1657	1942
únor	1693	1480	1657	1942
březen	1693	1480	1657	1942
duben	1693	1480	1657	1942
květen	1693	1480	1657	1942
červen	1693	1480	1657	1942
červenec	1448	1657	1942	1942
srpen	390	1657	1942	1942
září	998	1657	1942	1942
říjen	1454	1657	1942	2734
listopad	2658	1657	1942	4299
prosinec	2767	1657	1942	1940

9 Vyhodnocení spotřeb elektrické energie

Vzhledem ke skutečnosti, že jsem značnou část dat musel dopočítávat a neodpovídají reálným hodnotám, bude hodnocení zkreslené. Ze 72 měsíčních dat pro spotřeby el. energie je pouze 19 naměřených, což je 26 %. U spotřeby tepelných čerpadel je situace podobná, z 48 měsíčních hodnot je pouhých 8 skutečně naměřeno, to je jen 17 %.

9.1 Spotřeby elektrické energie klimatizace

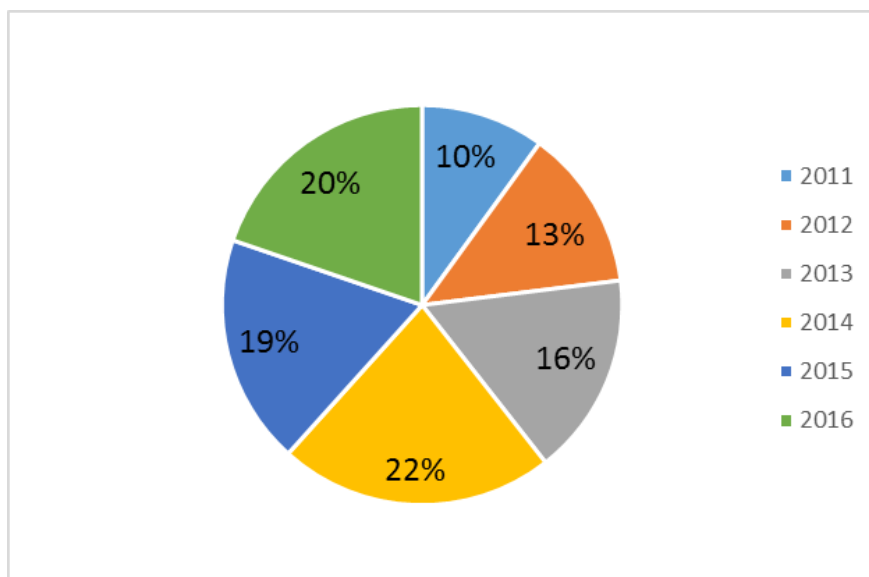
Z tab. 9.1 můžete kromě jednotlivých měsíčních spotřeb vyčíst také roční hodnoty pro celý objekt, průměrnou spotřebu a celkovou spotřebu. Nejnížší hodnoty jsou v prvním roce měření, v té době zřejmě měření nezahrnovalo měření vnitřních jednotek, a i díky tomu je spotřeba celkově nižší. Při předpokladu stejného vytížení a obsazenosti budovy mají na výši spotřeb vliv venkovní podmínky, proto by bylo také vhodné spotřeby porovnat např. s venkovní teplotou v daných měsících. Ty se mi bohužel nepodařilo sehnat.

Celková spotřeba elektrické energie za celé období je 135,88 MWh, průměrná roční spotřeba je 22,65 MWh a průměrná měsíční spotřeba za celou dobu měření je 1887 kWh.

Tab. 9.1 Měsíční spotřeby el. energie na provoz klimatizace

[kWh]	2011	2012	2013	2014	2015	2016
leden	402	2227	1148	5375	2395	1814
únor	1459	1783	1148	2101	2395	1814
březen	338	1559	1148	2101	2395	1814
duben	452	1582	1148	2101	2395	1814
květen	777	1647	1148	2101	2395	1814
červen	727	1637	1148	2101	2395	1814
červenec	178	1229	1148	2395	1814	1814
srpen	493	1669	1422	2395	1814	1814
září	1263	831	691	2395	1814	1814
říjen	2040	1257	1499	2395	1814	3234
listopad	2888	1148	4374	2395	1814	4711
prosinec	2552	1148	6247	2395	1814	2552
Celkem/rok	13 569	17 717	22 270	30 249	25 251	26 819
Celkem	135 876					
Průměr/rok	22 646					

Na grafu (obr. 9.1) je znázorněn procentuální podíl ročních spotřeb ku celkové spotřebě.



Obr. 9.1 Podíl spotřeb elektrické energie

9.1.1 Měrné měsíční spotřeby elektrické energie klimatizace

Jako hlavní měrnou plochu pro porovnání jsem zvolil klimatizovanou plochu budovy, která je 601,6 m². V tab. 9.2 jsou měsíční hodnoty měrných spotřeb budovy, každá tato hodnota v sobě zahrnuje součet pro všechny tři klimatizační zařízení. Je zde také uvedena roční měrná spotřeba.

Tab. 9.2 Měsíční měrné spotřeby el. energie na klimatizaci

[kWh/m ²]	2011	2012	2013	2014	2015	2016
leden	0,67	3,70	1,91	8,93	3,98	3,01
únor	2,43	2,96	1,91	3,49	3,98	3,01
březen	0,56	2,59	1,91	3,49	3,98	3,01
duben	0,75	2,63	1,91	3,49	3,98	3,01
květen	1,29	2,74	1,91	3,49	3,98	3,01
červen	1,21	2,72	1,91	3,49	3,98	3,01
červenec	0,30	2,04	1,91	3,98	3,01	3,01
srpen	0,82	2,77	2,36	3,98	3,01	3,01
září	2,10	1,38	1,15	3,98	3,01	3,01
říjen	3,39	2,09	2,49	3,98	3,01	5,38
listopad	4,80	1,91	7,27	3,98	3,01	7,83
prosinec	4,24	1,91	10,38	3,98	3,01	4,24
Celkem/rok	22,56	29,45	37,02	50,28	41,97	44,58

V následujících tabulkách jsou uvedeny měrné spotřeby el. energie vztažené ke třem ostatním plochám, které jsou uvedeny v tab. 8.1.

Tab. 9.3 Měsíční měrné spotřeby el. energie vzhledem k podlahové ploše

[kWh/m ²]	2011	2012	2013	2014	2015	2016
leden	0,47	2,61	1,35	6,30	2,81	2,13
únor	1,71	2,09	1,35	2,46	2,81	2,13
březen	0,40	1,83	1,35	2,46	2,81	2,13
duben	0,53	1,86	1,35	2,46	2,81	2,13
květen	0,91	1,93	1,35	2,46	2,81	2,13
červen	0,85	1,92	1,35	2,46	2,81	2,13
červenec	0,21	1,44	1,35	2,81	2,13	2,13
srpen	0,58	1,96	1,67	2,81	2,13	2,13
září	1,48	0,98	0,81	2,81	2,13	2,13
říjen	2,39	1,47	1,76	2,81	2,13	3,79
listopad	3,39	1,35	5,13	2,81	2,13	5,53
prosinec	2,99	1,35	7,33	2,81	2,13	2,99
Celkem/rok	15,92	20,78	26,12	35,48	29,62	31,46
<i>Vztaženo k podlahové ploše</i>						

Tab. 9.4 Měsíční spotřeby el. energie vzhledem k vnitřní ploše

[kWh/m ²]	2011	2012	2013	2014	2015	2016
leden	0,44	2,41	1,24	5,83	2,60	1,97
únor	1,58	1,93	1,24	2,28	2,60	1,97
březen	0,37	1,69	1,24	2,28	2,60	1,97
duben	0,49	1,71	1,24	2,28	2,60	1,97
květen	0,84	1,78	1,24	2,28	2,60	1,97
červen	0,79	1,77	1,24	2,28	2,60	1,97
červenec	0,19	1,33	1,24	2,60	1,97	1,97
srpen	0,53	1,81	1,54	2,60	1,97	1,97
září	1,37	0,90	0,75	2,60	1,97	1,97
říjen	2,21	1,36	1,62	2,60	1,97	3,51
listopad	3,13	1,24	4,74	2,60	1,97	5,11
prosinec	2,77	1,24	6,77	2,60	1,97	2,77
Celkem	14,71	19,20	24,14	32,79	27,37	29,07
<i>Vztaženo k vnitřní ploše</i>						

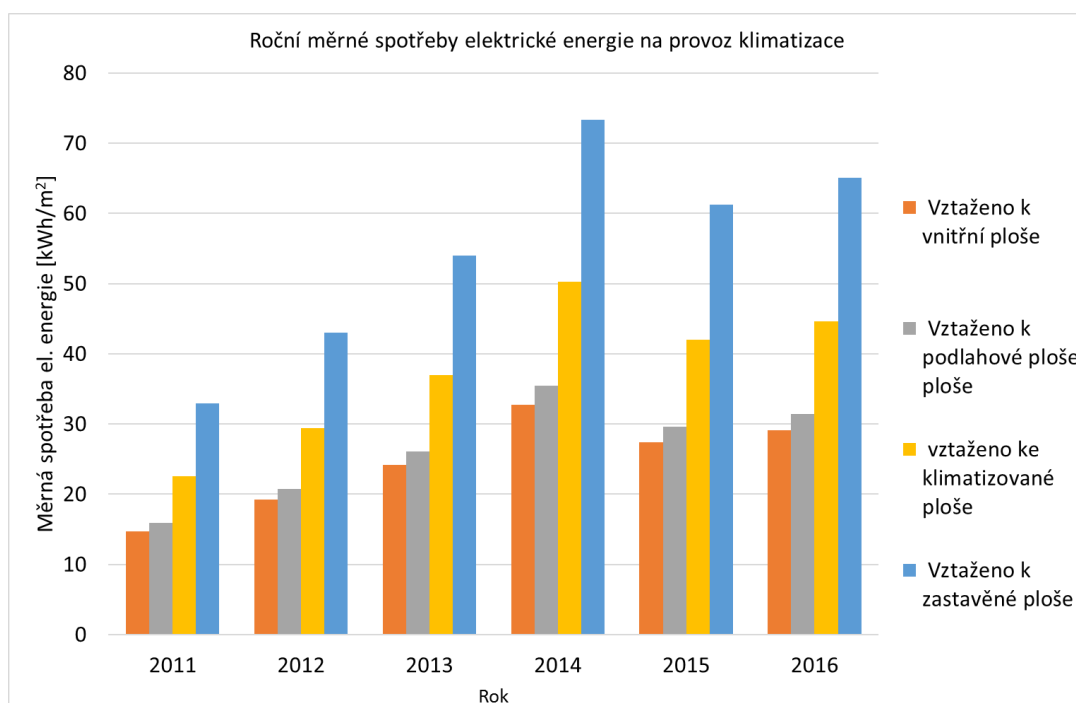
Tab. 9.5 Měsíční spotřeby el. energie vzhledem k zastavěné ploše

[kWh/m ²]	2011	2012	2013	2014	2015	2016
leden	0,97	5,40	2,79	13,04	5,81	4,40
únor	3,54	4,33	2,79	5,10	5,81	4,40
březen	0,82	3,78	2,79	5,10	5,81	4,40
duben	1,10	3,84	2,79	5,10	5,81	4,40
květen	1,88	4,00	2,79	5,10	5,81	4,40
červen	1,76	3,97	2,79	5,10	5,81	4,40
červenec	0,43	2,98	2,79	5,81	4,40	4,40
srpen	1,20	4,05	3,45	5,81	4,40	4,40
září	3,06	2,02	1,68	5,81	4,40	4,40
říjen	4,95	3,05	3,64	5,81	4,40	7,85
listopad	7,01	2,79	10,61	5,81	4,40	11,43
prosinec	6,19	2,79	15,16	5,81	4,40	6,19
Celkem/rok	32,92	42,98	54,03	73,39	61,26	65,06
<i>Vztaženo k zastavěné ploše</i>						

Z těchto hodnot jsem zhotovil grafické porovnání měsíčních měrných spotřeb pro letní provoz a tyto grafy jsou v příloze č.5

V tab. 9.3 až 9.5 je podrobný přehled o měsíčních/ročních měrných spotřebách el. energie budovy. Vzhledem k provedeným dopočtům se zde objevují stejné hodnoty pro vynechaná období v měření. Nejvíce je to patrné v roce 2015. Hodnoty měsíčních spotřeb se pohybují v řádech jednotek kWh/m². Tyto výstupy se dají použít k porovnávání mezi sebou nebo třeba pro zjištění kolik se zaplatí za chlazení/ohřev na jednotku plochy nebo pro celou budovu.

Roční měrné spotřeby jsou graficky porovnané v grafu (obr. 9.1). Můžete vidět, že největších hodnoty dosahují spotřeby vztažené na zastavěnou (půdorysnou) plochu.



Obr. 9.2 Porovnání ročních spotřeb elektrické energie

9.2 Spotřeby elektrické energie na vytápění a ohřev vody

Celkový souhrn spotřeb el. energie je uveden v tab. 9.6. Zajímavost je, že spotřeby el. energie tepelných čerpadel jsou velmi podobné hodnotám spotřeb klimatizace. Celková spotřeba el. energie za celé měřené období je necelých 90 MWh. Průměrná roční spotřeba činí 22,5 MWh. Převažují hodnoty spotřeb dopočítaných průměrováním a podrobnější hodnocení porovnání hodnot je tak jen přibližné. V tab. 9.7 můžete vidět měrné měsíční spotřeby, roční měrné spotřeby.

Tab. 9.6 Měsíční spotřeby el. energie teplených čerpadel

[kWh]	2013	2014	2015	2016
leden	2504	3913	1657	1942
únor	1693	1480	1657	1942
březen	1693	1480	1657	1942
duben	1693	1480	1657	1942
květen	1693	1480	1657	1942
červen	1693	1480	1657	1942
červenec	1448	1657	1942	1942
srpen	390	1657	1942	1942
září	998	1657	1942	1942
říjen	1454	1657	1942	2734
listopad	2658	1657	1942	4299
prosinec	2767	1657	1942	1940
<i>Celkem/rok</i>	<i>20 685</i>	<i>21 257</i>	<i>21 596</i>	<i>26 454</i>
<i>Celkem</i>	<i>89 992</i>			
<i>Průměr/rok</i>	<i>22 498</i>			

Tab. 9.7 Měrné měsíční spotřeby el. energie teplených čerpadel

[kWh/m ²]	2013	2014	2015	2016
leden	3,14	4,91	2,08	2,44
únor	2,13	1,86	2,08	2,44
březen	2,13	1,86	2,08	2,44
duben	2,13	1,86	2,08	2,44
květen	2,13	1,86	2,08	2,44
červen	2,13	1,86	2,08	2,44
červenec	1,82	2,08	2,44	2,44
srpen	0,49	2,08	2,44	2,44
září	1,25	2,08	2,44	2,44
říjen	1,83	2,08	2,44	3,43
listopad	3,34	2,08	2,44	5,40
prosinec	3,47	2,08	2,44	2,44
<i>Celkem/rok</i>	<i>25,97</i>	<i>26,69</i>	<i>27,11</i>	<i>33,21</i>
vztaženo k podlahové ploše				

9.3 Návrhy na vylepšení měření spotřeb elektrické energie a chladivového systému

Rozsah měření provozních hodnot je pro chladivový systém plně dostačující. Každá ze tří venkovní jednotka se měří samostatně a vnitřní jednotky celkově pro každé podlaží. Intervaly záznamu (jednotky minut) jsou vhodné pro podrobné zpracování a vyhodnocení, kdy lze vytvořit např. detailní denní hodnocení průběhu příkonu. Někdy však docházelo k samovolnému přerušení v probíhajícím měření bez známých příčin, to by bylo vhodné pro případné další měření vyřešit.

Dle mého názoru není potřeba chladivový systém jako celek nějakým způsobem vylepšovat. Všechny komponenty systému, včetně centrální ovládací jednotky, jsou od stejného výrobce a pracují jako celek podle požadavků obsluhy a uživatele.

Do budoucna by bylo dobré zahrnout i měření vzduchotechnických systémů, které jsou nedílnou součástí komfortní klimatizace v budově a tím by byl k dispozici celkový přehled provozu a spotřebách.

10 Závěr

V souladu se zadáním mé diplomové práce jsem provedl zpracování a analýzu naměřených dat v administrativní budově v Pardubicích. Během zpracování jsem zjistil, že ve všech pěti souborech jsou mezery nebo výpadky v měření. To považuji za největší problém při vypracování této analýzy a je tím ovlivněno celé vyhodnocení dat. Ze všech zpracovaných dat jsme vytvořil grafické a početní výstupy, ze kterých jsou ty nejdůležitější uvedeny v textu a ostatní v elektronických přílohách. Zvláště grafy s průběžným týdenním krokem považuji za povedené a přehledné.

Podrobněji se zabývám chladivovým systémem, u kterého jsem provedl analýzu příkonu všech jednotek a jejich spotřeb el. energie. Výsledkem je zjištění, že větších příkonů, a tudíž i spotřeb systém dosahuje v zimním provozu, z toho vyplývá, že tepelné zisky budovy jsou menší než její tepelné ztráty.

Hodnoty jmenovitých el. příkonů jednotek jsem porovnal s naměřenými. Pro letní režim je skutečný průměrný příkon systému hluboko pod nominální hodnotou.

V zimních měsících i v nejnepríznivějším období je podíl mezi skutečným a nominálním příkonem kolem 50 %. Zařízení jsou tedy nadimenzována správně a s rezervou.

Při vyhodnocení spotřeb elektrické energie se musí brát v potaz, že to jsou převážně dupočítané hodnoty. Z těchto hodnot jsem pak vypočítal měsíční měrné spotřeby, které dosahují nízkých hodnot a pro přehled jsou uvedeny i roční měrné spotřeby.

Celková spotřeba el. energie za šest let je 135,9 MWh, roční průměrná 22,7 MWh.

Měsíční měrná spotřeba, vztažená ke klimatizované ploše, za celé měřené období činí 37,64 kWh/m².

U tepelných čerpadel jsem se zaměřil hlavně na vyhodnocení spotřeb el. energie.

Celková spotřeba za čtyři měřené roky je 90 MWh, průměrná roční spotřeba činí 22,5 MWh.

Pro případná další budoucí by bylo dobré zlepšit měření, aby nedocházelo k výpadkům nebo přerušením a mohl se tak získat komplexní a skutečný přehled o provozu zmíněných systémů.

Seznam použité literatury:

- [1] DRKAL, F., LAIN, M. a ZMRHAL, V. *Klimatizace*. ČVUT v Praze, Praha. 2015.134 s. ISBN 978-80-01-05652-3
- [2] DRKAL, F., LAIN, M., SCHWARZER, J. a ZMRHAL, V. *Klimatizace a průmyslová vzduchotechnika*. ČVUT v Praze, Praha. 2009. 139 s.
- [3] Tenways Engineering Services Ltd. *Mitsubishitech*. [online]. [vid. 28. 12. 2016]
Dostupné z: [http://www.mitsubishitech.co.uk/Data/City-Multi_Outdoor/PURY_HighCOP/2010-2009/PURY-EP-Y\[S\]HMA\[1\]/Leaflet/PURY-EP250YHM-A.pdf](http://www.mitsubishitech.co.uk/Data/City-Multi_Outdoor/PURY_HighCOP/2010-2009/PURY-EP-Y[S]HMA[1]/Leaflet/PURY-EP250YHM-A.pdf)
- [4] Tenways Engineering Services Ltd. *Mitsubishitech*. [online]. [vid. 28. 12. 2016]
Dostupné z: [http://www.mitsubishitech.co.uk/Data/City-Multi_Outdoor/PUHY_HighCOP/2010-2009/PUHY-EP-Y\[S\]HMA\[1\]/Leaflet/PUHY-EP250YHM-A.pdf](http://www.mitsubishitech.co.uk/Data/City-Multi_Outdoor/PUHY_HighCOP/2010-2009/PUHY-EP-Y[S]HMA[1]/Leaflet/PUHY-EP250YHM-A.pdf)
- [5] Tenways Engineering Services Ltd. *Mitsubishitech*. [online]. [vid. 28. 12. 2016]
Dostupné z: [http://www.mitsubishitech.co.uk/Data/City-Multi_Outdoor/PUHY_HighCOP/2010-2009/PUHY-EP-Y\[S\]HMA\[1\]/Leaflet/PUHY-EP300YHM-A.pdf](http://www.mitsubishitech.co.uk/Data/City-Multi_Outdoor/PUHY_HighCOP/2010-2009/PUHY-EP-Y[S]HMA[1]/Leaflet/PUHY-EP300YHM-A.pdf)
- [6] Topinfo s.r.o. *TZB-info*. Právní předpisy. [online]. [vid. 5. 1. 2017]
Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-193-2013-sb-o-kontrola-klimatizacnich-systemu>
- [7] M-tech, s.r.o. M-tech. Dokumenty ke ztažení. [online]. [vid. 30. 12. 2016]
Dostupné z: <http://www.mtech.cz/images/dokumenty-ke-stazeni/tep-cerpadla-ecodan-katalog.pdf>

Seznam příloh:

- Příloha č.1: Výkres č.1–Půdorys 1.NP
Výkres č.2– Půdorys 2.NP
Výkres č.3–Půdorys 3.NP
- Příloha č.2. Katalog produktů
- Příloha č.3 Schéma zapojení tepelných čerpadel
- Příloha č.4 Grafy– průběhy příkonů klimatizačních jednotek
č.1–léto 2014
č.3–léto 2015
č.3–zima 2016
- Příloha č.5 Grafy– měrné spotřeby elektrické energie
č.1 a č.2– měrné spotřeby
č.3 a č.4– měrné spotřeby