

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**SPOTŘEBA ENERGIE
NA KLIMATIZACI BUDOV**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

PETR STEINHART

6 – IB – 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Steinhart** Jméno: **Petr** Osobní číslo: **437757**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Inteligentní budovy**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Spotřeba energie na klimatizaci budov

Název diplomové práce anglicky:

Energy Consumption for Buildings Air-Conditioning Systems

Pokyny pro vypracování:

Proveďte sběr dat o spotřebách energie na chlazení budov. Zpracujte analýzu dat a měrné spotřeby. V práci se zabývejte obecným návrhem postupu při monitorování klimatizačních zařízení s důrazem na spotřeby energie.

Seznam doporučené literatury:

Lain M., Šimek J. Měření a analýza spotřeby energie budov na chlazení pro klimatizaci a vyhodnocení měrných spotřeb pro další využití, ČVUT v Praze, UCEEB 2017
Chyský, J.; Hemzal, K. a kol. Větrání a klimatizace. Technický průvodce. BOLIT B press, Brno 1993. ISBN 80-901574-0-8.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Miloš Lain, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

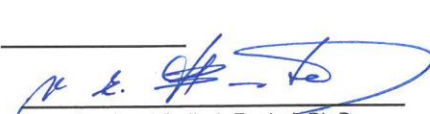
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce:


Ing. Miloš Lain, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce


doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

30.4.2020
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Souhrn

Tato práce se zabývá spotřebou elektrické energie na chlazení budov. Konkrétně vyhodnocuje data dvanácti objektů, kde probíhal odečet spotřeby energie zdrojů chladu. U každého objektu je uveden stručný popis budovy a technických parametrů klimatizačního systému. Výsledky měření jednotlivých objektů jsou následně porovnány. Dále práce uvádí standardizovaný postup pro monitorování klimatizačních zařízení s důrazem na spotřebu elektrické energie. V souvislosti se skutečností výskytu nekonzistentních dat se poslední kapitola této práce zabývá vznikem jejich příčin a možnostmi jejich řešení.

Summary

This work is concerned with the consumption of electric energy used to cool buildings. Particularly it evaluates data from twelve buildings in which long-term measurements of the consumption of cooling devices took place. A brief description of structural characteristics of each object and technical parameters of the cooling system installed is done for every building. The results for the objects are compared afterwards. The work further puts forward standardized procedure for monitoring of cooling devices with the stress on the consumption of electric energy. In connection with the occasional appearance of inconsistencies in the measured data this work also deals with studying of their sources and possibilities of their recovery.

Prohlášení

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

V Praze 28.7.2020

Bc. Petr Steinhart

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu diplomové práce Ing. Miloši Lainovi, Ph.D, za jeho podnětné rady a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky. Dále bych chtěl poděkovat své rodině, která mě ochotně podporovala po celou dobu studia.

Soupis použitého značení

Označení	Název	Jednotka
A	Celková spotřeba elektrické energie	[kWh]
C	Spotřeba energie na chlazení na den	[kWh/den]
D	Potřeba energie na chlazení na den	[kWh/den]
EER	Chladicí faktor definovaný jako	[–]
G	Tepelné zisky	[kWh/den]
I_1	Proud primárního vinutí hlavního jističe	[A]
I_2	Proud sekundárního vinutí obvodu elektroměru	[A]
K_{Wh}	Konstanta elektroměru daná výrobcem	[–]
R^2	Koeficient determinace	[–]
U	Tepelná ztráta za den vztažená k teplotě	[kWh/den · °C]
V	Tepelná ztráta větráním za den vztažená k teplotě	[Wh/den · °C]
i	Aktuální elektrický proud	[A]
p	Aktuální výkon	[W]
t_b	Základní definovaná teplota	[°C]
t_{bb}	Teplota měnící směrnici sklonu spotřebu energie	[°C]
t_i	Vnitřní teplota	[°C]
t_0	Venkovní teplota	[°C]
t_s	Základní definovaná teplota	[°C]
u	Aktuální elektrické napětí	[A]

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Teoretická část	10
2.1 Klimatizační systémy	10
2.2 Spotřeba energie na chlazení.....	11
2.3 Principy odečtu spotřeby elektrické energie	16
2.3.1 Elektroměry na stejnosměrný proud	17
2.3.2 Elektroměry na střídavý proud.....	17
2.3.3 Analogové mechanické elektroměry	17
2.3.4 Statické elektroměry.....	19
2.3.5 Měřicí transformátory proudu	20
2.3.6 Princip zaznamenávání dat.....	21
3. Analytická část	22
3.1 Analýza a zpracování naměřených dat.....	22
3.1.1 Budova č. 1	22
3.1.2 Budova č. 2	30
3.1.3 Budova č. 3	36
3.1.4 Budova č. 4	42
3.1.5 Budova č. 5	49
3.1.6 Budova č. 6	55
3.1.7 Budova č. 7	61
3.1.8 Budova č. 8	68
3.1.9 Budova č. 9	74
3.1.10 Budova č. 10	81
3.1.11 Budova č. 11	86

3.1.12 Budova č. 12	93
3.1.13 Shrnutí a výsledné porovnání budov	101
3.3 Standardizovaný postup pro měření spotřeby el. energie na chlazení	106
3.3.1 Popis budovy	106
3.3.2 Popis klimatizačního systému	107
3.3.3 Měření a sběr dat	108
3.3.4 Výstupy z naměřených dat	109
3.4 Doplnění chybějících dat	112
3.4.1 Metoda průměrů	113
3.4.2 Využití posledního záznamů při přemazání paměti	113
3.4.3 Závislost spotřeby energie na průměrné teplotě	114
3.4.4 Využití poměrů směrnic nárůstu el. energie v okolních měsících	118
4. Závěr	120
5. Zdroje	121
6. Seznam příloh	123

1. Úvod

Tepelná pohoda člověka je dnes ve většině budov naprostou samozřejmostí. K její dosažení je nezbytné dodržet určitá kritéria. V letním období se jedná především o dodržení určité vlhkosti a teploty uvnitř objektu a o přívod dostatečného množství čerstvého vzduchu. Pro přívod a úpravu přiváděného vzduchu, odvod znehodnoceného vzduchu, a především k odvodu tepelné zátěže z objektu, slouží klimatizační systémy. Provoz klimatizačních systémů je energeticky značně náročný a s rostoucími požadavky na kvalitu vnitřního prostředí a s rozšiřujícím se polem působnosti rostou i náklady spojené s jejich využíváním. Z tohoto důvodu je snaha o maximalizaci efektivity klimatizačních systémů, k čemuž je nezbytné monitorování spotřeby energie.

Jedním z cílů této práce je zpracovat a analyzovat naměřená data spotřeby elektrické energie na chlazení u dvanácti objektů. V teoretické části se práce bude zabývat popisem klimatizačních systémů, jejich základním rozdělením a zhodnocením energetické náročnosti jednotlivých komponentů. Dále zde budou popsány možnosti pro měření spotřeby elektrické energie. Bude uvedeno jedno z možných členění elektroměrů a budou popsány základní fyzikální principy jednotlivých typů. Nedílnou součástí měření spotřeby elektrické energie je záznam dat, kterému se bude také věnovat jedna z kapitol v teoretické části. V analytické části práce budou podrobně analyzována naměřená data všech dvanácti budov. Každý objekt bude stručně popsán, stejně jako klimatizační systém, který je v budově využíván. Dále bude uvedeno výsledné porovnání energetické náročnosti na chlazení všech objektů. Dalším cílem této práce je vytvoření standardizovaného postupu pro monitorování klimatizačních zařízení s důrazem na spotřebu elektrické energie, čemuž bude věnována kapitola v analytické části práce. Jelikož při měření spotřeby el. energie může docházet k nekonzistentnímu záznamu dat vlivem různých příčin, bude jedna z kapitol věnována také této problematice a snaze o co nejpřesnější doplnění chybějících dat.

2. Teoretická část

2.1 Klimatizační systémy

Klimatizací vzduchu je obecně myšlena úprava tepelného a vlhkostního stavu ovzduší, čistoty a proudění ve vnitřním prostředí. Jako kritérium pro dvě základní kategorie klimatizačních systémů je rozsah a účel jejího použití. Zmíněnými kategoriemi jsou:

- Klimatizace komfortní – úprava ovzduší z hlediska hygienických požadavků pro lidský organismus
- Klimatizace technologická – úprava ovzduší pro zajištění prostředí vhodného pro správnou funkci technologických zařízení

Klimatizační systém je koncepční soubor funkčních prvků pro úpravu vzduchu a distribuci chladu, či tepla v objektu. Klimatizační systém lze dále dělit na základě tekutiny, použité pro distribuci chladu, nebo tepla. Dále podle počtu klimatizačních zón, ve kterých dochází k individuální regulaci a podle způsobu sdílení tepla do okolí. Rozdělení klimatizačních systémů podle zmíněných kritérií:

- Podle tekutiny přenášející chlad a teplo
 - Systémy vzduchové
 - Systémy vodní
 - Systémy kombinované indukční vzduch – voda
 - Systémy chladičové
- Podle počtu zón
 - Jedno zónové systémy
 - Více zónové systémy
- Podle způsobu sdílení tepla do okolí
 - Konvektivní systémy
 - Sálavé systémy

Základním konceptem klimatizačních systémů je výroba chladu, či tepla v jeho zdroji a na základě druhu systému je energie distribuována vzduchovody, vodním potrubím, nebo chladičovým potrubím. Koncové prvky jsou různé pro jednotlivé typy systémů. Vzduchové systémy jsou zakončeny vyústkami, nebo anemostaty. Vodní systémy chladičovými panely nebo vodními ventilátorovými konvektory. Systémy chladičové jsou zakončeny ventilátorovými konvektory a v případě systémů kombinovaných se může jednat o indukční parapetní jednotky nebo chladičové trávce. [1]

2.2 Spotřeba energie na chlazení

Jak již bylo zmíněno, klimatizační systémy se v nejzákladnějším pojetí skládají ze zdroje chladu, distribučních prvků a koncových zařízení. Při běhu klimatizačního systému každá ze jmenovaných součástí spotřebovává větší či menší množství elektrické energie. Nejmarkantnější spotřeba je indikována ve zdroji chladu. Ten může být založený na principu oběhu chladiva, kam patří absorpční a kompresorové stroje, na termoelektrickém, čímž je míněn Peltiérův článek, nebo alternativním principu, kam patří například noční, nebo zemní chlazení. Nejpoužívanějším je ovšem zařízení kompresorové, založené na oběhu chladiva. V chladivovém okruhu je využíváno fázové přeměny chladiva, při kterých je straně výparníku teplo odebíráno a na straně kondenzátoru produkováno. Oběh chladiva zajišťuje kompresor, který v klimatizačních systémech spotřebuje většinu el. energie. Dále je nezbytné odvádět vzniklé kondenzační teplo. Existují dva způsoby vzduchem a vodou chlazené kondenzátory. V prvním případě je tepelná zátěž odvedena pomocí ventilátoru přímo z kondenzátoru. V druhém případě je kondenzační teplo předané ve výměníku odvedeno pomocí distribuční látky, která je následně ochlazována, pomocí suchých, či adiabatických chladičů. S odvodem kondenzačního tepla je tedy spřažena spotřeba el. energie, související s chodem ventilátorů a oběhových čerpadel. Výparníky se rozdělují na výparníky suché a výparníky zaplavené. Výparníky se dále rozdělují také podle toho, zda odebírají teplo přímo vzduchu, nebo pomocné kapalině. Výparníky ochlazující přímo vzduch jsou součástí klimatizačních jednotek, nebo cirkulačních jednotek chladivových systémů. Při jejich použití je třeba zajistit odvod kondenzátu na straně vzduchu a případné odtávání námrazy. Výparníky jednotek pro přípravu chladné vody jsou výměníky voda-chladivo a většinou se používají výměníky deskové, případně trubkové. Zdroje chladu jsou osazeny protimrazovou ochranou, která sleduje teplotu vody za výměníkem a zároveň čidla průtoku ověřují, zda je dodržen průtok vody výměníkem. Průtok vody zajišťuje oběhové čerpadlo, které z pravidla pracují ve dvojici a v jednom objektu je jich nainstalováno více. Zmíněná protimrazová ochrana, ventilátory VZT jednotek a oběhová čerpadla jsou prvky spojené s distribucí a rovněž jsou zodpovědné za spotřebu el. energie. Se sdílením chladu do okolí souvisí spotřeba el. energie koncových prvků, jako jsou například ventilátorové konvektory, nebo chladivové jednotky, u kterých je k těmto účelům použit ventilátor. [1], [2]

Podle článku 9 Směrnice evropského parlamentu a rady 2002/91/ES by měly být zavedeny pravidelné inspekce klimatizačních systémů se jmenovitým výkonem větším než 12 kW s cílem snížit spotřebu energie a omezit emise oxidu uhličitého. Inspekce by měla zahrnovat posouzení účinnosti klimatizace a velikosti zařízení v porovnání s požadavky na chlazení budovy. Pro inspekce klimatizačních systémů byly v roce 2007 schváleny dvě normy. Norma EN 15239 *Guidelines for inspection of ventilation systems* a norma EN 15240 *Guidelines for inspection of air conditioning systems*. Tyto normy obsahují následující metodiku inspekce: [3]

- Příprava inspekce a shromáždění dokumentace:
 - Dokumentace
 - Průzkum budovy a systému
 - Následné inspekce
 - Doporučení v případě zastaralé, neúplné nebo chybějící dokumentace
- Metodika
 - Inspekce chladicího zařízení
 - Inspekce účinnosti odvádění odpadního tepla do venkovního prostoru
 - Inspekce účinnosti výměny tepla do chladicího systému
 - Inspekce systémů dodávky chladicího vzduchu a nezávislého větracího vzduchu v obsluhovaných prostorech
 - Inspekce systémů dodávky chladicího vzduchu a nezávislého větracího vzduchu ve vzduchotechnických jednotkách a souvisejících vzduchovodech
 - Inspekce systémů dodávky chladicího vzduchu a nezávislého větracího vzduchu na venkovních vstupech vzduchu
 - Inspekce ovládání a regulačních parametrů systémů budovy
 - Měření spotřeby energie

V článku *Daily energy consumption signatures and control charts for air-conditioned buildings*, se autoři zabývají aspekty, které by mohly mít souvislost se spotřebou el. energie na chlazení. S cílem nalezení těchto parametrů byl vytvořen zjednodušený model interpretující spotřebu elektrické energie systému HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) v průběhu 24 hodin. Autoři uvádí, že jednoduchý popis modelu budovy a jejího klimatizačního systému zanedbává, nebo zjednodušuje některé efekty, které mohou významně ovlivnit spotřebu energie. Například solární tepelné zisky jsou sezónní povahy

a tepelné zisky z osvětlení se liší s délkou dne. Kromě toho se účinnost vzduchem chlazených chladičů výrazně liší v závislosti na okolní teplotě. Základním předpokladem modelu je, že se pro prostor obsluhovaný systémem po dobu 24 hodin uvažuje rovnováha mezi tepelnými zisky a tepelnými ztrátami. [2]

Matematický popis modelu:

V modelu jsou definované následující veličiny:

U – tepelná ztráta za den vztažená k teplotě (indoor to outdoor non-ventilation conductance) [kWh/(den · °C)]

V – tepelná ztráta větráním za den vztažená k teplotě (indoor to outdoor ventilation conductance) [kWh/(den · °C)]

G – tepelné zisky (heat gains) [kWh/den]

C – spotřeba energie na chlazení (cooling consumption) [kWh/den]

D – potřeba energie na chlazení [kWh/den]

EER – chladicí faktor definovaný jako $EER = \frac{D}{C}$ [-]

Dále byly definovány tři oblasti pro potřebu energie na chlazení na základě nastavitelných parametrů a průběhu venkovní teploty během dne.

Oblast 1

V případě, kdy je venkovní teplota t_0 [°C] menší než definovaná základní teplota t_b [°C], je potřeba energie na chlazení rovna konstantě a_0 [kWh/den].

$$D = a_0$$

Oblast 2

Když je venkovní teplota t_0 [°C] mezi definovanými teplotami t_b [°C] a t_s [°C], je potřeba energie na chlazení dána lineární funkcí se sklonem teplotní citlivosti b_1 [kWh/(den · °C)] a konstantou a_1 [kWh/den].

$$D = a_1 + b_1 \cdot t_0$$

Oblast 3

Pro případ, kdy je venkovní teplota t_0 [°C] vyšší než t_s [°C], je potřeba energie na chlazení dána lineární funkcí se sklonem teplotní citlivosti b_2 [kWh/(den · °C)] a konstantou a_2 [kWh/den].

$$D = a_2 + b_2 \cdot t_0$$

Předpokládejme, že teplota, při které je přiváděn vzduch do ošetřovaného prostoru, nesmí klesnout pod mezní hodnotu, aby se zabránilo tepelné nepohodě. Teplotě přiváděného vzduchu odpovídá přechodová teplota $t_s [^{\circ}\text{C}]$ mezi provozními oblastmi 2 a 3.

Pro oblast 2 platí:

$$\begin{aligned} D &= G - (t_i - t_0) \cdot U - (t_i - t_s) \cdot V, \\ a_1 &= G - t_i \cdot U - (t_i - t_s) \cdot V, \\ b_1 &= U \end{aligned}$$

Pro oblast 3 platí:

$$\begin{aligned} D &= G - (t_i - t_0) \cdot U - (t_i - t_s) \cdot V, \\ a_1 &= G - t_i \cdot (U + V), \\ b_2 &= (U + V) \end{aligned}$$

A tedy platí:

$$\frac{V}{U} = \left(\left(\frac{b_1}{b_2} \right) - 1 \right)$$

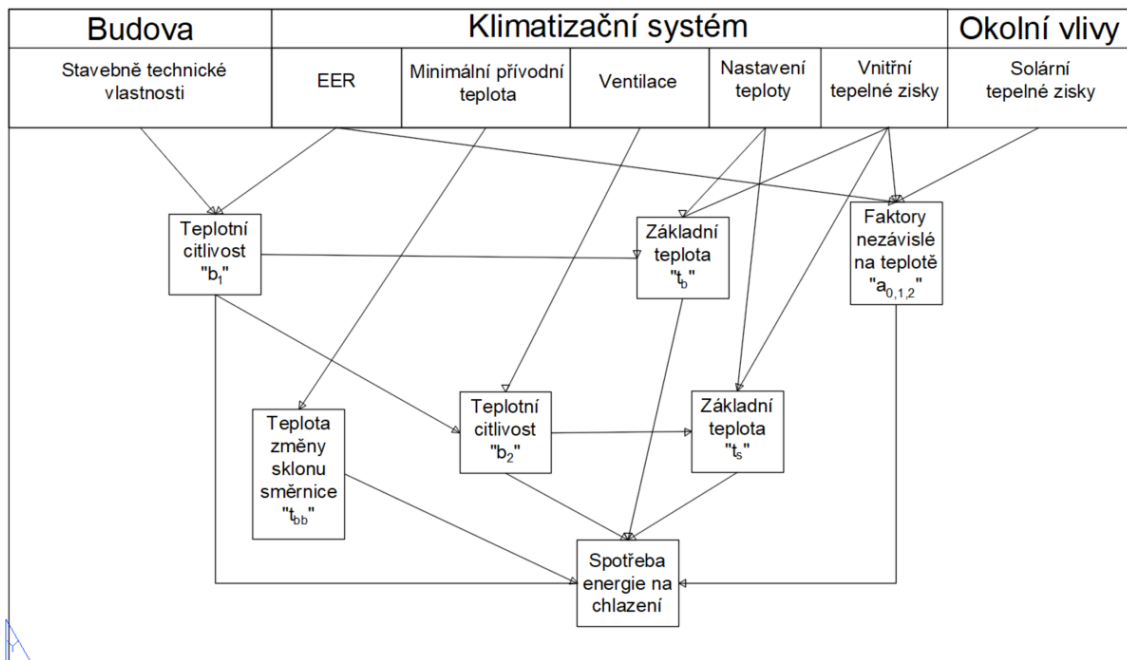
Pro vyjádření teploty t_b vycházíme z rovnice:

$$\begin{aligned} D &= a_0 = G - (t_i - t_b) \cdot U - (t_i - t_s) \cdot V \\ t_b &= t_i - (t_i - t_s) \cdot \frac{V}{U} - \frac{(G - a_0)}{U} \end{aligned}$$

Dále vyjádříme teplotu t_{bb} , která koresponduje se změnou sklonu směrnice spotřeby energie.

$$\begin{aligned} D &= a_0 = G - (t_i - t_b) \cdot (U + V) \\ t_{bb} &= t_i - \left(\frac{(G - a_0)}{(V + U)} \right) \end{aligned}$$

Z modelu vyplývají souvislosti mezi jednotlivými parametry ovlivňujících spotřebu el. energie na chlazení. Mezi tyto faktory byly zahrnuty parametry budovy a klimatizačního systému, včetně jeho řízení, vnitřní tepelné zisky a vliv venkovního prostředí. Na obr. 1 je znázorněna parametrická mapa vyjadřující závislost mezi jednotlivými veličinami. Parametry teplotní citlivosti $b_{1,2}$ [kWh/(den \cdot $^{\circ}\text{C}$)] jsou dány technickými dispozicemi objektu a klimatizačního systému. Parametry $a_{0,1,2}$ [kWh/den] jsou ovlivněny tepelnými zisky a chladícím faktorem zdroje chladu. Teplota t_{bb} je rovněž ovlivněna parametry klimatizačního systému. Teploty t_b a t_s jsou volitelnými parametry klimatizačního systému. Z interakce zmíněných parametrů je patrná celková potřeba elektrické energie na chlazení. [2]



Obr. 1 Parametrická mapa souvislostí mezi vlivy na spotřebu el. energie na chlazení

2.3 Principy odečtu spotřeby elektrické energie

Z historického hlediska byly některé magnetické a elektrické jevy známy již v antice, avšak k bližšímu pochopení došlo až na přelomu 18. a 19. stol. V roce 1780 prováděl Galvani své první pokusy s preparáty žabích svalů a v roce 1800 došlo k vynálezu prvního stálého zdroje elektrického proudu neboli Voltova článku. V 19. století pak došlo k rychlému rozvoji, s jehož první polovinou jsou spojena jména fyziků jako jsou Alessandro Volta, Charles Coulomb, AndréMarie Ampère a mnoho dalších. V druhé polovině tohoto století s výzkumem pokračovali vědci jako byl Nikola Tesla, Thomas Alva Edison a z Čechů například František Křižík. S rychlým rozvojem nejprve stejnosměrného a později střídavého proudu docházelo postupem času k čím dál tím častějšímu využívání a bylo zapotřebí zaznamenávat jeho spotřebu. První elektroměr zkonstruoval T.A. Edison a fungoval na galvanickém principu. Při průchodu elektrického proudu mezi dvěma deskami v těsné vzdálenosti přecházely ionty kovu z jedné desky na druhou více či méně v závislosti na velikosti proudu. Množství el. energie se následně zjistilo z rozdílu hmotnosti desek. Tento elektroměr měřil spotřebu energie stejnosměrného proudu a byl ampérhodinového typu. [4]

V současné době existuje mnoho systémů a principů pro měření spotřeby el. energie. Jejich základní rozdělení je založeno na základě druhu proudu, který měří. Hovoříme tedy o elektroměrech určené k odečtu stejnosměrného, nebo střídavého proudu. Jelikož je převážně využíváno proudu střídavého a elektroměry na měření stejnosměrného proudu se využívají jen zřídka, budou zde uvedeny pouze základní typy a velice stručný popis jejich funkce. Podrobněji popsané budou elektroměry určené pro střídavý proud. Základní rozdělení a subkategorie elektroměrů jsou následovné:

1. Elektroměry na stejnosměrný proud

- Ampérhodinové
- Watthodinové

2. Elektroměry na střídavý proud

- Analogové (indukční)
- Elektronické statické

2.3.1 Elektroměry na stejnosměrný proud

Princip funkce elektroměru určený pro měření stejnosměrného proudu vychází z předpokladu stálého napětí. Množství energie prošlé elektroměrem je pak přímo úměrné vykonané práci. V této kategorii elektroměrů se používají především dva typy:

- Elektrolytický elektroměr
- Magnetoelektrický elektroměr

Elektrolytický elektroměr využívá chemických účinků elektrického proudu na rtuť umístěnou ve skleněné baňce, jež tvoří zároveň anodu. Při průchodu el. proudu elektrolytem se na uhlíkové katodě začne vylučovat rtuť, která skapává do úzké nádoby s rýskou. Výška hladiny rtuti pak udává velikost procházejícího proudu. Princip funkce magnetoelektrického elektroměru je založený na podobném principu jako chod stejnosměrného motoru. [4], [5]

2.3.2 Elektroměry na střídavý proud

Funkce většiny elektrických zařízení je založena na příkonu střídavého proudu, včetně všech chladících strojů, které budou popisovány v analytické části této práce. Elektroměry fungují v zásadě jako wattmetry integrující výkon v čase. Pro okamžitý výkon střídavého proudu platí následující vztah:

$$p(t) = i(t) \cdot u(t) \quad (1)$$

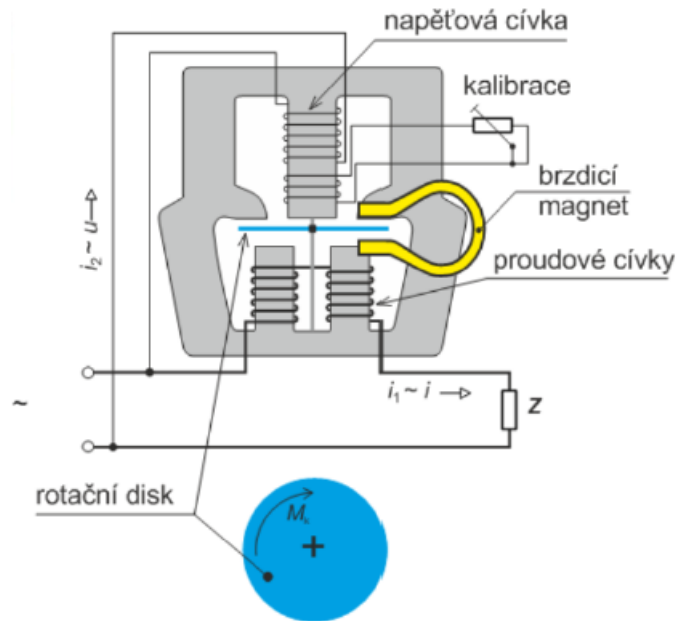
Celková spotřebovaná el. energie, je pak dána časovou integrací okamžitých výkonů:

$$W = \int P(t) \cdot dt \quad (2)$$

Výsledné jednotky jsou tedy udávány ve wattsekundách (Ws), nebo častěji v kilowatthodinách (kWh). [6]

2.3.3 Analogové mechanické elektroměry

Analogové mechanické elektroměry fungují na podobném principu jako asynchronní motory s kotvou na krátko využívající elektromagnetické indukce. Na obr. 2 je schematicky znázorněn princip funkce mechanického elektroměru. Proudová cívka je umístěna pod hliníkovým kotoučem a protéká jí měřený proud. Napěťová cívka se nachází nad kotoučem a díky své konstrukci společně s proudovou cívkou tvoří točivé magnetické pole, které v hliníkovém kotouči indukuje vířivé proudy a uvádí ho do pohybu.



Obr. 2 Schématické znázornění principu funkce mechanického elektroměru [6]

Výsledné množství měřené energie je přímo úměrné změně úhlové odchylky kotouče dle následujícího vztahu. [6], [7]

$$\Delta\alpha = \frac{1}{K_{Wh}} \int_0^t u \cdot i \, dt = \frac{A}{K_{Wh}} \Rightarrow A = K_{Wh} \cdot \Delta\alpha \quad (3)$$

Kde,

$\Delta\alpha$ – změna úhlové odchylky kotouče,

K_{Wh} – konstanta elektroměru daná výrobcem,

A – celková spotřeba el. energie.

Mechanické elektroměry již dosáhly hranice svých technických možností. Vzhledem ke snižujícím se cenám a měnícím se vlastnostem, které lépe odpovídají trendům dnešní automatizační techniky, dochází k jejich nahrazování elektroměry statickými. [8]

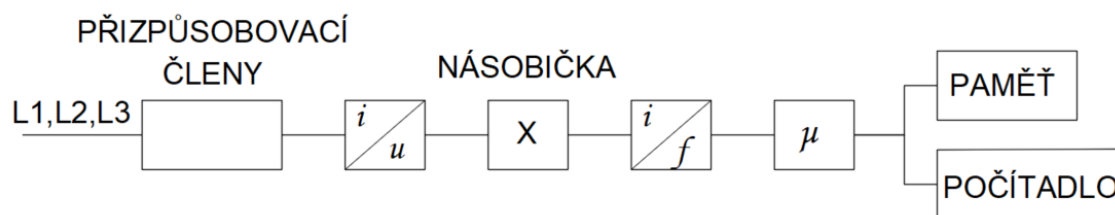
2.3.4 Statické elektroměry

S rozvojem elektroniky se přibližně před 20 lety začaly používat elektroměry založené na principu využívajících elektronických součástek. Tyto elektroměry nemají žádné mechanicky se pohybující součásti, proto se nazývají statické. S ohledem na jejich vlastnosti se používaly především u odběrů vyžadujících velkou přesnost měření, například u odběrů z úrovně vysokého a velmi vysokého napětí, postupem času se ovšem začaly se snižující se cenou používat i pro běžné měření el. energie. Tyto elektroměry se skládají ze snímače proudu v podobě proudových transformátorů, nebo hallových sond, snímačů napětí v podobě odporových děličů a napájecího a zobrazovacího obvodu. Na obr. 3 je znázorněné blokové schéma statického elektroměru. Přizpůsobovací členy zajišťují, aby byly měřené veličiny vhodné k elektronickému zpracování. Další člen je měnič převádějící hodnotu proudu na přímo úměrnou hodnotu napětí. Násobička z něj vytvoří opět proudový signál, který je přímo úměrný součinu napětí a činné složky proudu. Následuje generátor pulsů, který převede proudový signál do určitého kmitočtu úměrného jeho velikosti. Mikroprocesor dále převádí analogové veličiny na digitální, násobí je a na výstupu jsou impulsy s frekvencí, která je úměrná elektrickému výkonu. Pro vyčítání výsledných hodnot z elektroměru existují tři základní způsoby:

- 1) Vyčítání dat pomocí LED indikující spotřebu el. energie
- 2) Vyčítání dat pomocí elektroměrové optické hlavičky
- 3) Pomocí vyvedeného rozhraní S0

V prvním případě se pohybuje výstupní konstanta elektroměru v rozmezí mezi 200 a 10000 imp/kWh podle konkrétního typu. Druhý z uvedených způsobů je přesně definovaný podle normy ČSN EN 62056-21 a umožňuje sledovat kromě celkové spotřeby také další parametry jako například zatížení jednotlivých fází. Záleží ovšem na poskytovateli služeb a konkrétním zařízení. S0 je rozhraní definované normou DIN 43 864, kterým musí disponovat každý statický elektroměr. Typické hodnoty pro výslednou převodní konstantu v S0 rozhraní jsou 250 až 10000 imp/kWh. [8], [6]

V porovnání s mechanickými elektroměry mají statické elektroměry řadu výhod. Umožňují dálkový odečet veličin a mají menší vlastní spotřebu na jejich provoz. Dále vykazují správné měření el. energie i při značně nelineárním průběhu spotřeby. Velká většina z nich disponuje možností dálkového softwarového nastavení parametrů měření a možností nastavení více tarifových pásem.



Obr. 3 Blokové schéma statického elektroměru [8]

2.3.5 Měřicí transformátory proudu

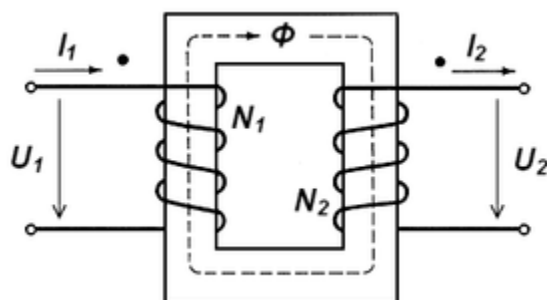
V případě, že je jmenovitý proud hlavního jističe větší než 80 A, používá se pro měření energie, respektive proudu, nepřímé měření a proudový obvod elektroměru je připojen přes měřicí transformátor proudu. Měřený proud I_1 jde primárním vinutím transformátoru a k sekundárnímu vinutí je připojen proudový vstup elektroměru. Měřicí transformátor proudu vždy funguje podle následujícího vztahu. A principu schematicky zobrazeném na obr. 4. [8]

$$\frac{I_1}{I_2} = konst \quad (4)$$

Kde,

I_1 – Proud primárního vinutí hlavního jističe [A],

I_2 – Proud sekundárního vinutí obvodu elektroměru [A].



Obr. 4 Schematické znázornění principu měřicího transformátoru proudu [8]

Konstrukčně lze měřicí transformátory proudu rozdělit na podpěrné průchodové a průchozí. Podle primárního vinutí jsou charakterizovány jako jednozávitové, vícezávitové, smyčkové, tyčové, násuvné, nebo prstencové. Podle dalších parametrů existuje například rozdělení podle počtu jader na jedno jádrové a více jádrové a více jádrové s rozebíratelným magnetickým obvodem. [8]

2.3.6 Princip zaznamenávání dat

Pro možnost hodnocení naměřených dat elektroměry je nezbytné provádět kontinuální záznam. Řada elektroměrů je vybavena integrovanou vnitřní pamětí a inteligentní systémy pro měření spotřeby energie disponují i schopností přímého vyhodnocení. Nejčastějším a nejlevnějším způsobem záznamu dat jsou ovšem datalogery připojené přímo na elektroměr. Datalogery jsou datové záznamníky obvykle napájeny z kompaktní baterie a vybaveny mikroprocesorem. Disponují schopností kumulativního záznamu binárních, či analogových dat. Standardizace protokolů a datových formátů pro zaznamenávání dat se ustálila na třech nejpoužívanějších způsobech zápisu XML, JSON a YAML. Existuje mnoho druhů datalogerů pro záznam různých veličin, jako jsou například teplota, relativní vlhkost, rychlost a směr větru, intenzita světla, kvalita vody a mnoho dalších. [9]

Pro zaznamenávání dat spotřeby energie byl v rámci této práce použit dataloger typu S7021. Přístroj je určen pro sledování a záznam digitálních signálů z externích zařízení. Je vybaven vstupem pro čítání pulsů a binárním vstupem pro záznam času sledované události. Signály jsou připojeny pomocí konektoru. Hodnotám čítače je možno programově přiřadit hodnotu i fyzikální jednotku právě měřené veličiny. Z paměti záznamníku lze naměřené hodnoty přenést pomocí komunikačního adaptéru do osobního počítače k vyhodnocení. Komunikační adaptér je možné mít připojený k záznamníku trvale odečítajícimu a nebude přerušen ani například při stahování dat. Na obr. 5 je fotografie připojení dataloggeru typu S7021 k elektroměru. [10]



Obr. 5 Fotografie připojení dataloggeru S7021 ke statickému elektroměru [11]

3. Analytická část

3.1 Analýza a zpracování naměřených dat

V této kapitole budou podrobně zpracována naměřená data jednotlivých objektů. Forma zpracování dat bude odpovídat postupu popsaném v kapitole *Standardizované vyhodnocení spotřeby energie na chlazení*, ve které byl podrobně popsán standardizovaný postup pro správné zpracování dat. Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách, data z let 2012 až 2016 byla naměřena Ing. Jakubem Šimkem, následně doplněna a vyhodnocena v diplomové práci *Spotřeba energie na chlazení budov* [12]. Data z let 2017 až 2019, byla předmětem zpracování této práce. Zároveň byly použity záznamy z předchozích let pro rozšíření statistického vzorku. Grafická podoba tabulek a grafů vytvořených Ing. Jakubem Šimkem zůstala zachována pro snazší pochopení a případnou návaznost nově naměřených dat. Kapitola o standardizovaném postupu jasně definuje podobu zpracování dat a výrazně usnadní budoucí analýzu, proto budou data všech objektů zpracována totožným způsobem. V následujících podkapitolách bude pro každý objekt uveden také jeho stručný popis zahrnující například umístění a typ budovy, její plochu, či provozní řád. Součástí bude kapitola o klimatizačním systému každého objektu, která bude obsahovat podrobné informace o zdroji chladu, odvodu kondenzačního tepla, využití odpadního tepla, akumulace chladu a případně dalších zařízení klimatizačního systému. Informace o budovách a jejich technických zařízeních sloužících k chlazení objektu jsou podrobně popsány v projektu *Měření a analýza spotřeby energie budov na chlazení pro klimatizaci a vyhodnocení měrných spotřeb pro další využití* [11] a proto zde budou stručně shrnuty pouze základní informace důležité pro vyhodnocení dat.

3.1.1 Budova č. 1

Popis budovy

Prvním objektem je administrativní budova, která se nachází v Liberci v centru města. Je složený ze tří oddělených budov. Budova A (hlavní budova) se skládá z šestnácti nadzemních a tří technických podlaží a se svými 78 m je jednou z nejvyšších administrativních budov v České republice. K budově A jsou přidruženy další dvě budovy B a C. Plocha všech tří budov činí dohromady 14 863 m². V objektu se nachází

přibližně 400 osob v době obvyklého provozu v po-pá od 6:00 do 18:00. O víkendu není objekt využíván. Stručný popis je shrnut do tab. 1. [11]

Tab. 1 Základní popis objektu č. 1

Lokalita	Liberec
Účel objektu	Administrativní budova
Celková podlahová plocha objektu	14 863 m ²
Klimatizovaná podlahová plocha objektu	12 898 m ²
Počet osob	Cca 400
Provozní doba	Po – Pá, 6:00 – 18:00

Klimatizační systém

Od čtvrtého nadzemního podlaží v budově A je větrání zajištěno vysokotlakou klimatizací s parapetními indukčními jednotkami. V 10 NP je umístěna strojovna vzduchotechniky se dvěma jednotkami, pro západní a východní část objektu s výkony 27 200 m³/h a 29 500 m³/h. Zde je primární vzduch upraven a vertikálními rozvody přiveden do indukčních jednotek, které jsou napojeny na rozvody chladicí a topné vody. Mezi čtvrtým a šestnáctým podlaží se celkem nachází přibližně 590 indukčních jednotek adekvátně rozmístěných do kanceláří, aby zajišťovali hygienické požadavky a tepelnou pohodu. Znehodnocený vzduch je odváděn VZT mřížkami do chodeb a pomocí regulační klapky nasáván třemi centrálními šachtami k nízkotlakým ventilátorům. Nízkotlaké ventilátory jsou umístěny v 19 NP a odpadní vzduch je odváděn nad střechu. [11]

Popis zdroje chladu

Ve strojovně chlazení jsou umístěny celkem 3 chladicí stroje (vodní chillery) od firmy DAIKIN. Dva starší z roku 1998, DAIKIN EUWT 180F o výkonu 485kW a el. příkonu 189 kW, dále DAIKIN EUWT 80F o výkonu 214 kW a el. příkonu 72 kW. Tyto stroje používají již zakázané chladivo R22 a proto byly poté využívány pouze ve výkonových špičkách a v roce 2012 byly z provozu vyřazeny. Byly nahrazeny novým chladicím strojem DAIKIN EUW 180MAXY s chladicím výkonem 431 kW a el. příkonem 172 kW. [11]

V tab. 2 je popis chladicích strojů umístěných ve strojovně. Je uveden chladicí výkon, příkon el. energie a chladicí faktor EER.

Tab. 2 Chladicí stroje objektu č. 1

Název	Chladicí výkon (kW)	Elektrický příkon (kW)	EER
DAIKIN EUWT 180F	485	189	2,56
DAIKIN EUWT 80F	214	72	2,97
DAIKIN EUW 180MAXY	431	172	2,5

Odvod kondenzačního tepla

Odvod kondenzačního tepla je zajištěn pomocí tří suchých chladičů, umístěných na střeše energocentrály. Jedná se o chladiče DAIKIN-Thermal GLY490/415 KAV3-N/L o chladicím výkonu 638 kW a el. příkonu 21,6 kW, DAIKIN-Thermal GLY218/185 KAV3-N/L o chladicím výkonu 305 kW a el. příkonu 10,8 kW a DAIKIN KUEBA GAV L09-2x4C o chladicím výkonu 603 kW a chladicím výkonu 16,8 kW. V tab. 3 je opět uveden přehled suchých chladičů. [11]

Tab. 3 Stroje na odvod kondenzačního tepla pro objekt č. 1

Název	Chladicí výkon (kW)	Elektrický příkon (kW)
DAIKIN-Thermal GLY490/415 KAV3-N/L	638	21,6
DAIKIN-Thermal GLY218/185 KAV3-N/L	305	10,8
DAIKIN KUEBA GAV L09-2x4C	603	16,8

Využití odpadního tepla

Odpadní teplo z chladicích okruhů je dále prostřednictvím dvojice deskových výměníků o výkonech 315 kW a 400 kW využíváno pro vytápění objektu. [11]

Akumulace chladu

Chladicí systém neobsahuje akumulární nádobu.

Ostatní zařízení klimatizačního systému

V objektu je dále nainstalováno 6 oběhových čerpadel, 3 pro chlazený okruh a 3 pro chladicí kapalinu. Čerpadla jsou typu WILO IPn 125/280-15/4 o výkonu 15 kW. Dále již zmiňované VZT jednotky ve 4 NP jsou vybaveny chladičem, parním ohříváčem, filtrem

a středotlakým ventilátorem s elektrickým příkonem 25 kW. Pro odvod znehodnoceného vzduchu jsou využity dva nízkotlaké ventilátory o příkonu 3 a 7,5 kW. [11]

Tab. 4 Ostatní zařízení klimatizačního systému pro objekt č. 1

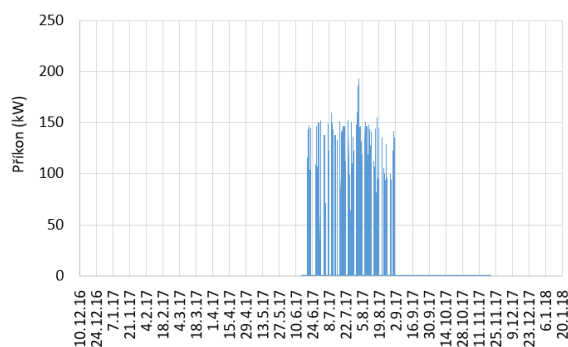
Popis	Název	Elektrický příkon (kW)
Čerpadla chladicího okruhu – 6 ks	WILO IPn 125/280-15/4	90
Přívodní ventilátory VZT jednotek – 2 ks	SIEMENS	50
Odtahové ventilátory – 2 ks	JANKA	10,5

Zpracování naměřených dat

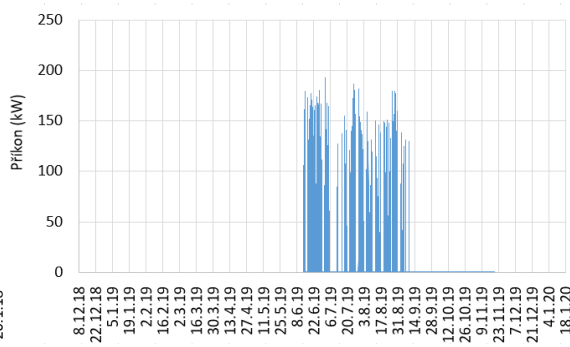
V objektu je předmětem měření chladicí stroj DAIKIN EUW 180MAXY z roku 2004. Měření bylo spuštěno 16. 2 v roce 2012 ve 14:00. Měření el. energie probíhá vždy na jedné fázi na obou instalovaných přívodech. Elektroměr měří celkovou spotřebu el. energie, ovšem údaj na číselníku je nutné vynásobit pěti. Poté hodnota odpovídá spotřebované el. energii v kWh. Tyto data jsou zaznamenávána do dataloggeru a pomocí GSM brány dálkově přenášena. [11]

Záznam dat probíhá v patnáctiminutových intervalech a v tomto případě je odečítána přímo spotřeba el. energie v kWh. Ze zaznamenaných hodnot v konkrétních časových intervalech byl vypočten aktuální příkon chladicího stroje. Na obr. 6, 7, 8 a 9 je graficky znázorněn průběh el. příkonu v letech 2016 až 2019. Z grafů je patrné, že typická hodnota el. příkonu je 150 kW. Nejvyšší příkon zaznamenaný v roce 2016 je 179 kW a byl naměřen 24. 6 ve 14:00. V roce 2017 a 2019 byl v obou případech nejvyšší naměřený příkon 193 kW a to 1. 8 2017 v 15:15 a 1. 7 2019 ve 13:15. Data bohužel nejsou z mnoha důvodů, zmíněných v kapitole o doplňování dat, kompletní. V následující kapitole jsou data podrobně analyzována a v tab. 5, 6, 7, 8 je mimo jiné znázorněn počet dní v každém měsíci ve kterých byl datalogger v provozu. V roce 2018 došlo k totálnímu výpadku měření, které bylo pravděpodobně způsobené nerealizovanou, nebo chybnou výměnou baterie v dataloggeru. Z podrobnější analýzy dat bylo zjištěno, že i data z let 2016, 2017, 2019 nejsou kompletní a bylo zapotřebí využít nástroje pro jejich doplnění. Je zde ovšem patrný také fakt, že v letních měsících, kdy je spotřeba energie na chlazení největší, byl datalogger v provozu. Z toho lze předpokládat, že zmiňovaná maxima příkonu jsou

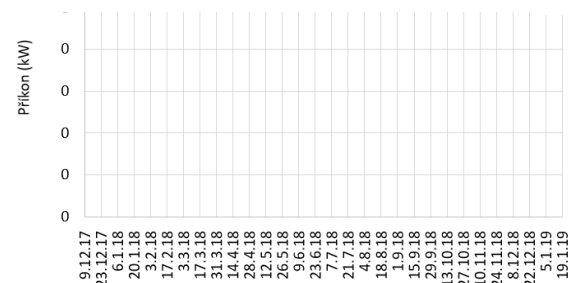
pravděpodobně stanovená správně a nedošlo k jejich překročení v časovém intervalu mimo měření.



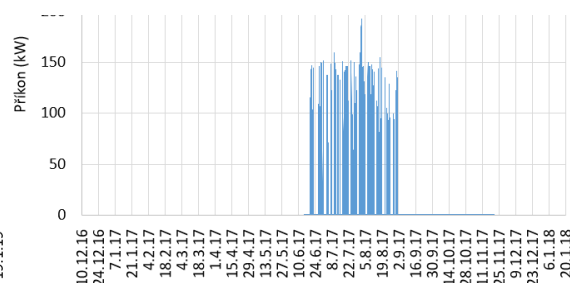
Obr. 6 Elektrický příkon pro rok 2016



Obr. 7 Elektrický příkon pro rok 2017



Obr. 8 Elektrický příkon pro rok 2018



Obr. 9 Elektrický příkon pro rok 2019

Analýza dat

Cílem analýzy dat, bylo určit celkovou spotřebu el. energie. Měsíční a celková spotřeba energie je patrná v tab. 7, 8, 9, 10. V roce 2016, 2017 a 2019 došlo k výpadku měření dat především v zimních a jarních měsících. Nejmarkantnější výpadek byl v každém roce v květnu a části června. V roce 2018 nebyly pořízeny žádné záznamy, a proto roční doplnění dat je jen velice hrubý odhad. Byl proveden na základě průměrů hodnot z ostatních let. Koeficient determinace pro korelaci venkovní teploty a spotřeby energie je příliš malý a doplnění dat tímto způsobem by vykazovalo velkou odchylku od skutečné hodnoty. Na obr. 10 je graf znázorňující naměřenou spotřebu el. energie v jednotlivých měsících pro rok 2012 až 2019. Na obr. 11 je tentýž graf, zahrnující také doplněná data z neměřených časových intervalů. Na první pohled je patrné, že spotřeba po roce 2012 je výrazně nižší než v následujících letech. Pokles lze pravděpodobně vysvětlit instalací tepelného čerpadla, které bylo nainstalováno koncem roku 2012.

Tab. 7 Výsledná data budovy č. 1 z 2016

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]
1	2018	0	0,00%	0	0	
2	2018	0	0,00%	0	0	
3	2018	0	0,00%	0	0	
4	2018	0	0,00%	0	0	
5	2018	0	0,00%	0	0	
6	2018	0	0,00%	0	0	
7	2018	0	0,00%	0	0	
8	2018	0	0,00%	0	0	
9	2018	0	0,00%	0	0	
10	2018	0	0,00%	0	0	
11	2018	0	0,00%	0	0	
12	2018	0	0,00%	0	0	
celkem		0		0	0	66 121
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					12 898	
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					0,0	
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					5,1	

Tab. 8 Výsledná data budovy č. 1 z 2017

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]
1	2017	0	0,00%	0	0	467
2	2017	0	0,00%	0	0	581
3	2017	0	0,00%	0	0	605
4	2017	0	0,00%	0	0	2 322
5	2017	0	0,00%	0	0	4 129
6	2017	8 332	17,49%	17	152	14 703
7	2017	16 534	34,70%	31	160	16 534
8	2017	22 104	46,39%	31	193	22 104
9	2017	595	1,25%	30	135	595
10	2017	447	0,94%	31	1	447
11	2017	286	0,60%	20	1	430
12	2017	0	0,00%	0	0	471
celkem		48 297		160	193	63 386
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					12 898	
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					3,7	
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					4,9	

Tab. 9 Výsledná data budovy č. 1 z 2018

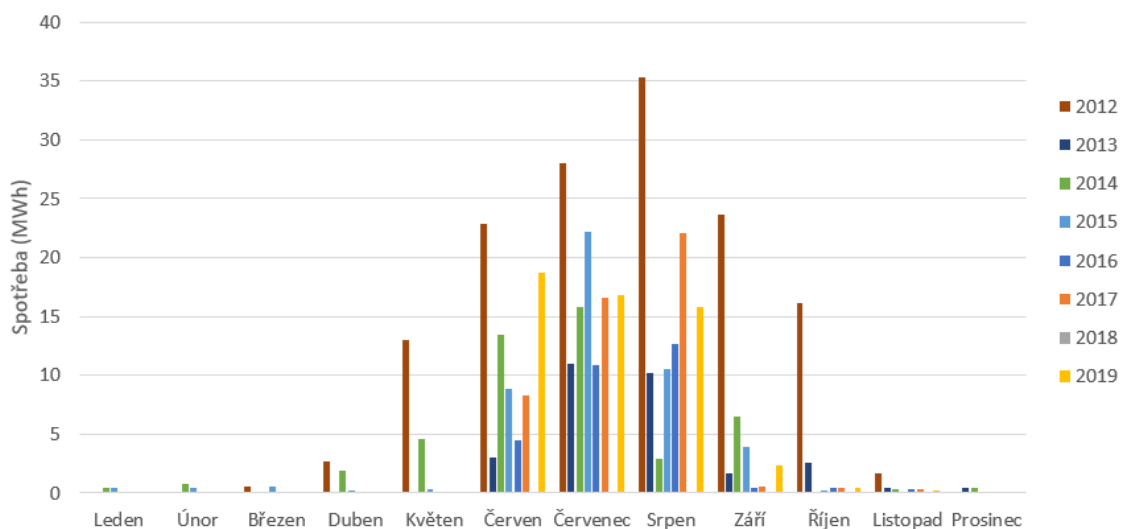
Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]
1	2016	0	0,00%	0	0	451
2	2016	0	0,00%	0	0	621
3	2016	0	0,00%	0	0	513
4	2016	0	0,00%	0	0	2 816
5	2016	0	0,00%	0	0	3 500
6	2016	4 524	15,45%	14	179	10 128
7	2016	10 906	37,24%	31	153	10 906
8	2016	12 669	43,26%	31	152	12 669
9	2016	430	1,47%	30	1	430
10	2016	446	1,52%	31	1	446
11	2016	312	1,06%	22	1	450
12	2016	0	0,00%	0	0	457
celkem		29 286		159	179	43 386
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					12 898	
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					2,3	
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					3,4	

Tab. 10 Výsledná data budovy č. 1 z 2019

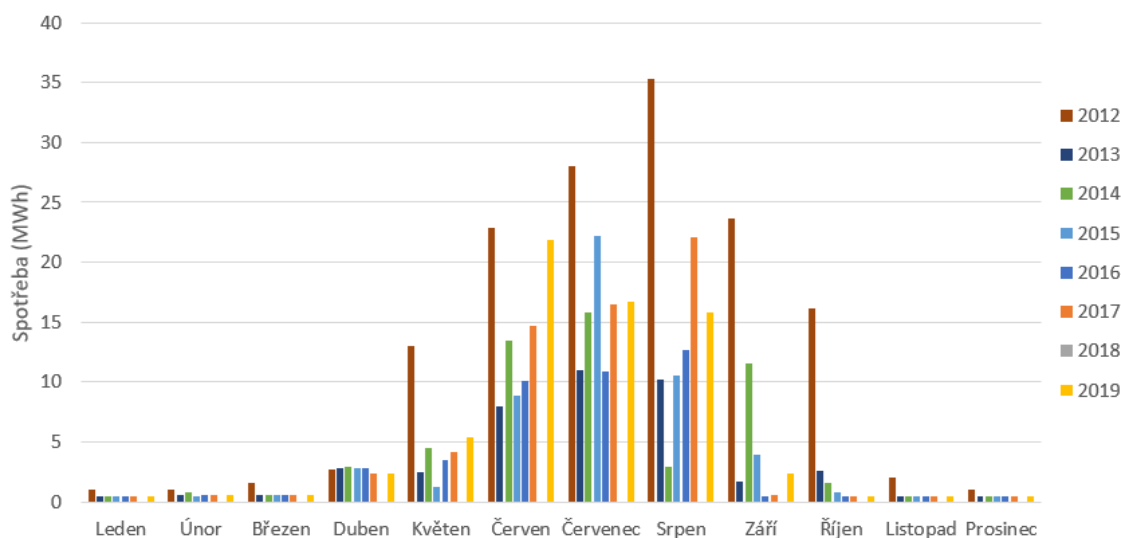
Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]
1	2019	0	0,00%	0	0	467
2	2019	0	0,00%	0	0	581
3	2019	0	0,00%	0	0	605
4	2019	0	0,00%	0	0	2 322
5	2019	0	0,00%	0	0	5 426
6	2019	18 758	39,37%	18	180	21 884
7	2019	16 759	35,17%	31	193	16 759
8	2019	15 848	33,26%	31	180	15 848
9	2019	2 320	4,87%	30	139	2 320
10	2019	445	0,93%	31	1	445
11	2019	265	0,56%	19	1	419
12	2019	0	0,00%	0	0	479
celkem		54 394		160	193	67 553
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					12 898	
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					4,2	
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					5,2	

Čerpadlo přečerpává teplo z jedné strany budovy na druhou, kde jsou vlivem odlišných světových orientací různé solární zisky [12].

Vysoká spotřeba energie byla zaznamenána také v roce 2015 v červenci. Průměrná teplota vzduchu byla v tento měsíc 18,5 °C, což je o 1,4 °C vyšší, než dlouhodobý průměr v letech 1981 až 2010 [13]. Vyšší průměrná teplota pravděpodobně ale nebyla důvodem extrémní spotřeby energie na chlazení, jelikož tentýž rok v srpnu byla průměrná teplota 20,5 °C, což je o 4,1 °C vyšší, než dlouhodobý průměr a spotřeba energie v tento měsíc byla poloviční [13]. Jednalo se pravděpodobně o výrazný nárůst vnitřních zisků, nebo změnu řízení chladicího stroje, či odstavení tepelného čerpadla. K podobným výkyvům došlo také v srpnu 2017 a červenci 2019. Ani v těchto případech, kdy je spotřeba energie výrazně vyšší než v ostatních letech, není možné nárůst vysvětlit vysokou teplotou venkovního vzduchu.

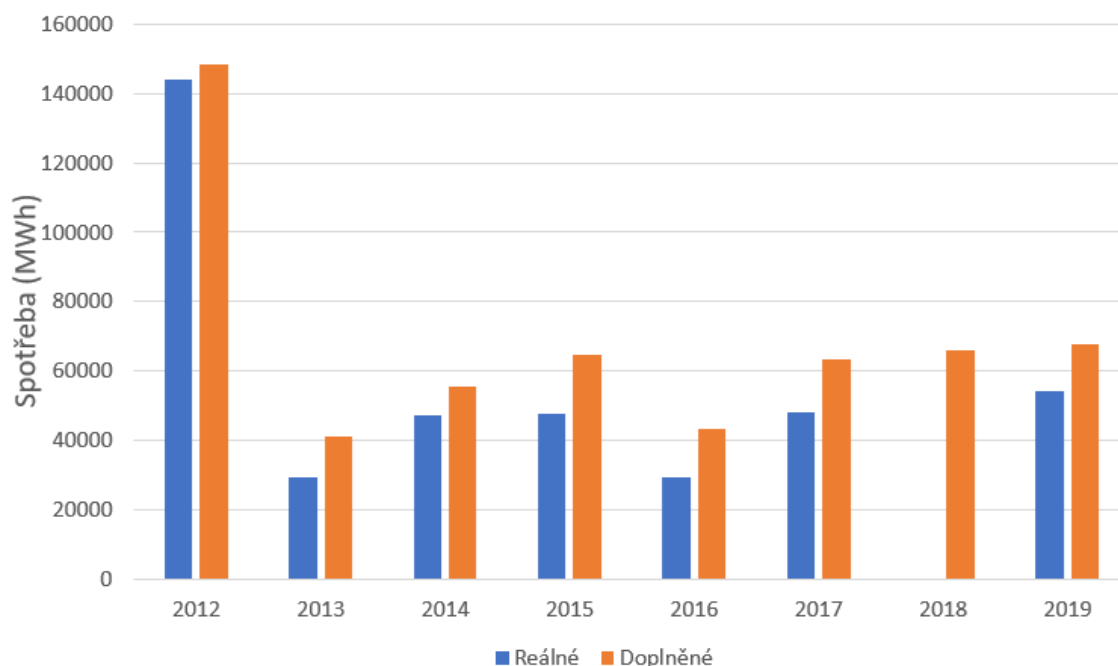


Obr. 10 Naměřená měsíční spotřeba el. energie budovy č.1 v letech 2012 až 2019



Obr. 11 Doplněná měsíční spotřeba el. energie budovy č.1 v letech 2012 až 2019

Z grafů na obr. 10 a 11 je patrné, že k výpadkům měření z pravidla nedocházelo v exponovaných letních měsících. Celková spotřeba roční energie je ale výrazně ovlivněná i zimními a jarními měsíci, dochází-li ke chlazení. Proto je nutné doplnit i je. Na obr. 12 je graf vyjadřující poměr el. energie naměřené a doplněné a zároveň ukazatel celkové roční spotřeby. Velký význam má doplnění dat například v roce 2014 a 2015. V těchto letech byla naměřena přibližně stejná spotřeba a po detekci výpadků v měření a jejich doplnění se ukázalo, že spotřeba energie v roce 2015 je o 9 400 kWh větší.



Obr. 12 Roční spotřeba el. energie pro reálná a doplněná data budovy č. 1 v letech 2012 až 2019

Závěr budovy č. 1

U budovy č. 1 se jednalo převážně o doplnění dat pomocí průměrování ucelených naměřených dat ze stejného období v jiném roce.

Nejvýraznější pokles spotřeby energie byl zaznamenán po roce 2012. Tento jev lze pravděpodobně vysvětlit instalací tepelného čerpadla koncem toho roku. V budově jsou na západní a východní straně budovy různé solární zisky, a tedy i různé požadavky na chlazení. Tepelné čerpadlo přečerpává teplo, nebo chlad z jedné strany budovy na druhou a tím může výrazně snížit spotřebu el. energie na chlazení [12]. V letech 2015, 2017 a 2019 docházelo k výraznému nárůstu spotřeby energie v různých měsících. Příčinu se bohužel nepodařilo přesně identifikovat. Celková roční spotřeba el. energie na chlazení je v těchto letech přibližně stejná. Výsledná měrná spotřeba el. energie bez doplněných dat a dat z roku 2012, které dosahují téměř čtyřnásobných hodnot a dále se již neopakují, proto nebudou brány v potaz, činí $3,3 \text{ kWh/m}^2$. Měrná spotřeba el. energie včetně doplněných dat činí $4,3 \text{ kWh/m}^2$.

3.1.2 Budova č. 2

Popis budovy

Druhý objekt se nachází v Praze a do provozu byl uveden v roce 1996. Skládá se z devíti nadzemních a dvou podzemních podlaží. Podzemní podlaží slouží jako technické zázemí. V 1 NP je umístěn bar, v 2 až 8 NP jsou kancelářské prostory a v 9 NP se nachází restaurace. Objekt je přibližně z 30 % prosklený a neobsahuje žádné vnitřní ani vnější stínící prvky. Důležité parametry objektu jsou popsány v tab. 11.

Tabulka 11 Základní popis objektu č. 2

Lokalita	Praha
Účel objektu	Administrativní budova, restaurace
Celková podlahová plocha objektu	4 524 m ²
Klimatizovaná podlahová plocha objektu	2 700 m ²
Počet osob	Cca 110
Provozní doba	Po – Pá, 7:00 – 21:00

Klimatizační systém

Chlazení objektu je zajištěno čtyřtrubkovým systémem s vodními ventilátorovými konvektory. Chladná voda je od zdroje chladu distribuována k fan-coilům a vzduchotechnickým jednotkám pomocí šesti čerpadel. Pro přívod čerstvého a odvod znehodnoceného vzduchu slouží dvě VZT jednotky. Hlavní VZT jednotka zajišťující kancelářské prostory je vybavena rotačním výměníkem pro zpětné získávání tepla. Druhá jednotka je přidělena restauračním prostorům a pro ZZT využívá deskový výměník. [12]

Popis zdroje chladu

V roce 2011 byl nainstalován nový chladicí stroj Carrier 30 RWA300, umístěný ve strojovně chlazení v 9 NP. V jednotce jsou dva okruhy se dvěma scroll kompresory. Jednotka je vybavena zpětným získáváním tepla a využívá chladivo R4407C. Její technické parametry jsou popsány v tab. 12. [12]

Tabulka 12 Chladicí stroje objektu č. 2

Název	Chladicí výkon (kW)	Elektrický příkon (kW)	EER
Carrier 30 RWA300	291	120	2,46

Odvod kondenzačního tepla

Kondenzační teplo je odváděno pomocí suchých chladičů umístěných na střeše objektu.[11]

Využití odpadního tepla

Chladicí jednotka je vybavena zpětným získáváním tepla. V případě potřeby teplé vody, především v kuchyňských prostorách restaurace, je využit okruh ZZT pro její ohřev.

Akumulace chladu

Chladicí systém je osazen akumulací nádrží o přibližném objemu 2 m³.

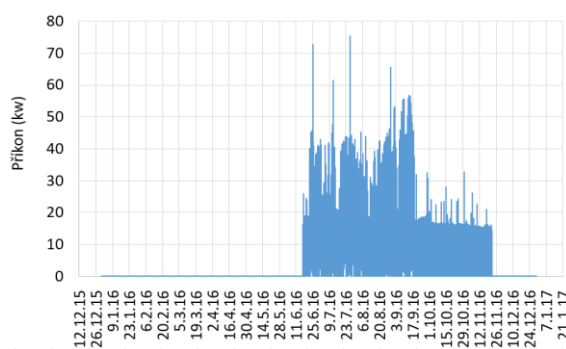
Ostatní zařízení klimatizačního systému

V chladicím systému je umístěno šest čerpadel určený pro distribuci chladicí vody v objektu. Jedná se o čerpadla značky KSB. Čerpadla jsou zapojena ve dvojicích pro přívod, odvod a dvě jako oběhová. Dále je v objektu instalováno samostatné chlazení pro serverovnu, které ovšem není do měření zahrnuto.

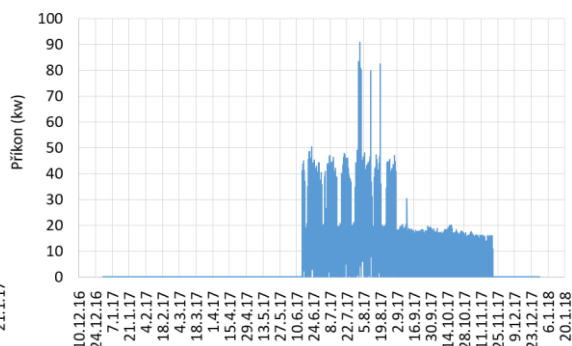
Zpracování naměřených dat

V objektu je měřena spotřeba elektrické energie u chladicího stroje CARRIER 30 RW A300. Měření bylo uvedeno do provozu 10. 3 2012. Jednotka má jeden přívod a spotřeba el. energie je měřena na jedné fázi pomocí MTP (typ KBU 58 300/5, 2,5VA). Převod v elektroměru (typ Maneler 9911D, výr. č. 071817) je nastaven 300/5 A. Pro získání výsledné spotřeby el. energie je třeba vynásobit údaj na číselníku elektroměru třemi. Datalogger (typ S7021) je připojený k elektroměru a data jsou průběžně zaznamenávána a dálkově přenášena přes GSM bránu. Záznam dat probíhá v patnáctiminutových intervalech. Dataloggeru s nastavenou konstantou 4000 imp/kWh a příslušným elektroměrem s nastavením 300/5A, odpovídá přepočít 4000/(300/5) = 66,667, tedy 1 kWh odpovídá 66,667 impulsů. V tomto případě byla nastavena konstanta dataloggeru na 60, poté je odečítána spotřeba el. energie přímo v kWh. Ze zaznamenaných hodnot v konkrétních časových intervalech byl vypočten aktuální příkon chladicího stroje. Na obr. 13, 14, 15 a 16 je graficky znázorněn roční průběh el. příkonu v letech 2016 až 2019. Z grafů je patrné, že v letech 2016, 2017, 2019 v měsících leden až červen pravděpodobně neprobíhalo měření a roce 2018 došlo k úplnému výpadku. Exponované letní měsíce jsou měřeny bez větších datových mezer a průměrný příkon v tomto období je přibližně 40

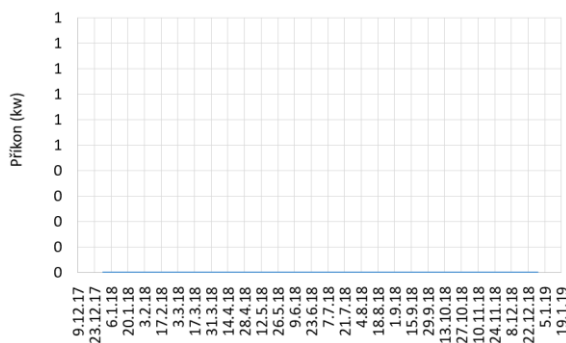
kW. V zimních a podzimních měsících, ve kterých probíhal záznam dat, je průměrný příkon zdroje chladu přibližně 18 kW. Maximální hodnoty příkonu pravděpodobně nejsou ovlivněny výpadkem v měření. V roce 2016 byla maximální hodnota příkonu 75 kW ve 13:30 26. 7, v roce 2017 nastalo maximum 1. 8 v neobvyklé hodině ve 22:30. V roce 2019 byl naměřen maximální příkon 114 kW 26. 6 opět v neobvyklou večerní hodinu ve 21:45. Za naměřená maxima ve večerních hodinách mohl pravděpodobně velký nárůst vnitřních zisků.



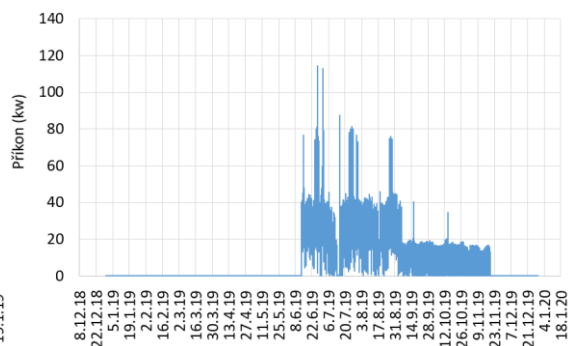
Obr. 13 Elektrický příkon pro rok 2016



Obr. 14 Elektrický příkon pro rok 2017



Obr. 15 Elektrický příkon pro rok 2018



Obr. 16 Elektrický příkon pro rok 2019

Analýza dat

Cílem analýzy dat bylo určit celkovou spotřebu el. energie. Měsíční a celková spotřeba energie je patrná v tab. 13, 14, 15, 16. Z tabulek je také patrný počet měřených dní v každém měsíci. V letech 2016, 2017, 2019 měření neprobíhalo začátkem každého roku až přibližně do poloviny června, kdy začala být data zaznamenávána. Přes exponované letní měsíce měření probíhalo nepřerušovaně až do poloviny listopadu, kde znovu došlo k přerušení sběru dat. V roce 2018 nebyla naměřena žádná data. Výpadek byl

pravděpodobně způsobený vybitím baterie dataloggeru. Pro doplnění chybějících dat byla pro tuto budovu použita metoda založená na korelaci průměrné venkovní teploty a spotřeby energie na chlazení. Vytvořené regresní funkce popisující tuto závislost odpovídá vysoký koeficient determinace 0,93 pro naměřená data. Relativní odchylka od

Tab. 13 Výsledná data budovy č. 2 z 2016 Tab. 14 Výsledná data budovy č. 2 z 2017

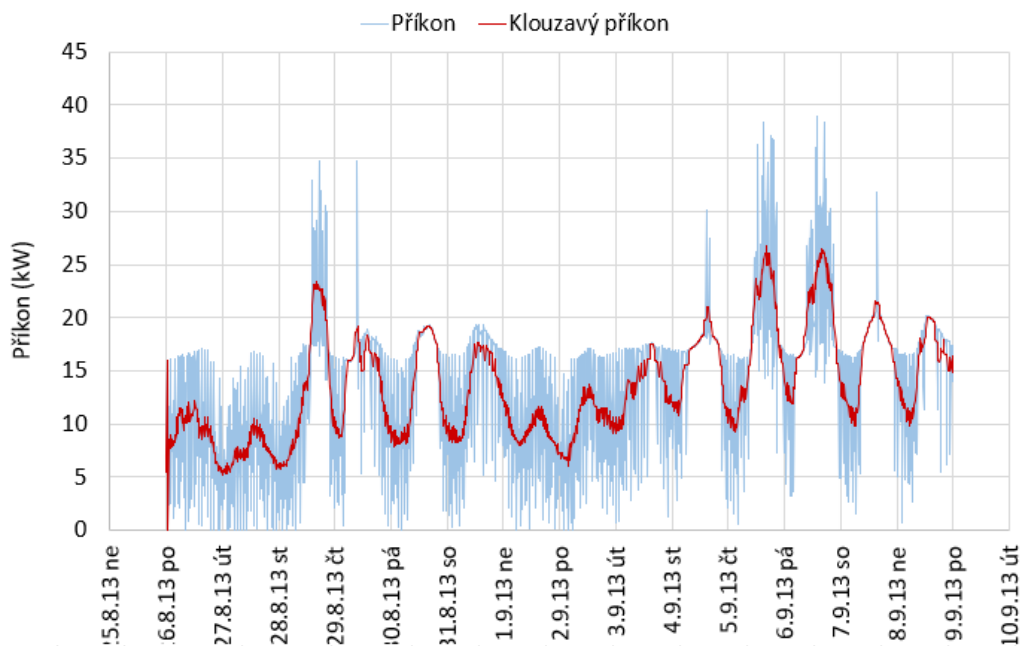
Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]
1	2016	0	0,00%	0	0	2 975	1	2017	0	0,00%	0	0	557
2	2016	0	0,00%	0	0	2 899	2	2017	0	0,00%	0	0	3 179
3	2016	0	0,00%	0	0	5 000	3	2017	0	0,00%	0	0	4 286
4	2016	0	0,00%	0	0	5 914	4	2017	0	0,00%	0	0	4 583
5	2016	0	0,00%	0	0	11 815	5	2017	0	0,00%	0	0	8 595
6	2016	5 324	9,99%	15	73	10 647	6	2017	8 198	11,03%	17	50	14 468
7	2016	12 954	24,30%	31	75	12 954	7	2017	14 800	19,91%	31	83	14 800
8	2016	12 233	22,95%	31	66	12 233	8	2017	15 950	21,46%	31	91	15 950
9	2016	13 098	24,57%	30	57	13 098	9	2017	6 961	9,37%	30	30	6 961
10	2016	6 440	12,08%	31	33	6 440	10	2017	6 459	8,69%	31	20	6 459
11	2016	3 255	6,11%	22	26	3 800	11	2017	2 439	3,28%	20	17	3 659
12	2016	0	0,00%	0	0	3 118	12	2017	0	0,00%	0	0	3 156
celkem		53 303		160	75	90 893	celkem		54 807		160	91	86 652
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]						2 700	klimatizovaná podlahová plocha [m ²]						2 700
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]						19,7	měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]						20,3
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]						33,7	měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]						32,1

Tab. 15 Výsledná data budovy č. 2 z 2018 Tab. 16 Výsledná data budovy č. 2 z 2019

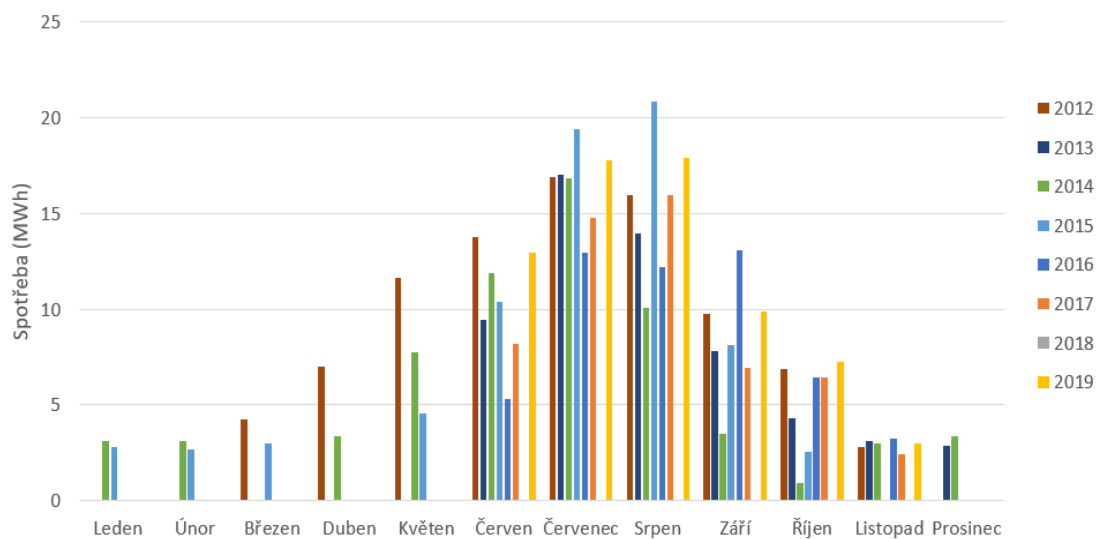
Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]
1	2018	0	0,00%	0	0		1	2019	0	0,00%	0	0	2 584
2	2018	0	0,00%	0	0		2	2019	0	0,00%	0	0	3 289
3	2018	0	0,00%	0	0		3	2019	0	0,00%	0	0	4 232
4	2018	0	0,00%	0	0		4	2019	0	0,00%	0	0	5 482
5	2018	0	0,00%	0	0		5	2019	0	0,00%	0	0	6 226
6	2018	0	0,00%	0	0		6	2019	12 979	17,46%	18	114	21 631
7	2018	0	0,00%	0	0		7	2019	17 811	23,96%	31	113	17 811
8	2018	0	0,00%	0	0		8	2019	17 880	24,06%	31	76	17 880
9	2018	0	0,00%	0	0		9	2019	9 903	13,32%	30	44	9 903
10	2018	0	0,00%	0	0		10	2019	7 280	9,80%	31	35	7 280
11	2018	0	0,00%	0	0		11	2019	2 979	4,01%	19	17	4 703
12	2018	0	0,00%	0	0		12	2019	0	0,00%	0	0	3 375
celkem		0		0	0	111 016	celkem		68 831		160	114	104 396
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]						2 700	klimatizovaná podlahová plocha [m ²]						2 700
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]						0,0	měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]						25,5
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]						41,1	měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]						38,7

skutečné hodnoty je přibližně 9 %.

Na obr. 18 je graf znázorňující naměřenou spotřebu el. energie v jednotlivých měsících pro rok 2012 až 2019. Na obr. 19 je tentýž graf, zahrnující také doplněná data z neměřených časových intervalů. Z grafu na obr. 19 je patrná výrazně větší spotřeba el. energie v září v roce 2013, v srpnu v roce 2015 a červnu v roce 2019. Výkyv v roce 2013 byl pravděpodobně způsoben špatným řízením chladicího zdroje, kdy jeho příkon výrazně kolísal, jak je zobrazeno na grafu na obr. 17. Zbylé dva případy lze vysvětlit výkyvem průměrné měsíční teploty v těchto měsících. V srpnu v roce 2015 byla



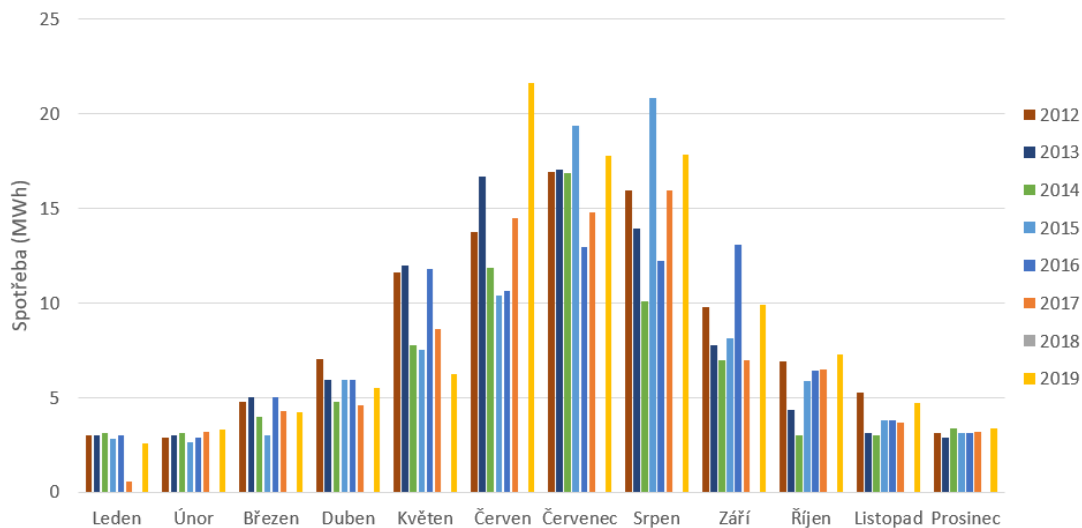
Obr. 17 Čtrnáctidenní průběh příkonu chladicího stroje budovy č. 2 v roce 2013



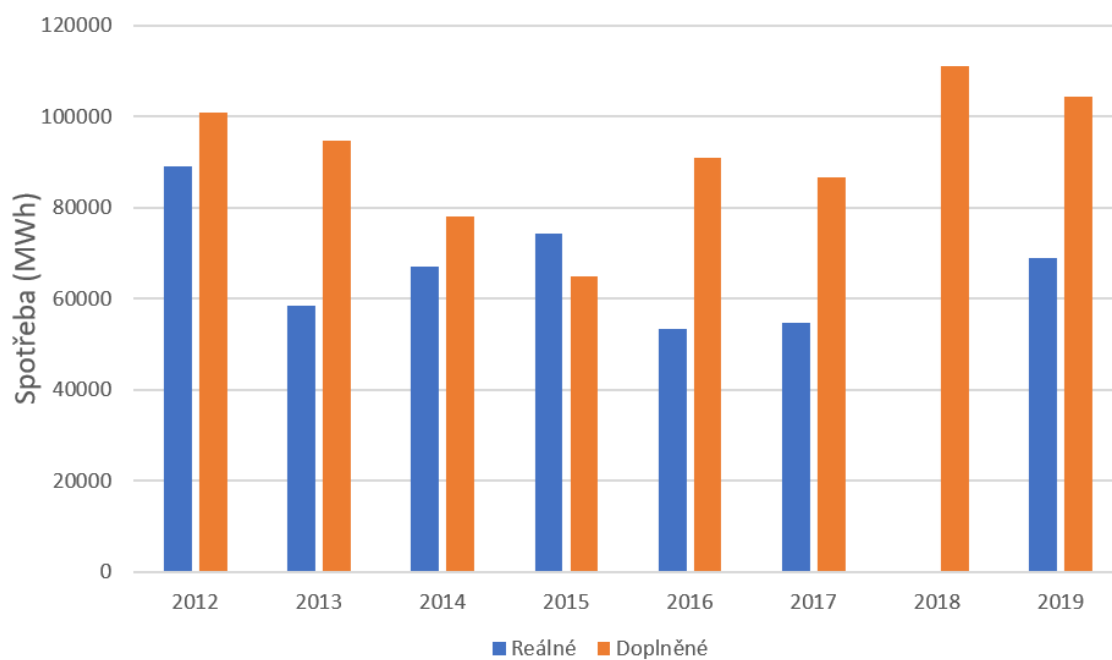
Obr. 18 Naměřená měsíční spotřeba el. energie budovy č.2 v letech 2012 až 2019

průměrná teplota 22,2 °C, což je o 4,2 °C vyšší než dlouhodobý průměr v letech 1981 až 2010. Průměrná teplota v červnu 2019 byla 21,5 °C a o 5 °C vyšší než zmíněný dlouhodobý průměr. Na obr. 20 je znázorněna celková spotřeba el. energie za rok v letech 2012 až 2019. Je zde také patrný poměr naměřené a doplněné el. energie spotřebované na chlazení. Doplnění dat je nejvíce znatelné v letech 2016, 2017 a 2019. Doplnění chybějícího roku 2018 je pouze odhad a nelze z něj vyvozovat závěry. Obecně ale lze říci, že se spotřeba el. energie od roku 2015 zvýšila, za což pravděpodobně může změna

vnitřních zisků, jelikož průměrná roční teplota kolísala kolem dlouhodobého průměru a neproběhla žádná výrazná změna ve způsobu řízení.



Obr. 19 Doplněná měsíční spotřeba el. energie budovy č.2 v letech 2012 až 2019



Obr. 20 Roční spotřeba el. energie pro reálná a doplněná data budovy č. 2 v letech 2012 až 2019

Závěr budovy č. 2

U budovy č. 2 se jednalo o doplnění dat založených na závislosti spotřeby energie na chlazení a venkovní průměrné teploty.

Měsíční průběh spotřeby el. energie na chlazení byl v průběhu měřených let podobný a k výraznějším výkyvům došlo pouze třikrát. V září v roce 2013, v srpnu v roce 2015 a červnu v roce 2019. Výkyv v roce 2013 byl pravděpodobně způsoben špatným řízením chladicího zdroje, kdy jeho příkon výrazně kolísal. Zbylé dva případy lze vysvětlit výrazným zvýšením průměrné měsíční teploty v těchto měsících. Roční spotřeba el. energie na chlazení v letech 2018 a 2019 vzrostla. Data jsou ovšem neucelená a velká část musela být doplněna, tudíž nárůst roční spotřeby energie v těchto letech je pouze orientační. Průměrná měrná spotřeba el. energie v letech 2012 až 2019 z naměřených hodnot je 24,6 kWh/m², při započtení doplněných dat činí 35,2 kWh/m².

3.1.3 Budova č. 3

Popis budovy

Další objekt se nachází v Liberci a byl dostaven v roce 2006. Budova se skládá ze 4 nadzemních podlaží. V prvním podlaží je umístěno obchodní centrum, ve zbylých se nachází restaurace a 18 nájemních ploch. Na střeše objektu je venkovní parkoviště. Důležité parametry objektu jsou popsány v tab. 16. [11]

Tabulka 16 Základní popis objektu č. 3

Lokalita	Liberec
Účel objektu	Obchodní dům, restaurace
Celková podlahová plocha objektu	9 194 m ²
Klimatizovaná podlahová plocha objektu	7 815 m ²
+	Nelze specifikovat, proměnlivý
Provozní doba	Po – Ne, 7:00 – 21:00

Klimatizační systém

Klimatizace objektu je realizována pomocí vícezónového vzduchového systému. Objekt je rozdělen do tří zón. Jedná se o obchodní plochy, administrativní prostory a restaurace. Vzduchový systém zajišťuje mimo chlazení přívod čerstvého a odvod znehodnoceného vzduchu. Každá zóna je vybavenou vlastní VZT jednotkou napojenou na samostatnou větev chlazení. Chladícím médiem je voda, která je přiváděna ze zdroje chladu přes rozdělovač ve 4. NP k VZT jednotkám. Teplotní spád na chlazení je 7/12 °C. [11]

Popis zdroje chladu

Zdrojem chladu je chladicí jednotka TRANE RTAC 200 SE LN. Jednotka využívá chladivo R404A. Je regulována na základě vnitřní teploty objektu a v provozu je při venkovní teplotě větší než 20 °C. Technické parametry jsou popsány v tab. 17. [11]

Tabulka 17 Chladicí stroje objektu č. 3

Název	Chladicí výkon (kW)	Elektrický příkon (kW)	EER
TRANE RTAC 200 SE LN	701	295	2,3

Odvod kondenzačního tepla

Kondenzační teplo je odváděno pomocí dvou suchých chladičů umístěných na střeše objektu.[11]

Využití odpadního tepla

Odpadní teplo z chlazení není v tomto objektu využíváno.

Akumulace chladu

V systému chlazení je instalována akumulační nádrž chladu Reflex o objemu 2 m³.

Ostatní zařízení klimatizačního systému

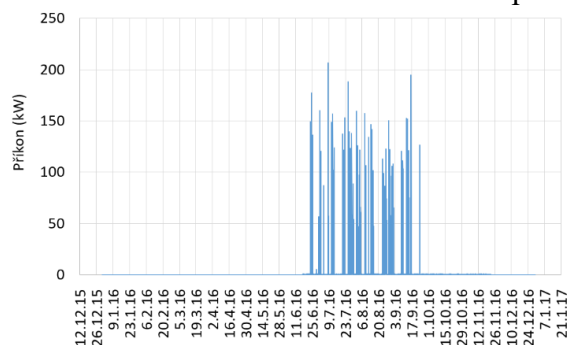
Pro rozvod chladicí vody jsou v chladícím systému umístěna dvě čerpadla popsané v tab. 18.

Tabulka 18 Ostatní zařízení klimatizačního systému pro objekt č. 3

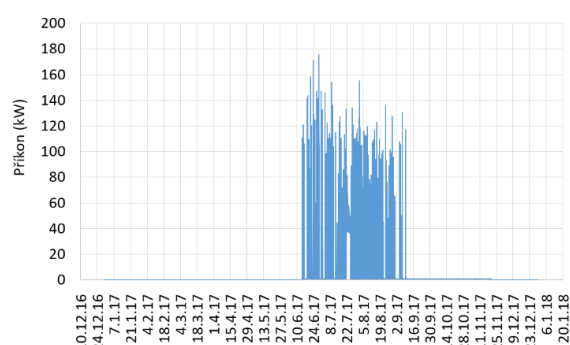
Popis	Název	Elektrický příkon (kW)
Čerpadla chladicího okruhu – 2 ks	SIEMENS	15

Zpracování naměřených dat

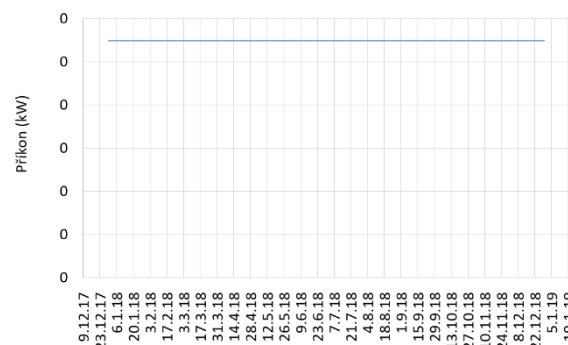
V objektu je měřena spotřeba elektrické energie u chladicího stroje TRANE RTAC 200SE LN. Měření bylo uvedeno do provozu 7. 5 2012. Spotřeba el. energie je měřena na třech fázích pomocí MTP (typ MBS 600/5A, kl. 0,5, 10VA). Z třífázového elektroměru (STATIC ENERGY METER KWZ-3PH-I5, 3x230/400V, 5(6)A) je optický LED výstup do dataloggeru s konstantou 40 000 imp./kWh. Tudiž 1 kWh odpovídá 333,333 impulsů ($40\,000/(600/5) = 333,333$). V dataloggeru byl nastaven převod a zaznamenávaná data jsou přímo v kWh. Záznam dat probíhá v patnáctiminutových intervalech a ze zaznamenaných hodnot v konkrétních časových intervalech byl vypočten aktuální příkon chladicího stroje. Na obr. 21, 22, 23 a 24 je graficky znázorněn roční průběh e.l. příkonu v letech 2016 až 2019. Z grafů je patrné, že v letech 2016, 2017, 2019 v měsících leden až červen, části listopadu a v prosinci, neprobíhalo měření a roce 2018 došlo k úplnému výpadku. Stejně jako budovy č. 1 a 2, jsou i zde letní měsíce měřeny bez větších datových mezer. A lze tedy určit hodnoty maximálních příkonů v těchto letech. V roce 2016 byla maximální hodnota příkonu 207 kW a nastala 8. 7 2016 ve 13:30, v roce 2017 176 kW dne 28. 6 v 17:30. Maximální hodnota příkonu v roce 2019 byla 134 kW v neobvyklou hodinu a to 26. 6 v 6:30. Již z těchto grafů je patrné, že se průměrný příkon v průběhu posledních let snižuje. V roce 2016 byl průměrný příkon přibližně 150 kW, v roce 2017 cca 120 kW a v roce 2019 přibližně 100 kW.



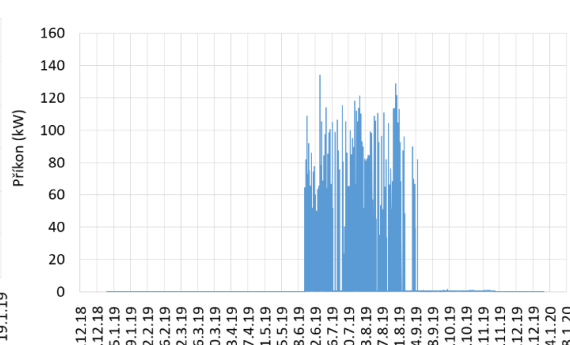
Obr. 21 Elektrický příkon pro rok 2016



Obr. 22 Elektrický příkon pro rok 2017



Obr. 23 Elektrický příkon pro rok 2018



Obr. 24 Elektrický příkon pro rok 2019

Analýza dat

Cílem analýzy dat bylo určit celkovou spotřebu el. energie. Měsíční a celková spotřeba energie je patrná v tab. 19, 20, 21, 22. Z tabulek je také patrný počet měřených dní v každém měsíci. V letech 2016, 2017, 2019 měření neprobíhalo začátkem každého roku až přibližně do poloviny června, kdy začala být data zaznamenávána. Přes exponované letní měsíce měření probíhalo nepřerušovaně až do poloviny listopadu, kde znovu došlo k přerušení sběru dat. V roce 2018 nebyla naměřena žádná data. Výpadek byl pravděpodobně způsoben vybitím baterie dataloggeru. Pro doplnění chybějících dat byla pro tuto budovu použita metoda založená na korelaci průměrné venkovní teploty a spotřeby energie na chlazení. Vytvořené regresní funkci popisující tuto závislost odpovídá vysoký koeficient determinace s hodnotou 0,98 pro naměřená data. Relativní odchylka od skutečné hodnoty je přibližně 7 %. Na obr. 25 je graf znázorňující

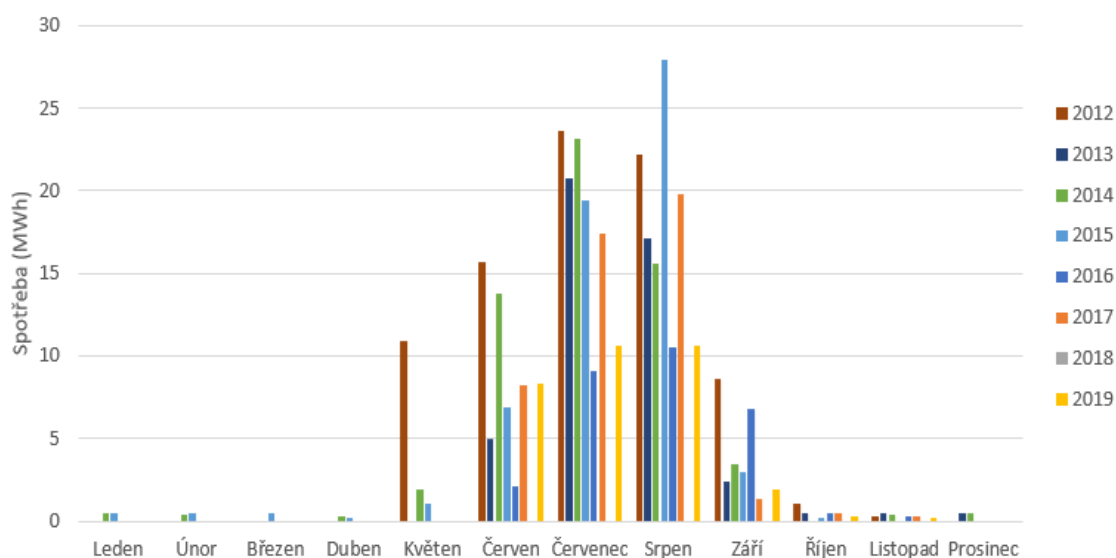
Tab. 19 Výsledná data budovy č. 3 z 2016 Tab. 20 Výsledná data budovy č. 3 z 2017

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]		
1	2016	0	0,00%	0	0	502	1	2017	0	0,00%	0	0	502		
2	2016	0	0,00%	0	0	425	2	2017	0	0,00%	0	0	575		
3	2016	0	0,00%	0	0	487	3	2017	0	0,00%	0	0	183		
4	2016	0	0,00%	0	0	500	4	2017	0	0,00%	0	0	218		
5	2016	0	0,00%	0	0	6 699	5	2017	0	0,00%	0	0	5 150		
6	2016	2 133	7,29%	14	177	12 121	6	2017	8 277	13,77%	17	176	14 607		
7	2016	9 049	30,94%	31	207	9 049	7	2017	17 369	28,89%	31	154	17 369		
8	2016	10 484	35,85%	31	160	10 484	8	2017	19 847	33,02%	31	155	19 847		
9	2016	6 817	23,31%	30	195	6 817	9	2017	1 382	2,30%	30	131	1 382		
10	2016	447	1,53%	31	1	447	10	2017	476	0,79%	31	1	476		
11	2016	315	1,08%	22	1	474	11	2017	292	0,49%	20	1	438		
12	2016	0	0,00%	0	0	502	12	2017	0	0,00%	0	0	582		
celkem		29 246		159	207	48 509	celkem		47 643		160	176	61 329		
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					7 815			klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					7 815		
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					3,7			měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					6,1		
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					6,2			měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					7,8		

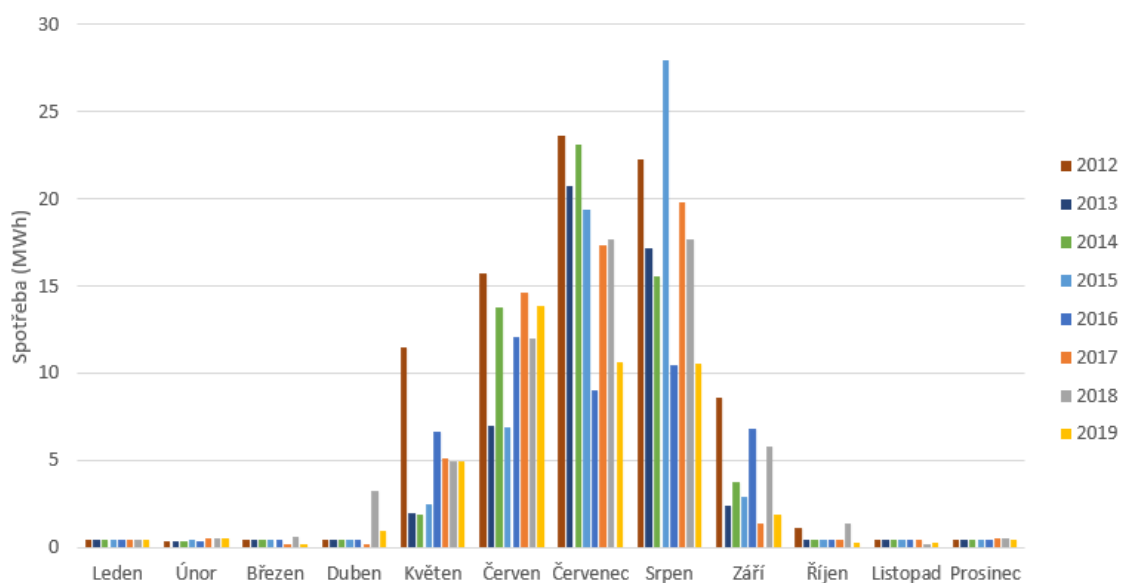
Tab. 21 Výsledná data budovy č. 2 z 2018 Tab. 22 Výsledná data budovy č. 2 z 2019

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]		
1	2018	0	0,00%	0	0	505	1	2019	0	0,00%	0	0	451		
2	2018	0	0,00%	0	0	550	2	2019	0	0,00%	0	0	525		
3	2018	0	0,00%	0	0	606	3	2019	0	0,00%	0	0	183		
4	2018	0	0,00%	0	0	3 241	4	2019	0	0,00%	0	0	969		
5	2018	0	0,00%	0	0	4 958	5	2019	0	0,00%	0	0	4 958		
6	2018	0	0,00%	0	0	12 000	6	2019	8 345	13,88%	18	134	13 908		
7	2018	0	0,00%	0	0	17 707	7	2019	10 662	17,74%	31	121	10 662		
8	2018	0	0,00%	0	0	17 682	8	2019	10 598	17,63%	31	129	10 598		
9	2018	0	0,00%	0	0	5 807	9	2019	1 920	3,19%	30	96	1 920		
10	2018	0	0,00%	0	0	1 435	10	2019	288	0,48%	31	1	288		
11	2018	0	0,00%	0	0	206	11	2019	187	0,31%	19	1	295		
12	2018	0	0,00%	0	0	552	12	2019	0	0,00%	0	0	462		
celkem		0		0	0	65 249	celkem		31 999		160	134	45 218		
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					7 815			klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					7 815		
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					0,0			měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					4,1		
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					8,3			měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					5,8		

naměřenou spotřebu el. energie v jednotlivých měsících pro rok 2012 až 2019. Na obr. 26 je tentýž graf, zahrnující také doplněná data z neměřených časových intervalů. Z grafů je patrné, že spotřeba energie v roce 2012 byla ve všech měsících výrazně vyšší než v následujících letech. Snížení spotřeby energie v následujících letech se nepodařilo objasnit, jelikož neproběhla výrazná změna řízení provozu, jako například vypnutí stroje přes víkend, ani nenastaly výrazné výkyvy teplot. Z grafu na obr. 26 je patrná výrazná spotřeba v srpnu v roce 2015. Nejpravděpodobnějším vysvětlením nárůstu spotřeby el. energie je vysoká průměrná teplota venkovního vzduchu v tomto měsíci, která byla 20,5 °C, zatímco dlouhodobý průměr pro tuto lokalitu a měsíc činí 16,4 °C. Vyšší spotřeba



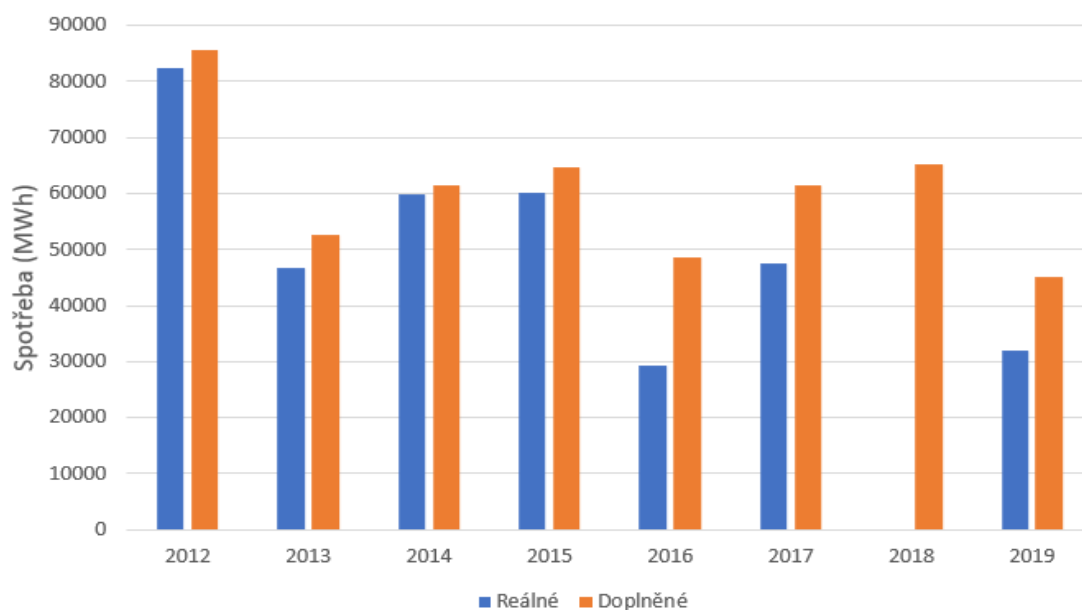
Obr. 25 Naměřená měsíční spotřeba el. energie budovy č.3 v letech 2012 až 2019



Obr. 26 Doplněná měsíční spotřeba el. energie budovy č.3 v letech 2012 až 2019

v srpnu byla také v letech 2017 a 2018, kde byla také vyšší venkovní průměrná teplota. V obou případech se jednalo zvýšení o 1,2 °C.

Na obr. 27 je graf na němž je patrné, jaký je poměr mezi hodnotami spotřeby el. energie na chlazení, které byly naměřeny a které bylo za potřebí doplnit. Nejvíce datových výpadků bylo zaznamenáno v roce 2016, 2019 a celém roce 2018. Dále je zde znázorněna celková roční spotřeba energie. V roce 2012 byla celková spotřeba výrazně vyšší než v následujících letech, dosahovala hodnoty 85 647 kWh. V letech 2014, 2015, 2017, 2018 byla roční spotřeba energie na chlazení přibližně 60 000 kWh. Nejnižší spotřeba 45 000 kWh byla v roce 2019.



Obr. 27 Roční spotřeba el. energie pro reálná a doplněná data budovy č. 3 v letech 2012 až 2019

Závěr budovy č. 3

U budovy č. 3 se jednalo o doplnění dat založených na závislosti spotřeby energie na chlazení a venkovní průměrné teploty. Největší spotřeba el. energie na chlazení byla u tohoto objektu zaznamenána v roce 2012, kdy celková roční spotřeba činila 85 000 kWh. Vyšší spotřeba energie v tomto roce je patrná ve všech měsících chlazení budovy. Pokles spotřeby v dalších letech se bohužel nepovedlo identifikovat. Nejmarkantnější měsíční výkyv byl naměřen v srpnu v roce 2015, kdy byla zaznamenána výrazně vyšší průměrná měsíční teplota oproti dlouhodobý průměr. Průměrná měrná spotřeba el. energie v letech 2012 až 2019 z naměřených hodnot je 6,5 kWh/m², při započtení doplněných dat činí 7,7 kWh/m².

3.1.4 Budova č. 4

Popis budovy

Čtvrtým objektem je administrativní budova nacházející se v Praze 5 v městské části Zličín. Budova byla postavena v roce 2005 a má dvě podzemní a pět nadzemních podlaží. V podzemních podlaží jsou umístěny parkoviště a sklady. První čtyři nadzemní podlaží v objektu slouží jako kanceláře a obchodní prostory. Páté patro slouží jako technické zázemí objektu, je zde strojovna chlazení, vzduchotechniky a kotelna. Další důležité parametry a informace objektu jsou popsány v tab. 13. [11]

Tab. 23 Základní popis objektu č. 4

Lokalita	Praha 5 - Zličín
Účel objektu	Administrativní budova
Celková podlahová plocha objektu	16 000 m ²
Klimatizovaná podlahová plocha objektu	6 500 m ²

Klimatizační systém

V objektu je vícezónový vzduchotechnický systém, který v kombinaci s ventilátorovými konvektory zajišťuje vytápění, chlazení a větrání budovy. Ve strojovně vzduchotechniky v 5. NP se nachází celkem šest VZT jednotek. Čtyři slouží pro přívod a dvě pro odvod vzduchu. Přívodní VZT jednotky jsou vybaveny regeneračním rotačním výměníkem s proměnlivými otáčky. Vzduch je v jednotkách upravován na podmínky vnitřního prostředí a izotermicky přiváděn do objektu. Znehodnocený vzduch je odtahován mřížkami v podhledu do vertikálního VZT potrubí. Přívod i odvod vzduchu je řízen regulátorem průtoku vzduchu pro každé patro. Jako zdroj chladu pro VZT jednotky a ventilátorové konvektory, které slouží pro odvod tepelných zisků, slouží chladicí jednotky umístěné v 5. NP ve strojovně chlazení.

Popis zdroje chladu

Jako zdroj chladu pro ventilátorové konvektory a VZT jednotky slouží dvojice jednotek TRANE RTHD C2-D5-E4. Jednotka využívá chladivo R134a. [11] V tab. 24 je popis parametrů chladících strojů umístěných ve strojovně chlazení v 5. NP.

Tab. 24 Chladící stroje objektu č. 4

Název	Chladicí výkon (kW)	Elektrický příkon (kW)	EER
2 x TRANE RTHD C2-D5-E4	886	157,2	5,16

Odvod kondenzačního tepla

Kondenzační teplo je odváděno pomocí dvojice uzavřených chladičů od firmy EVAPCO, umístěných na střeše objektu. Jedna chladicí věž disponuje chladícím výkonem 1 046 kW. [11]

Akumulace chladu

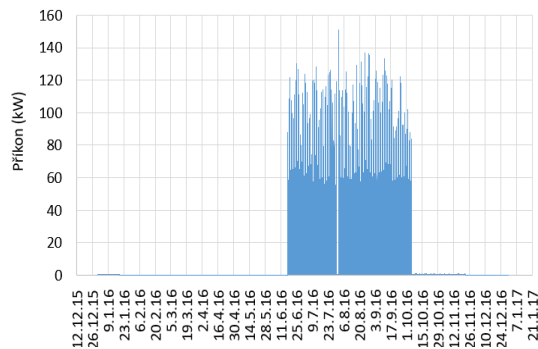
Chladicí systém je osazen akumulací nádrží o přibližném objemu 4 m³.

Zpracování naměřených dat

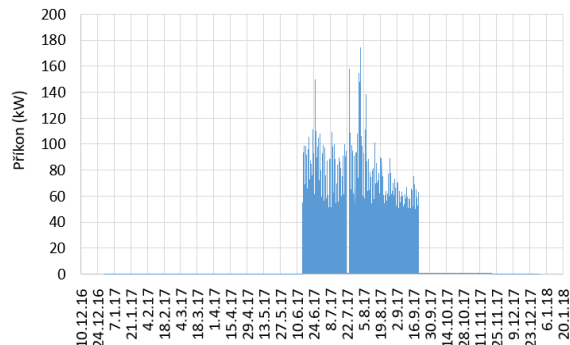
V objektu je měřena spotřeba elektrické energie u dvou chladících strojů TRANE RTHD C2-D5-E4. Měření bylo uvedeno do provozu 14. 3 2012. Spotřeba el. energie je měřena na třech fázích pomocí MTP 400/5A a dvou elektroměrů označených PJ02 a PJ03. Oba elektroměry jsou typu E4610 Cl.1, 3x230/400V, 5A, výstup LED RL = 10 000 imp/kWh, výstup RA = 1 000 imp/kWh. Propojení dataloggerů a optosnímačů je realizováno kabelem TRONIC-CYKLIY-CY2x0,14. Vstupní veličina dataloggeru je tedy určena tak, že 1 kWh odpovídá 125 impulsů ($40\,000/(400/5) = 125$). V dataloggeru byla opět nastavena převodní konstanta a výstupní data odpovídají přímo kWh. [11]

Záznam dat probíhá v patnáctiminutových intervalech a ze zaznamenaných hodnot v konkrétních časových intervalech byl vypočten aktuální příkon chladícího stroje. Na obr. 28, 29, 30 a 31 je graficky znázorněn roční průběh el. příkonu v letech 2016 až 2019. Z grafů je opět patrné, že v roce 2018 neprobíhalo měření. V ostatních letech došlo k výpadku na začátku a na konci roku, letní měsíce jsou naštěstí kompletní. Lze tedy určit maxima el. příkonu v těchto letech. V roce 2016 byl naměřen maximální příkon 151 kW dne 1.8 v 8:45, maximum v roce 2017 bylo 174 kW dne 2. 8 v 11:00. Na obr. 31 pro rok 2019 je patrné, že se výrazně zvýšil příkon zdroje chladu v zimních měsících a maximum, které odpovídá 195 kW nastalo 25. 10 ve 14:45. Mezi rokem 2016

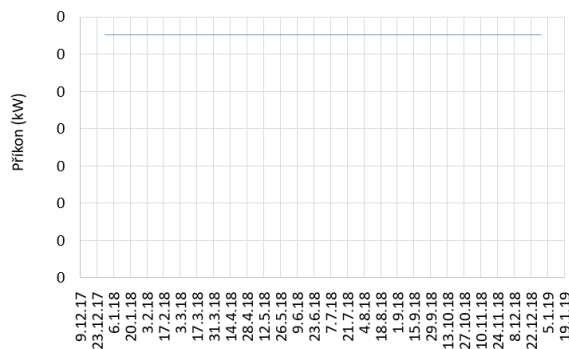
a 2017 došlo ke snížení průměrného příkonu. V roce 2019 naopak došlo k rapidnímu zvýšení příkonu. Bohužel nejsou k dispozici data z roku 2018 aby bylo možné určit co navýšení předcházelo.



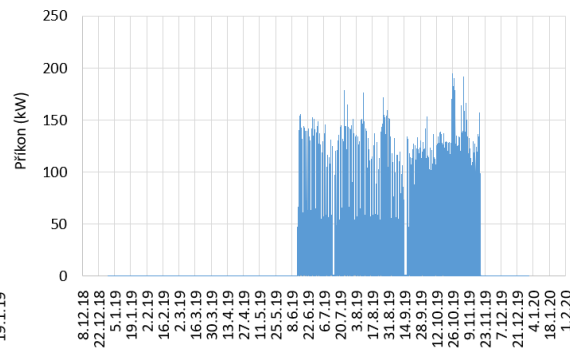
Obr. 28 Elektrický příkon pro rok 2016



Obr. 29 Elektrický příkon pro rok 2017



Obr. 30 Elektrický příkon pro rok 2018



Obr. 31 Elektrický příkon pro rok 2019

Analýza dat

Cílem analýzy dat bylo určit celkovou spotřebu el. energie. Měsíční a celková spotřeba energie je patrná v tab. 25, 26, 27, 28. Z tabulek je také patrný počet měřených dní v každém měsíci. V letech 2016, 2017, 2019 měření neprobíhalo začátkem každého roku a také na jejich konci. Přes exponované letní měsíce měření probíhalo nepřerušovaně. V roce 2018 nebyla naměřena žádná data. Výpadek byl pravděpodobně způsobený vybitím baterie dataloggeru. Pro doplnění chybějících dat byla pro tuto budovu použita kombinace metody založená na korelaci průměrné venkovní teploty a spotřeby energie na chlazení a průměrování z naměřených dat stejného období v jiném roce. Metoda odhadu z průměrné měsíční teploty vykazuje relativní odchylku asi 16 %. V měsících, kdy spotřeba energie byla menší, byla použita metoda průměrů, jelikož vykazovala menší chybu.

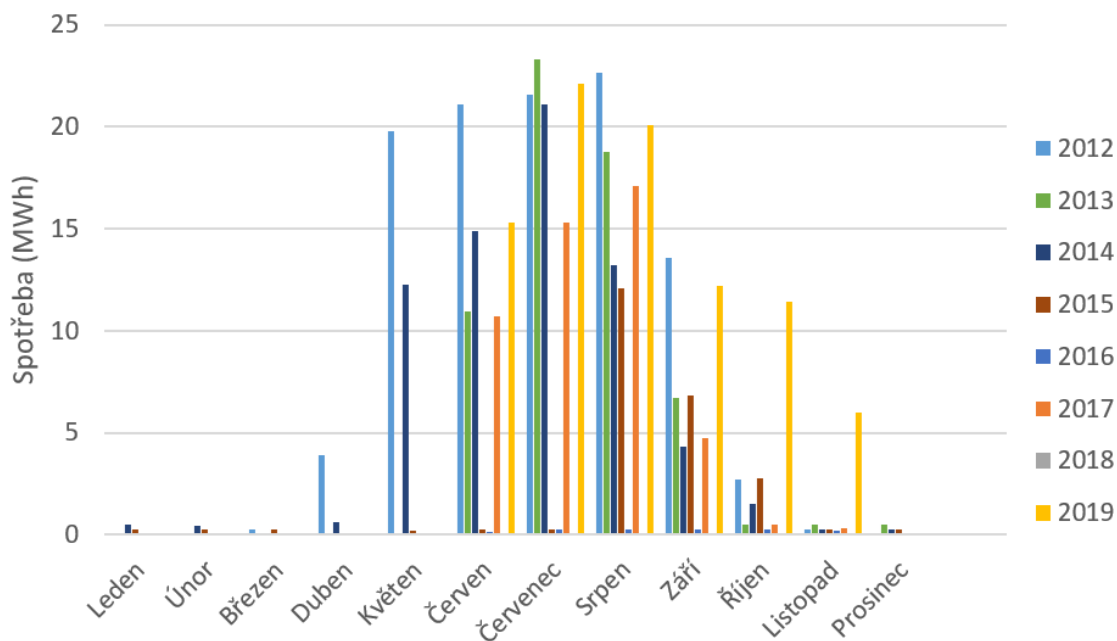
Tab. 25 Výsledná data budovy č. 4 z 2016 Tab. 26 Výsledná data budovy č. 4 z 2017

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]
1	2016	154	0,26%	19	0,4	502	1	2017	0	0,00%	0	0,0	502
2	2016	0	0,00%	0	0,0	489	2	2017	0	0,00%	0	0,0	489
3	2016	0	0,00%	0	0,0	500	3	2017	0	0,00%	0	0,0	500
4	2016	0	0,00%	0	0,0	3 599	4	2017	0	0,00%	0	0,0	3 599
5	2016	0	0,00%	0	0,0	13 899	5	2017	0	0,00%	0	0,0	16 713
6	2016	7 848	13,45%	14	130,3	15 713	6	2017	10 707	45,18%	17	149,3	18 895
7	2016	17 328	29,70%	31	128,0	17 328	7	2017	15 323	64,65%	31	157,4	15 323
8	2016	15 986	27,40%	31	150,8	15 986	8	2017	17 091	72,11%	31	174,3	17 091
9	2016	14 745	25,27%	30	133,2	14 745	9	2017	4 739	20,00%	30	75,0	4 739
10	2016	1 928	3,30%	31	101,8	1 928	10	2017	521	2,20%	31	0,8	521
11	2016	363	0,62%	22	0,8	495	11	2017	333	1,41%	21	0,8	488
12	2016	0	0,00%	0	0,0	506	12	2017	0	0,00%	0	0,0	506
celkem		58 352		0	151	85 689	celkem		48 714		161	174	79 366
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					6 500		klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					6 500	
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					9,0		měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					7,5	
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					13,2		měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					12,2	

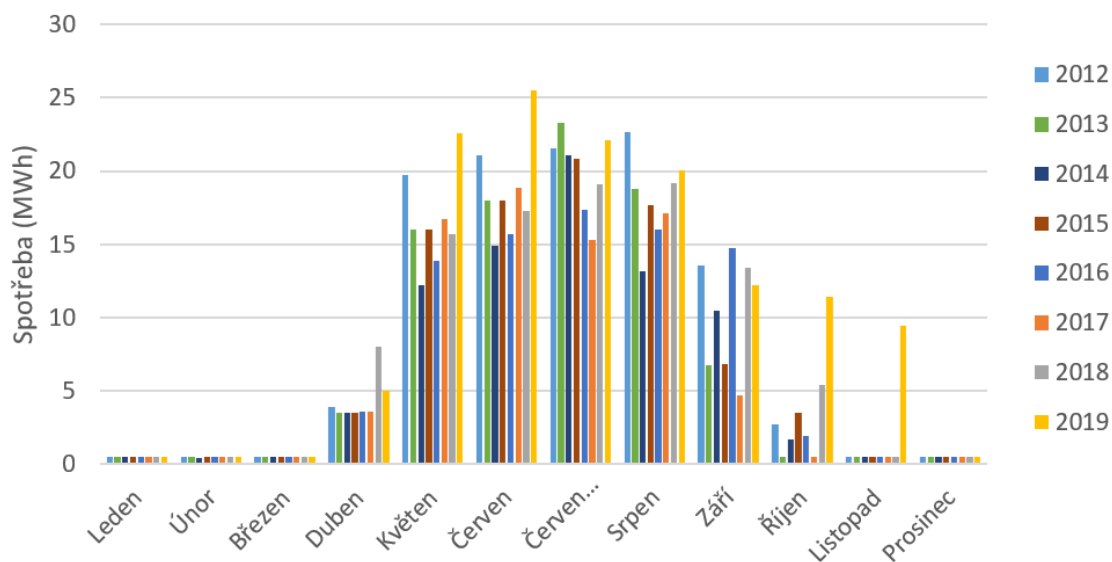
Tab. 27 Výsledná data budovy č. 4 z 2018 Tab. 28 Výsledná data budovy č. 4 z 2019

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]
1	2018	0	0,00%	0	0,0	500	1	2019	0	0,00%	0	0,0	502
2	2018	0	0,00%	0	0,0	500	2	2019	0	0,00%	0	0,0	489
3	2018	0	0,00%	0	0,0	500	3	2019	0	0,00%	0	0,0	500
4	2018	0	0,00%	0	0,0	8 000	4	2019	0	0,00%	0	0,0	5 000
5	2018	0	0,00%	0	0,0	15 733	5	2019	0	0,00%	0	0,0	22 596
6	2018	0	0,00%	0	0,0	17 304	6	2019	15 319	64,64%	17	155,1	25 546
7	2018	0	0,00%	0	0,0	19 076	7	2019	22 087	93,19%	31	178,1	22 087
8	2018	0	0,00%	0	0,0	19 155	8	2019	20 060	84,64%	31	176,0	20 060
9	2018	0	0,00%	0	0,0	13 375	9	2019	12 211	51,52%	30	150,7	12 211
10	2018	0	0,00%	0	0,0	5 391	10	2019	11 432	48,24%	31	194,8	11 432
11	2018	0	0,00%	0	0,0	500	11	2019	5 970	25,19%	19	191,4	9 427
12	2018	0	0,00%	0	0,0	500	12	2019	0	0,00%	0	0,0	506
celkem		0		0	0	100 534	celkem		87 079		159	195	130 356
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					6 500		klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					6 500	
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					0,0		měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					13,4	
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					15,5		měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					20,1	

Na obr. 32 je graf znázorňující naměřenou spotřebu el. energie v jednotlivých měsících pro rok 2012 až 2019. Na obr. 33 je tentýž graf zahrnující také doplněná data z neměřených časových intervalů. Z grafů je patrné, že nedocházelo k žádným výrazným měsíčním výkyvům. Značně odlišné jsou ovšem celé roky 2012 a 2019, kdy byla roční spotřeba výrazně vyšší než v ostatních letech.

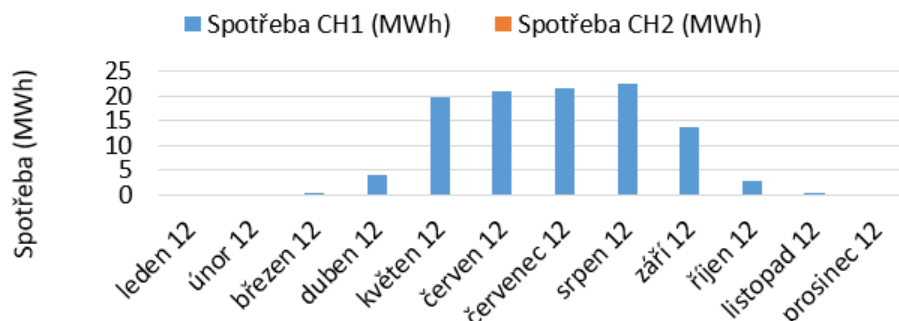


Obr. 32 Naměřená měsíční spotřeba el. energie budovy č.4 v letech 2012 až 2019

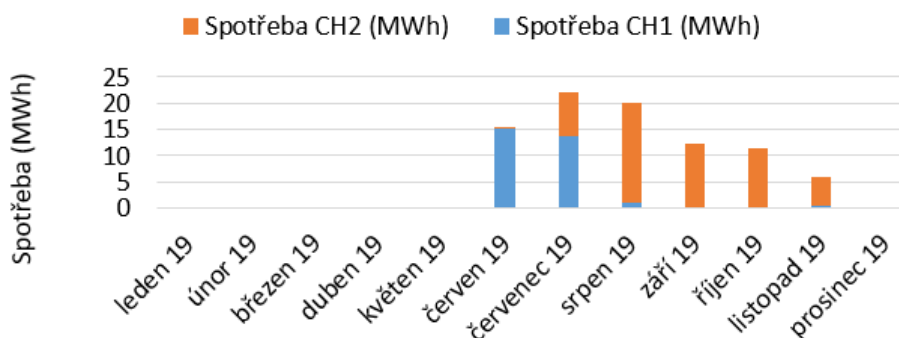


Obr. 33 Doplněná měsíční spotřeba el. energie budovy č.4 v letech 2012 až 2019

Spotřeba v letech 2012 a 2019 byla pravděpodobně výrazně ovlivněna špatnou spoluprací chladících strojů. Poměr potřeby el. energie na chlazení jednotlivých strojů v těchto letech je znázorněna v grafech na obr. 34 a 35. V ostatních letech byl poměr spotřeby el. energie chladících strojů vyvážený a mohly běžet na střední otáčky kompresorů. V roce 2019 také

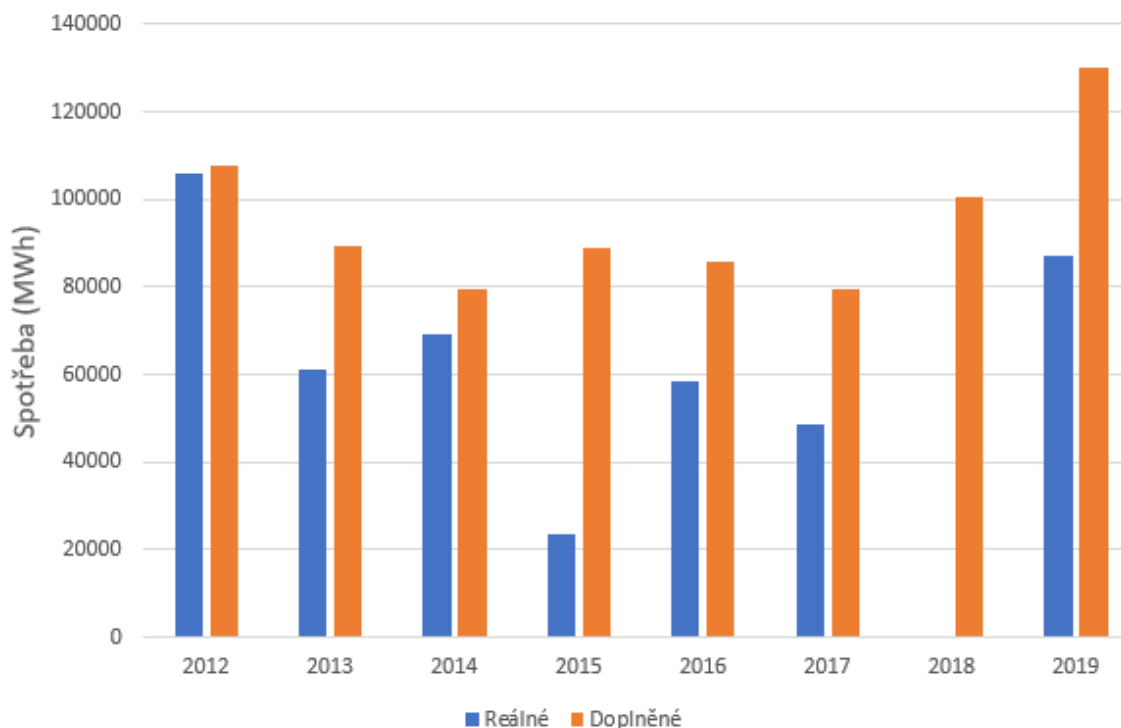


Obr. 34 Poměr spotřeby el. energie chladících strojů budovy č.4 v letech 2012



Obr. 35 Poměr spotřeby el. energie chladících strojů budovy č.4 v letech 2019

výrazně vzrostla spotřeba energie v měsících říjen a listopad, což bylo nejspíše způsobeno nárůstem vnitřních zisků obsazením jednoho z kancelářských prostorů. Výrazně to ovlivnilo celkovou spotřebu v roce 2019, která byla tento rok nejvyšší za posledních 8 let. Roční spotřeba energie je znázorněna v grafu na obr. 36. Z grafu je dále patrné, že v roce 2012 byla naměřená data téměř kompletní. V roce 2019 byla naopak roční spotřeba el. energie výrazně ovlivněna doplněním dat a ačkoli z porovnání grafů na obr. 32 a 33 vyplývá, že nejvyšší měsíční spotřeby byly v období, kdy odečet dat probíhal, je rozdíl mezi naměřenou a doplněnou spotřebou 43 277 kWh. Výpadky v měření v letech 2015 a 2018 byly příliš velké a roční spotřeba energie je z většiny doplněna. Proto měření v těchto letech nelze brát jako relevantní a není možné z něj vyvozovat závěry.



Obrázek 36 Roční spotřeba el. energie pro reálná a doplněná data budovy č. 4 v letech 2012 až 2019

Závěr budovy č. 4

U budovy č. 4 se jednalo o doplnění dat použitím kombinace metody založené na korelaci průměrné venkovní teploty a spotřeby energie na chlazení a průměrování z naměřených dat stejného období v jiném roce.

V objektu nedocházelo k žádným výrazným měsíčním výkyvům. Roční spotřeba el. energie je ale výrazně vyšší v letech 2012 a 2019. Není zcela jasné, čím byla vyšší spotřeba v těchto letech způsobena, je však pravděpodobné, že za to mohlo špatné řízení spolupráce chladících strojů. V těchto letech byl z velké části v chodu pouze jeden z nich a byl nucen běžet na vysoké otáčky. V roce 2019 byl indikován také nárůst vnitřních zisků v říjnu a listopadu, což také výrazně ovlivnilo spotřebu el. energie na chlazení v tomto roce. Průměr měrné spotřeby el. energie z naměřených hodnot v letech 2012 až 2019, bez započtení roku 2018, kdy je měrná spotřeba nulová, je $10,1 \text{ kWh/m}^2$. Při započtení doplněných dat, a tedy i roku 2018, činí průměrná měrná spotřeba $14,8 \text{ kWh/m}^2$.

3.1.5 Budova č. 5

Popis budovy

Dalším objektem je administrativní budova nacházející se v Praze 5 v Nuslích. Budova byla postavena v roce 2008 a má jedno podzemní a osm nadzemních podlaží. V podzemních podlaží je umístěno parkoviště a technické zázemí objektu. V prvním nadzemním podlaží se nachází mimo vstupního atria také restaurace. Ostatní nadzemní podlaží jsou využívány jako kancelářské prostory. Další důležité parametry a informace objektu jsou popsány v tab. 29. [11]

Tab. 29 Základní popis objektu č. 5

Lokalita	Praha 5 - Nusle
Účel objektu	Administrativní budova
Celková podlahová plocha objektu	5 950 m ²
Klimatizovaná podlahová plocha objektu	4 756 m ²
Provozní doba	Po – Pá, 7:00 – 18:00

Klimatizační systém

Klimatizace objektu je zajištěna kombinací vzduchotechnického systému a chladících trámů. Objekt je rozdělen do tří zón, první (kanceláře, restaurace, konferenční centrum), druhá (atrium), třetí (garáže). Přívod čerstvého a odvod znehodnoceného vzduchu je v každé zóně zajištěn vlastní VZT jednotkou. V kancelářských prostorách je přívod čerstvého vzduchu a odvod tepelné zátěže zajištěn chladícími trávci s možností samostatné regulace. Pro distribuci chladu je použita voda upravena ve strojovně chlazení v 1. PP.

Popis zdroje chladu

Jako zdroj chladu pro chladící trávce a VZT jednotky slouží chladící jednotka Daikin EWWD650DJYN. V tab. 30 je popis parametrů chladících strojů umístěných ve strojovně chlazení v 1. PP. [11]

Tab. 30 Chladící stroje objektu č. 5

Název	Chladící výkon (kW)	Elektrický příkon (kW)	EER
Daikin EWWD650DJYN	485	178	2,6

Odvod kondenzačního tepla

Kondenzační teplo je odváděno pomocí dvojice suchých chladičů LU-VE SAL8S 2232 A 6VENT (2x3), o výkonu 332 kW, umístěných na střeše objektu.[11]

Akumulace chladu

Chladicí systém je osazen akumulací nádrží o přibližném objemu 4,6 m³.

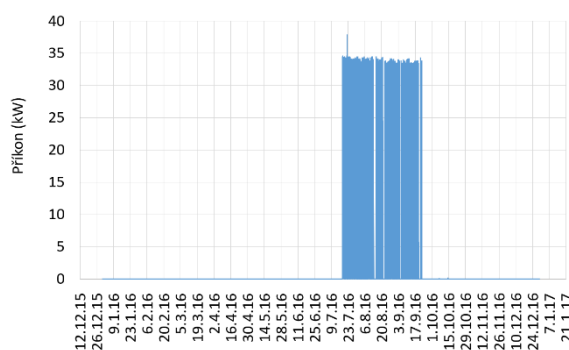
Ostatní zařízení klimatizačního systému

Ve strojovně chlazení se nachází deskový výměník pro free-cooling chlazení o výkonu 250 kW. Počet čerpadel pro distribuci chladicí vody není uveden, celkový el. příkon čerpadel je 12,55 kW. Restaurace, serverovna a UPS jednotky jsou vybaveny vlastním chlazením, které není zahrnuto do měření.

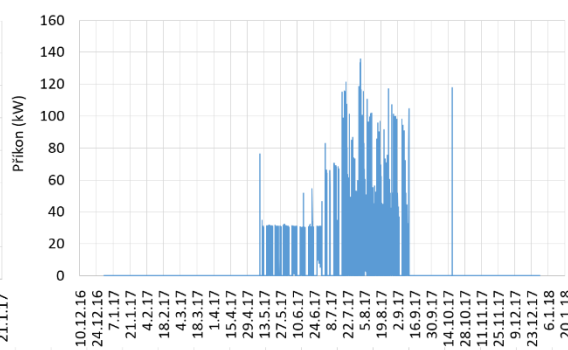
Zpracování naměřených dat

V objektu je měřena spotřeba elektrické energie u chladičového stroje Daikin EWWD650DJYN z roku 2008. Měření bylo uvedeno do provozu 1. 3 2012. Spotřeba el. energie je měřena na jedné fázi měřičem transformátorového proudu MTP 500/5A. Instalovaný elektroměr je typu Maneler 9911D. Převodní konstanta elektroměru byla přenastavena a číselník elektroměru udává přímo kWh. Data jsou zaznamenávána do dataloggeru, kde je přepočten vstupní veličiny takový, že 40-ti impulsům odpovídá 1 kWh ($12\ 000/3/(500/5) = 40$). V dataloggeru byla opět nastavena převodní konstanta, aby data byla zaznamenávána přímo v kWh. [11]

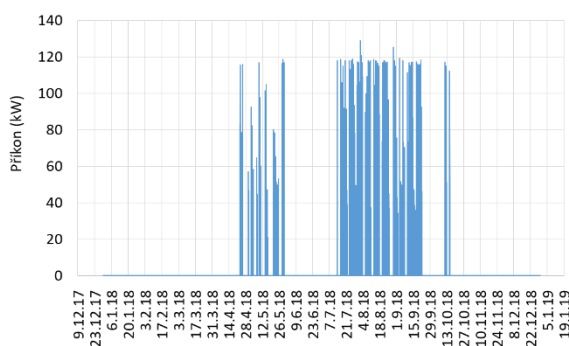
Záznam dat probíhá v patnáctiminutových intervalech. Na obr. 37, 38, 39 a 40 je graficky znázorněn roční průběh el. příkonu v letech 2016 až 2019. Podle informací od technika objektu došlo v roce 2016 k problémům jednoho z kompresorů, který byl následně z okruhu vyřazen a byl používán pouze jeden, proto je maximální hodnota příkonu pouze 38 kW. Začátkem července 2017 byl vyřazený kompresor pravděpodobně uveden znovu do provozu a maximální příkon byl 136 kW dne 1. 8 v 17:45. V roce 2018 byla maximální hodnota 129 kW dne 1. 8 v 16:00 a v roce 2019 nastalo maximum dne 26. 6 ve 15:45 a činilo 143 kW. Při chodu obou kompresorů je průměrný příkon přibližně 110 kW. V roce 2016, kdy byl v chodu pouze jeden, je průměrný příkon cca 30 kW.



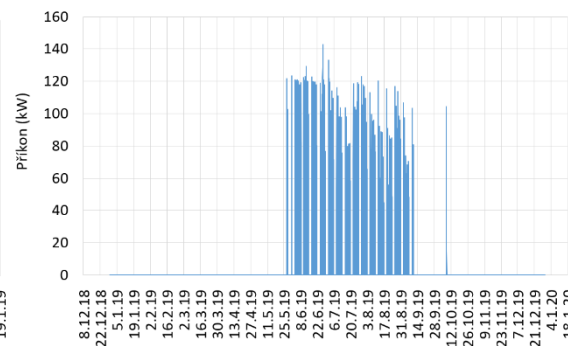
Obr. 37 Elektrický příkon pro rok 2016



Obr. 38 Elektrický příkon pro rok 2017



Obr. 39 Elektrický příkon pro rok 2018



Obr. 40 Elektrický příkon pro rok 2019

Analýza dat

Měsíční a celková spotřeba energie je patrná v tab. 31, 32, 33, 34. Z tabulek je patrný počet dní v každém měsíci, ve kterých probíhal odečet dat. V roce 2016 měření neprobíhalo až do poloviny července a data musela být z velké části doplněna. V letech 2017 a 2018 je záznam dat velice dobrý a probíhal téměř nepřetržitě s výjimkou června a části července v roce 2018, kdy došlo k přemazání dat. Data byly nahrazeny metodou využívající posledního záznamu a doplnění tedy lze považovat za velice přesné. Od konce prosince roku 2018 měření neprobíhalo až do konce května roku 2019. V tomto období ovšem nebyla zaznamenána výrazná spotřeba v žádném roce, tudíž data z roku 2019 nejsou výrazně postižena. U tohoto objektu nebylo možné využít metodu doplnění dat vycházející z venkovní průměrné teploty, jelikož vykazovala 18 % chybu. K doplnění byla využita pouze metoda průměrů, proto nelze brát nahrazená data jako relevantní. Na obr. 41 je graf znázorňující naměřenou spotřebu el. energie v jednotlivých měsících pro rok 2012 až 2019. Na obr. 42 je graf vyjadřující stejnou závislost včetně doplněných dat z neměřených časových intervalů. Z grafů je jasně patrné, že spotřeba v roce 2012 byla výrazně vyšší než v následujících letech. V tento rok nebyly zaznamenány extrémně

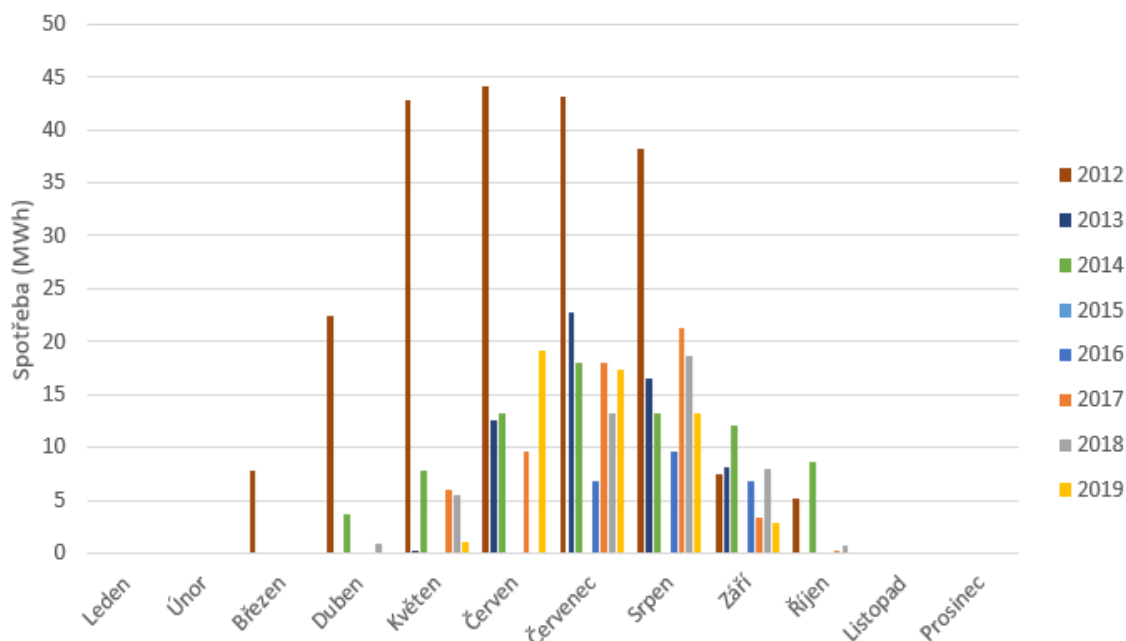
vysoké teploty a rozsah změny spotřeby energie nelze vysvětlit ani změnou vnitřních zisků. Tuto výraznou změnu lze vysvětlit změnou technického správce objektu, ke které došlo koncem roku 2012. Nově nastavené parametry regulace a změna přístupu k řízení stroje chladu, jako jsou například víkendové útlumy, vedlo k výraznému snížení spotřeby el. energie na chlazení. Z grafů je jasně patrné, že spotřeba v roce 2012 byla výrazně vyšší než v následujících letech. V tento rok nebyly zaznamenány extrémně vysoké teploty a rozsah změny spotřeby energie nelze vysvětlit ani změnou vnitřních zisků. Tuto výraznou změnu lze vysvětlit změnou technického správce objektu, ke které došlo koncem roku 2012. Nově nastavené parametry regulace a změna přístupu k řízení stroje chladu, jako jsou například víkendové útlumy, vedlo k výraznému snížení spotřeby el. energie na chlazení.

Tab. 31 Výsledná data budovy č. 5 z 2016 Tab. 32 Výsledná data budovy č. 5 z 2017

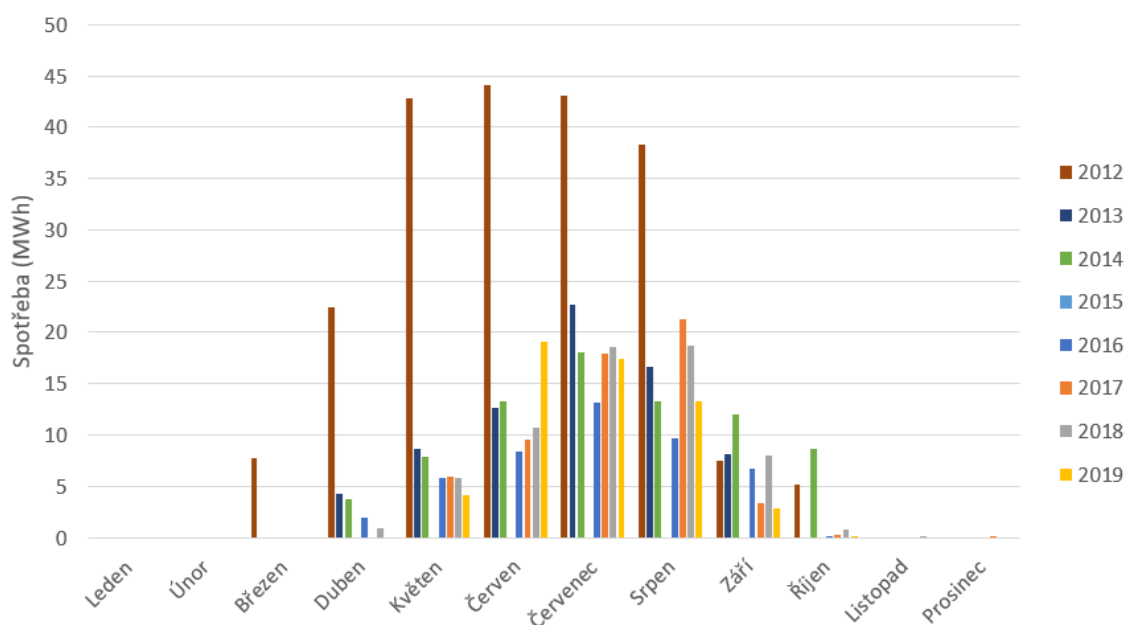
Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]		
1	2016	0	0,00%	0	0	0	1	2017	0	0,00%	0	0	0		
2	2016	0	0,00%	0	0	0	2	2017	0	0,00%	19	0	0		
3	2016	0	0,00%	0	0	0	3	2017	0	0,00%	31	0	0		
4	2016	0	0,00%	0	0	2 000	4	2017	0	0,00%	30	0	0		
5	2016	0	0,00%	0	0	5 879	5	2017	5 950	25,53%	31	76	5 950		
6	2016	0	0,00%	0	0	8 399	6	2017	9 588	41,14%	30	55	9 588		
7	2016	6 903	29,62%	16	38	13 123	7	2017	17 992	77,20%	31	121	17 992		
8	2016	9 649	41,40%	31	35	9 649	8	2017	21 331	91,53%	31	136	21 331		
9	2016	6 753	28,98%	30	34	6 753	9	2017	3 325	14,27%	30	105	3 325		
10	2016	0	0,00%	31	0	0	10	2017	262,3	1,13%	31	118	262		
11	2016	0	0,00%	30	0	0	11	2017	0	0,00%	30	0	0		
12	2016	0	0,00%	22	0	0	12	2017	0,075	0,00%	25	0	0		
celkem		23 305		160	38	45 803	celkem		58 448		319	136	58 448		
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					4 756			klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					4 756		
měrná spotřeba el. energie [kWh/m²]					4,9			měrná spotřeba el. energie [kWh/m²]					12,3		
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m²]					9,6			měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m²]					12,3		

Tab. 33 Výsledná data budovy č. 5 z 2018 Tab. 34 Výsledná data budovy č. 5 z 2019

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]		
1	2018	0	0,00%	31	0	0	1	2019	0	0,00%	0	0	0		
2	2018	0	0,00%	28	0	0	2	2019	0	0,00%	0	0	0		
3	2018	0	0,00%	31	0	0	3	2019	0	0,00%	0	0	0		
4	2018	975,525	4,19%	30	116	976	4	2019	0	0,00%	0	0	0		
5	2018	5 495	23,58%	30	119	5 796	5	2019	1 127	4,84%	6	123	4 094		
6	2018	0	0,00%	0	0	10 764	6	2019	19 073	81,84%	30	143	19 073		
7	2018	13 283	57,00%	19	119	18 548	7	2019	17 420	74,75%	31	133	17 420		
8	2018	18 729	80,36%	31	129	18 729	8	2019	13 246	56,84%	31	120	13 246		
9	2018	7 996	34,31%	30	119	7 996	9	2019	2 821	12,11%	30	107	2 821		
10	2018	778,1	3,34%	31	117	778	10	2019	41,875	0,18%	31	104	42		
11	2018	0,1	0,00%	30	0	0	11	2019	0	0,00%	1	0	0		
12	2018	0	0,00%	19	0	0	12	2019	0	0,00%	0	0	0		
celkem		47 255		310	129	63 586	celkem		53 730		160	143	56 696		
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					4 756			klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					4 756		
měrná spotřeba el. energie [kWh/m²]					9,9			měrná spotřeba el. energie [kWh/m²]					11,3		
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m²]					13,4			měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m²]					11,9		

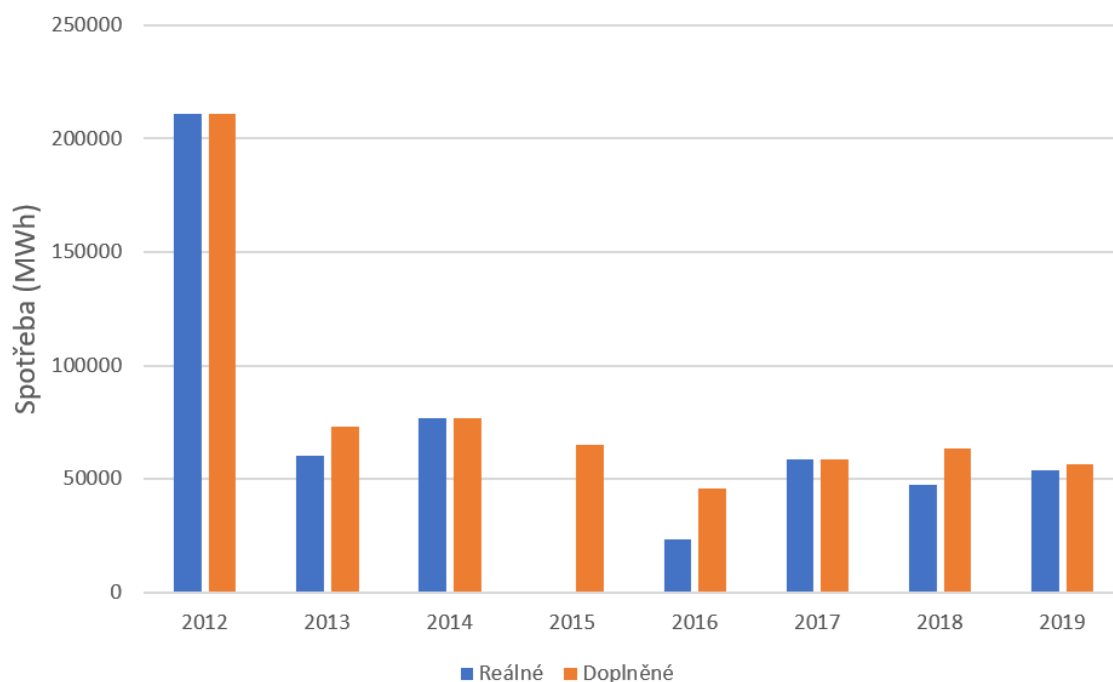


Obr. 41 Naměřená měsíční spotřeba el. energie budovy č.5 v letech 2012 až 2019



Obr. 42 Doplňená měsíční spotřeba el. energie budovy č.5 v letech 2012 až 2019

Na obr. 43 je vidět, že celková spotřeba el. energie na chlazení byla v roce 2012 výrazně vyšší a činila 211 125 kWh. V následujících dvou letech po změně řízení provozu klesla roční spotřeba přibližně o třetinu na 70 000 kWh. V roce 2015 a 2016 došlo k velkým výpadkům v měření, proto data z těchto let nelze analyzovat. Naměřená data v letech 2017 až 2019 jsou ucelená bez větších mezer, s výjimkou výpadku v roce 2018, kdy ovšem bylo možné nahradit data s velkou přesností a celková roční spotřeba se pohybuje v intervalu v rozmezí mezi 56 000 a 63 000 kWh.



Obr. 43 Roční spotřeba el. energie pro reálná a doplněná data budovy č. 5 v letech 2012 až 2019

Závěr budovy č. 5

U budovy č. 5 se jednalo o doplnění dat použitím kombinace metody založené na průměrování z naměřených dat stejného období v jiném roce a metody využívající posledního záznamu z naměřených dat.

V objektu č. 4 došlo k výraznému snížení po roce 2012. Tuto výraznou změnu lze vysvětlit změnou správce objektu, ke které došlo koncem roku 2012, jelikož v roce 2012 nebyly v této lokalitě naměřeny výrazně vyšší teploty venkovního vzduchu. Úspora el. energie na chlazení byla tedy pravděpodobně způsobena úpravou regulačních parametrů a změnou řízení provozu, jako je například víkendový útlum chlazení. V posledních třech letech se roční spotřeba el. energie na chlazení pohybuje v intervalu v rozmezí mezi 56 000 a 63 000 kWh. Průměrná měrná spotřeba el. energie v letech 2012 až 2019 z naměřených hodnot bez započtení roku 2015 a 2016, kde je spotřeba energie pouze hrubý odhad na základě průměrů z jiných let, je 17,8 kWh/m². Při doplnění části dat v letech 2018 a 2013, činí průměr měrné spotřeby energie 18,9 kWh/m².

3.1.6 Budova č. 6

Popis budovy

Objekt se nachází v Praze 5 na Smíchově. Je složen ze 7 nadzemních a dvou podzemních podlaží. V nadzemních podlažích se nacházejí mimo vstupní haly a recepcce především kancelářské prostory. V podzemních podlažích je umístěna strojovna chlazení, topení a parkovací prostory. Parametry objektu jsou popsány v tab. 35. [12]

Tabulka 35 Základní popis objektu č. 6

Lokalita	Praha
Účel objektu	Administrativní budova
Celková podlahová plocha objektu	7 500 m ²
Klimatizovaná podlahová plocha objektu	5 200 m ²
Provozní doba	Po – Pá, 7:00 – 17:00

Klimatizační systém

Objekt je chlazen ventilátorovými konvektory, které jsou součástí vodního klimatizačního systému. V budově je zajištěn přívod čerstvého a odvod znehodnoceného vzduchu pomocí VZT jednotky. [12]

Popis zdroje chladu

Jako zdroj chladu slouží dvojice vodou chlazených kompresorových jednotek AERMEC NW 1802 z roku 2005. V jednotkách je použito chladivo R407c. Technické parametry zdroje chladu jsou popsány v tab. 36. [12]

Tabulka 36 Chladicí stroje objektu č. 6

Název	Chladicí výkon (kW)	Elektrický příkon (kW)	EER
2 x AERMEC NW 1802	410	160	2,5

Odvod kondenzačního tepla

Kondenzační teplo je odváděno pomocí dvojice suchých chladičů Alfagreen s chladícím výkonem 1140 kW, umístěných na střeše objektu.[11]

Akumulace chladu

V tomto objektu není instalovaná akumulární nádrž.

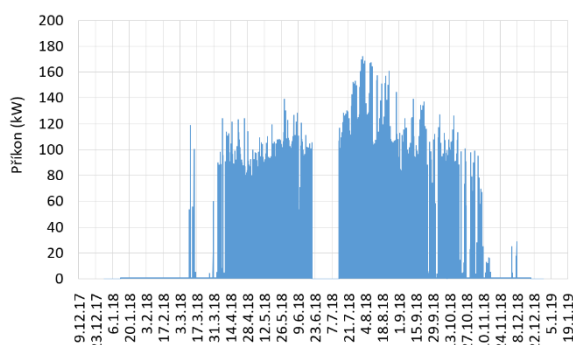
Ostatní zařízení klimatizačního systému

V okruhu je použito dvanáct zdvojených čerpadel značky WILO, jsou umístěny ve strojovně chlazení a jejich celkový el. příkon je 17,8 kW. Ve strojovně chlazení se nachází také deskový výměník pro možnost free-cooling chlazení.

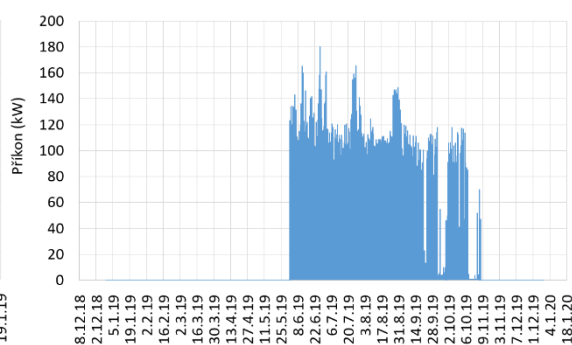
Zpracování naměřených dat

Spotřeba el. energie je měřena na dvojici chladících strojů AERMEC NW 1802. Ke sběru dat dochází od 5. 4 2012. Připojení strojů je realizováno přes jističové vývody NW1802.2 a NW1802.2. Na nich je prováděn odečet pomocí MTP 400/5 na jedné fázi. Na elektroměru Maneler 9911D je sčítána spotřeba elektrické energie obou strojů a číselník ukazuje spotřebu přímo v kWh. Z elektroměru jsou data zaznamenávána do dataloggeru s převodem $(4000/(400/5) = 50)$, tedy 50ti pulsům odpovídá 1 kWh. V dataloggeru byla ovšem nastavena převodní konstanta a zaznamenávaná data jsou přímo v kWh. [11]

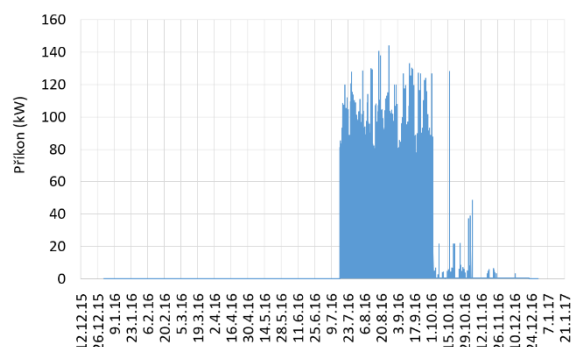
Záznam dat probíhá v patnáctiminutových intervalech. Na obr. 44, 45, 46 a 47 jsou graficky znázorněny roční průběhy el. příkonu z let 2016 až 2019. Z grafů je patrné, že v roce 2016 neprobíhalo měření až do začátku července. Maximum elektrického příkonu 144 kW, které nastalo 26. 8 ve 14:30 mohlo být tedy pouze lokální. Globální maximum mohlo nastat v době, kdy data nebyla zaznamenávána. V roce 2017 je patrný krátký výpadek koncem července, ve kterém mohlo opět dojít k dosažení vyššího příkonu, než naměřeného maxima 166 kW dne 1. 8 v 17:45. Totéž platí pro rok 2018, kde byl datový výpadek delší dobu přibližně od poloviny června, do poloviny července. Naměřený maximální příkon v roce 2018 je 172 kW dne 1. 8 v 17:15. V roce 2019 je také patrný výpadek, ovšem pouze do konce května a lze tak předpokládat, že naměřené maximum 180 kW ze dne 26. 6 v 20:00 bude maximem globálním.



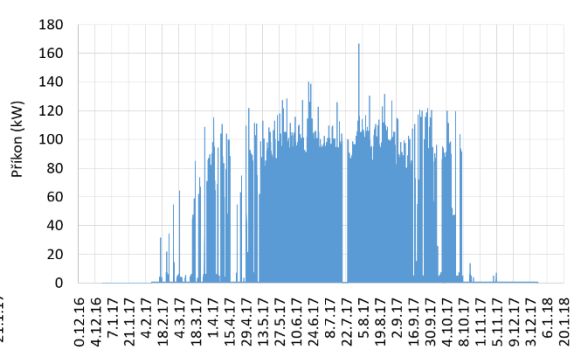
Obr. 44 Elektrický příkon pro rok 2016



Obr. 45 Elektrický příkon pro rok 2017



Obr. 46 Elektrický příkon pro rok 2018



Obr. 47 Elektrický příkon pro rok 2019

Analýza dat

Měsíční a celková spotřeba energie je zobrazena v tab. 37, 38, 39, 40. Z tabulek je patrný počet dní v každém měsíci, ve kterých probíhal odečet dat. Jak je patrné již z obr. 44, v roce 2016 byl sběr dat mimo provoz do poloviny července. Data zde byla nahrazena metodou založenou na korelaci průměrné venkovní teploty a spotřeby energie na chlazení. Průměrná odchylka regresní křivky od skutečné hodnoty zde činila 10 %. V roce 2017 vznikla datová mezera pravděpodobně přemazáním dat a byla tedy doplněna metodou využívající posledního záznamu a ověřena metodou směrnic. Nahrazená data by zde měla být relativně přesná. V roce 2018 se jednalo o podobnou situaci jako v roce 2017, ovšem pro delší časový úsek zasahující do dvou měsíců a metodu směrnic nebylo možné použít. Data byla nahrazena kombinací metody využívající posledního záznamu a korelace spotřeby s venkovní teplotou. Pro rok 2019 byla využita kombinace metody průměrů a závislosti na venkovní teplotě. Na obr. 47 je graf znázorňující naměřenou měsíční spotřebu el. energie pro rok 2012 až 2019. Na obr. 48 je graf, vyjadřující stejnou závislost, včetně doplněných dat z neměřených časových intervalů. Z grafů je vidět, že měsíční spotřeba el. energie na chlazení je v jednotlivých letech obdobná a od roku 2012 nedošlo k žádné výrazné změně. Jsou zde ovšem patrné měsíční výkyvy. V květnu byla výrazně vyšší spotřeba energie v letech 2012 a 2018. Oba výkyvy lze vysvětlit

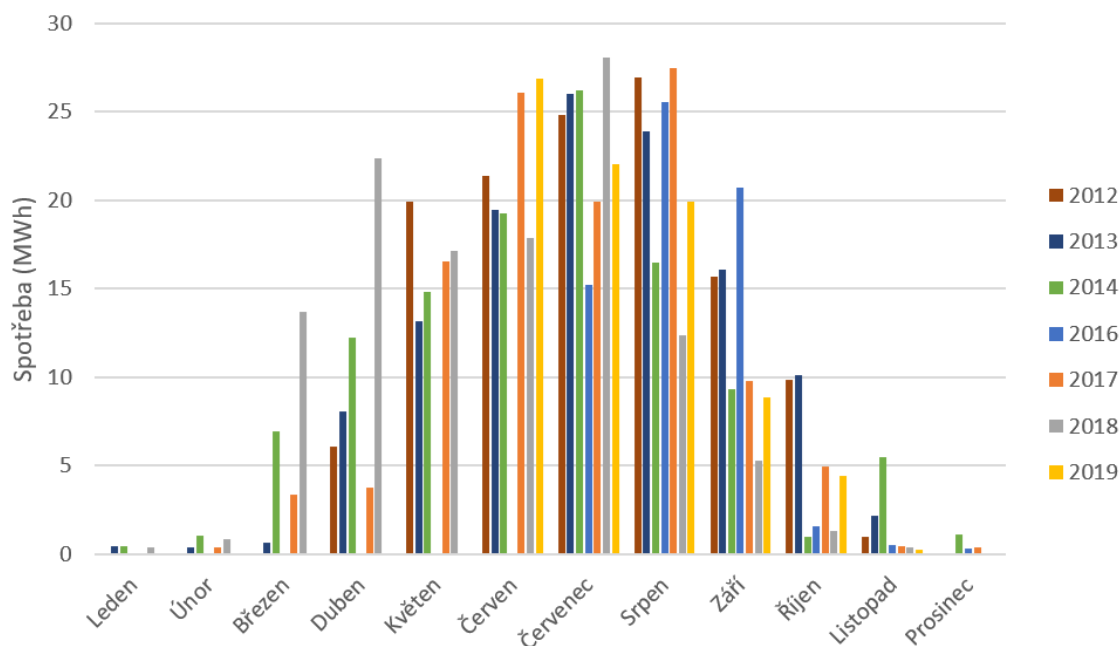
extrémními teplotami pro tento měsíc. V květnu 2012 byla průměrná měsíční teplota vyšší o 1,8 °C, než je dlouhodobý průměr pro tento měsíc a lokalitu z let 1981 až 2010. V roce 2018 byl měsíční průměr vyšší dokonce o 3,2 °C. Potvrzením, že za tyto měsíční výkyvy je zodpovědná venkovní teplota dokládá také fakt, že v roce 2019, kdy byla naměřena nejnižší spotřeba pro měsíc květen, byla průměrná teplota venkovního vzduchu o 2,3 °C nižší než průměr. Stejnou příčinu měl i výkyv v roce 2016 v září, kdy byl měsíční průměr venkovní teploty vyšší o 2,6 °C.

Tab. 37 Výsledná data budovy č. 6 z 2016 Tab. 38 Výsledná data budovy č. 6 z 2017

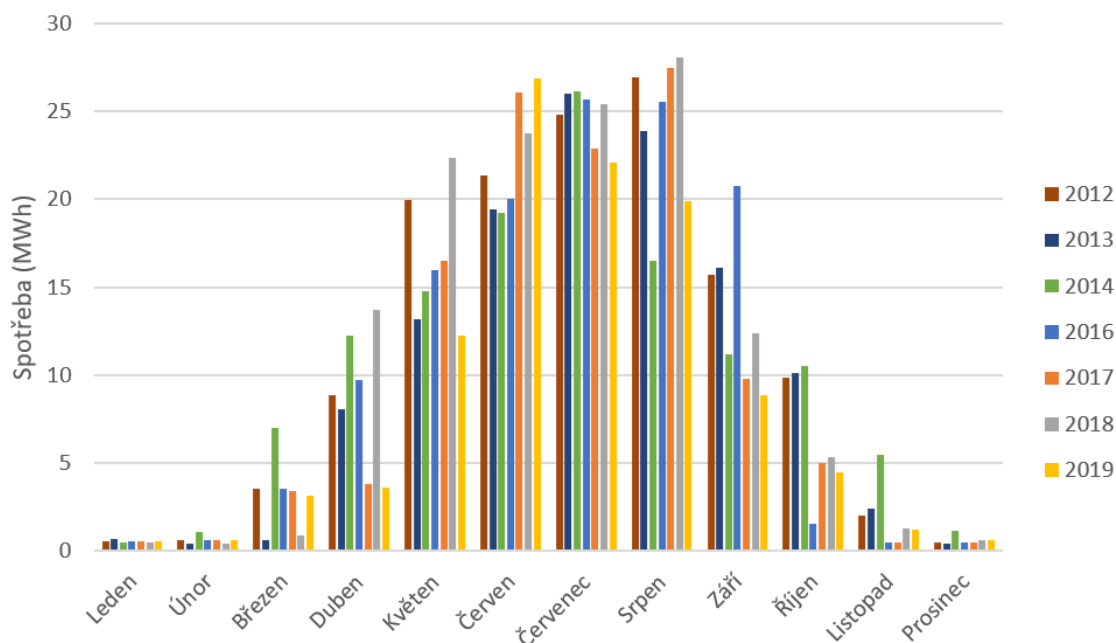
Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplňná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplňná spotřeba EE [kWh]				
1	2016	0	0,00%	0	0	573	1	2017	0	0,00%	0	0	562				
2	2016	0	0,00%	0	0	629	2	2017	403	0,36%	20	54	604				
3	2016	0	0,00%	0	0	3 555	3	2017	3 367	2,98%	31	109	3 367				
4	2016	0	0,00%	0	0	9 714	4	2017	3 787	3,35%	30	115	3 787				
5	2016	0	0,00%	0	0	15 959	5	2017	16 515	14,60%	31	127	16 515				
6	2016	0	0,00%	0	0	20 015	6	2017	26 052	23,03%	30	140	26 052				
7	2016	15 202	23,80%	16	128	25 661	7	2017	19 927	17,61%	27	126	22 879				
8	2016	25 561	40,02%	31	144	25 561	8	2017	27 472	24,28%	31	166	27 472				
9	2016	20 744	32,48%	30	133	20 744	9	2017	9 771	8,64%	30	122	9 771				
10	2016	1 551	2,43%	31	128	1 551	10	2017	4 972	4,39%	31	120	4 972				
11	2016	501	0,78%	30	48	501	11	2017	465	0,41%	30	14	465				
12	2016	314	0,49%	22	3	500	12	2017	414	0,37%	29	1	442				
celkem		63 874		160	144	124 963	celkem		113 145		320	166	0				
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					5 200				klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					5 200			
měrná spotřeba el. energie [kWh/m²]					12,3				měrná spotřeba el. energie [kWh/m²]					21,8			
měrná doplňná spotřeba EE [kWh/m²]					24,0				měrná doplňná spotřeba EE [kWh/m²]					0,0			

Tab. 39 Výsledná data budovy č. 6 z 2018 Tab. 40 Výsledná data budovy č. 6 z 2019

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplňná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplňná spotřeba EE [kWh]				
1	2018	288	0,45%	20	1	446	1	2019	0	0,00%	0	0	543				
2	2018	413	0,65%	28	1	428	2	2019	0	0,00%	0	0	626				
3	2018	856	1,34%	31	119	856	3	2019	0	0,00%	0	0	3 154				
4	2018	13 724	21,49%	30	124	13 724	4	2019	0	0,00%	0	0	3 603				
5	2018	22 373	35,03%	31	139	22 373	5	2019	0	0,00%	0	0	12 246				
6	2018	17 117	26,80%	20	128	23 724	6	2019	26 885	23,76%	30	180	26 885				
7	2018	17 844	27,94%	19	170	25 396	7	2019	22 063	19,50%	31	166	22 063				
8	2018	28 085	43,97%	31	172	28 085	8	2019	19 921	17,61%	31	148	19 921				
9	2018	12 389	19,40%	30	139	12 389	9	2019	8 882	7,85%	30	131	8 882				
10	2018	5 298	8,29%	31	127	5 298	10	2019	4 452	3,93%	31	118	4 452				
11	2018	1 299	2,03%	30	99	1 299	11	2019	276	0,24%	7	70	1 221				
12	2018	375	0,59%	19	29	611	12	2019	0	0,00%	0	0	599				
celkem		120 061		320	172	134 630	celkem		82 479		160	180	104 195				
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					5 200				klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					5 200			
měrná spotřeba el. energie [kWh/m²]					23,1				měrná spotřeba el. energie [kWh/m²]					15,9			
měrná doplňná spotřeba EE [kWh/m²]					25,9				měrná doplňná spotřeba EE [kWh/m²]					20,0			



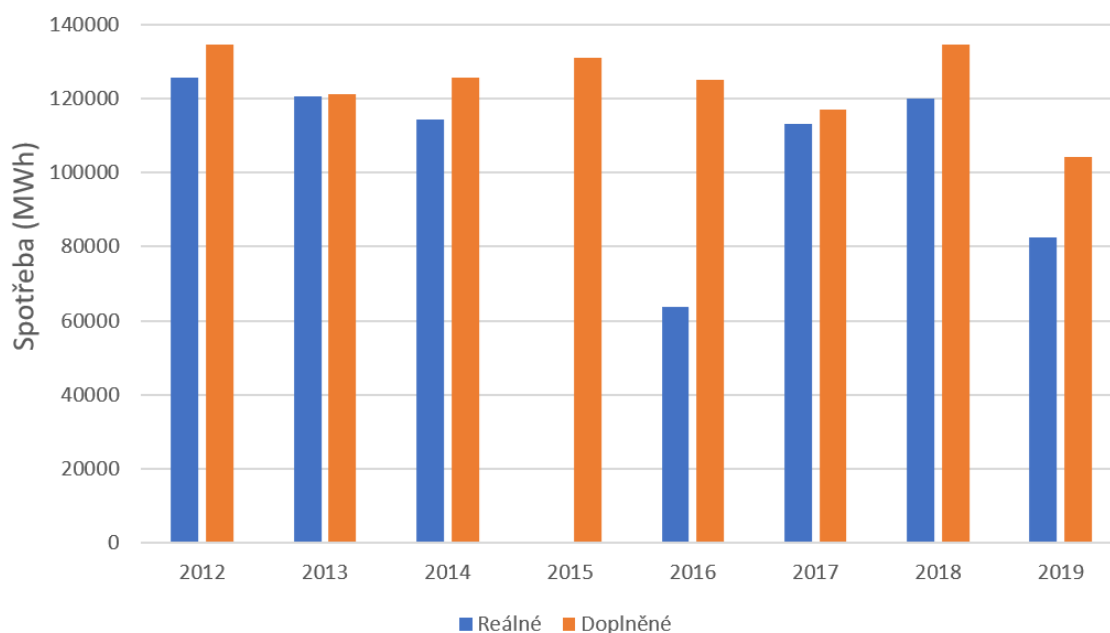
Obr. 47 Naměřená měsíční spotřeba el. energie budovy č.6 v letech 2012 až 2019



Obr. 48 Doplněná měsíční spotřeba el. energie budovy č.6 v letech 2012 až 2019

Z grafu na obr. 49 je patrné, že celková roční spotřeba se v průběhu let 2012 až 2019 výrazně nezměnila. Nejvyšší naměřená spotřeba byla 125 655 kWh v roce 2012. Po doplnění chybějících dat s relativně velkou přesností, bylo možné určit celkovou roční spotřebu energie. Nejvyšší spotřeba byla v roce 2018 a činila 134 500 kWh. Téměř stejná spotřeba 134 400 kWh byla v roce 2012. Spotřeba v letech 2015 je pouze orientační, jelikož nebyly naměřeny žádné hodnoty, ze kterých by se data dala spolehlivě doplnit. Ačkoli je zde použita metoda založená na průměrné měsíční teplotě vykazující relativně

malou chybu, nelze posoudit, zda popisuje správně i rok 2015. Pokles spotřeby energie byl zaznamenán v roce 2019, kdy po doplnění dat činila 104 200 kWh.



Obr. 49 Roční spotřeba el. energie pro reálná a doplněná data budovy č. 6 v letech 2012 až 2019

Závěr budovy č. 6

U budovy č. 6 byla pro doplnění dat použita metoda využívající závislost spotřeby el. energie na chlazení a venkovní průměrné teploty, v kombinaci s metodou využívající poslední záznam při přemazání dat a metodou směrníc.

V průběhu let 2012 až 2019 nedošlo k výrazným změnám ve spotřebě el. energie na chlazení. K větším výkyvům měsíční teploty došlo v květnu v roce 2012 a 2018 a v září v roce 2016. Zvýšení spotřeby lze ve všech třech případech extrémními teplotními podmínkami, které byly pro toto období a lokalitu naměřeny. V roce 2018 byla roční spotřeba energie 134 500 kWh, což je maximální hodnota za měřené období. V roce 2019 byla roční spotřeba naopak nejmenší a činila 104 200 kWh. Za tento pokles spotřeby může pravděpodobně výrazný rozdíl průměrných měsíčních teplot v dubnu a květnu mezi lety 2018 a 2019. Měrná spotřeba el. energie vztažená na podlahovou plochu je u objektu č. 6 při vynechání roku 2015 téměř stejná pro naměřená i doplněná data. Což potvrzuje fakt, že data jsou relativně konzistentní. Pro naměřená data je to 20,4 kWh/m² a po doplnění dat 20,5 kWh/m².

3.1.7 Budova č. 7

Popis budovy

Budova se nachází v Praze 5 na Smíchově. V budově se nachází 6 nadzemních a 2 podzemních podlaží. Podzemní podlaží jsou využívána především jako parkovací prostory a jsou zde umístěny technické strojovny. V nadzemních podlažích se nacházejí pronajímatelné kancelářské prostory. Parametry objektu jsou popsány v tab. 41. [11]

Tabulka 41 Základní popis objektu č. 7

Lokalita	Praha
Účel objektu	Administrativní budova
Celková podlahová plocha objektu	4 900 m ²
Klimatizovaná podlahová plocha objektu	2 800 m ²
Provozní doba	Po – Pá, 7:00 – 19:00
Počet osob	Cca 100

Klimatizační systém

Objekt je chlazen vodním klimatizačním systémem s ventilátorovými konvektory a vzduchotechnikou. Objekt je rozdělen do šesti klimatizačních zón. Tři pro kanceláře a zasedací místnosti, jednu pro kuchyň, další pro sklady a poslední pro kavárnu. Každá zóna je vybavena vlastní VZT jednotkou na přívod čerstvého vzduchu. Odvod znehodnoceného vzduchu je zajištěn dalšími VZT jednotkami. Každá jednotka je vybavena chladičem, ohřívačem a elektrickým parním zvlhčovačem. Přívod vzduchu do vnitřních prostor je realizován pomocí štěrbinových výustí TROX v podhledu. Odvod tepelné zátěže je zajištěn pomocí čtyřtrubkových ventilátorových konvektorů využívaných také pro vytápění. Chladicí voda je od zdroje vedena k rozdělovači ve strojovně chlazení, odkud je dále distribuován do zvláštních okruhů, ve kterých je oběh zajištěn oběhovými čerpadly s řízením proměnnými otáčky. [11]

Popis zdroje chladu

Jako zdroj chladu pro ventilátorové konvektory a vzduchotechniku slouží dvojice chladicích strojů TRANE RTWB 214 z roku 2004. Stroje využívají chladivo R134a. Chladicí voda má teplotní spád 6/12 °C. Technické parametry zdroje chladu jsou popsány v tab. 42. [11]

Tabulka 42 Chladicí stroje objektu č. 7

Název	Chladicí výkon (kW)	Elektrický příkon (kW)	EER
2 x TRANE RTWB 214	373	91	4

Odvod kondenzačního tepla

Kondenzátory zdroje chladu jsou chlazeny vodou. Kondenzační teplo je odváděno pomocí čtyř suchých, umístěných na střeše objektu. Kondenzátorový okruh je na bázi glykolu s teplotním spádem 45/40 °C. [11]

Akumulace chladu

V tomto objektu není instalovaná akumulární nádrž.

Využití odpadního tepla

Odpadní teplo z chlazení není v tomto objektu využíváno.

Ostatní zařízení klimatizačního systému

Ve strojově chlazení se nachází deskový výměník pro možnost free-cooling chlazení. Pro distribuci chladicí vody jsou použita oběhová čerpadla o celkovém elektrickém příkonu 50,2 kW. Technickými parametry jednotlivých čerpadel jsou popsány v tab. 43. [11]

Tabulka 43 Ostatní zařízení klimatizačního systému pro objekt č. 7

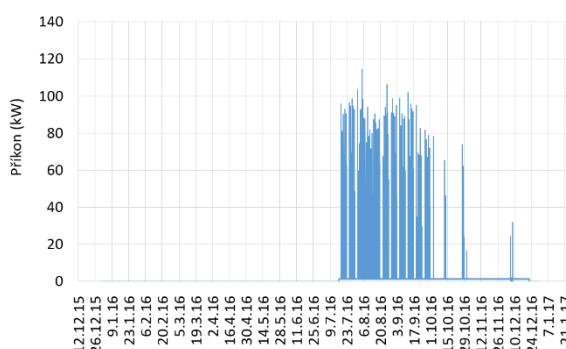
Popis	Název	Elektrický příkon (kW)
3 x oběhové čerpadlo 11 kW	Electric motors	33
3 x oběhové čerpadlo 2,2 kW	Electric motors	6,6
2 x oběhové čerpadlo 5,3 kW	Wilo	10,6

Zpracování naměřených dat

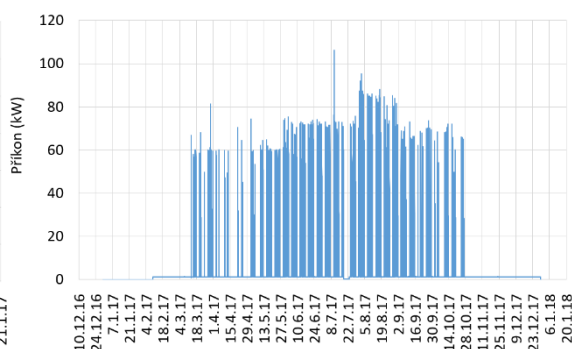
Předmětem odečtu spotřeby energie je dvojice chladicích strojů TRANE RTWB 214. Měření bylo nainstalováno 23. 3. 2012. Spotřeba chladicích strojů je měřena na třech fázích pomocí MTP 400/5A a dvou elektroměrů typu Maneler990 (9904Dm 3x230/400V, 3x 1,5(6)A, 12800 imp,/kWh) pro každý stroj zvlášť. Konstanty na elektroměru jsou 80 a pro získání hodnoty v kWh je třeba vynásobit údaj na číselníku osmdesáti. Z elektroměrů jsou data dále ukládána do dvou dataloggerů. Vstupní přepočtení veličiny dataloggerů je $(12\ 800/(400/5) = 160)$, tedy 1 kWh odpovídá 160 impulsům.

V datalogeru byla využita možnost nastavené výsledné převodní konstanty a zaznamenávaná data jsou ukládána v kWh. [11]

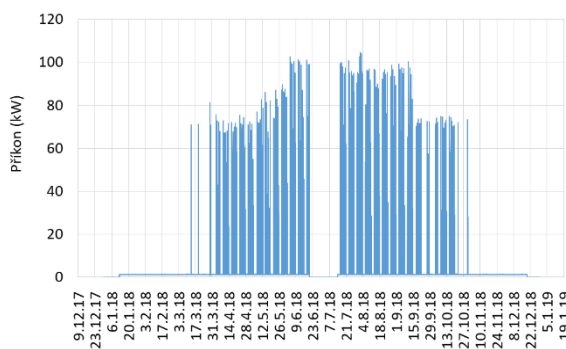
Data byla zaznamenávaná v patnáctiminutových intervalech. Na obr. 50, 51, 52 a 53 jsou graficky znázorněny roční průběhy el. příkonu z let 2016 až 2019. Z grafů je vidět, že průběh el. příkonu je v těchto letech relativně podobný, alespoň v období, kdy byl prováděn odečet. Je ovšem patrné, že v roce 2017 nedosahoval příkon tak vysokých hodnot jako v ostatních letech. V zimních a jarních měsících je příkon zdroje chladu téměř konstantní, přes léto vzroste a poté opět klesne k podobným hodnotám, jako na začátku roku. Je vidět, že v letech 2016 a 2019 nedocházelo k měření začátkem roku. V roce 2017 je patrný krátký výpadek měření koncem července. V roce 2018 byla delší datová mezera v letních měsících. Na grafech je možné pozorovat také víkendové útlumy, v podobě mezer mezi příkonovými nárůsty. Příkonová maxima byla 115 kW v roce 2016 dne 4. 8 v 16:00, 106 kW v roce 2017 dne 10. 7 ve 14:30, které výrazně vyčnívalo nad průběhem během roku. V roce 2018 byl maximální příkon 105 kW naměřen 1. 8 v 16:00 a v roce 2019 opět 104 kW dne 29. 7 ve 14:15.



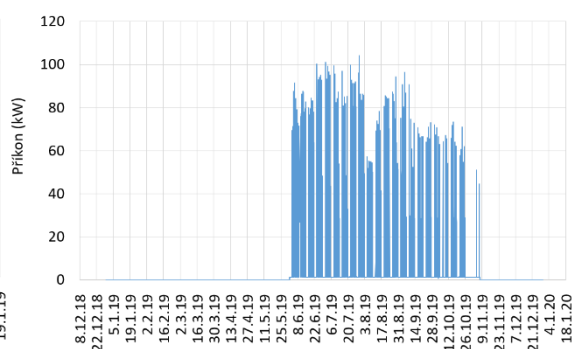
Obr. 50 Elektrický příkon pro rok 2016



Obr. 51 Elektrický příkon pro rok 2017



Obr. 52 Elektrický příkon pro rok 2018



Obr. 53 Elektrický příkon pro rok 2019

Analýza dat

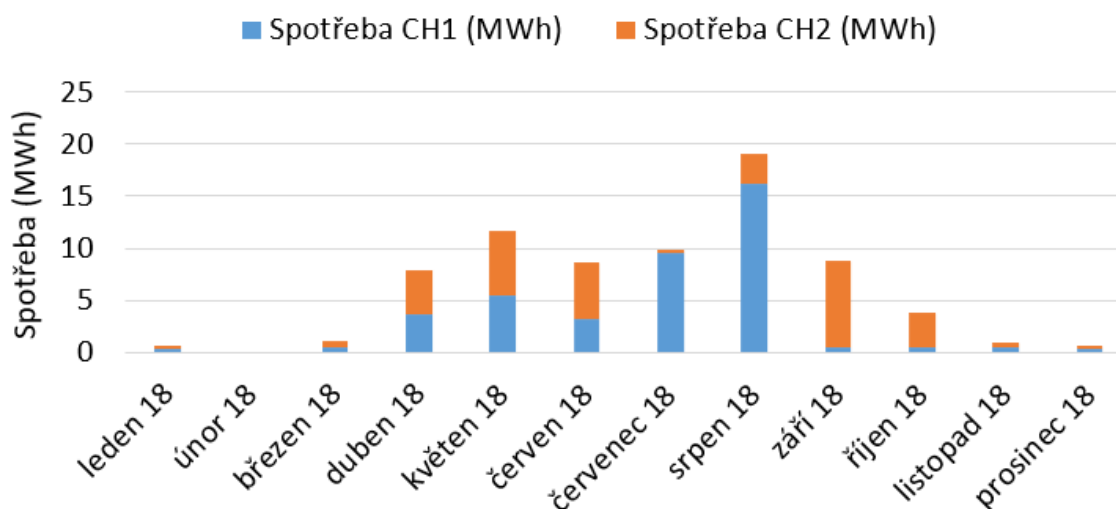
Měsíční a celková spotřeba energie je zobrazena v tab. 44, 45, 46, 47. Z tabulek je patrný počet dní pro každý měsíc, ve kterých probíhal sběr dat. Tabulky potvrzují průběh chodu zdroje chladu. Měsíční spotřeby v průběhu roku rostou a dosahují maxima v letních měsících. V roce 2016 nedocházelo k odečtu dat až do poloviny července a data v tomto roce jsou tak silně postižena výpadkem měření. Kvůli velké chybě při doplňování dat pomocí metody využívající průměrné měsíční teploty, musela být data v tomto úseku nahrazena metodou průměrů, a proto jsou měsíční hodnoty spotřeby el. energie pouze orientační. V letech 2017 a 2018 probíhal sběr dat relativně konzistentně. Datový výpadek nastal v červenci 2017 a přelomu června a července 2018. Obě tyto datové mezery byly způsobeny pravděpodobně přemazáním dat, a proto jejich doplnění kombinací metody využívající poslední záznam a metody směrnic je relativně přesné. Rok 2019 je obdobný s rokem 2016. Měření neprobíhalo až do konce května. Nejvyšší měsíční spotřeba byla naměřena v srpnu 2018 a činila 19 078 kWh. Na obr. 55 je graf znázorňující naměřenou spotřebu el. energie v jednotlivých měsících pro rok 2012 až 2019. Není zde rok 2015, jelikož nebyla naměřena žádná data a byl proveden pouze hrubý odhad celkové roční spotřeby. Na obr. 56 je graf, vyjadřující stejnou závislost s rozdílem, že zahrnuje data, která byla doplněna. Z grafů je patrný předpokládaný průběh spotřeby el. energie s měsíčními výkyvy v různých letech. V roce 2012 byla abnormální spotřeba el. energie na chlazení v květnu, v roce 2014 v červenci, v roce 2018 v srpnu a v roce 2019 červnu. Žádný z těchto výkyvů nelze odůvodnit extrémní teplotou venkovního vzduchu. V červenci 2014, kdy byla naměřena nejvyšší měsíční spotřeba energie za dobu odečtu dat, byla průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu 20,1 °C, což sice je o 1,6 °C vyšší než dlouhodobý normál, ale v červenci např. v letech 2013 a 2018 byla naměřena vyšší průměrná měsíční teplota a spotřeba energie byla výrazně nižší. Tyto měsíční výkyvy lze pravděpodobně vysvětlit změnou v osazení pronajímatelných kancelářských prostorů, a tedy nárůstem vnitřních zisků. Možným vysvětlením výkyvu v srpnu 2018 může být špatná spolupráce chladících strojů. Na obr. 54 je znázorněn poměr spotřeby energie chladících strojů pro rok 2018. Z grafu je patrné, že v srpnu 2018 byla většina tepelné zátěže odváděna pouze jedním z chladících strojů.

Tab. 44 Výsledná data budovy č. 7 z 2016 Tab. 45 Výsledná data budovy č. 7 z 2017

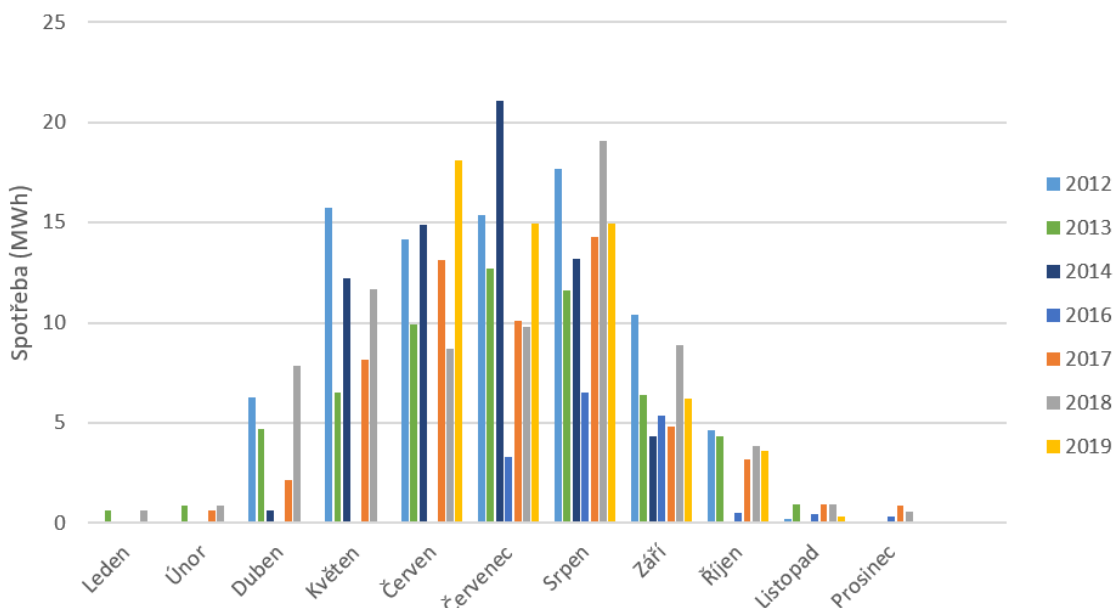
Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]
1	2016	0	0,00%	0	0,0	1 000	1	2017	0	0,00%	0	0,0	965
2	2016	0	0,00%	0	0,0	400	2	2017	612	1,77%	20	1,4	856
3	2016	0	0,00%	0	0,0	1 700	3	2017	2 861	8,28%	31	133,6	2 861
4	2016	0	0,00%	0	0,0	4 576	4	2017	2 141	6,19%	30	128,7	2 141
5	2016	0	0,00%	0	0,0	11 489	5	2017	8 155	23,59%	31	137,8	8 155
6	2016	0	0,00%	0	0,0	12 968	6	2017	13 151	38,04%	30	148,2	13 151
7	2016	6 868	19,87%	16	193,6	13 308	7	2017	10 109	29,24%	27	191,8	11 606
8	2016	13 848	40,06%	31	211,9	13 848	8	2017	14 263	41,26%	31	186,0	14 263
9	2016	10 767	31,15%	30	199,2	10 767	9	2017	4 800	13,88%	30	143,8	4 800
10	2016	1 488	4,31%	31	78,3	1 488	10	2017	3 203	9,27%	31	142,9	3 203
11	2016	948	2,74%	30	1,4	948	11	2017	949	2,74%	30	1,4	949
12	2016	651	1,88%	22	58,7	1 000	12	2017	897	2,59%	29	1,4	959
celkem		34 571		0	212	73 492	celkem		61 141		320	192	63 909
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					2 800		klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					2 800	
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					12,3		měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					21,8	
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					26,2		měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					22,8	

Tab. 46 Výsledná data budovy č. 7 z 2018 Tab. 47 Výsledná data budovy č. 7 z 2019

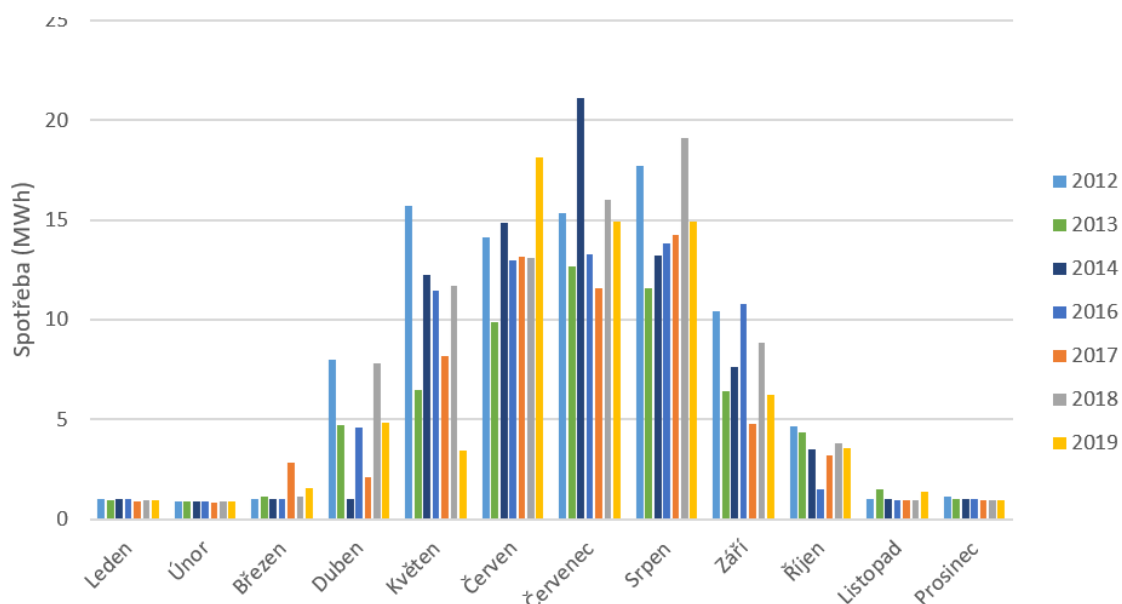
Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]
1	2018	625	1,81%	20	1,4	969	1	2019	0	0,00%	0	0,0	963
2	2018	891	2,58%	28	1,4	891	2	2019	0	0,00%	0	0,0	877
3	2018	1 152	3,33%	31	151,7	1 152	3	2019	0	0,00%	0	0,0	1 560
4	2018	7 831	22,65%	30	148,5	7 831	4	2019	0	0,00%	0	0,0	4 856
5	2018	11 681	33,79%	31	175,8	11 681	5	2019	0	0,00%	0	0,0	3 449
6	2018	8 722	25,23%	20	201,8	13 083	6	2019	18 113	52,39%	30	190,3	18 113
7	2018	9 799	28,34%	19	100,8	15 988	7	2019	14 945	43,23%	31	194,8	14 945
8	2018	19 078	55,19%	31	202,2	19 078	8	2019	14 936	43,20%	31	180,3	14 936
9	2018	8 875	25,67%	30	100,3	8 875	9	2019	6 224	18,00%	30	102,8	6 224
10	2018	3 822	11,05%	31	74,9	3 822	10	2019	3 599	10,41%	31	118,6	3 599
11	2018	957	2,77%	30	1,4	957	11	2019	323	0,94%	7	50,9	1 386
12	2018	587	1,70%	19	1,4	958	12	2019	0	0,00%	0	0,0	972
celkem		74 020		31	202	85 285	celkem		58 140		160	195	71 879
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					2 800		klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					2 800	
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					26,4		měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					20,8	
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					30,5		měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					25,7	



Obr. 54 Poměr spotřeby el. energie chladících strojů budovy č.4 v letech 2019



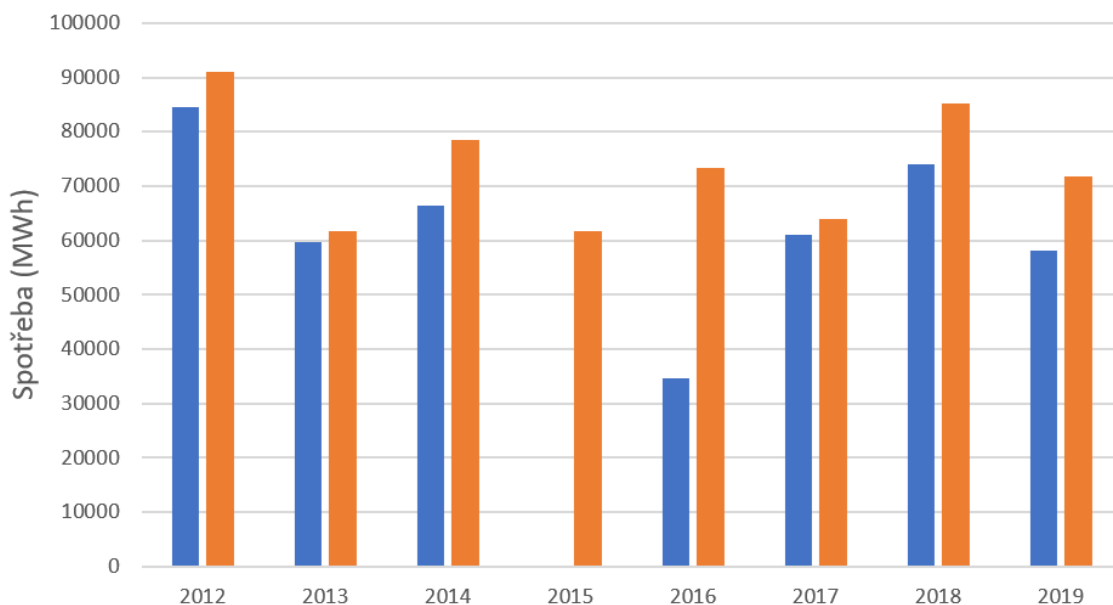
Obr. 55 Naměřená měsíční spotřeba el. energie budovy č.7 v letech 2012 až 2019



Obr. 56 Doplněná měsíční spotřeba el. energie budovy č.7 v letech 2012 až 2019

Na obr. 57 je graf znázorňující roční spotřebu el. energie na chlazení. Je z něj patrné kolik energie bylo reálně naměřeno a kolik bylo za potřebí doplnit. Celková roční spotřeba energie výrazně kolísá a nelze posoudit její trend. V roce 2016 byly zavedeny víkendové útlumy. Spotřeba energie v roce 2016 a 2017 oproti roku 2014 klesla. Roční potřebu energie v roce 2015 nelze zahrnout do posuzování energetických úspor a je možné, že víkendové útlumy probíhali již v tomto roce, nebyly ale pořízeny záznamy, ze kterých by to bylo patrné. V roce 2018 došlo opět k nárůstu spotřeby energie i přes ponechání víkendových útlumů. Spotřeba v tomto roce činila 85 200 kWh. Čím byl tento nárůst spotřeby energie způsoben se nepodařilo objasnit. Klimatické podmínky v tomto

roce nijak zvláště nevybočovaly od dlouhodobých standardů a neproběhla ani změna řízení zdroje chladu. Nejpravděpodobnějším vysvětlením nárůstu energie je obsazení jedné z pronajímatelných kancelářských prostor, čímž byly navýšeny vnitřní zisky objektu.



Obr. 57 Roční spotřeba el. energie pro reálná a doplněná data budovy č. 7 v letech 2012 až 2019

Závěr budovy č. 7

Při měření potřeby el. energie na chlazení u objektu č. 7 došlo v letech 2016 až 2019 k delším výpadkům měření na začátku let 2016 a 2019. Tyto datové mezery musely být doplněny metodou průměrů, jelikož metoda využívající měsíční průměrné teploty venkovního vzduchu vykazuje velkou chybu. V letech 2017 a 2018 došlo k datovým mezerám vlivem přemazání dat a tyto intervaly byly nahrazeny s relativně malou chybou pomocí posledního záznamu a metody směrnic.

Měsíční výkyvy ve spotřebě energie nekorelují s venkovními podmínkami a jejich přesnou příčinu se nepodařilo objasnit. Po snížení roční spotřeby energie v roce 2016 a 2017 pravděpodobně vlivem víkendových útlumů, zavedených na začátku roku 2016, došlo k náhlému navýšení celkové spotřeby v roce 2018. Rozdíl roční spotřeby energie mezi rokem 2017 a 2018 činil 21 400 kWh. Příčinu náhlého nárůstu se bohužel také nepodařilo objasnit. Nejpravděpodobnějším vysvětlením je nárůst vnitřních zisků, nebo nastavení nižší vnitřní regulační teploty. Měrná spotřeba el. energie vztahovaná na podlahovou plochu z let 2012 až 2019, při vynechání roku 2015, činí 22,4 kWh/m² a při započtení doplněných dat 26,8 kWh/m².

3.1.8 Budova č. 8

Popis budovy

Budova je situována v Praze v Jinonicích. Objekt byl postaven v roce 2008. V budově se nachází jedno podzemní a pět nadzemních podlaží. V podzemním podlaží se nachází parkoviště, v 1. NP je vstupní prostor a restaurace. Ve 2-5. NP jsou pronajímatelné kancelářské prostory. Strojovna vzduchotechniky a chlazení je umístěna na střeše objektu. Ostatní parametry budovy jsou popsány v tab. 48. [12]

Tabulka 48 Základní popis objektu č. 8

Lokalita	Praha, Jinonice
Účel objektu	Administrativní budova
Celková podlahová plocha objektu	9 800 m ²
Klimatizovaná podlahová plocha objektu	5 424 m ²
Provozní doba	Po – Pá, 7:00 – 20:00

Klimatizační systém

Klimatizace objektu je zajištěna pomocí ventilátorových konvektorů a vzduchotechnických zařízení. Budova je rozdělena do šesti zón pro větrání a klimatizaci. První zónou je podtlakově větraný parkovací prostor, druhou restaurace v 1. NP, další dvě zóny jsou určeny pro kanceláře a další dvě pro kotelnu a sociální zařízení. V objektu jsou pro přívod čerstvého a odtaž znehodnoceného vzduchu dvě VZT jednotky vybaveny zpětným získáváním tepla v podobě rotačního výměníku. Odvod tepelné zátěže je zajištěn ventilátorovými konvektory. Chladicí voda pro VZT jednotky a pro ventilátorové konvektory je z rozdělovače ve strojovně chlazení distribuována v oddělených větvích s teplotním spádem 6/12 °C pro vent. konvektory a 8/14 °C pro VZT jednotky. [12]

Popis zdroje chladu

Jako zdroj chladu slouží pro tento objekt dvojice kompresorových chladících strojů Carrier 30HZV141-A0053-PEE. V jednotkách se používá chladivo R407c. Další důležité technické parametry zdroje chladu jsou popsány v tab. 49. [12]

Tabulka 49 Chladicí stroje objektu č. 8

Název	Chladicí výkon (kW)	Elektrický příkon (kW)	EER
2 x Carrier 30HZV141-A0053-PEE	410	160	2,5

Odvod kondenzačního tepla

Kondenzační teplo je odváděno pomocí čtyř oddělených kondenzátorů chladících strojů, umístěných na střeše objektu. [11]

Akumulace chladu

V tomto objektu není v okruhu použita akumulací nádrž.

Využití odpadního tepla

Odpadní teplo z chlazení není využíváno.

Ostatní zařízení klimatizačního systému

Pro distribuci chladicí vody jsou použita oběhová čerpadla vždy ve dvojici. V okruhu pro VZT a v okruhu pro ventilátorové konvektory jsou použita čerpadla Siemens. Oběhová čerpadla jsou od firmy KSB. Celkový příkon čerpadel je 22 kW. Technické parametry jednotlivých komponentů jsou popsány v tab. 50. Celkový příkon ventilátorů VZT jednotek činí 45,7 kW. [11]

Tabulka 50 Ostatní zařízení klimatizačního systému pro objekt č. 8

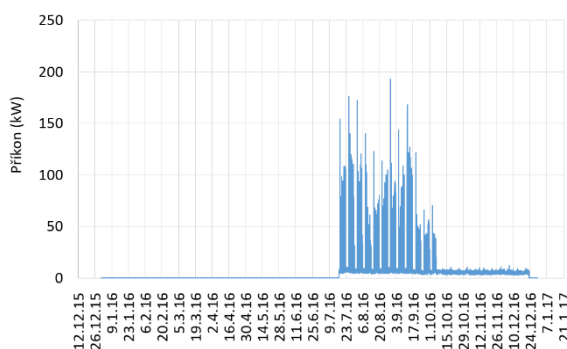
Popis	Název	Elektrický příkon (kW)
Čerpadla chladicího okruhu VZT	Siemens (2 x 3 kW)	6
Čerpadla chladicího okruhu FCU	Siemens (2 x 4 kW)	8
Oběhová čerpadla	KSB (2x 4 kW)	8

Zpracování naměřených dat

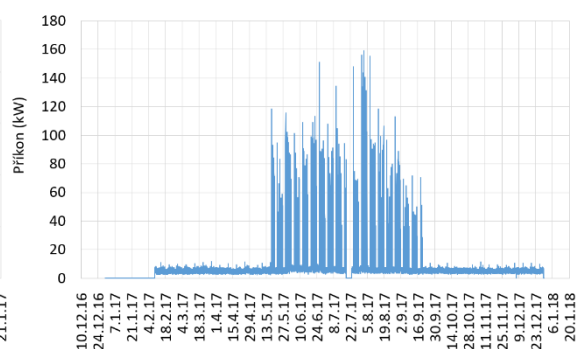
Spotřeby energie je zaznamenávána u dvojice chladících strojů Carrier 30HZV141-A0053-PEE. Měření bylo spuštěno 29. 3. 2012. Odečet spotřeby energie je realizován pomocí měřiče transformátorového proudu MTP 500/5A a jednoho třífázového elektroměru typu (KWZ-3PH-I5, 3x230/400V, měrná LED RI 40 000 imp./kWh, S0 výstup 5 000 imp./kWh). Konstanta elektroměru je 100, pro hodnotu v kWh, je třeba vynásobit hodnotu číselníku stem. Data jsou z elektroměru ukládána do dataloggeru.

Přepočet vstupní veličiny je $(5\ 000/(500/5) = 50)$, tedy 50 impulsů je 1 kWh. Opět byla nastavena převodní konstanta dataloggeru, aby odečtená data byla přímo v kWh. [11]

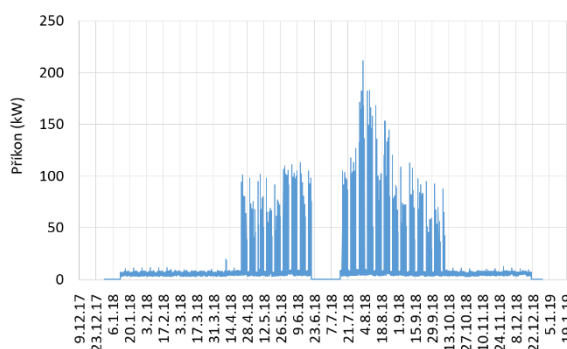
Záznam dat probíhal v patnáctiminutových intervalech. Roční průběhy el. příkonu z let 2016 až 2019 jsou zobrazené v grafech na obr. 58, 59, 60 a 61. Z grafů je patrné, že začátek roku 2016 až zhruba do poloviny července neprobíhalo měření. Data z let 2017 a 2018 jsou téměř kompletní s výjimkou krátkého výpadku v červenci v roce 2017 a přelomu června a července v roce 2018. Pro rok 2019 nejsou k dispozici žádná data. Dále je patrné, že je průběh el. příkonu podobný v letech 2017 a 2018. V zimních měsících se spotřeba energie pohybuje v rozmezí 3 až 19 kW, od konce dubna spotřeba roste až do letních měsíců, kde jsou zaznamenány maximální hodnoty a dále opět klesá až k hodnotám odpovídajícím intervalu na začátku roku. Indikovaný příkon v období, kdy není za potřebí chlazení objektu, je pravděpodobně způsobený tím, že odečet spotřeby energie probíhá pro celou strojovnu chlazení včetně všech šesti čerpadel. Maximální hodnota příkonu v toto období je 19 kW, což přibližně odpovídá nominálnímu příkonu čerpadel, který je 22 kW. V roce 2018 byl ovšem příkon v letních měsících výrazně vyšší, než v roce 2017. Z grafů jsou dále patrné víkendové útlumy, které lze zaznamenat vždy při spuštění zdroje chladu. Na oběhová čerpadla se víkendové útlumy nevztahují.



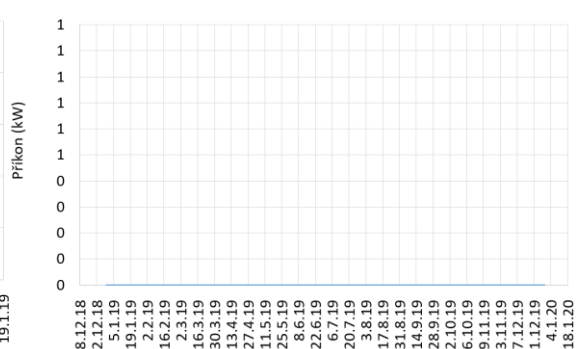
Obr. 58 Elektrický příkon pro rok 2016



Obr. 59 Elektrický příkon pro rok 2017



Obr. 60 Elektrický příkon pro rok 2018



Obr. 61 Elektrický příkon pro rok 2019

Maximální hodnota příkonu el. energie v roce 2016 byla 193 kW a nastala 29. 8 v 5:45. V roce 2017 bylo naměřeno maximum 159 kW dne 2. 8 v 6:45 a v roce 2018 bylo maximum 2. 8 v 17:15 a činilo 211 kW. Maximální roční příkon mohl ovšem nastat v datové mezeře v každém z uvedených let, proto není vyloučeno, že byl příkon v průběhu let vyšší.

Analýza dat

Měsíční a celková spotřeba energie je zobrazena v tab. 51, 52, 53, 54. Z tabulek je patrný počet dní pro každý měsíc, ve kterých probíhal sběr dat. Průběh spotřeby el. energie na chlazení má předpokládaný průběh, který lze vidět i z grafů ročního příkonu. Spotřeba el. energie je z počátku roku konstantní, v dubnu přijde prudký nárůst, následně v letních měsících dosáhne svého maxima a v listopadu opět poklesne na hodnotu konstantní spotřeby. Spotřeba energie v období, kdy nedochází ke chlazení objektu,

Tab. 51 Výsledná data budovy č. 8 z 2016 Tab. 52 Výsledná data budovy č. 8 z 2017

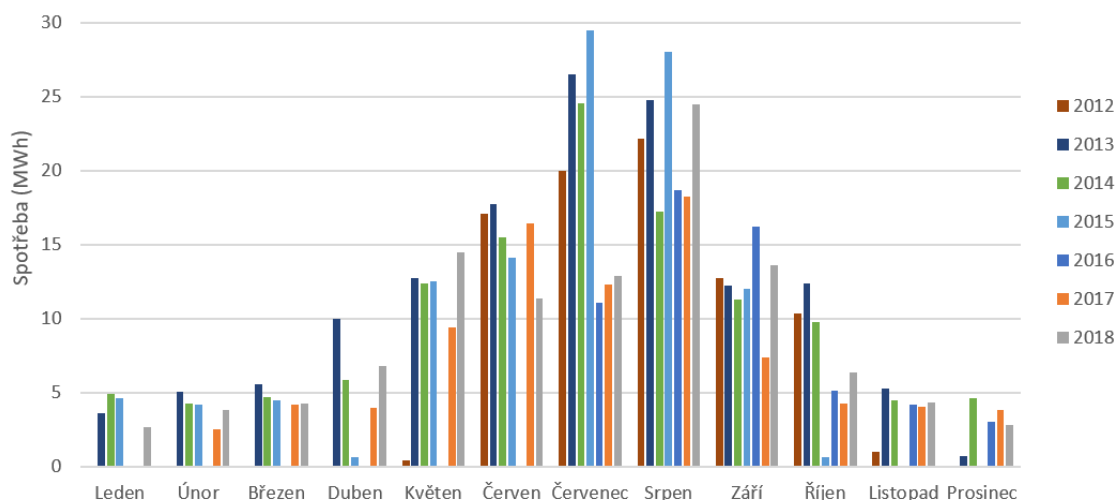
Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]				
1	2016	0	0,00%	0	0	4 382	1	2017	0	0,00%	0	0	4 779				
2	2016	0	0,00%	0	0	4 501	2	2017	2 574	2,32%	20	11	3 604				
3	2016	0	0,00%	0	0	4 927	3	2017	4 214	3,80%	31	12	4 214				
4	2016	0	0,00%	0	0	7 599	4	2017	4 013	3,62%	30	11	4 013				
5	2016	0	0,00%	0	0	12 558	5	2017	9 424	8,51%	31	118	9 424				
6	2016	0	0,00%	0	0	16 107	6	2017	16 464	14,86%	30	151	16 464				
7	2016	11 066	18,96%	15	176	22 132	7	2017	12 337	11,14%	27	156	14 165				
8	2016	18 685	32,02%	31	193	18 685	8	2017	18 220	16,45%	31	159	18 220				
9	2016	16 242	27,83%	30	168	16 242	9	2017	7 408	6,69%	30	72	7 408				
10	2016	5 112	8,76%	31	70	5 112	10	2017	4 257	3,84%	31	11	4 257				
11	2016	4 199	7,19%	30	11	4 199	11	2017	4 035	3,64%	30	11	4 035				
12	2016	3 058	5,24%	23	12	4 121	12	2017	3 836	3,46%	29	11	4 100				
celkem		58 363		160	193	120 568	celkem		86 783		320	159	94 683				
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					5 424				klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					5 424			
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					10,8				měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					16,0			
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					22,2				měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					17,5			

Tab. 53 Výsledná data budovy č. 8 z 2018 Tab. 54 Výsledná data budovy č. 8 z 2019

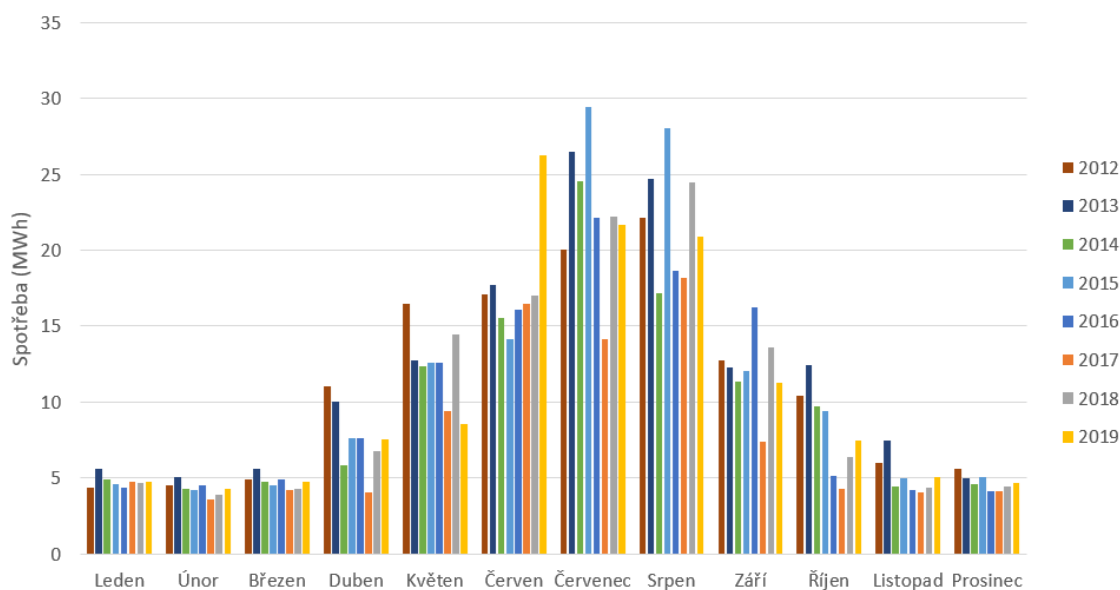
Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]				
1	2018	2 677	4,59%	20	12	4 649	1	2019	0	0,00%	0	0	4 760				
2	2018	3 858	6,61%	28	12	3 858	2	2019	0	0,00%	0	0	4 281				
3	2018	4 283	7,34%	31	10	4 283	3	2019	0	0,00%	0	0	4 733				
4	2018	6 788	11,63%	30	101	6 788	4	2019	0	0,00%	0	0	7 559				
5	2018	14 474	24,80%	31	110	14 474	5	2019	0	0,00%	0	0	8 574				
6	2018	11 368	19,48%	20	113	17 052	6	2019	0	0,00%	0	0	26 281				
7	2018	12 904	22,11%	18	172	22 224	7	2019	0	0,00%	0	0	21 657				
8	2018	24 450	41,89%	31	211	24 450	8	2019	0	0,00%	0	0	20 923				
9	2018	13 635	23,36%	30	112	13 635	9	2019	0	0,00%	0	0	11 307				
10	2018	6 359	10,90%	31	92	6 359	10	2019	0	0,00%	0	0	7 432				
11	2018	4 337	7,43%	30	13	4 337	11	2019	0	0,00%	0	0	5 071				
12	2018	2 866	4,91%	20	11	4 442	12	2019	0	0,00%	0	0	4 708				
celkem		108 000		320	211	126 552	celkem		0		0	0	127 284				
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					5 424				klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					5 424			
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					19,9				měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					0,0			
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					23,3				měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					23,5			

způsobená pravděpodobně čerpadly pro distribuci chladící vody, činí průměrně 4 500 kWh za měsíc. Z tabulek je patrné, že největší mezera ve sběru dat byla v roce 2016. Výpadek v měření trval až do poloviny července, čímž jsou data poměrně znehodnocena, jelikož chybí spotřeba v letních měsících. Data z let 2017 a 2018 jsou téměř kompletní s výjimkou července 2017 a přelomu června a července v roce 2018, podobně jako u budovy č. 7. Rok 2019 chybí celý. Doplnění dat na začátku a na konci roku, kdy energii spotřebovávají pouze čerpadla, bylo provedeno metodou průměrů z předchozích let. Lze předpokládat, že doplnění bude relativně přesné, jelikož nedošlo ke změně žádného z čerpadel. Pro doplnění dat v části dubnu, v květnu a červnu 2016 a celého roku 2019 byla použita metoda založená na průměrné měsíční teplotě venkovního vzduchu. Průměrná relativní odchylka od normálu této metody pro budovu č. 8 je 14 % a spadá do kategorie budov, kde je doplnění dat touto metodou poměrně přesné. Stejně jako u budovy č. 7 byly datové mezery v letech 2017 a 2018 způsobeny přemazáním paměti dataloggeru a byly tedy nahrazeny metodou využívající poslední záznam.

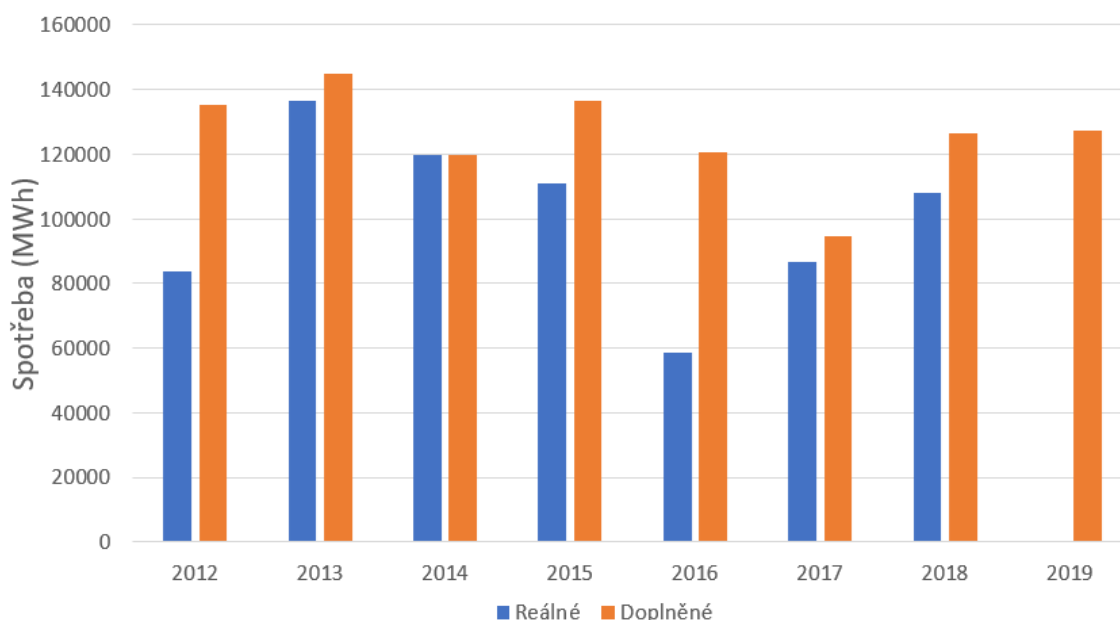
Na obr. 62 je graf znázorňující naměřenou spotřebu el. energie v jednotlivých měsících pro rok 2012 až 2019. Není zde rok 2019, jelikož nebyla naměřena žádná data. Na obr. 63 je graf popisující stejnou závislost s započtením doplněných hodnot. Z grafů je dobře patrný průběh roční spotřeby energie s určitými měsíčními výkyvy. V roce 2015 byla naměřena extrémní spotřeba el. energie v červenci a v srpnu. V červenci 2015 byla hodnota spotřeby energie 22 132 kWh. Zvýšení spotřeby v těchto měsících lze vysvětlit extrémní teplotou venkovního vzduchu v těchto měsících. V červenci 2015 byla teplota o 3,4 °C vyšší, než dlouhodobý průměr z let 1981 až 2010, v srpnu byla zvýšená dokonce



Obr. 62 Naměřená měsíční spotřeba el. energie budovy č.8 v letech 2012 až 2019



Obr. 63 Doplněná měsíční spotřeba el. energie budovy č.7 v letech 2012 až 2019



Obr. 64 Roční spotřeba el. energie pro reálná a doplněná data budovy č. 8 v letech 2012 až 2019

o 4,2 °C. Výkyv v červnu 2019 nelze brát v potaz, jelikož se jedná o odhad, který nemohl být založen na žádné naměřené hodnotě tohoto roku. Na obr. 64 je znázorněna celková roční spotřeba el. energie pro budovu č. 8 v letech 2012 až 2019. Z grafu je patrné, že celková roční spotřeba kolísá a nejsou zde patrné žádné výrazné změny. Za povšimnutí stojí ovšem pokles spotřeby v roce 2017. Spotřeba v roce 2017 byla 94 600 kWh a hned rok poté 126 500 kWh, tudíž se pravděpodobně nejednalo o změnu vnitřní regulační teploty. Vzhledem k tomu, že k víkendovým útlumům dochází již od roku 2012 a jiná

změna řízení také nenastala, budou za pokles spotřeby energie zodpovědné pravděpodobně parametry venkovního prostředí. Průměrná roční teplota venkovního vzduchu byla v roce 2017 9,3 °C, což je přibližně o stupeň méně než v okolních měsících. Samozřejmě mohlo jít o kombinaci více vlivů, včetně snížení vnitřních tepelných zisků.

Závěr budovy č. 8

V objektu č. 8 je v odečtu spotřeby energie započtena celá strojovna chlazení, včetně šesti čerpadel, které pracují nepřetržitě celý rok a mají průměrnou měsíční spotřebu přibližně 4 500 kW. Pro doplnění měsíců, kdy nedochází k chlazení objektu, je použita metoda průměrů. V ostatních případech byla použita metoda vycházející z průměrné teploty venkovního vzduchu. K doplnění dat v roce 2017 a 2018 byla použita metoda využívající poslední záznam při přemazání dat.

Nejmarkantnější výkyvy měsíční spotřeby el. energie byly zaznamenány v roce 2015 v červenci a v srpnu, kdy bylo extrémně teplé léto a průměrné měsíční teploty byly vysoko nad dlouhodobým normálem. Nejvyšší měsíční spotřeba v letech 2012 až 2019 byla právě v jednom z těchto měsíců, v červenci 2015 byla spotřeba el. energie 22 132 kWh. Celková roční spotřeba energie byla nejvyšší v roce 2013 a činila 145 000 kWh. Nejnižší roční spotřeba byla 94 600 kWh v roce 2017. Odstavením čerpadel z provozu v měsíci, kdy není potřeba objekt chladit by se ušetřilo přibližně 26 000 kWh ročně. Měrná spotřeba el. energie vztažená na podlahovou plochu z let 2012 až 2019, při vynechání roku 2019, ze kterého nejsou žádná data, činí 18,5 kWh/m² a při započtení doplněných dat 23,1 kWh/m².

3.1.9 Budova č. 9

Popis budovy

Objekt se nachází v Praze v Holešovicích a jeho stavba byla dokončena v roce 1990. Budova se skládá z jednoho podzemního a pěti nadzemních podlaží. Podzemní podlaží je využíváno z naprosté většiny jako parkoviště. V nadzemních podlažích se nacházejí pronajímatelné kancelářské prostory. Strojovna vzduchotechniky a chlazení je umístěna na střeše objektu. Ostatní parametry budovy jsou popsány v tab. 55. [12]

Tab. 55 Základní popis objektu č. 9

Lokalita	Praha 7, Holešovice
Účel objektu	Administrativní budova
Celková podlahová plocha objektu	3 472 m ²
Klimatizovaná podlahová plocha objektu	3 120 m ²
Provozní doba	Po – Pá, 8:00 – 18:00

Klimatizační systém

Klimatizace objektu je zajištěna pomocí ventilátorových konvektorů. Objekt je z velké části odvětráván přirozeným větráním, s výjimkou konkrétních místností jako jsou například sanitární místnosti a některé z kancelářských prostorů, kde je přívod a odvod vzduchu zajištěn nuceným větráním. Pro tyto účely jsou v objektu dvě VZT jednotky umístěny ve strojovně vzduchotechniky na střeše. Jednotky jsou vybaveny zpětným získáváním tepla a dvoustupňovou regulací. Pro přívod čerstvého a odvod znehodnoceného vzduchu z místností jsou nainstalovány anemostaty. Ventilátorové konvektory pro odvod tepelné zátěže jsou plynule regulovaný trojcestným ventilem, napojeným na termostat v místnosti s možností individuální regulace. VZT jednotky a ventilátorové konvektory jsou rozděleny na dva samostatné okruhy. Okruh pro VZT jednotky pracuje s teplotním spádem 6/12 °C a pro ventilátorové konvektory 9/14 °C, z důvodu eliminace kondenzace. [11]

Popis zdroje chladu

Jako zdroj chladu pro ventilátorové konvektory a vzduchotechniku slouží dvojice chladičích strojů TRANE CGAH 250 z roku 1996. Pro odvod tepelné zátěže je dostačující výkon pouze jednoho ze strojů. Druhý slouží jako záložní. Jednotky se pravidelně střídají v týdenních intervalech kvůli menšímu opotřebení, pouze ve výjimečných případech (venkovní teplota > 32 °C) jsou v provozu zároveň. Další důležité technické parametry zdroje chladu jsou popsány v tab. 56. [12]

Tabulka 56 Chladičí stroje objektu č. 9

Název	Chladičí výkon (kW)	Elektrický příkon (kW)	EER
2 x TRANE CGAH 250	156	36	4

Odvod kondenzačního tepla

Kondenzační teplo je odváděno pomocí vzduchem chlazených kondenzátorů umístěných na střeše objektu. [11]

Akumulace chladu

V okruhu chlazení je nainstalována akumulární nádrž o objemu 0,8 m³.

Využití odpadního tepla

Odpadní teplo z chlazení není využíváno.

Ostatní zařízení klimatizačního systému

Pro distribuci chladicí vody jsou použita oběhová čerpadla vždy ve dvojici. Celkový příkon čerpadel je 12 kW. Technické parametry jednotlivých komponentů jsou popsány v tab. 57. [11]

Tabulka 57 Ostatní zařízení klimatizačního systému pro objekt č. 9

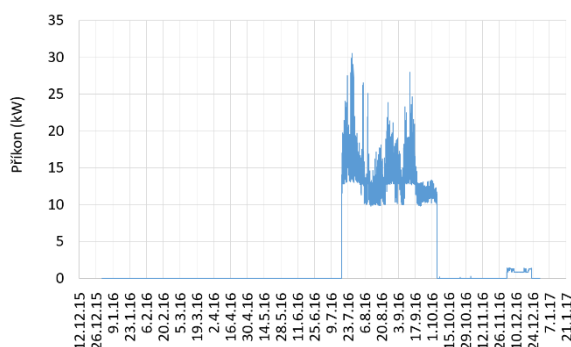
Popis	Název	Elektrický příkon (kW)
Čerpadla chladicího okruhu VZT	Grundfos (2 x 3 kW)	6
Čerpadla chladicího okruhu FCU	Grundfos (2 x 3 kW)	6

Zpracování naměřených dat

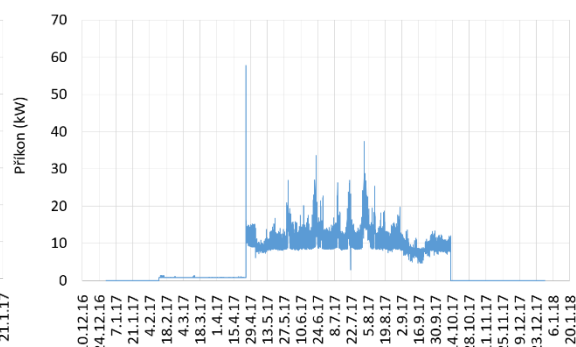
Spotřeba energie je zaznamenávána u dvojice chladících strojů TRANE CGAH 250. Měření bylo uvedeno do provozu 28. 6. 2012. Měření spotřeby el. energie je prováděno na pojistkovém vývodu 3x250A, na kterém se na všech třech fázích počítají pulsy pomocí měřiče transformátorového proudu MTP 250/5A. Ten je napojený na elektroměr Maneler 9911D, jehož převodní konstanta byla původně 50, byla ovšem přenastavena a data na číselníku jsou přímo v kWh. Z elektroměru jsou data ukládána do dataloggeru (S7021). Přepočet vstupní veličiny je $(12\ 800 / (250 / 5) = 256)$, tedy 256 impulsů je 1 kWh. Opět byla nastavena převodní konstanta dataloggeru, aby odečtená data byla přímo v kWh. [11]

Data byla zaznamenávána v patnáctiminutových intervalech. Na obr. 65, 66, 67 a 68 jsou graficky znázorněny roční průběhy el. příkonu z let 2016 až 2019. Sepnutí zdroje chladu je prováděno ručně v případě, kdy venkovní teplota překročí určitou hranici, která není nikde pevně stanovená. Obvykle je zdroj chladu uveden do provozu v polovině dubna, přes letní měsíce je dosaženo maximálních hodnot příkonu a zhruba v polovině října je stroj opět vypnut, jak vyplývá z grafů na obr. 66 a 67 a dat z roku 2013 a 2014,

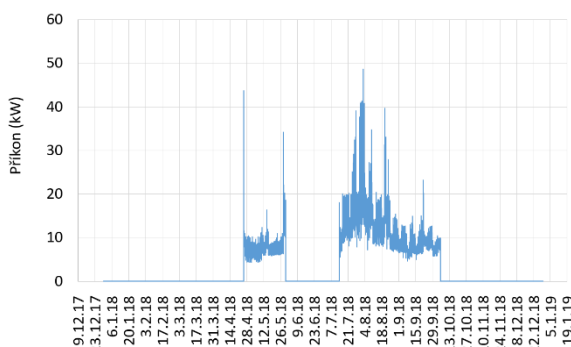
kteřá byly relativně konzistentní. Z toho je patrné, že v roce 2016 a 2019 neprobíhalo začátkem roku měření. K výpadku došlo dále také v roce 2018 od konce května do poloviny července. Z grafů je patrné, že po zapnutí zdroje chladu dochází sice k útlumům způsobených poklesem venkovní teploty v nočních hodinách, ale i za těchto okolností je el. příkon stále v rozmezí přibližně 8 až 10 kW. Ze záznamů z roku 2016, které byly pořizeny, je vidět, že nedocházelo k výrazným anomáliím, s výjimkou prosince, kde byl indikován drobný příkon zdroje chladu. Záznamy z roku 2017 jsou téměř kompletní a z grafu na obr. 66 je dobře patrný roční průběh příkonu. Maximální příkon v tomto roce byl 58 kW při spuštění stroje, za což ovšem mohl vysoký startovací proud. Nejvyšší potřebný příkon byl v tomto roce 37 kW dne 1. 8 v 15:45. V roce 2018 byl startovací příkon nižší než maximální požadovaná hodnota, která činila 49 kW a nastala dne 2. 8 v 15:00. V roce 2019 nastala neobvyklá situace, kdy byl stroj uveden do provozu a 22. 5 byl vypnut a k jeho opětovnému spuštění došlo 3. 6 s poměrně velkým startovacím příkonem 68 kW. Maximální potřebný příkon zdroje chladu v tomto roce byl 44 kW. Z dat z let 2016 až 2019 vyplývá, že až na výjimku na přelomu července a srpna v roce 2018, byl v chodu pouze jeden z chladicích strojů.



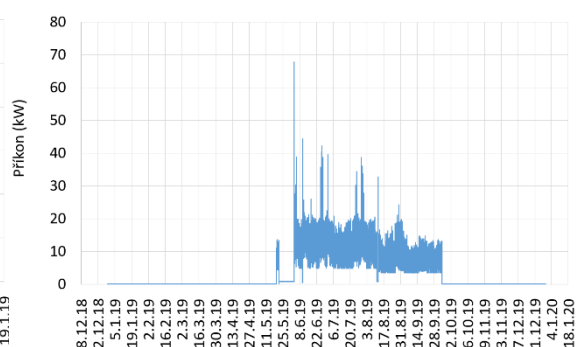
Obr. 65 Elektrický příkon pro rok 2016



Obr. 66 Elektrický příkon pro rok 2017



Obr. 67 Elektrický příkon pro rok 2018



Obr. 68 Elektrický příkon pro rok 2019

Analýza dat

Měsíční a celková spotřeba energie je zobrazena v tab. 58, 59, 60, 61. Z tabulek je patrný počet dní pro každý měsíc, ve kterých probíhal sběr dat. Z tabulek je patrné, že spotřeba el. energie na chlazení je v prvních třech měsících v roce nulová, nebo téměř nulová. Přes měsíce duben až říjen postupně roste, dosahuje maximálních hodnot a v listopadu a prosinci je stroj obvykle opět vypnutý a nespotebovává žádnou energii. Chybějící data pro rok 2016 a 2019 byla doplněna pomocí metody průměrů, jelikož metoda založená na průměrné měsíční teplotě venkovního vzduchu vykazovala extrémní odchylku od skutečných hodnot a naměřené měsíční spotřeby téměř nekorelují s průměrnou měsíční teplotou. Datová mezera v roce 2018 vznikla pravděpodobně přemazáním paměti dataloggeru. Na její doplnění byla použita metoda využívající posledního záznamu před přemazáním dat v kombinaci s metodou směrnic, která potvrdila hypotézu o přemazání dat. Na obr. 62 je graf znázorňující naměřenou spotřebu

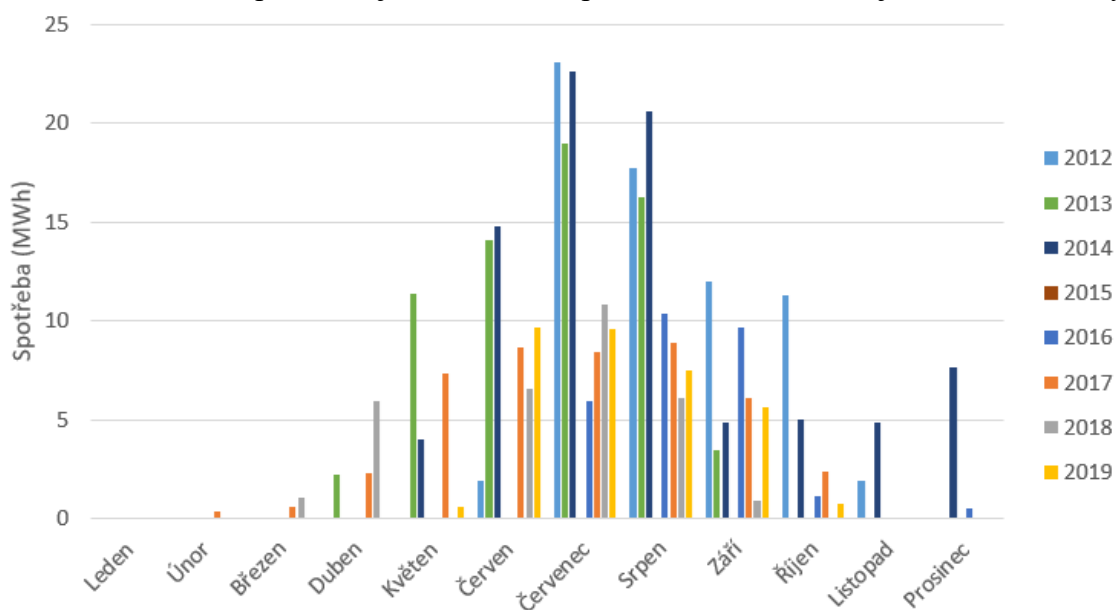
Tab. 58 Výsledná data budovy č. 9 z 2016 *Tab. 59 Výsledná data budovy č. 9 z 2017*

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplňná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplňná spotřeba EE [kWh]		
1	2016	0	0,00%	0	0	0	1	2017	0	0,00%	0	0	0		
2	2016	0	0,00%	0	0	0	2	2017	364	1,32%	17	1	600		
3	2016	0	0,00%	0	0	0	3	2017	635	2,30%	31	1	635		
4	2016	0	0,00%	0	0	1 133	4	2017	2 323	8,40%	30	58	2 323		
5	2016	0	0,00%	0	0	7 721	5	2017	7 361	26,62%	31	27	7 361		
6	2016	0	0,00%	0	0	14 432	6	2017	8 669	31,35%	30	34	8 669		
7	2016	5 921	21,42%	15	31	21 549	7	2017	8 448	30,55%	31	27	8 448		
8	2016	10 336	37,38%	31	27	10 336	8	2017	8 929	32,30%	31	37	8 929		
9	2016	9 708	35,11%	30	28	9 708	9	2017	6 119	22,13%	30	14	6 119		
10	2016	1 162	4,20%	31	13	1 162	10	2017	2 386	8,63%	31	12	2 386		
11	2016	0	0,00%	30	0	0	11	2017	0	0,00%	30	0	0		
12	2016	522	1,89%	23	1	704	12	2017	0	0,00%	24	0	0		
celkem		27 649		160	31	66 745	celkem		45 235		316	58	45 471		
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					3 120			klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					3 120		
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					8,9			měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					14,5		
měrná doplňná spotřeba EE [kWh/m ²]					21,4			měrná doplňná spotřeba EE [kWh/m ²]					14,6		

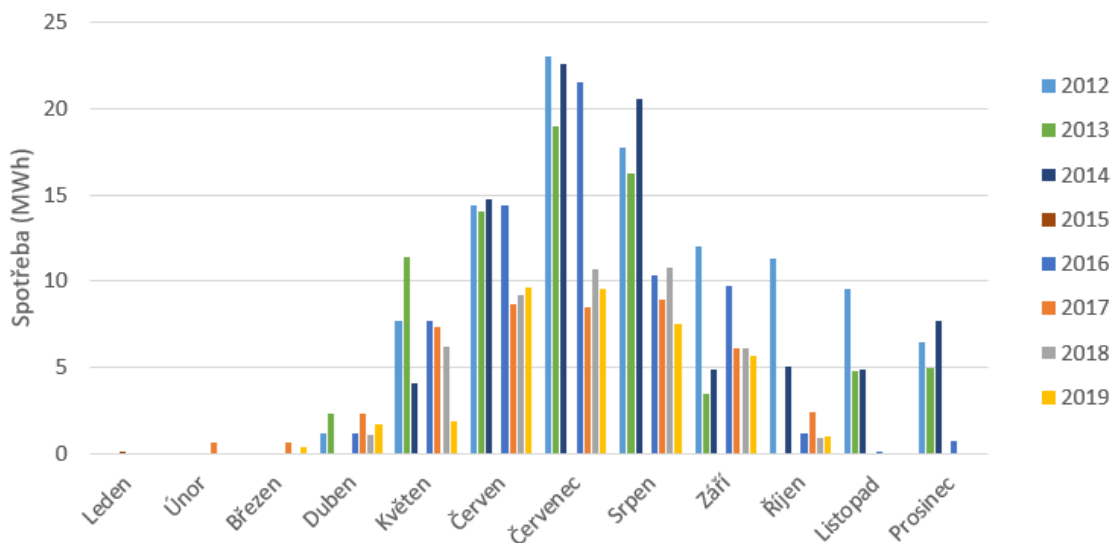
Tab. 60 Výsledná data budovy č. 9 z 2018 *Tab. 61 Výsledná data budovy č. 9 z 2019*

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplňná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplňná spotřeba EE [kWh]		
1	2018	0	0,00%	31	0	0	1	2019	0	0,00%	0	0	0		
2	2018	0	0,00%	28	0	0	2	2019	0	0,00%	0	0	0		
3	2018	0	0,00%	31	0	0	3	2019	0	0,00%	0	0	358		
4	2018	1 111	4,02%	30	44	1 111	4	2019	0	0,00%	0	0	1 662		
5	2018	5 976	21,62%	30	34	6 176	5	2019	577	2,09%	13	14	1 864		
6	2018	0	0,00%	0	0	9 207	6	2019	9 662	34,94%	30	68	9 662		
7	2018	6 555	23,71%	19	41	10 695	7	2019	9 555	34,56%	31	40	9 555		
8	2018	10 815	39,12%	31	49	10 815	8	2019	7 470	27,02%	31	33	7 470		
9	2018	6 105	22,08%	30	23	6 105	9	2019	5 619	20,32%	30	19	5 619		
10	2018	888	3,21%	31	10	888	10	2019	785	2,84%	25	14	973		
11	2018	0	0,00%	30	0	0	11	2019	0	0,00%	0	0	0		
12	2018	0	0,00%	18	0	0	12	2019	0	0,00%	0	0	0		
celkem		31 451		309	49	44 997	celkem		33 667		160	68	37 163		
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					3 120			klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					3 120		
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					10,1			měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					10,8		
měrná doplňná spotřeba EE [kWh/m ²]					14,4			měrná doplňná spotřeba EE [kWh/m ²]					11,9		

el. energie v jednotlivých měsících pro rok 2012 až 2019. Na obr. 63 je zobrazena tato závislost, s tím rozdílem, že jsou do zobrazovaných výsledků měsíčních spotřeb započteny také doplněné hodnoty. Z grafů je na první pohled patrné, že měsíční spotřeba el. energie je výrazně nižší od 2016. Jelikož nedošlo k žádné výrazné dlouhodobé klimatické změně, můžeme z příčin poklesu spotřeby energie vyloučit vliv venkovních podmínek. Ze záznamů dat z let 2012 až 2015 bylo zjištěno, že příkony el. energie byly téměř dvojnásobné v porovnání s následujícími lety. Tomuto faktu odpovídá teorie, že do roku 2016 byla dvojice chladících strojů v provozu současně téměř po celou dobu, kdy probíhalo chlazení objektu. Dále od roku 2016 byly chladicí stroje používány jednotlivě. Podle informací od správce objektu nedošlo k poruše žádného ze zdrojů chladu a lze tedy



Obr. 62 Naměřená měsíční spotřeba el. energie budovy č.9 v letech 2012 až 2019



Obr. 63 Doplněná měsíční spotřeba el. energie budovy č.9 v letech 2012 až 2019

předpokládat že došlo k úpravě regulační teploty objektu a požadovaný chladicí výkon se tím výrazně snížil, nebo došlo k výraznému snížení vnitřních zisků. V červenci v roce 2014 byla naměřena nejvyšší spotřeba el. energie a činila 22 590 kWh. Naopak nejnižší spotřeba v tomto měsíci byla 8 448 kWh v roce 2017. Takto velké rozdíly v měsíční spotřebě pravděpodobně nemohly být způsobené snížením vnitřních tepelných zisků a byla tak tedy pravděpodobně provedena systémová změna v regulaci. Snížení roční spotřeby energie od roku 2016 je patrné také z grafu na obr. 64, kde je mimo jiné patrné také kolik dat bylo v jednotlivých letech odečteno a kolik bylo za potřebí doplnit.



Obr. 64 Roční spotřeba el. energie pro reálná a doplněná data budovy č. 9 v letech 2012 až 2019

Závěr budovy č. 9

Při měření spotřeby el. energie na chlazení u budovy č. 9 došlo v letech 2016 a 2019 k delším výpadkům měření. Tyto datové mezery musely být doplněny metodou průměrů, jelikož metoda využívající měsíční průměrné teploty venkovního vzduchu vykazuje velkou chybu. V roce 2018 došlo k datové mezeře vlivem přemazání dat a tyto intervaly byly nahrazeny s relativně malou chybou pomocí posledního záznamu a metody směrnic. Od roku 2016 došlo k výraznému snížení spotřeby el. energie na chlazení. Za úsporu energie pravděpodobně mohou nové regulační parametry. Průměrná roční spotřeba z let 2012 až 2015 je 85 500 kWh, zatímco v letech 2016 až 2019 jen 48 600 kWh. Měrná spotřeba el. energie vztažená na podlahovou plochu z let 2012 až 2019, při vynechání roku 2015, činí 16,3 kWh/m² a při započtení doplněných dat 21 kWh/m². Měrná spotřeba z let 2016 až 2019 činí po doplnění dat 15,6 kWh/m².

3.1.10 Budova č. 10

Popis budovy

Objekt č. 10 se nachází v Praze 2, je využíván jako hotel a původní stavba pochází z 1. republiky. V roce 2010 došlo ke kompletní rekonstrukci objektu. V objektu se nachází jedno podzemní podlaží, které slouží jako technické zázemí hotelu a sedm nadzemních podlaží. V 1. NP je situována recepce a restaurace, v ostatních podlažích se nacházejí hotelové pokoje. Potřebné parametry budovy jsou popsány v tab. 62. [11]

Tab. 62 Základní popis objektu č. 10

Lokalita	Praha 2
Účel objektu	Hotel
Celková podlahová plocha objektu	3 400 m ²
Klimatizovaná podlahová plocha objektu	2 700 m ²
Počet osob	Cca 300

Klimatizační systém

Ke klimatizaci hotelu je využíván vodní systém s ventilátorovými konvektory a vzduchotechnickým systémem. V objektu je nainstalováno šest VZT jednotek umístěných ve dvou strojovnách vzduchotechniky v 1. PP, které distribuují čerstvý vzduch do objektu a odvádí vzduch znehodnocený. K odvodu tepelné zátěže slouží ventilátorové konvektory. Výrobu chladicí vody zajišťuje bloková jednotka s kompaktním vzduchem chlazeným kondenzátorem rovněž v 1. PP. Chladicí voda je přivedena do rozdělovače, odkud je dále distribuována do pěti samostatných větví. Dvě z nich přivádí chladicí vodu k výměníkům VZT jednotek a tři jsou přiřazeny ventilátorovým konvektorům. [11]

Popis zdroje chladu

Jako zdroj chladu slouží jednotka AERMEC, NRC0750DL00V1 z roku 2009. Stroj má kompaktní vzduchem chlazený kondenzátor a využívá chladivo R407c. Další důležité technické parametry zdroje chladu jsou popsány v tab. 63. [11]

Tabulka 63 Chladicí stroje objektu č. 10

Název	Chladicí výkon (kW)	Elektrický příkon (kW)	EER
AERMEC, NRC0750DL00V1	160	74,9	2,1

Odvod kondenzačního tepla

Kondenzační teplo je z integrovaného kondenzátoru uvnitř chladicího stroje odváděno výkonnými ventilátory přes vzduchotechnickou šachtu do venkovního prostoru přilehlé ulice. Chladicí vzduch je přiváděn rovněž z venkovního prostoru. [11]

Akumulace chladu

V okruhu chlazení není nainstalována žádná akumulární nádoba.

Využití odpadního tepla

Odpadní teplo z chlazení je využíváno k vytápění objektu. Při chodu chladicí jednotky je generován tepelný výkon přibližně 50 kW.

Ostatní zařízení klimatizačního systému

Ventilátory VZT jednotek a ventilátory sloužící pro chlazení kondenzátoru mají celkový příkon el. energie 22 kW. Pro distribuci chladicí vody jsou použita oběhová čerpadla vždy ve dvojici. Celkový příkon čerpadel je 11 kW. Technické parametry jednotlivých čerpadel jsou popsány v tab. 64. [11]

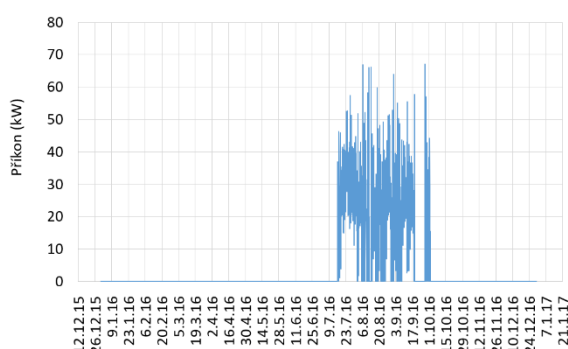
Tabulka 64 Ostatní zařízení klimatizačního systému pro objekt č. 10

Popis	Název	Elektrický příkon (kW)
Hlavní oběhové čerpadlo	KSB (2 x 1,5)	3
Čerpadla chladicího okruhu FCU	KSB (2 x 0,75 kW, 2 x 1,5 kW)	4,5
Čerpadla chladicího okruhu FCU	KSB (2 x 0,75 kW, 2 x 0,55 kW, 2 x 0,37 kW)	3,4

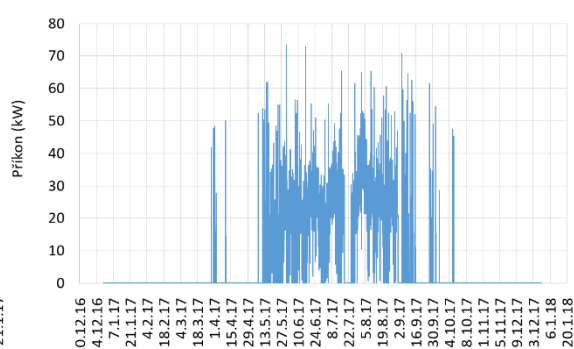
Zpracování naměřených dat

Měření spotřeby el. energie na chlazení je v tomto objektu prováděno na jedné fázi přívodu chladicího stroje AERMEC, NRC0750DL00V1. K měření je využíván měřič transformátorového proudu MTP 300/5A a elektroměr Maneler 9911D, s převodní konstantou $300/5=60$, proto je pro získání dat v kWh nutné vynásobit hodnoty na číselníku šedesáti. Z elektroměru jsou data zaznamenávány do dataloggeru S7021 s nastavenou převodní konstantou vstupní veličiny ($4000/(300/5) = 66,667$), tedy 1 kWh odpovídá 66,67 pulsů. V dataloggeru byla opět nastavena konstanta pro výsledné hodnoty tak, aby výsledná data byla přímo v kWh. [11]

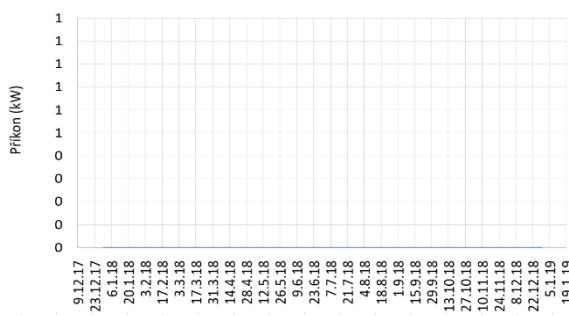
Záznam dat probíhal v patnáctiminutových intervalech. Roční průběhy el. příkonu z let 2016 až 2019 jsou zobrazené v grafech na obr. 65, 66, 67 a 68. Z grafů je patrné, že měření spotřeby energie neprobíhalo začátkem let 2016 a 2019. Z roku 2018 nejsou k dispozici žádná data. Rok 2017 je jediný, kde jsou data relativně konzistentní, s výjimkou krátkého výpadku koncem července. Z grafů el. příkonu je dále vidět, že oblast nejčastěji naměřeného příkonu v exponované měsíce je v rozmezí mezi 20 a 30 kW. Maximální hodnota příkonu v roce 2016 byla 67 kW naměřena 6.8 v 9:15. V roce 2017 byla hodnota maximálního příkonu 73 kW dne 31. 5 v 10:15 a v roce 2019 se jednalo o hodnotu 66 kW ze dne 25. 7 v 17:00. Z grafů nejsou patrné víkendové útlumy.



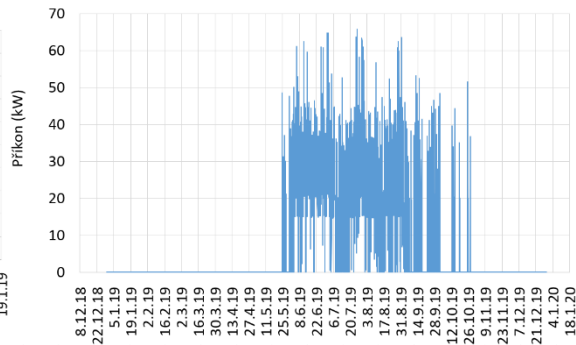
Obr. 65 Elektrický příkon pro rok 2016



Obr. 66 Elektrický příkon pro rok 2017



Obr. 67 Elektrický příkon pro rok 2018



Obr. 68 Elektrický příkon pro rok 2019

Analýza dat

Měsíční a celková spotřeba energie je zobrazena v tab. 65, 66, 67, 68. Z tabulek je mimo naměřenou a doplněnou měsíční spotřebu patrný také počet dní v každém měsíci, kdy probíhalo měření. Data zobrazená v tabulkách korespondují s grafy el. příkonu. Lze z nich vidět, že měření skutečně neprobíhalo v roce 2016 až do poloviny července. V roce 2017 byl čtyřdenní výpadek koncem července, v roce 2018 neprobíhalo měření v žádném měsíci a v roce 2019 jsou pořízeny záznamy až od začátku května. Pro doplnění

chybějících časových intervalů v roce 2016 a 2019 byla použita metoda využívající průměrnou měsíční teplotu venkovního vzduchu. U tohoto objektu vykazovala vytvořená regresní křivka chybu přibližně 14 %. Krátká datová mezera v roce 2017 byla způsobená přemazáním paměti dataloggeru a pro její doplnění bylo využito posledního záznamu před přemazáním. Doplnění měsíční spotřeby pro rok 2018 nebylo možné, jelikož nejsou k dispozici žádná naměřená data z tohoto roku, a proto byl učiněn pouze hrubý odhad celkové roční spotřeby založený na metodě průměrů z ostatních let. Jak je patrné z grafu na obr. 69, na němž je zobrazena závislost naměřených dat měsíční spotřeby el. energie na chlazení v letech 2012 až 2019, nejsou k dispozici žádná data ani v letech 2012, 2014 a 2015. Z důvodu nedostatku naměřených hodnot, nelze považovat doplnění dat delších časových intervalů za relevantní. Na obr. 70 je graf se závislostí měsíční spotřeby el. energie na chlazení naměřených a doplněných dat z let 2013, 2016, 2017 a 2019, kdy byl sběr dat relativně kontinuální, jelikož v měsících na začátku roku, kdy z pravidla

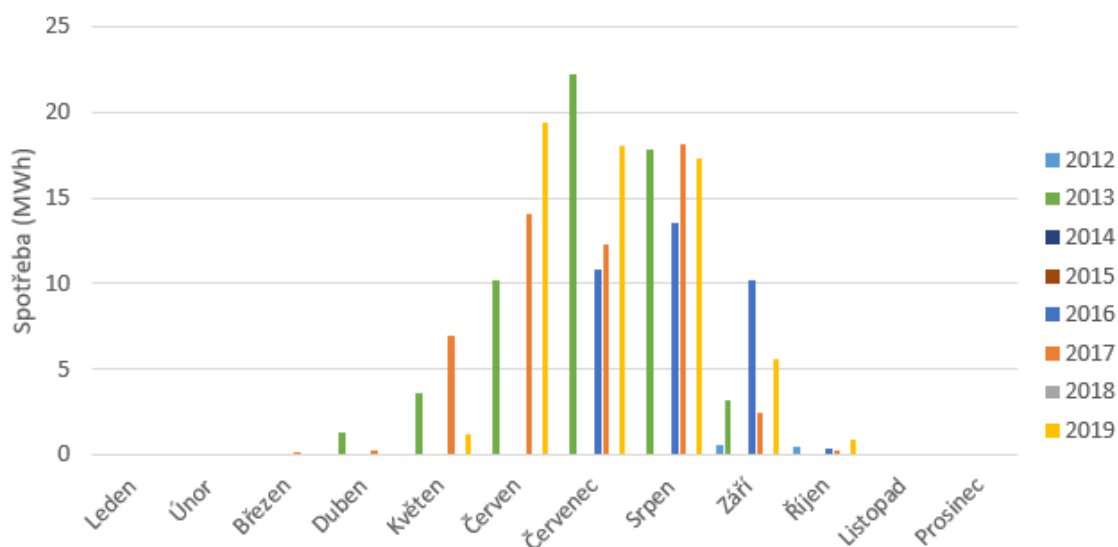
Tab. 65 Výsledná data budovy č. 10 z 2016 Tab. 66 Výsledná data budovy č.10 z 2017

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]
1	2016	0	0,00%	0	0	0	1	2017	0	0,00%	0	0	0
2	2016	0	0,00%	0	0	0	2	2017	0	0,00%	20	0	0
3	2016	0	0,00%	0	0	0	3	2017	210	0,60%	31	48	210
4	2016	0	0,00%	0	0	1 500	4	2017	330	0,94%	30	50	330
5	2016	0	0,00%	0	0	3 500	5	2017	6 930	19,75%	31	73	6 930
6	2016	0	0,00%	0	0	12 500	6	2017	14 080	40,13%	30	73	14 080
7	2016	10 825	30,85%	16	57	20 974	7	2017	12 278	34,99%	27	66	14 097
8	2016	13 587	38,72%	31	67	13 587	8	2017	18 167	51,78%	31	65	18 167
9	2016	10 245	29,20%	30	67	10 245	9	2017	2 447	6,97%	30	71	2 447
10	2016	431	1,23%	31	44	431	10	2017	252	0,72%	31	54	252
11	2016	0	0,00%	30	0	0	11	2017	0	0,00%	30	0	0
12	2016	0	0,00%	22	0	0	12	2017	0	0,00%	29	0	0
celkem		35 087		160	67	62 736	celkem		54 694		320	73	56 513
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					2 700		klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					2 700	
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					13,0		měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					-	
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					23,2		měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					20,9	

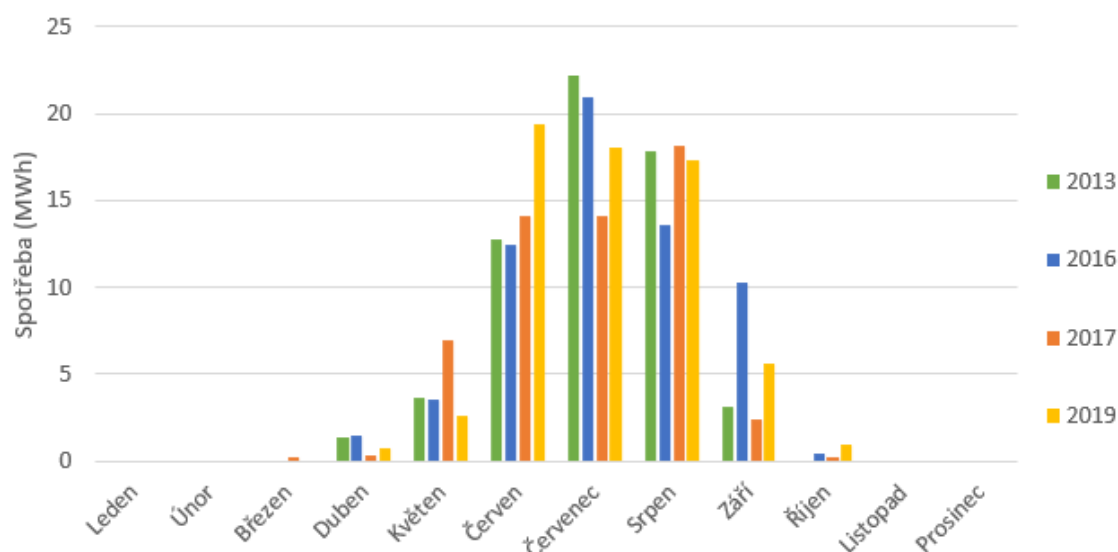
Tab. 67 Výsledná data budovy č. 10 z 2018 Tab. 68 Výsledná data budovy č. 10 z 2019

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]
1	2018	0	0,00%	0	0		1	2019	0	0,00%	0	0	0
2	2018	0	0,00%	0	0		2	2019	0	0,00%	0	0	0
3	2018	0	0,00%	0	0		3	2019	0	0,00%	0	0	0
4	2018	0	0,00%	0	0		4	2019	0	0,00%	0	0	791
5	2018	0	0,00%	0	0		5	2019	1 233	3,52%	8	49	2 655
6	2018	0	0,00%	0	0		6	2019	19 438	55,40%	30	65	19 438
7	2018	0	0,00%	0	0		7	2019	18 050	51,44%	31	66	18 050
8	2018	0	0,00%	0	0		8	2019	17 322	49,37%	31	63	17 322
9	2018	0	0,00%	0	0		9	2019	5 609	15,99%	30	53	5 609
10	2018	0	0,00%	0	0		10	2019	919	2,62%	30	52	950
11	2018	0	0,00%	0	0		11	2019	0	0,00%	0	0	0
12	2018	0	0,00%	0	0	0	12	2019	0	0,00%	0	0	0
celkem		0		0	0	76 788	celkem		62 572		160	66	64 815
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					2 700		klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					2 700	
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					0,0		měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					-	
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					28,4		měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]					24,0	

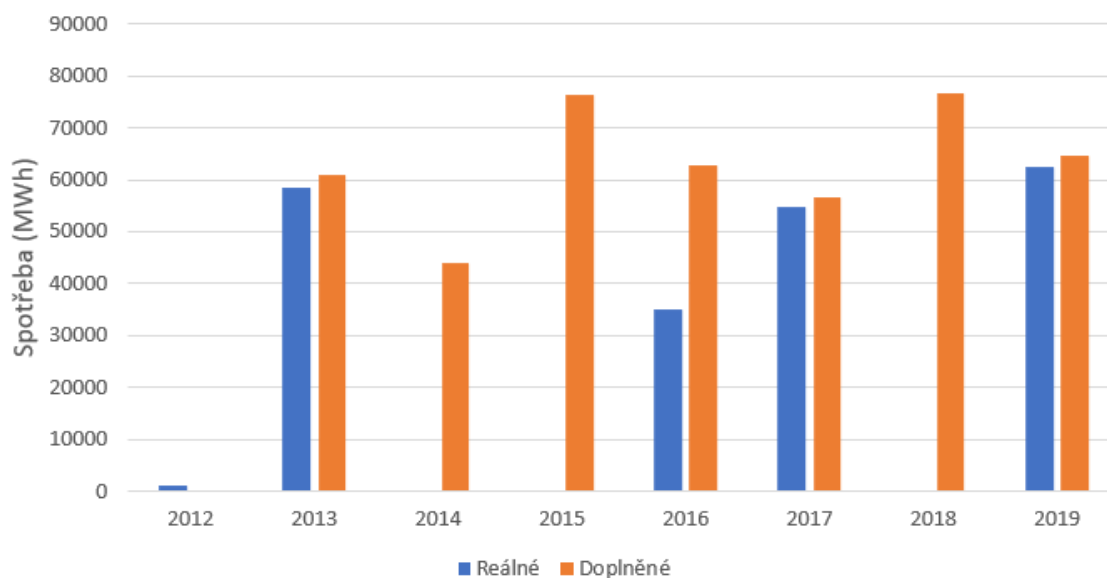
neprobíhalo měření, nedocházelo ani ke spotřebě el. energie na chlazení. Z grafu je nejsou patrné žádné měsíční výkyvy a průběh spotřeby energie v roce má očekávaný vývoj. Začátkem roku je spotřeba energie nulová, následně roste a v letních měsících dosahuje svého maxima. Dále spotřeba klesá a v říjnu, listopadu a prosinci je opět téměř nulová. Na obr. 71 je graf zobrazující roční spotřebu el. energie na chlazení z let 2012 až 2019. Je z něj patrné, že nebyla naměřena žádná data v roce 2012, 2014, 2015 a 2018 a v roce 2016 byla doplněna přibližně polovina z celkové roční spotřeby. Téměř kompletní jsou data pouze z let 2013, 2017 a 2019. Nejvyšší roční spotřeba el. energie byla 64 800 kW v roce 2019, nejmenší spotřeba činila 56 500 kW v roce 2017.



Obr. 69 Naměřená měsíční spotřeba el. energie budovy č.10 v letech 2012 až 2019



Obr. 70 Doplněná měsíční spotřeba el. energie budovy č.10 v letech 2013, 2016, 2017 a 2019



Obr. 71 Roční spotřeba el. energie pro reálná a doplněná data budovy č. 10 v letech 2012 až 2019

Závěr budovy č. 10

Při měření spotřeby el. energie na chlazení u budovy č. 10 docházelo k masivním výpadkům při sběru dat. V letech 2012, 2014, 2015 a 2018 nebyly pořízeny žádné záznamy. Doplnění dat je vzhledem k malému množství naměřených hodnot velice nepřesné pro delší časové intervaly. Proto nelze u tohoto objektu posoudit vývoj spotřeby el. energie na chlazení. Relevantní závěry mohou být pouze z let 2013, 2016, 2017 a 2019, v kterých je průměrná měrná spotřeba el. energie vztažená na podlahovou plochu 19,7 kWh/m² a při započtení doplněných dat 22,7 kWh/m².

3.1.11 Budova č. 11

Popis budovy

Budova č. 11 je Parlament ČR v Praze 1. Jedná se o historickou budovu vystavěnou v 17. století. Budova je tvořena čtyřmi podzemními a pěti nadzemními podlaží. V nadzemních podlažích se nacházejí převážně kancelářské prostory a zasedací místnosti. V budově se dále nacházejí archivy, kuchyně, šatny, sklady a jídelna. Hygienická zařízení, sklady, šatny a podzemní parkoviště jsou umístěny v podzemních podlažích. Potřebné parametry budovy jsou popsány v tab. 69. [14]

Tab. 69 Základní popis objektu č. 11

Lokalita	Praha 1
Účel objektu	Administrativní budova
Celková podlahová plocha objektu	13 667 m ²
Klimatizovaná podlahová plocha objektu	1 144,4 m ²
Počet osob	Není uvedeno

Klimatizační systém

V objektu se nacházejí tři typy klimatizačních systémů, vzduchový, vodní a chladičový. Většina prostorů je chlazená pomocí vzduchového klimatizačního systému. Ten slouží k přívodu čerstvého a odtahu znehodnoceného vzduchu a odvodu tepelné zátěže. Celkem se v objektu nachází 12 zón vzduchotechnického chlazení, které zahrnují zasedací místnosti, jídelny a kuchyně, část kanceláří, kuloáry a tlumočnické kabiny. V objektu se nachází celkem 10 VZT jednotek umístěných ve dvou strojovnách vzduchotechniky ve 4. a 5. NP. Ve strojovně chlazení je umístěno celkem 7 zdrojů chladu, sloužících pro přípravu chladicí vody do výměníků VZT jednotek. Jako dva hlavní zdroje chladu slouží chladicí stroje značky CLIVET. Chladicí kapalinou je směs vody s nemrznoucí směsí, která je vedena k rozdělovači a dále distribuována do samostatných větví. Výměníky VZT jednotek pracují se spádem chladicí kapaliny 6/12 °C. [14]

Popis zdroje chladu

Jako hlavní zdroje chladu slouží dvojice jednotek CLIVET WRA – 2 322 ST z roku 2010. Stroje mají kompaktní vzduchem chlazené kondenzátory a využívá chladivo R410a. Důležité technické parametry zdroje chladu jsou popsány v tab. 70. [14]

Tabulka 70 Chladicí stroje objektu č. 11

Název	Chladicí výkon (kW)	Elektrický příkon (kW)	EER
2 x CLIVET WRA – 2 322 ST	78,31	29,6	2,5

Odvod kondenzačního tepla

Kondenzační teplo je z kondenzátorů uvnitř chladících strojů odváděno ventilátory přes izolovanou vzduchotechnickou šachtu do venkovního prostředí. [14]

Akumulace chladu

V okruhu chlazení není nainstalována žádná akumuláční nádoba. [14]

Využití odpadního tepla

Kondenzační teplo není v tomto objektu využíváno. [14]

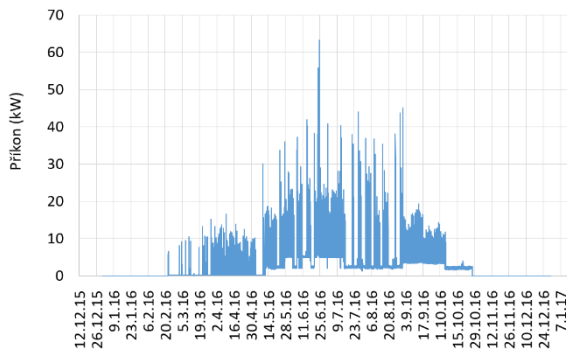
Ostatní zařízení klimatizačního systému

Hlavní dvojice chladících jednotek CLIVET připravuje chladící kapalinu pro 7 VZT jednotek. Celkový příkon přívodních a odvodních ventilátorů vzduchu u těchto jednotek je 37,1 kW. Pro odvod kondenzačního tepla slouží dva radiální ventilátory o celkovém příkonu 4,4 kW. Dále je v hlavním klimatizačním okruhu nainstalováno celkem pět oběhových čerpadel o celkovém příkonu 4,9 kW. Příkony ostatních komponentů nejsou do měření spotřeby energie započteny. [14]

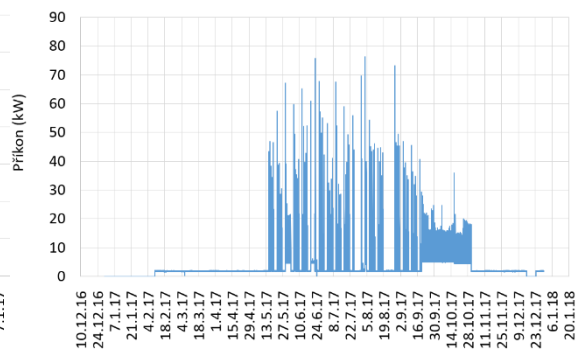
Zpracování naměřených dat

Měření spotřeby energie potřebné na chlazení je v tomto objektu realizováno na přívozech el. energie ke dvojici strojů CLIVET WRA – 2 322 ST. Ke sběru dat dochází od 2. 5. 2012. K měření dochází na třech fázích na každém přívodu pomocí měřičů transformátorového proudu SCHRAK, typu TAR 3D-150,3 x 230/400V, 150/5A, na které jsou napojeny dva třífázové elektroměry DTS 353 L. Na každém z elektroměrů probíhá záznam dat do dvou dataloggerů typu S7021, pro každý zdroj chladu zvlášť. Konstanty pro převod vstupní veličiny jsou u obou dataloggerů 12 800 imp/kWh. Převodní parametry dataloggerů jsou $(12\ 800/(150/5))$, tedy 426, 67 impulsů odpovídá 1 kWh. Hodnoty v dataloggeru bylo za potřeby dělit touto konstantou pro získání dat v kWh. V roce 2017 dne 18. 7 byla nastavena výstupní konstanta dataloggeru tak aby data byla zaznamenávána přímo v kWh. [12]

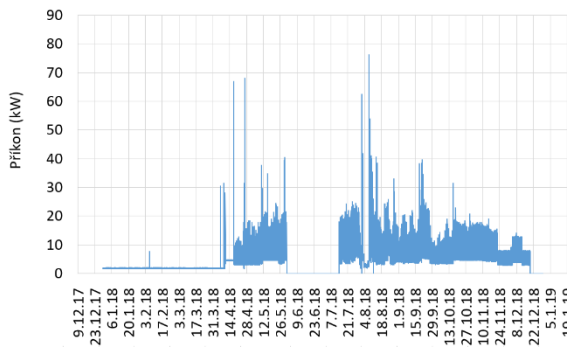
Záznam dat probíhal v deseti minutových intervalech v roce 2012, ve třiceti minutových v roce 2014 a v ostatních letech v patnácti minutových. Roční průběhy el. příkonu z let 2016 až 2019 jsou zobrazené v grafech na obr. 72, 73, 74 a 75. Z grafů není patrná analogie průběhů el. příkonu mezi jednotlivými lety. Z grafů na obr. 72, 73, 74 a 75 a na obr. 76, 77, 78 a 79, ze kterých je patrná měsíční spotřeba jednotlivých zdrojů chladu v průběhu roku vyplývá, že v roce 2016 byl jeden ze zdrojů chladu v chodu od začátku února, od května byly v chodu oba chladící stroje zároveň pravděpodobně až do konce roku. Koncem října ovšem došlo k výpadku měření a data nejsou k dispozici. Maximálního příkonu 66 kW dosáhly chladící stroje v roce 2016 dne 24.6 v 14:45. V roce



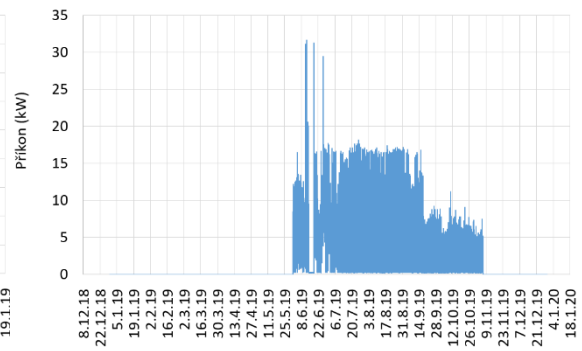
Obr. 72 Elektrický příkon pro rok 2016



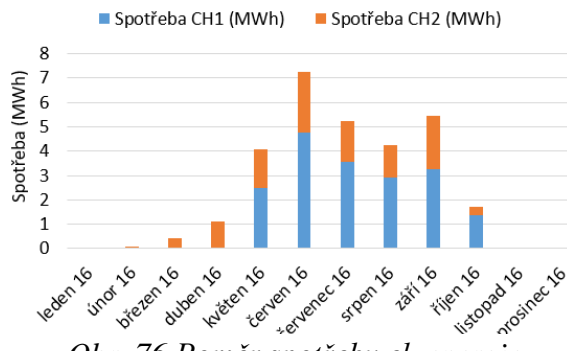
Obr. 73 Elektrický příkon pro rok 2017



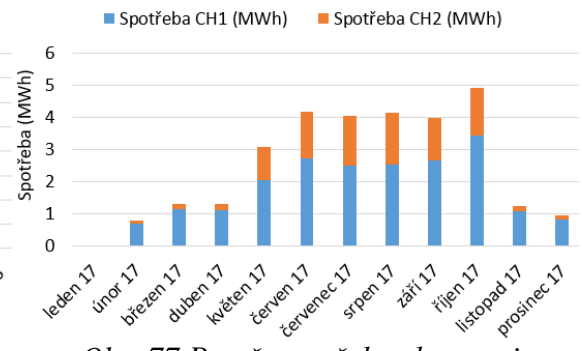
Obr. 74 Elektrický příkon pro rok 2018



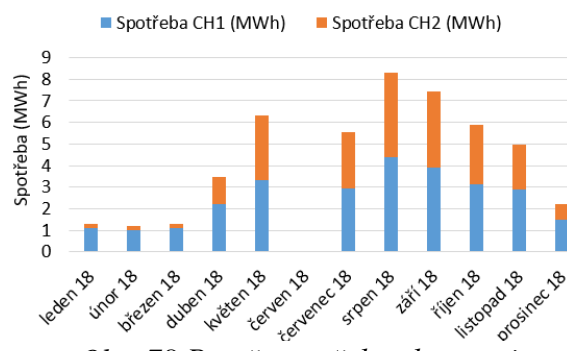
Obr. 75 Elektrický příkon pro rok 2019



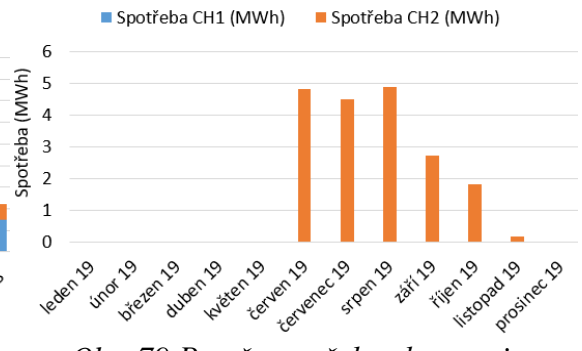
Obr. 76 Poměr spotřeby el. energie chladicích strojů budovy č.11 v roce 2016



Obr. 77 Poměr spotřeby el. energie chladicích strojů budovy č.11 v roce 2017



Obr. 78 Poměr spotřeby el. energie chladicích strojů budovy č.11 v roce 2017



Obr. 79 Poměr spotřeby el. energie chladicích strojů budovy č.11 v roce 2019

2017 probíhalo měření obou strojů již od začátku února, kde byly zaznamenány malé příkony el. proudu. Od poloviny května příkon výrazně vzrostl a kolísal a spotřeba energie obou strojů rostla až do října, kde dosáhla nejvyšší hodnoty. Maximální hodnota příkonu v tomto roce byla 76 kW dne 23. 5 v 8:30. V roce 2018 byly oba stroje chladu v chodu od ledna do prosince. V tomto roce je patrná datová mezera od konce května do začátku července. Maximální spotřeba byla naměřena v srpnu, kde bylo zaznamenáno také maximum el. příkonu 76 kW dne 7. 8 ve 12:00. Z grafu na obr. 75 je patrné, že je el. příkon v roce 2019 zhruba poloviční v porovnání s předchozími lety. Z grafu na obr. 79 vidíme, že byl v chodu pouze jeden ze zdrojů chladu, nebo neprobíhal záznam dat. Podle informací od technického správce objektu nedošlo k poruše, nebo odstavení žádného z chladících strojů, tudíž muselo dojít k poruše dataloggeru, nebo jiných komponentů potřebných pro zaznamenávání spotřeby el. energie a naměřená data v roce 2019 jsou tím silně postižena.

Analýza dat

Měsíční a celková spotřeba energie je zobrazena v tab. 71, 72, 73, 74. Z tabulek je mimo naměřenou a doplněnou měsíční spotřebu patrný také počet dní v každém měsíci, kdy probíhalo měření. Z tabulek je patrné, že v roce 2016 došlo k výpadku měření chladícího stroje č. 1 od ledna do začátku května a obou chladících strojů na konci roku. V roce 2017 probíhalo nepřerušovaně od začátku února až do konce prosince. Data z roku 2018 lze považovat za kompletní, jelikož datová mezera v červnu a červenci byla způsobena přemazáním paměti dataloggeru. Z posledního záznamu lze zjistit celkovou spotřebu energie přemazaného intervalu, nelze ovšem s přesností určit kolik energie bylo spotřebováno v každém měsíci. K tomu částečně posloužila metoda směrnic. K největšímu výpadku došlo v roce 2019, kde nejsou k dispozici data spotřeby energie z celého roku pro chladící stroj č. 1. U tohoto objektu nepřipadá v úvahu doplnění dat metodou založenou na průměrné měsíční teplotě venkovního vzduchu, jelikož odchylka od skutečné hodnoty je příliš vysoká. K doplnění dat byla použita metoda průměrů, která byla vhodná pro doplnění dat nižších měsíčních spotřeb el. energie na začátku a na konci roku v letech 2016 a 2017. Jelikož je podíl spotřeby energie jednotlivých strojů na celkovou spotřebu energie v každém roce i měsíci odlišný, je téměř nemožné doplnit správně chybějící data chladícího stroje č.1 v roce 2019. Doplněná data v tomto roce jsou tedy pouze hrubý odhad na základě zvýšení spotřeby energie v předchozím roce, nelze je

však brát jako relevantní zdroj informací. Na obr. 80 je graf znázorňující naměřenou spotřebu el. energie v jednotlivých měsících pro rok 2012 až 2019. Na obr. 81 je zobrazena tatáž závislost, s tím rozdílem, že jsou do zobrazovaných výsledků měsíčních spotřeb započteny také doplněné hodnoty. Z grafů je na první pohled patrný již zmíněný fakt, že spotřeba energie v roce 2018 je vyšší téměř ve všech měsících. Nárůst spotřeby el. energie na chlazení v tomto roce byl pravděpodobně způsoben nárůstem vnitřních tepelných zisků, nebo poruchou některého z jiných zdrojů chladu v objektu, jelikož podle informací od technického správce budovy nedošlo na chladícím okruhu jednotek CLIVET k žádné změně regulačních parametrů. Z grafů na obr. 80 a 81 je dále patrný výkyv v měsíční spotřebě energie v červnu 2014. Jelikož průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu byla v této době a lokalitě 16,7 °C, což je pouze o 0,2 °C výš než dlouhodobý normál z let 1981 až 2010, nestojí za náhlým nárůstem spotřeby klimatické

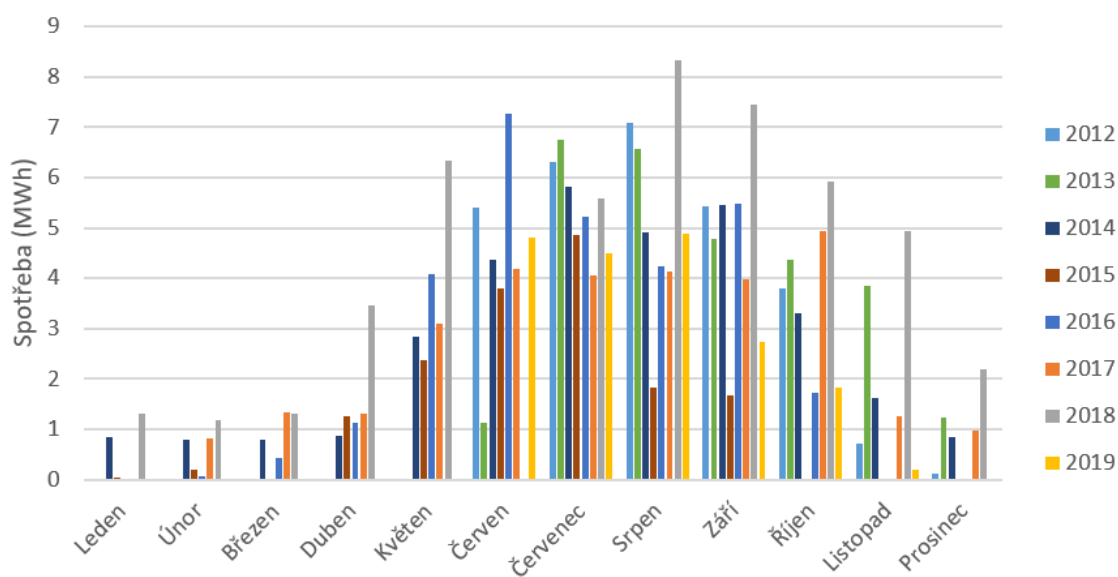
Tab. 71 Výsledná data budovy č. 11 z 2016 Tab. 72 Výsledná data budovy č. 11 z 2017

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měř. dní CH1	Počet měř. dní CH2	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měř. dní CH1	Počet měř. dní CH2	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]
1	2016	0	0,00%	0	31	0	442	1	2017	0	0,00%	0	0	0	442
2	2016	71	0,24%	0	29	7	489	2	2017	810	5,04%	20	20	2	1 134
3	2016	433	1,46%	0	31	15	398	3	2017	1 322	8,23%	31	31	2	1 322
4	2016	1 121	3,78%	0	30	17	1 250	4	2017	1 302	8,10%	30	30	2	1 302
5	2016	4 072	13,75%	21	31	57	5 258	5	2017	3 096	19,27%	31	31	67	3 096
6	2016	7 270	24,54%	30	30	69	7 270	6	2017	4 178	26,00%	30	30	76	4 178
7	2016	5 230	17,66%	31	31	72	5 230	7	2017	4 043	25,16%	31	31	70	4 043
8	2016	4 231	14,28%	31	31	69	4 231	8	2017	4 145	25,79%	31	31	76	4 145
9	2016	5 469	18,46%	30	30	25	5 469	9	2017	3 978	24,76%	30	30	47	3 978
10	2016	1 726	5,83%	27	27	21	1 982	10	2017	4 926	30,65%	31	31	36	4 926
11	2016	0	0,00%	0	0	0	2 068	11	2017	1 265	7,87%	30	30	2	1 265
12	2016	0	0,00%	0	0	0	1 110	12	2017	970	6,03%	24	24	2	1 252
celkem		29 623		170	301	72	35 198	celkem		30 035		319	319	76	31 084
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]						1 144		klimatizovaná podlahová plocha [m ²]						1 144	
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]						25,9		měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]						26,2	
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]						30,8		měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]						27,2	

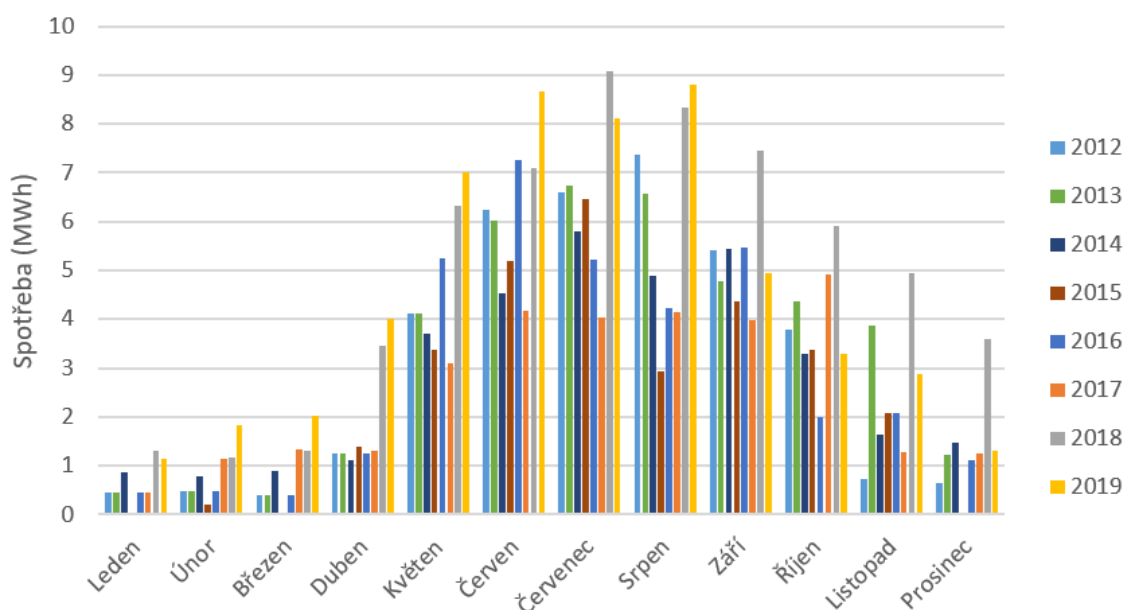
Tab. 73 Výsledná data budovy č. 11 z 2018 Tab. 74 Výsledná data budovy č. 11 z 2019

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měř. dní CH1	Počet měř. dní CH2	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měř. dní CH1	Počet měř. dní CH2	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplněná spotřeba EE [kWh]
1	2018	1 308	4,42%	31	31	2	1 308	1	2019	0	0,00%	0	0	0	1 128
2	2018	1 179	3,98%	28	28	8	1 179	2	2019	0	0,00%	0	0	0	1 828
3	2018	1 309	4,42%	31	31	2	1 309	3	2019	0	0,00%	0	0	0	2 032
4	2018	3 455	11,66%	30	30	68	3 455	4	2019	0	0,00%	0	0	0	4 009
5	2018	6 330	21,37%	31	31	41	6 330	5	2019	26	0,16%	0	1	8	7 012
6	2018	0	0,00%	0	0	0	7 093	6	2019	4 814	29,96%	0	30	32	8 665
7	2018	5 573	18,81%	19	19	31	9 092	7	2019	4 503	28,02%	0	31	18	8 106
8	2018	8 325	28,10%	31	31	79	8 325	8	2019	4 897	30,47%	0	31	17	8 814
9	2018	7 458	25,18%	30	30	40	7 458	9	2019	2 742	17,06%	0	30	17	4 935
10	2018	5 912	19,96%	31	31	34	5 912	10	2019	1 821	11,33%	0	31	11	3 278
11	2018	4 947	16,70%	30	30	24	4 947	11	2019	204	1,27%	0	6	7	2 877
12	2018	2 194	7,41%	19	19	15	3 580	12	2019	0	0,00%	0	0	0	1 294
celkem		47 991		311	311	79	59 989	celkem		19 008		0	160	32	53 978
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]						1 144		klimatizovaná podlahová plocha [m ²]						1 144	
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]						41,9		měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]						16,6	
měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]						52,4		měrná doplněná spotřeba EE [kWh/m ²]						47,2	

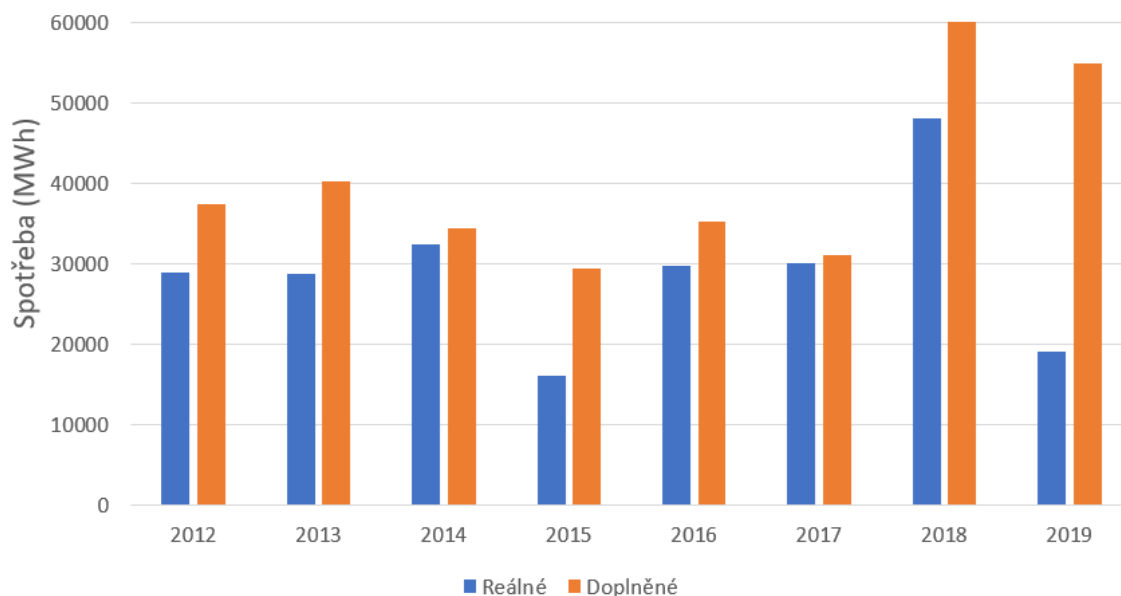
podmínky. Za zvýšenou spotřebou stojí pravděpodobně opět změna vnitřních zisků. Další výrazné výkyvy v měsíční spotřebě nejsou patrné. Na obr. 84 je graf znázorňující celkovou roční spotřebu energie v letech 2012 až 2019. Dále je z něj patrné, jaké množství spotřebované energie bylo naměřeno a jaké bylo zapotřebí doplnit. V letech 2012 až 2017 byla maximální roční spotřeba v roce 2013 a činila 40 200 kWh. Průměrná spotřeba energie za toto období je 34 600 kWh. V roce 2018 vzrostla roční spotřeba energie na hodnotu 60 000 kWh. Rok 2019 nelze posuzovat vzhledem k nedostatku naměřených hodnot.



Obr. 82 Naměřená měsíční spotřeba el. energie budovy č.11 v letech 2012 až 2019



Obr. 83 Doplněná měsíční spotřeba el. energie budovy č.11 v letech 2012 až 2019



Obr. 84 Roční spotřeba el. energie pro reálná a doplněná data budovy č. 11 v letech 2012 až 2019

Závěr budovy č. 11

U objektu č. 11 došlo koncem roku 2018 pravděpodobně k poruše jednoho z dataloggerů a v roce 2019 byla k dispozici data pouze jednoho ze dvou chladících strojů CLIVET. Jelikož doplnění dat bylo v tomto případě velice obtížné a nelze zjistit s jakou přesností byla data doplněna, není možné z tohoto roku vyvozovat jakékoli závěry. V letech 2012 až 2017 byla průměrná spotřeba 34 600 kWh. V roce 2018 byl zaznamenán nárůst spotřeby el. energie na chlazení a roční spotřeba v tomto roce činila 60 000 kWh. Nárůst byl podle veškerých dostupných informací způsoben navýšením vnitřních tepelných zisků v objektu. Průměrná měrná naměřená spotřeba el. energie z let 2012 až 2018 vztažená na podlahovou plochu je z 26,7 kWh/m² a při započtení doplněných dat činí 33,4 kWh/m².

3.1.12 Budova č. 12

Popis budovy

Objekt č. 12 se nachází v Praze 4 na Chodově. Budova byla zkolaudována a v roce 2008. V objektu se nachází celkem devět podlaží. Tři podzemní, ve kterých jsou umístěny parkovací prostory a šest nadzemních, kde jsou situovány kancelářské prostory a restaurace. Další potřebné parametry budovy jsou popsány v tab. 75. [15]

Tab. 75 Základní popis objektu č. 12

Lokalita	Praha 4, Chodov
Účel objektu	Administrativní budova
Celková podlahová plocha objektu	13 780 m ²
Klimatizovaná podlahová plocha objektu	12 972 m ²

Klimatizační systém

Pro klimatizaci objektu slouží vodní systém čtyřtrubkových ventilátorových konvektorů v kombinaci se vzduchovým systémem. Přívod čerstvého a odvod znehodnoceného vzduchu zajišťuje v části objektu přirozené větrání, převážná část objektu je ovšem odvětrávána nuceně, k čemuž slouží 5 VZT jednotek. Pro odvod tepelné zátěže slouží ventilátorové konvektory, jejichž čtyřtrubkové zapojení umožňuje jak chlazení, tak vytápění vnitřního prostředí. Příprava chladicí kapaliny je pro VZT jednotky a ventilátorové konvektory realizován zvlášť ve dvou chladících strojích od firmy RC GROUP, umístěných na střeše objektu. [15]

Popis zdroje chladu

V objektu jsou nainstalovány dva zdroje chladu. Výměníky VZT jednotek jsou chlazeny jednotkou RC GROUP GLIDER.HP440.V.2.Y2, která je ve dvouokruhovém zapojení se vzduchem chlazeným kondenzátorem. Jednotka pro ventilátorové konvektory je kompresorová jednotka RCGROUPMAXIMO.SCREWA.XTR.R1254 a7 25.V.2.U12. Jednotka je rovněž ve dvouokruhovém provedení se vzduchem chlazeným kondenzátorem a disponuje možností volného chlazení při teplotách venkovního vzduchu nižších než 5 °C. Technické parametry chladících jednotek firmy GROUP jsou popsány v tab. 76. [15]

Tabulka 76 Chladící stroje objektu č. 12

Název	Chladicí výkon (kW)	Elektrický příkon (kW)	EER
GLIDER.HP440.V.2.Y2	376	116	3,2
MAXIMO.SCREW.A.XTR.R1254a725.V.2.U12	834	262	3,1

Odvod kondenzačního tepla

Oba ze dvojice chladicích jednotek je vybavena vzduchem chlazeným kondenzátorem.

[15]

Akumulace chladu

V okruhu chlazení není nainstalována akumulární nádoba. [15]

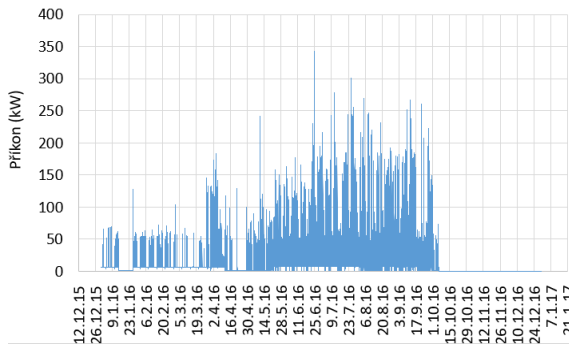
Využití odpadního tepla

Odpadní teplo podle dostupných informací není v tomto objektu využíváno. [15]

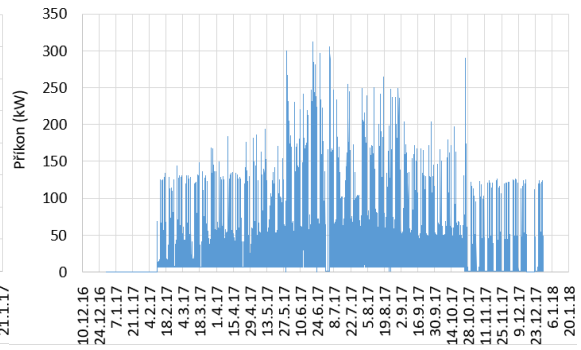
Zpracování naměřených dat

Měření spotřeby energie je prováděno na přívodech dvou chladicích strojích strojů. Jedná se o jednotky RC GROUP GLIDER.HP440.V.2.Y2 a RC GROUP MIXIMO.SCREW.A.XTR.R1254a725.V.2.U12. K odečtu spotřeby el. energie dochází na třech fázích pomocí dvou měřičů transformátorového proudu TMP 800/5A a dvou elektroměrů BEMKO DTS - 353 s konstantou impulsních výstupů 12 800 imp./kWh. Z elektroměrů jsou data zaznamenávaná do dvou dataloggerů S7021 pro každý chladicí stroj zvlášť. Převod vstupní veličiny do dataloggerů je $(12\ 800/(800/5))$, tedy 80 impulsů odpovídá 1 kWh. [12]

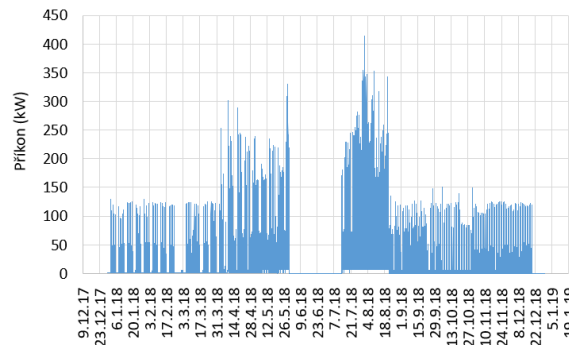
Záznam dat probíhal v deseti minutových intervalech ve všech měřených letech. Roční průběhy el. příkonu z let 2016 až 2019 jsou zobrazené v grafech na obr. 85, 86, 87 a 88. Z grafů pro rok 2016 až 2018 je patrný podobný průběh elektrického příkonu. Z kombinace těchto grafů je vidět, že chladicí stroje jsou v provozu téměř celý rok. Začátkem roku jsou příkony výrazně menší, zpravidla se hodnoty příkonu pohybují okolo 100 kW, v roce 2016 ještě méně, přibližně 50 kW. V průběhu roku el. příkon roste a v letních měsících dosahuje svého maxima. Hodnoty el. příkonu se v exponované letní měsíce pohybují kolem 200 kW v roce 2016 a 250 kW v roce 2017 a 2018. V srpnu 2018 byl zaznamenán extrémní příkon téměř 350 kW po dobu pěti dní s chvilkovým maximem s hodnotu 414 kW dne 1. 8 ve 14:00. Koncem roku se el. příkon opět snižuje, zpravidla na velice podobnou hodnotu, které bylo dosahováno na jeho začátku. Podle grafů na obr. 89, 90, 91 a 92, na kterých je patrný podíl spotřeby el. energie jednotlivých chladicích strojů budovy na celkové spotřebě, je patrné, že je za indikovaný el. příkon v zimních měsících zodpovědný chladicí stroj č. 2, tedy RC GROUP GLIDER.HP440.V.2.Y2. Podle informací od správce objektu slouží tento stroj v otopné období jako tepelné čerpadlo a je využíván na vytápění objektu. Z grafů je patrné, že k datovým mezerám



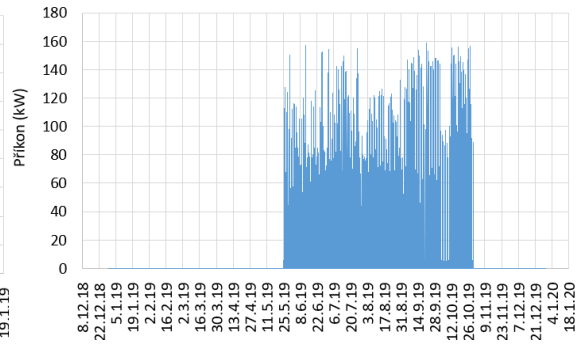
Obr. 85 Elektrický příkon pro rok 2016



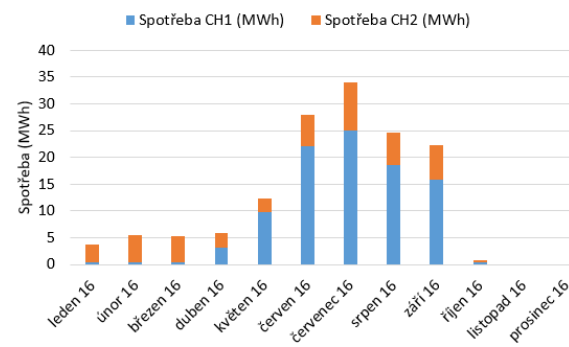
Obr. 86 Elektrický příkon pro rok 2017



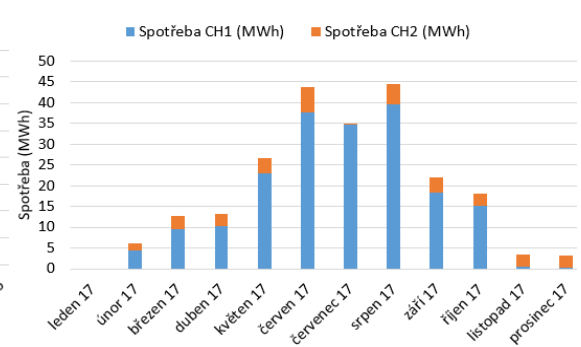
Obr. 87 Elektrický příkon pro rok 2018



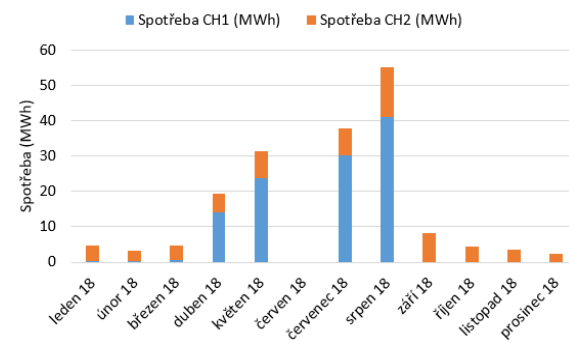
Obr. 88 Elektrický příkon pro rok 2019



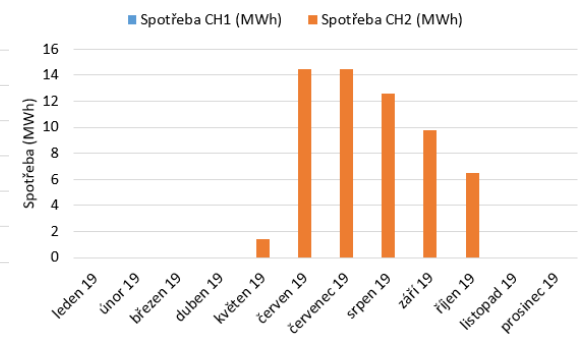
Obr. 89 Poměr spotřeby el. energie chladicích strojů budovy č.12 v roce 2016



Obr. 90 Poměr spotřeby el. energie chladicích strojů budovy č.12 v roce 2017



Obr. 91 Poměr spotřeby el. energie chladicích strojů budovy č.12 v roce 2017



Obr. 92 Poměr spotřeby el. energie chladicích strojů budovy č.12 v roce 2019

došlo začátkem října v roce 2016 až do začátku února 2017. V roce 2018 chybí data od konce května do začátku července. Velice nestandardní je průběh el. příkonu v roce 2019, kdy jeho hodnoty nedosahují ani poloviny z naměřených hodnot v předchozích letech. Po telefonické komunikaci s technickým správcem objektu bylo potvrzeno, že v tomto roce nedošlo odstavení žádného z chladících strojů a z grafu obr. 92 je tedy patrné, že v roce 2019 došlo k poruše dataloggeru, který zaznamenával spotřebu zdroje chladu č. 1. Z naměřených dat vyplývá, že k poruše došlo 22. 8. 2018, čemuž odpovídá i graf na obr. 91. Z grafů el. příkonu je dále patrné, že docházelo k víkendovým útlumům pouze snížením příkonu zdroje chladu, nikoli úplným vypnutím. El. příkon se v toto období pohyboval o kolo 50 kW.

Analýza dat

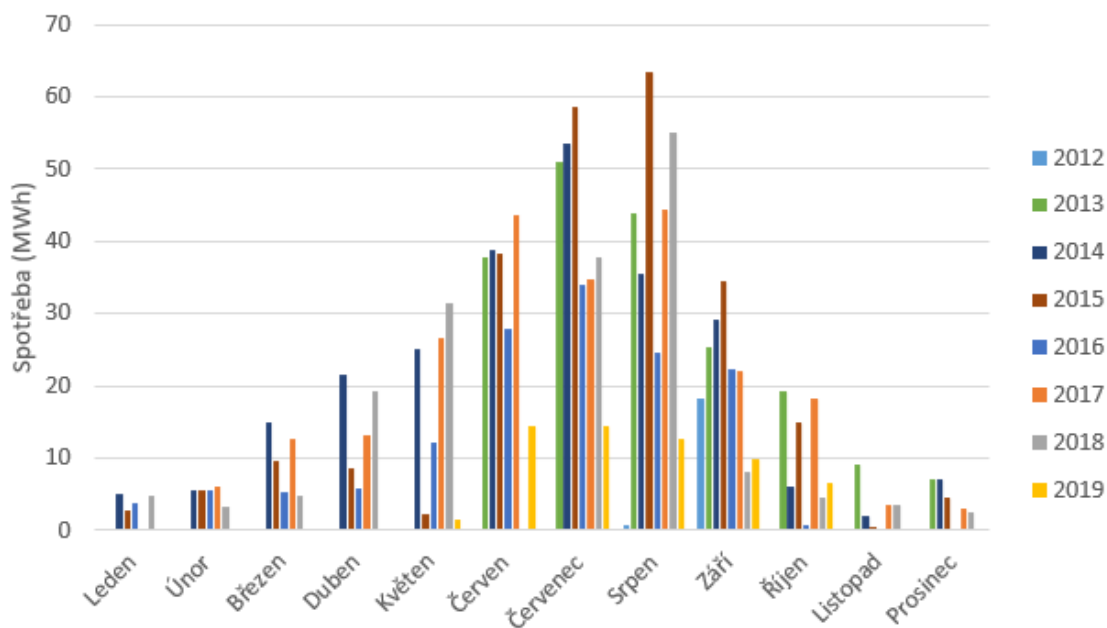
Měsíční a celková spotřeba energie je zobrazena v tab. 77, 78, 79, 80. Z tabulek je mimo naměřenou a doplněnou spotřebu energie patrný počet dní, kdy docházelo ke sběru dat. Jak naznačují již grafy el. příkonu, v roce 2016 došlo k výpadku měření dat 6. 10, který pokračoval až do 19. 2. 2018. V roce 2018 došlo mezi dny 30. 5 až 19. 7 ke ztrátě dat způsobené přemazáním paměti dataloggeru. V roce 2019 došlo na první pohled k poruše sběru dat pouze na konci a na začátku roku. Po důkladnějším přezkoumání dat bylo ovšem zjištěno, že datalogger chladícího stroje č. 1 data sice zaznamenával, ale v období od 22. 8 do 30. 10 ukládal dokola stále stejnou hodnotu. Z tohoto důvodu jsou data v roce 2019 silně postižená. S výjimkou přemazaných dat v roce 2018, která byla nahrazena pomocí metody využívající posledního záznamu, byla data doplněna kombinací metody průměrů a metody založené na průměrné měsíční teplotě venkovního vzduchu. Na obr. 93 je graf znázorňující naměřenou spotřebu el. energie v jednotlivých měsících pro rok 2012 až 2019. Na obr. 94 je zobrazena tatáž závislost s tím rozdílem, že jsou do zobrazovaných výsledků měsíčních spotřeb započteny také doplněné hodnoty. Z grafů je patrné, že v roce 2012 nebyla naměřena téměř žádná data. Z následujících let, kdy už záznam dat probíhal relativně konzistentně, nebo byla data doplněna, je patrné že měsíční spotřeba byla výrazně vyšší v letech 2013 až 2015 v roce 2016 byla zaznamenána výrazná úspora ve spotřebě el. energie na chlazení. K drobnému nárůstu došlo opět v roce 2017 až 2019. Podle dostupných informací byl pokles ve spotřebě energie způsoben změnou osazení objektu, kdy došlo k výměně sídla dvou firem. Po této změně se výrazně snížil počet osob pohybujících se v budově a tím výrazně poklesly i vnitřní tepelné zisky

Tab. 77 Výsledná data budovy č. 12 z 2016 Tab. 78 Výsledná data budovy č. 12 z 2017

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplňná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplňná spotřeba EE [kWh]				
1	2016	3 789	2,66%	31	127	3 789	1	2017	0	0,00%	0	0	4 067				
2	2016	5 437	3,82%	29	72	5 437	2	2017	6 042	2,48%	19	143	8 904				
3	2016	5 286	3,71%	31	145	5 286	3	2017	12 758	5,23%	31	168	12 758				
4	2016	5 803	4,08%	30	183	5 803	4	2017	13 204	5,41%	30	183	13 204				
5	2016	12 247	8,60%	31	242	12 247	5	2017	26 572	10,90%	31	300	26 572				
6	2016	28 001	19,67%	30	343	28 001	6	2017	43 668	17,91%	30	312	43 668				
7	2016	34 069	23,93%	31	300	34 069	7	2017	34 660	14,21%	31	306	34 660				
8	2016	24 612	17,29%	31	269	24 612	8	2017	44 376	18,20%	31	313	44 376				
9	2016	22 358	15,70%	30	267	22 358	9	2017	22 054	9,04%	30	189	22 054				
10	2016	763	0,54%	6	74	18 463	10	2017	18 196	7,46%	31	308	18 196				
11	2016	0	0,00%	0	0	9 350	11	2017	3 545	1,45%	30	126	3 545				
12	2016	0	0,00%	0	0	5 846	12	2017	3 083	1,26%	25	126	3 823				
celkem		142 364		0	343	154 468	celkem		228 159		319	313	235 827				
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					12 972				klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					12 972			
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					11,0				měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					17,6			
měrná doplňná spotřeba EE [kWh/m ²]					11,9				měrná doplňná spotřeba EE [kWh/m ²]					18,2			

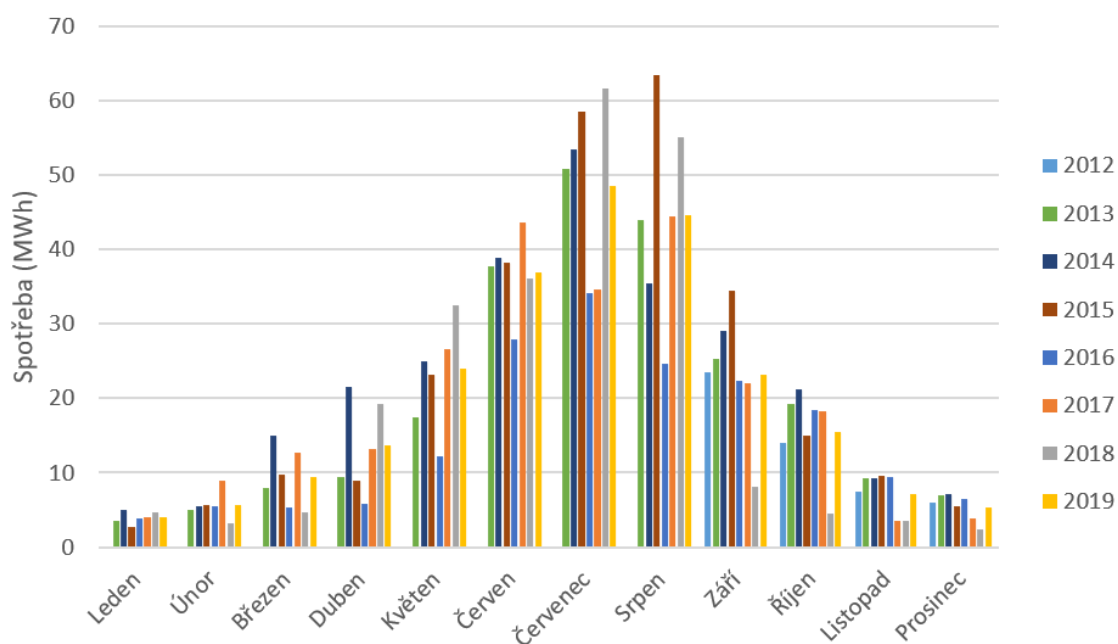
Tab. 79 Výsledná data budovy č. 12 z 2018 Tab. 80 Výsledná data budovy č. 12 z 2019

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplňná spotřeba EE [kWh]	Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplňná spotřeba EE [kWh]				
1	2018	4 722	3,32%	31	130	4 722	1	2019	0	0,00%	0	0	4 067				
2	2018	3 194	2,24%	28	124	3 194	2	2019	0	0,00%	0	0	5 733				
3	2018	4 673	3,28%	31	125	4 673	3	2019	0	0,00%	0	0	9 492				
4	2018	19 325	13,57%	30	302	19 325	4	2019	0	0,00%	0	0	13 756				
5	2018	31 507	22,13%	30	329	32 558	5	2019	1 378	0,57%	8	150	23 919				
6	2018	0	0,00%	0	0	36 139	6	2019	14 453	5,93%	30	157	37 001				
7	2018	37 819	26,56%	19	354	61 705	7	2019	14 449	5,92%	31	155	48 488				
8	2018	55 030	38,65%	31	414	55 030	8	2019	12 595	5,16%	31	132	44 607				
9	2018	8 152	5,73%	30	148	8 152	9	2019	9 801	4,02%	30	158	23 215				
10	2018	4 445	3,12%	31	151	4 445	10	2019	6 503	2,67%	30	156	15 457				
11	2018	3 610	2,54%	30	125	3 610	11	2019	0	0,00%	0	0	7 068				
12	2018	2 381	1,67%	19	123	3 884	12	2019	0	0,00%	0	0	5 374				
celkem		174 859		310	414	237 438	celkem		59 180		160	158	238 178				
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					12 972				klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					12 972			
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					13,5				měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					4,6			
měrná doplňná spotřeba EE [kWh/m ²]					18,3				měrná doplňná spotřeba EE [kWh/m ²]					18,4			

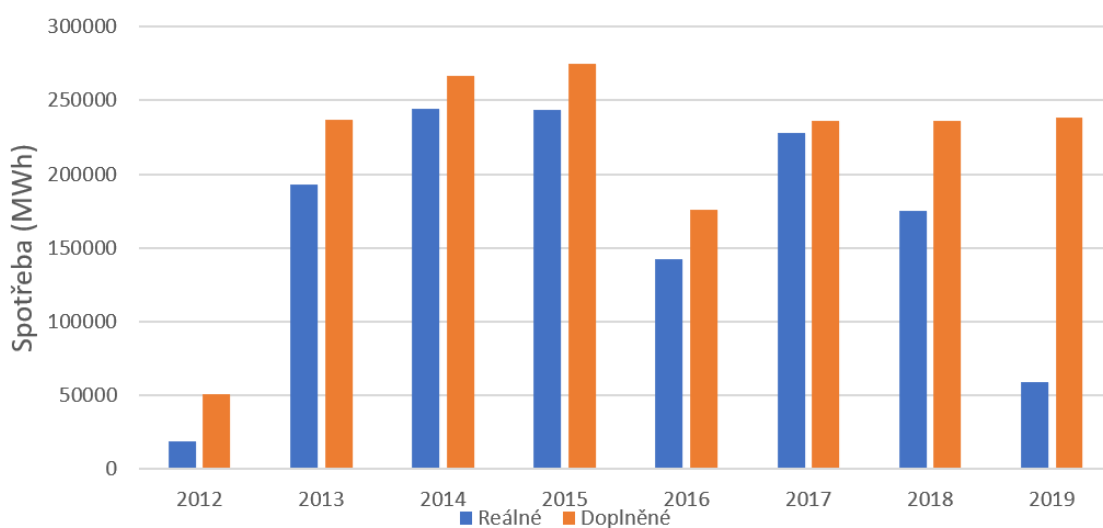


Obr. 93 Naměřená měsíční spotřeba el. energie budovy č.12 v letech 2012 až 2019

a došlo k uzavření některých nepotřebných větví chladicího okruhu. Údajně došlo také k úpravě regulačních parametrů. V roce 2017 došlo k obsazování prázdných kanceláří a následně byl opět uveden do provozu celý klimatizační systém, čímž spotřeba el. energie na chlazení vzrostla. Tento trend dokládá také graf na obr. 95, kde je zobrazena roční spotřeba el. energie na chlazení. Dále je z grafů patrné, jak velké byly datové mezery a kolik dat muselo být doplněno. Bereme-li v úvahu, že doplnění dat v roce 2019 bylo správné, roční spotřeba energie se ustálila na přibližné hodnotě 230 000 kWh.



Obr. 94 Doplněná měsíční spotřeba el. energie budovy č.12 v letech 2012 až 2019



Obr. 95 Roční spotřeba el. energie pro reálná a doplněná data budovy č. 12 v letech 2012 až 2019

Závěr budovy č. 12

Měřením byla získána data z let 2012 až 2019. Měření dat probíhalo relativně konzistentně s výjimkou celého roku 2012 a 2019. V srpnu roku 2018 došlo pravděpodobně k poruše dataloggeru u chladicího stroje č. 1 MAXIMO.SCREW. Data byla doplněna kombinací metody průměrů a metody založené na průměrné měsíční teplotě venkovního vzduchu. V roce 2018 došlo k nahrazení přemazaných dat pomocí metody využívající posledního záznamu. Celková roční spotřeba výrazně poklesla z hodnoty 275 000 kWh na hodnotu 176 000 kWh v roce 2016. Úspora ve spotřebě energie byla podle informací správce objektu způsobena změnou osazení a výrazným snížením vnitřních tepelných zisků. V posledních třech letech, tedy 2017 až 2019, je roční spotřeba el. energie na chlazení 230 000 kWh. Průměrná měrná spotřeba el. energie z naměřených hodnot z let 2012 až 2019 při vynechání roku 2012, vztažená na podlahovou plochu je z 13,8 kWh/m² a při započtení doplněných dat činí 17,5 kWh/m².

3.1.13 Shrnutí a výsledné porovnání budov

K měření spotřeby el. energie na chlazení docházelo od roku 2012. V této práci byla podrobně zpracována data z let 2017 až 2019 a pro lepší návaznost zobrazena i data z roku 2016, která byla zpracována již dříve Ing. Jakubem Šimkem společně s daty z let 2012 až 2015, viz kapitola *Analýza a zpracování naměřených dat*. Pro rozšíření statistického vzorku byla tato data použita a zpracována pro 12 objektů, kde probíhalo měření spotřeby energie, čímž vznikla podrobná analýza zahrnující data z let 2012 až 2019. Naměřená data z jednotlivých objektů lze rozdělit do dvou základních skupin podle způsobu jejich získávání. U objektů č. 1 až 4 dochází k odesílání zaznamenaných dat z dataloggeru pomocí GSM brány. Data z ostatních budov, tedy objektů č. 5 až 12, je nutno odečíst „ručně“ pomocí počítačového softwaru. V tomto základním rozdělení je určitá analogie například v období, kdy došlo k přerušení odečtu dat. Jelikož jsou v každém z měřených objektů odlišné podmínky a absolutní spotřeba el. energie na chlazení může být v různých budovách diametrálně odlišná, bylo zavedeno srovnávací kritérium. Tím je celková podlahová plocha všech místností v objektu, kde dochází k strojové úpravě vzduchu. Pro každý rok měření byla tedy získána hodnota měrné roční spotřeby energie s jednotkou kWh/m². Z ročních hodnot měrné spotřeby el. energie na chlazení byla vytvořena průměrná hodnota. Na základě množství naměřených a chybějících dat byly vytvořeny celkem tři hodnoty průměrné měrné spotřeby el. energie jednotlivých budov zobrazené v tab. 81. V prvním sloupci je zaznamenaný průměr měrné spotřeby z let 2012 až 2019 zahrnující veškeré chyby a výpadky v měření. Ve druhém sloupci byly eliminovány velké časové úseky, kdy nedocházelo k měření, z velké většiny se jednalo o celé roky. U skupiny budov zasílající data přes GSM bránu chybí vždy celý rok 2018. U druhé skupiny budov chybí celý rok 2015 mimo budovy č. 8, 11, 12. U objektu č. 8 nejsou k dispozici data z roku 2019, u objektu č. 12 z roku 2012 a u objektu č. 10 dokonce data z let 2012, 2014, 2015 a 2018. Jediná budova, kde nedošlo k delšímu časovému výpadku, je objekt č. 11. Ve třetím sloupci je zobrazen průměr měrné spotřeby energie po doplnění dat kratších časových intervalů a po eliminaci, nebo doplnění dlouhých časových úseků. Na první pohled je patrné, že z neupravených naměřených dat nelze vyvozovat jakékoli závěry. K výslednému porovnání dat budou použity hodnoty měrných spotřeb po provedené adekvátní úpravě. Na obr. 96 je grafické porovnání měrných spotřeb jednotlivých budov pro data naměřená a na obr. 97 pro data naměřená a doplněná. Z grafů je patrné, že po doplnění naměřených dat nedošlo pouze

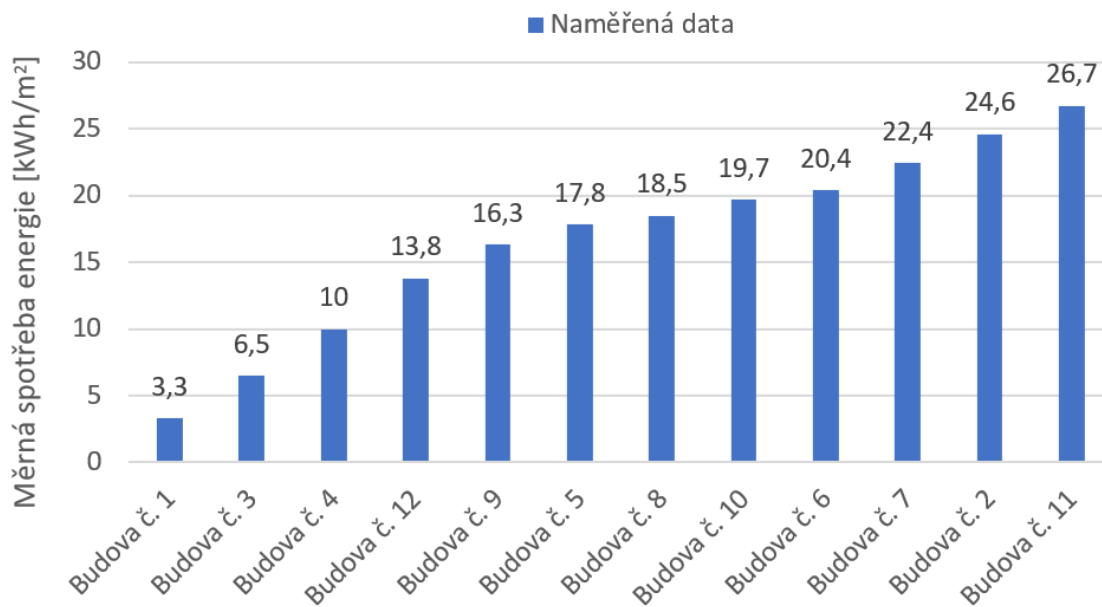
Tab. 81 Průměr měrné spotřeby energie vztažené na podlahovou plochu pro jednotlivé objekty z let 2012 až 2019

Průměr měrné roční spotřeby energie z let 2012 až 2019			
Budova č.	Neupravená naměřená data [kWh/m ²]	Eliminace neměřených let [kWh/m ²]	Eliminovaná data po doplnění [kWh/m ²]
1	2,8	3,3	4,3
2	21,6	24,6	35,2
3	5,7	6,5	7,7
4	8,7	10	14,5
5	15,3	17,8	18,9
6	17,9	20,4	20,5
7	19,6	22,4	26,8
8	16,2	18,5	23,2
9	14,3	16,3	21
10	15,8	19,7	23,8
11	26,7	26,7	33,4
12	12,1	13,8	17,5

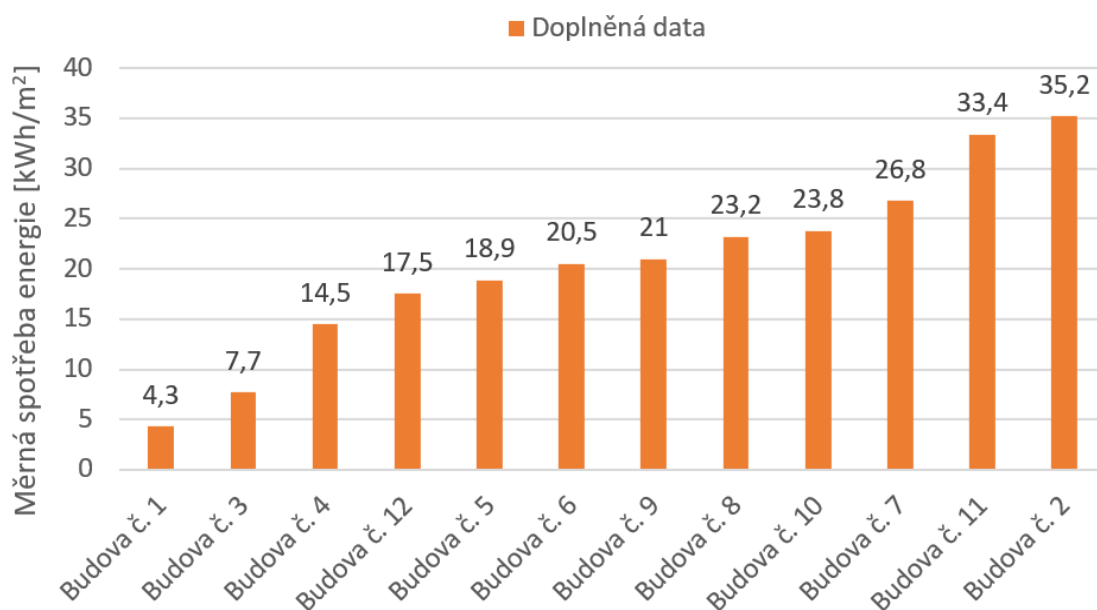
k očekávanému nárůstu měrné spotřeby energie, ale také ke změně pořadí některých budov ve vzestupně seřazeném seznamu. Průměrná hodnota měrné spotřeby el. energie na chlazení po doplnění chybějících dat činí 20,6 kWh/m². Tato hodnota je brána jako referenční pro rozdělení budov do tří kategorií. Budovy s odchylkou od referenční hodnoty menší než 6 kWh/m² lze zařadit do kategorie budov s nízkou spotřebou el. energie na chlazení a spadají sem objekty č. 1, 3, 4. Naopak budovy s odchylkou od průměrné hodnoty vyšší než 6 kWh/m² jsou zařazeny do kategorie s vysokou spotřebou el. energie na chlazení, do té patří objekty č. 7, 11, 2. Ostatní objekty jsou zařazeny do kategorie s normální spotřebou el. energie na chlazení a spadají tam zbylé objekty č. 12,5,6,9,8,10. Tyto objekty vykazují odchylku od referenční hodnoty maximálně 3,2 kWh/m². Zmíněná změna pořadí budov je nepatrnější mezi budovami č. 2 a 11, kde vlivem doplnění dat došlo ke změně budovy s nejvyšší spotřebou energie na chlazení. Změna pořadí ovšem neměla vliv na rozdělení budov do jednotlivých kategorií.

Jednotlivé aspekty budov, nebo klimatizačních systémů, které by mohly mít vliv na spotřebu el. energie na chlazení, byly podrobně popsány a rozebrány v diplomové práci *Spotřeba energie na chlazení budov* viz [12], proto nebudou znovu diskutovány v rámci této práce. Jednotlivé vlivy na spotřebu el. energie na chlazení zde budou pouze uvedeny a pro lepší přehled sumarizovány do jedné tabulky. Na spotřebu energie tedy mohou mít vliv především následující aspekty: víkendové útlumy, procentuální prosklení fasády, stínící prvky, chladicí faktor (EER), akumulace chladu, free cooling, regulační parametry a způsob řízení chladících strojů. Výčet jednotlivých aspektů je pro každou budovu

zobrazen v tab. č. 82. Ze závěrů ve zmíněné diplomové práci vyplývá, že nelze jednoznačně určit, která z možných uvedených příčin je zodpovědná za úsporu, nebo naopak nadměrnou spotřebu energie. V drtivé většině případů se jedná o kombinaci těchto aspektů. Jako nejprokazatelnější se ukázal vliv stínících prvků. Jak je patrné z grafu na obr. 97 a z tab. 82, tak objekty s nejvyšší měrnou spotřebou energie, tedy



Obr.96 Průměrná měrná spotřeba el. energie na chlazení z naměřených dat z 2012 až 2019



Obr.97 Průměrná měrná spotřeba el. energie na chlazení z naměřených a doplněných dat z 2012 až 2019

budovy č. 11 a 2, nejsou vybaveny žádným aktivním stíněním. Budova č. 11 disponuje pouze vnitřními žaluziemi.

Pro chlazení vnitřního prostředí se ukázala jako energeticky nejnáročnější budova č. 2, ve které je klimatizovaná plocha 2 700 m² a celková roční průměrná spotřeba energie na chlazení činí 95 006 kW, její celková měrná spotřeba el. energie na chlazení činí tak 35,2 kWh/m². Naopak jako nejúspornější se jeví budova č. 1, kde je klimatizovaná plocha s rozlohou 12 898 m² téměř pětikrát větší a průměr roční spotřeby energie činí pouze 67 431 kWh. Průměr měrné spotřeby energie je pak 4,3 35,2 kWh/m².

Tab. 82 Možné vlivy ovlivňující spotřebu el. energie na chlazení [9]

Budova č.	Víkendové útlumy	Prosklení fasády	Stínění	EER	Akumulace chladu	Free cooling
1	ANO	-	-	2,5	NE	NE
2	NE	S,Z - 30%, dvůr 20%	Není	2,4	ANO	NE
3	NE	J - 30%,Z - 10%	Stínící lamely - 3. NP	2,3	ANO	NE
4	NE	53%	Vnější žaluzie a vodorovné narkýzy	5,1	ANO	ANO
5	ANO	Z - 43%, J - 80%, V - 50%	Vnější žaluzie - Z, V	2,7	ANO	ANO
6	NE	Do ulic S, Z, J - 54% Do dvora S, V, J - 50%	Aktivní vnější žaluzie - Z, Vnitřní žaluzie - S, J	2,6	NE	ANO
7	ANO	J, V - 100%, S - 70%	Aktivní vnější žaluzie	4,1	NE	ANO
8	ANO	J, Z - 70 %, S, V - 54 %	Aktivní vnější žaluzie	3,5	NE	NE
9	NE	Z - 54 %, V - 44 %	Manuální vnější žaluzie	4,3	ANO	NE
10	NE	S - 50%, J - 35%	Vnější žaluzie - J	2,1	NE	NE
11	NE	-	Vnitřní žaluzie	2,7	NE	NE
12	NE	S, Z - 30 %, dvorní 20 %	Není	3,2	NE	ANO

Seznam ročních spotřeb z let 2012 až 2019 jsou pro jednotlivé budovy vyneseny společně s celkovou průměrnou hodnotou z těchto let v tab. 83 na následující straně.

Tab. 83Roční spotřeby el. energie na chlazení pro všech 12 objektů

Budova č.	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Průměr
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh
1	148420	41292	55403	64801	43386	63386	66121	67553	68795
2	100949	94691	78024	64801	90893	86652	111016	104396	91428
3	85647	52698	61467	64801	48509	61329	65249	45218	60615
4	107737	89370	79563	88822	85689	79366	100534	130356	95180
5	211125	73038	76854	64801	45803	58448	63586	56696	81294
6	134579	121293	125741	131057	124963	116889	134630	104195	124169
7	91069	61626	78455	61626	73292	63863	85285	71879	73387
8	135348	145051	119563	136585	120568	94683	126552	127284	125704
9	103388	76167	84463	78259	66745	45471	44997	37163	67082
10	0	60941	44023	76318	62736	56513	76788	64815	55267
11	37446	40252	34405	29389	35198	31084	59989	54950	40339
12	51000	236815	266689	274975	175959	235827	235934	80488	194711

3.3 Standardizovaný postup pro měření spotřeby el. energie na chlazení

Úprava vzduchu přiváděného do vnitřních prostorů je dnes naprostou samozřejmostí. Již na začátku 19. století byla nainstalována první klimatizace v americké průmyslové hale a dále se ve druhé polovině tohoto století využití klimatizačních systémů rozšířilo. S rostoucími nároky na kvalitu vnitřního prostředí roste i spotřeba el. energie potřebná k úpravě a distribuci vzduchu. Aby bylo možné spotřebu energie snižovat, nebo alespoň zamezit jejímu nárůstu s časem, je nezbytné maximalizovat potenciál klimatizačních systémů v konkrétních objektech. K tomu jsou nezbytná adekvátní data popisující tuto problematiku. V této kapitole bude popsán postup pro získání těchto dat.

Jelikož je problematika měření spotřeby el. energie na chlazení individuální záležitostí každé budovy, je nezbytné shromáždit adekvátní informace o objektu, kde má probíhat odečet. Velkou roli dále hraje druh klimatizačního systému a zdroj chladu, který je v budově používán, proto je nezbytné získat co nejvíce informací i o něm. Nedílnou součástí je samozřejmě způsob měření spotřeby el. energie a zaznamenávání měřených dat, jejich formátování a primární zpracování. Po správném provedení zmíněných kroků následuje analyzování a vyhodnocování získaných dat. Aby data měla vypovídající hodnotu je nezbytné jejich správné zpracování do grafické podoby popisující kýženou závislost. Přesný popis jednotlivých kroků bude uveden v následujících podkapitolách.

3.3.1 Popis budovy

Pro popis objektu, kde bude probíhat odečet spotřeby el. energie na chlazení, je nezbytné znát její polohu pro možnost identifikování vlivů venkovního prostředí. Nejčastěji zjišťovaným parametrem okolí je průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu. Dále je důležité určit účel daného objektu, zda se jedná ho hotel, obchodní dům, či administrativní budovu apod. S tím často souvisí průměrný počet osob vyskytujících se v objektu a přibližná doba provozu, což jsou rovněž užitečné parametry, jelikož výrazně ovlivňují vnitřní tepelné zisky objektu, jak vyplývá z normy ČSN 73 0548. Norma dále popisuje výpočet vnějších zisků, na kterých se z velké části podílí prostup sluneční radiace oknem. Proto je velice důležité znát procento prosklení fasád objektu a zda objekt disponuje možností stínění. Pro možnost vzájemného porovnání spotřeby el. energie mezi jednotlivými objekty je dále potřeba určit referenční kritérium. V tomto

případě jím je klimatizovaná podlahová plocha objektu. Určení přesné klimatizované plochy může být náročné a nejčastěji se používá odečet z výkresové dokumentace. Nápomocná může být v řešení tohoto problému norma ČSN EN 152201-6 z roku 2014. Cílem normy bylo sjednotit značení a měření ploch potřebných pro objektivní porovnání technických parametrů budov. Klimatizovaným plochám objektu nejlépe odpovídají „Primární plochy“ definované uvedenou normou. Jde o část „čisté podlahové plochy místností“ bez „Technické plochy“, „Plochy sociálního zázemí“ a „Komunikační plochy“ [15].

3.3.2 Popis klimatizačního systému

Nejdůležitější součástí klimatizačního systému je jeho zdroj chladu. Důležitými parametry zdroje chladu jsou především jeho chladicí výkon (kW) a elektrický příkon (kW). Z těchto hodnot lze teoreticky vypočítat chladicí faktor EER. Ten je definovaný jako poměr chladicího výkonu ku elektrickému příkonu a může být výrazně ovlivněn účinností kompresoru a jeho pohonu [1]. Z toho důvodu je potřeba dohledat chladicí faktor EER udávaný výrobcem daného stroje. Zjednodušeně řečeno udává chladicí faktor míru efektivity daného zařízení. Dalším důležitým parametrem zdroje chladu je způsob odvodu kondenzačního tepla. Je dobré určit elektrický příkon všech komponentů, ať už se jedná o vodu či vzduchem chlazené kondenzátory.

Po správném definování chladicího stroje je zapotřebí určit jaký klimatizační systém je v objektu používán. Jedná-li se o vzduchový, vodní, kombinovaný či chladivový systém a zda je instalován jako jedno či vícezónový. Často se využívá například kombinace vodního a vzduchového více zónového systému. V takovém případě je zapotřebí definovat příkon oběhových čerpadel vodního systému, určit jejich počet a dále uvést příkon ventilátoru VZT jednotky a popsat, zda je vybavena zpětným získáváním tepla atd. Dalšími možnými faktory ovlivňující spotřebu el. energie na chlazení jsou například přítomnost akumulární nádoby v chladivovém okruhu, nebo využití volného chlazení (free cooling) kondenzátoru. Spotřeba el. energie na chlazení sice je měřena na přívodu chladicího stroje, je ovšem výrazně ovlivněna popsány parametry klimatizačního systému. Ve výjimečných případech může dojít k situaci, kdy je měřič transformátorového proudu nainstalovaný na přívodu celé strojovny chlazení a v takovém případě je nutné znát příkony všech el. přístrojů.

3.3.3 Měření a sběr dat

Jak bylo naznačeno v předchozí podkapitole, odečet spotřeby el. energie na chlazení by měl být realizován na přívodu k chladicímu stroji. Možnosti odečtu spotřeby el. energie jsou podrobně popsány v kapitole „*Principy odečtu spotřeby elektrické energie*“ v teoretické části práce. Spotřeba energie drtivé většiny dnes používaných chladících strojů je zaznamenávána pomocí statických elektroměrů. Jelikož napájecí proudy zdrojů chladu jsou obvykle vyšší než 80 A, je k měření proudu využito měřičů transformátorového proudu nainstalovaném právě na přívodu chladících strojů. Naměřená data spotřeby energie jsou zaznamenávána do dataloggerů připojených k elektroměru. Naměřená data jsou ovlivněna převodní konstantou měřiče transformátorového proudu a konstantou elektroměru (imp/kWh) podle způsobu výčtu dat. Obě tyto převodní konstanty jsou uváděny výrobcem součástky. Elektroměr, respektive datalogger, zaznamenává impulsy vyvolané protékajícím proudem a výsledná převodová konstanta se tedy určí jako poměr konstanty dataloggeru a podílu transformovaného proudu.

Ačkoli existuje mnoho typů dataloggeru, při odečtu spotřeby el. energie na chlazení bylo u objektů popsaných v této práci vždy využito dataloggeru typu S7021. Jak již bylo zmíněno, data byla získávána dvojím způsobem. V prvním případě byla zasílána GSM bránou ve formátu „dbf“. Ve druhém případě bylo nutné ručního odečtu, k čemuž u toho typu dataloggeru slouží COM adaptér ze sběrnice RS232, nebo USB port pomocí USB adaptéru [10]. Ve druhém případě jsou data ukládány pomocí programu „Comet“ ve formátu „mss“. V obou případech je nezbytný převod do textového souboru. V prvním případě lze využít například free verzi programu „dbfviewsetup“. V druhém případě lze využít možnosti programu „Comet“, který disponuje uložením dat přímo ve formátu „txt“.

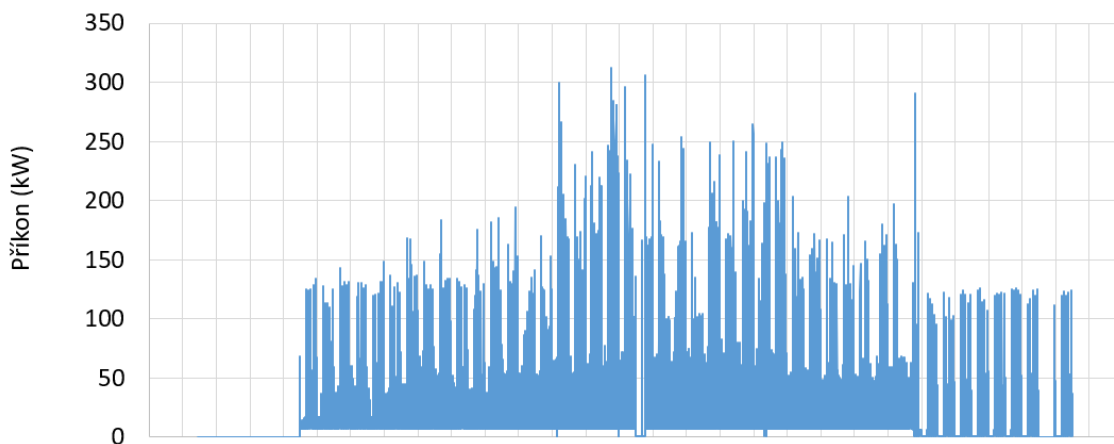
Časový interval záznamu lze nastavit libovolně u většiny typů dataloggeru a jedná se o parametr výrazně ovlivňující výsledná data. V případě, kdy je objektem zájmu například pouze roční, nebo měsíční spotřeba el. energie, lze provádět záznam dat v intervalech 12 hodin případně dokonce 24 hodin. V takovém případě se paměť dataloggeru zaplní za dlouhý časový interval. V případě S7021, kdy je paměť při 32-bitovém zápisu omezena na cca 16 000 záznamů, je kapacita naplněna asi za tři a půl roku. Nebo není možné jakkoli analyzovat chod zdroje chladu. Jelikož je řízení chladícího stroje jedním z aspektů ovlivňujícího jeho spotřebu, je zapotřebí mít k dispozici co možná nejpodrobnější data. Jako dostatečně přesným se ukázal interval s délkou 15 minut.

V takovém případě se kapacita paměti dataloggeru zaplní přibližně za půl roku a ze záznamů lze vyčíst i drobnější změny v řízení provozu.

3.3.4 Výstupy z naměřených dat

V situaci, kdy jsou k dispozici data dostatečně popisující daný objekt, klimatizační systém a měření spotřeby el. energie je správně nainstalováno, naměřená data jsou v požadovaném formátu, je zapotřebí s nimi adekvátně naložit. V ideálním případě jsou k dispozici data spotřeby el. energie na chlazení v patnácti minutových intervalech v průběhu celého roku. Jak ovšem ukazují záznamy, dochází k různě dlouhým časovým intervalům, kdy nastane přerušení sběru dat. Tyto datové mezery je třeba doplnit na základě dostupných informací. Jaké jsou možnosti pro doplnění chybějících dat je podrobně popsáno v následující kapitole „*Doplnění chybějících dat*“. Nyní budou uvedeny grafické výstupy, které nejlépe popisují danou problematiku. Vizuální podoba grafů a tabulek vytvořených Ing. Jakubem Šimkem bude pro lepší přehled a návaznost na tuto práci zachována i v této kapitole.

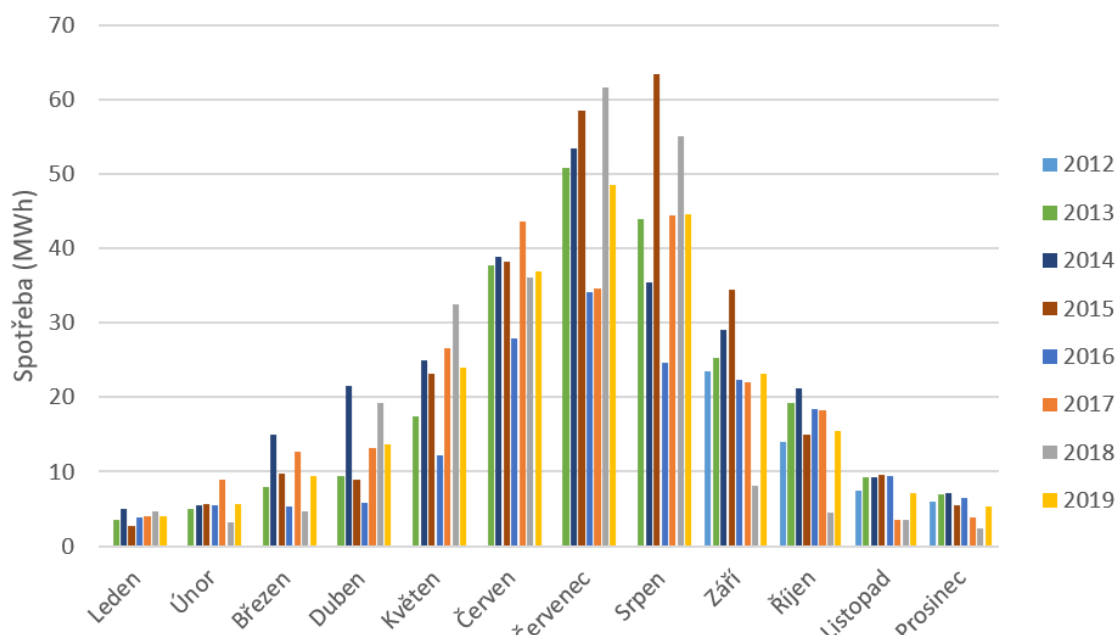
Prvním průkazným ukazatelem chodu zdroje chladu je roční průběh el. příkonu. Jelikož data reprezentují naměřenou spotřebu el. energie v kWh, je zapotřebí hodnotu příkonu v každém časovém intervalu dopočítat. Celková spotřebovaná el. energie v daném intervalu vydělena jeho délkou v hodinách je průměrný el. příkon chladicího stroje v tomto intervalu. Průběh el. příkonu je tedy složený z průměrných hodnot el. příkonu patnácti minutových intervalů. Z ročního průběhu el. příkonu je patrný průběh chodu zdroje chladu v průběhu celého roku. obvykle je přes zimní měsíce konstantní, nebo nulový, poté pomalu roste, v letních měsících dosahuje maxima a znovu klesá, podobně jako je tomu na obr. 98, kde je zobrazený příklad možného ročního průběhu el.



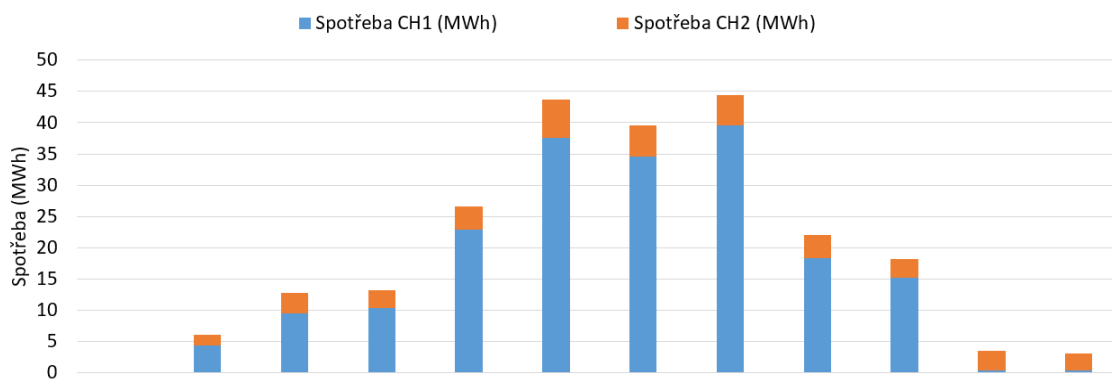
Obr.98 Příklad standardního zobrazení ročního průběhu el. příkonu chladicího stroje

příkonu. Z grafů tohoto typu mohou být patrné například víkendové útlumy, extrémní výkyvy, či průměrné hodnoty el. příkonu v různém období. V případě potřeby detailnější analýzy je možné zobrazit průběh el. příkonu v kratším časovém intervalu. Z těchto grafů jsou pak víkendové útlumy znatelné velice dobře a umožní upřesnit časový horizont, kdy došlo k nestandardnímu chování.

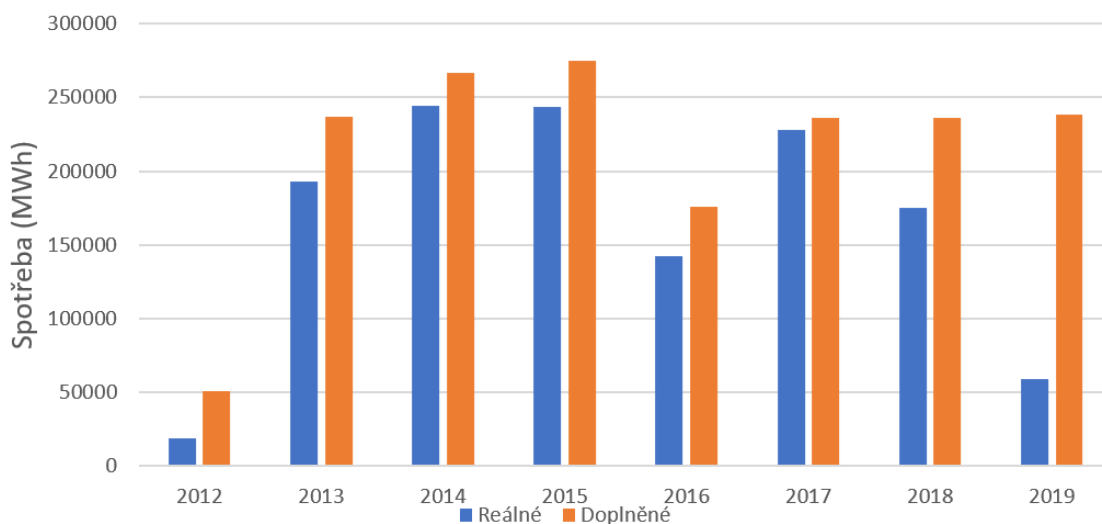
K porovnání spotřeby el. energie na chlazení v průběhu několika let je vhodné zpracovat tabulku pro každý analyzovaný rok, kde bude rozepsána měsíční a celková spotřeba, počet dní v každém měsíci, kdy probíhal odečet dat a hodnota průměrné měrné spotřeby el. energie. Z té se do grafické podoby vynese měsíční spotřeba energie v jednotlivých letech, kdy probíhalo měření energie, jako je uvedeno na příkladu na obr. 99. Z těchto grafů jsou patrné měsíční výkyvy, vypovídající nejčastěji o neobvyklém úbytku, nebo naopak nárůstu vnitřních tepelných zisků, nebo o abnormálních podmínkách venkovního prostředí. V případě, kdy se v objektu na odvodu tepelných zisků podílejí dva zdroje chladu, je nezbytné zhodnotit jaký podíl z celkové měsíční spotřeby el. energie čerpá každý z nich. Jeden z možných způsobů grafického znázornění je zobrazen na obr. 100. Jsou případy, kdy dojde například k poruše jednoho z chladicích strojů, nebo k chybě v měření. Na první pohled je pak z grafu měsíčních spotřeb patrné pouze snížení spotřeby energie a až po podrobnější analýze chodu jednotlivých strojů je patrné, že došlo například k jeho poruše.



Obr.99 Příklad standardního zobrazení měsíčních spotřeb v průběhu více let



Obr.100 Příklad standardního zobrazení podílu jednotlivých zdrojů chladu na celkové měsíční spotřebě el. energie v jednom roce



Obr.101 Příklad standardního zobrazení celkové naměřené a doplněné roční spotřeby el. energie v průběhu více let

Dalším grafickým výstupem by mělo být zobrazení celkové roční spotřeby el. energie na chlazení. Z grafů tohoto typu je nejlépe patrné, zda došlo k výrazným změnám v průběhu let. V případě, kdy nastal velký nárůst nebo úbytek celkové roční spotřeby el. energie, je zapotřebí zjistit jeho příčinu. Jeli změna výrazná, jedná se často o zásah do řízení chladicího stroje, nebo změnu regulačních parametrů a je třeba se o případné změně telefonicky informovat u technického správce objektu. Na obr. 101 je uvedený příklad zobrazení roční spotřeby el. energie na chlazení v průběhu osmi let. Z grafu je také patrné, do jaké míry bylo zapotřebí doplňovat chybějící data. To je parametr, který může výrazně ovlivnit věrohodnost dat, jedná-li se například o rok, kdy všechna data musela být dopočtena. Po stanovení roční spotřeby el. energie na chlazení v jednotlivých letech v určitém časovém horizontu, kdy probíhá měření, se vypočte její celkový průměr. Na základě již zmiňovaného porovnávacího kritéria, kterým je klimatizovaná podlahová plocha, se určí celková průměrná měrná spotřeba el. energie na chlazení, což je výsledný atribut pro možné porovnávání energetické náročnosti budov mezi sebou.

3.4 Doplnění chybějících dat

Měření spotřeby elektrické energie na chlazení je realizováno pomocí dataloggerů, jejichž princip byl již popsán v teoretické části práce. Zjednodušeně řečeno datalogger kumulativně ukládá impulsní výstupy z elektroměrů v pravidelných intervalech [11]. Ze zaznamenaných výstupů je následně možné určit spotřebu elektrické energie v konkrétním časovém rozmezí. Každý datalogger je napájen z vlastního zdroje energie, realizovaným pomocí speciální 3,6 V baterie. Pravidelná výměna baterie je důležitou součástí sběru dat. Je zřejmé, že po vybití baterie přístroj přestává zaznamenávat. Tato skutečnost je jedním z častých problémů, který je příčinou neuceleného záznamu dat. Další důležitou vlastností dataloggeru je jeho interní paměť, do které jsou data zaznamenávány. Paměť je omezená a po naplnění své kapacity se data přemazávají novými záznamy. U přístrojů, kde jsou data odebírána ručně je tedy nutné docházet v pravidelných intervalech odpovídajících kapacitě paměti dataloggeru. V tomto případě nejsou postižena dlouhodobá data, jako roční spotřeba elektrické energie, jelikož celková spotřeba zaznamenána je, ale není možné jednoduše rozlišit kratší časové intervaly, jako jsou měsíce, dny, či hodiny. Dalšími důvody, kdy není možné do analýzy začlenit ucelené záznamy, je například softwarová, či hardwarová chyba přístroje. V důsledku zmíněných nejčastějších problémů dochází k takzvaným datovým mezerám, kdy chladicí stroje byly v chodu, ale jejich provoz nebyl zaznamenán. Aby bylo na konkrétním objektu možné zhodnotit případné změny, které by mohly mít vliv na spotřebu elektrické energie využitou na chlazení, je nezbytné chybějící data co nejpřesněji doplnit. Pro doplnění chybějících dat neexistuje jedno univerzální řešení. Každý výpadek je potřeba řešit individuálně a je přínosné pokusit se zjistit jeho příčinu. Může se jednat o přemazání dat, či úplný výpadek loggeru. Ve zvláštních případech je nutné se informovat, zda nebyl odstaven celý chladicí stroj, aby byl vzniklý datový výpadek nahrazen odpovídajícím způsobem, nebo nebyl nahrazován interval, ve kterém chladicí stroj nebyl v provozu. Při zpracovávání dat v této práci byly použity následující způsoby pro nahrazení chybějících dat:

- průměrování dat stejného období z jiného roku,
- využití posledního záznamů při přemazání paměti,
- závislost spotřeby energie na průměrné měsíční teplotě,
- využití poměrů směrnic nárůstu el. energie v okolních měsících.

3.4.1 Metoda průměrů

Nejsnazším způsobem je průměrování naměřených hodnot konkrétního časového intervalu z přechozích let. Tento způsob ovšem nereflektuje jakékoli výkyvy pro konkrétní časové období, zvláště jedná-li se o změnu venkovní teploty, intenzitu sluneční radiace, či změnu vnitřních zisků. Proto se hodnota získaná průměrováním může od skutečné hodnoty výrazně lišit a z toho důvodu byla tato metoda používána jen v nejkrajnějších případech, kdy žádné jiné způsoby na doplnění dat nepřipadaly v úvahu.

3.4.2 Využití posledního záznamů při přemazání paměti

Dalším jmenovaným způsobem je doplnění dat při znehodnocení přemazáním paměti dataloggeru. Použitím tohoto principu dochází jen k velice malé odchylce od skutečné hodnoty, je ovšem nezbytné správně identifikovat takové místo. Může se totiž jednat o kombinaci různých příčin absenci dat. Nejsnadnější identifikace je porovnání s hodnotami téhož období v jiných letech a vyhodnocením, zda chybějící data odpovídají reálné spotřebě. Dalším možným ověřením je porovnání s hodnotami na elektroměru, jsou-li k dispozici. Jak již bylo zmíněno, při přemazání naměřených hodnot novými daty datalogger stále ukládá přírůstek spotřeby energie a v takovém případě tedy známe celkovou spotřebu energie v určitém časovém úseku, ale nikoli průběh jejího nárůstu. Tento princip byl často realizován v například případě, kde mezera v datech odpovídala celému měsíci a části měsíce následujícího. Po ověření, že se skutečně jedná o chybějící data způsobené jejich přemazáním, se celkový součet spotřebované energie adekvátně rozdělil do jednotlivých časových intervalů, v závislosti na tom, o jak velký časový úsek se jedná. Pro lepší porozumění je situace patrná v tab. 84. V roce 2018 u budovy č. 12 došlo k přemazání dat v červnu a části července. Data tedy nejsou k dispozici, celkovou spotřebu elektrické energie v chybějícím úseku je ovšem možné určit pomocí rozdílu prvního záznamu v červenci a posledního záznamu v květnu. Dále je možné, na základě průběhu nárůstu spotřeby elektrické energie v již měřeném úseku v červenci, určit, kolik energie bylo spotřebováno v jednotlivých měsících.

Tab. 84 výsledná data budovy č. 12 z 2018

Měsíc	Rok	Spotřeba elektrické energie [kWh]	Relativní spotřeba EE [%]	Počet měřených dní	Maximální elektrický příkon [kW]	Doplňná spotřeba EE [kWh]
1	2018	4 722	3,32%	31	130	4 722
2	2018	3 194	2,24%	28	124	3 194
3	2018	4 673	3,28%	31	125	4 673
4	2018	19 325	13,57%	30	302	19 325
5	2018	31 507	22,13%	30	329	32 558
6	2018	0	0,00%	0	0	36139
7	2018	37 819	26,56%	19	354	61705
8	2018	55 030	38,65%	31	414	55 030
9	2018	8 152	5,73%	30	148	8 152
10	2018	4 445	3,12%	31	151	4 445
11	2018	3 610	2,54%	30	125	3 610
12	2018	2 381	1,67%	19	123	3 884
celkem		174 859		310	414	237 438
klimatizovaná podlahová plocha [m ²]					12 972	
měrná spotřeba el. energie [kWh/m ²]					13,5	
měrná doplňná spotřeba EE [kWh/m ²]					18,3	

3.4.3 Závislost spotřeby energie na průměrné teplotě

Vzhledem k závislosti spotřeby elektrické energie na venkovní teplotě, vyplívající z nasbíraných dat, byla tato souvislost využita také pro doplnění chybějících dat. Konkrétně byla vytvořena závislost měsíční spotřeby energie na průměrné měsíční teplotě vzduchu pro lokalitu, kde se nachází daný objekt. Do výběru dat byly zahrnuty měsíční spotřeby energie ze všech let, kdy probíhalo měření, tedy 2012 až 2019, ovšem pouze ty měsíce, kde probíhalo měření nepřerušovaně, po celou dobu chodu zdroje chladu. Průměrné měsíční teploty pro konkrétní lokality byly převzaty z měření Českého hydrometeorologického ústavu [13].

V každém objektu byly jednotlivým měsíčním spotřebám přiřazeny odpovídající průměrné měsíční teploty vzduchu. Tyto hodnoty byly zaneseny do bodového grafu, v němž byla následně hledaná regresivní funkce. Pomocí nástroje „formát spojnice trendu“ v programu Microsoft excel byla vybrána regresivní funkce mocninná, exponenciální, nebo lineární, na základě koeficientu determinace R^2 , který udává míru kvality regresivního modelu [16]. Z výsledné závislosti měsíční spotřeby energie na průměrné měsíční teplotě se u velké většiny objektů potvrzuje předpoklad, že spotřeba elektrické energie na chlazení je závislá na více proměnných. Mezi ně můžeme zařadit například tepelné zisky z vnějších zdrojů zapříčiněny intenzitou sluneční radiace, nebo tepelné zisky od vnitřních zdrojů tepla [17]. Další možnou proměnnou mohou být technické parametry konkrétní stavby, či parametry chladicího systému a jeho způsob provozování [18]. Popsané parametry výrazně ovlivňují regresivní křivku a vnášejí do modelu nepřesnosti pro doplňování chybějících dat.

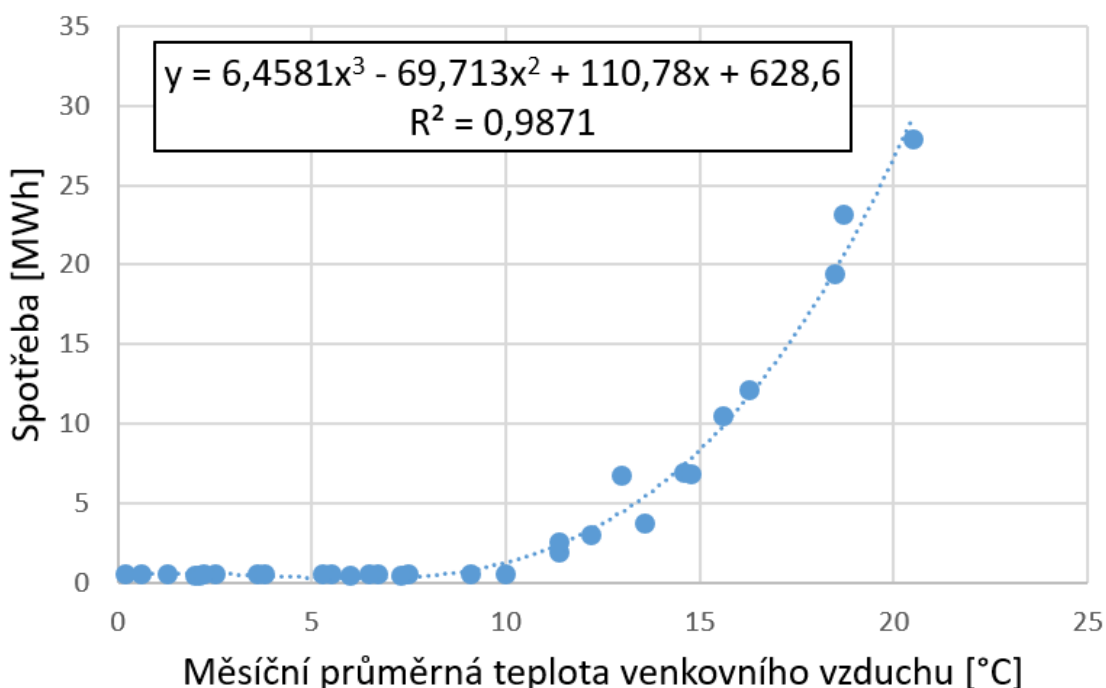
V tab. 85 jsou znázorněny regresivní funkce pro všechny budovy, včetně koeficientu determinace a průměrné relativní odchylky. Kritériem pro výběr vhodné regresivní funkce byla hodnota koeficientu determinace. Předpisy funkce zobrazené v tab. 85 vykazují jeho nejnižší hodnotu koeficientu z testovaných funkcí. Průměrná relativní odchylka byla vypočtena jako poměr součtu relativních odchylek a skutečné spotřeby energie. Z tabulky je patrné, že čím je hodnota koeficientu determinace vyšší, tím menší je relativní odchylka modelu.

Tab. 85 Regresivní funkce pro závislost měsíční spotřeby a průměrné měsíční teploty

Budova	Regresní funkce	Koeficient determinace R^2	Průměr relativní odchylky
1	$y = 1323,03 \cdot x - 11508,5$	0,579	37%
2	$y = 43,72x^2 - 251,29x + 3535,1$	0,929	9%
3	$y = 6,4581x^3 - 69,713x^2 + 110,78x + 628,6$	0,987	7%
4	$y = 15,923x^2 + 827,03x - 4045,7$	0,875	16%
5	$y = 1517,4 \cdot e^{0,1263 \cdot x}$	0,769	18%
6	$y = 8,9118x^2 + 1181x - 1594,1$	0,95	10%
7	$y = 878,85e^{0,1511x}$	0,91	21%
8	$y = 60,379x^2 - 236,05x + 262,35$	0,95	14%
9	$y = 14,704x^2 + 382,71x - 598,21$	0,55	60%
10	$y = 3,967x^3 - 25,247x^2 - 15,064x + 76,16$	0,97	14%
11	$y = 280,82x + 610,95$	0,66	29%
12	$y = 89,129x^2 + 473,69x + 2111,7$	0,89	16%

Z tab. 85 je patrné, že odhad chybějících dat založený na základě korelace průměrné měsíční teploty a spotřeby el. energie je nejvhodnější pro budovy č. 2, 3, 6 a 12. Kde průměrná relativní odchylka dosahovala pouze 10 % a chybějící data v těchto budovách byly tedy z velké části doplněny na základě zmíněné souvislosti. U budov č. 4, 8 a 10 je průměrná relativní odchylka menší než 17 % a doplnění dat zde připadá stále v úvahu, ačkoli vzniklé odchylky mohou činit výrazné rozdíly například v měsících, kdy je spotřeba energie nízká a v takovém případě je vhodnější nahrazovat data například metodou průměrů. Na základě velké průměrné odchylky větší než 17 % pro objekty č. 1, 5, 7, 9, 11 lze usuzovat, že spotřeba energie je zde ovlivněna jinými parametry, které tento model neuvažuje, více než v případě ostatních objektů. U těchto budov tedy není použití modelu uvažujícího pouze závislost na vnější průměrné teplotě vhodné.

Na obr. 103 je znázorněna grafická závislost spotřeby el. energie na chlazení na průměrné měsíční teplotě pro budovu č. 3. Je zde znázorněna také vybraná regresní funkce třetího řádu a koeficient determinace R^2 . Vybrané funkci přísluší koeficient determinace $R^2 = 0,987$, což znamená, že přibližně 98 % variability z naměřených spotřeb je možné popsat zvolenou regresivní křivkou [16], [6]. Z grafu je dále patrné, že spotřeba energie při průměrné měsíční teplotě menší než $10\text{ }^\circ\text{C}$ je téměř konstantní. Nejpravděpodobnějším vysvětlením, proč je chladicí stroj stále v chodu i při výrazném poklesu venkovní teploty, jsou vnitřní tepelné zisky, které se nijak výrazně nemění během celého roku [18]. Objekt č. 3 patří do skupiny budov, kde neprobíhá sběr dat „ručně“ a jsou poskytovány firmou EkoWatt pomocí GSM brány. U této skupiny objektů jsou chybějící data na totožných místech a jedná se především o měsíce leden až květen, kdy spotřeba nebyla zaznamenávána. Bohužel také došlo k výpadku měření pro celý rok 2018. Na základě regresivní funkce na obr. 102 byla tedy odhadnuta spotřeba pro celý chybějící rok.

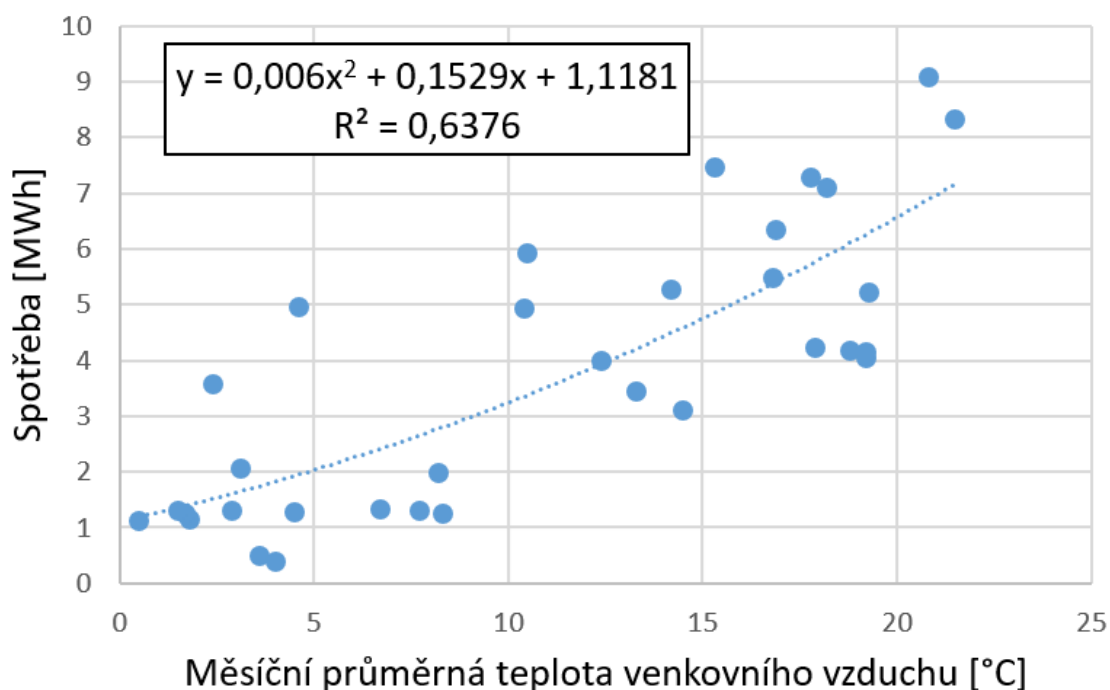


Obr. 102 Regresivní funkce popisující závislost spotřeby el. energie na chlazení a průměrné měsíční teploty, pro objekt č. 3

Na obr. 103 je uvedený příklad téže závislosti pro objekt č. 11. V tab. 2 vidíme, že průměrná relativní odchylka tohoto objektu činí 31 %. Je zde opět znázorněn předpis zvolené regresivní funkce a koeficient determinace $R^2 = 0,638$, čemuž opět odpovídá fakt, že pouze 68 % z naměřených hodnot lze popsat danou funkcí. Tato fluktuace v naměřených datech je pravděpodobně způsobená zásahem do řízení klimatizačního

systemu, nebo jeho nekonzistentním provozem, či náhlými změnami obsazenosti v objektu, které vyvolaly velké změny u vnitřních tepelných zisků. Přesnou příčinu se bohužel u většiny objektů nepovedlo identifikovat. Nicméně u objektu č. 11 je zřejmé, že doplňování chybějících dat pomocí zvolené regresivní funkce je zcela nevhodné. Ačkoli v objektu jsou relativně ucelená data a nebylo nutné doplňovat tak dlouhé časové intervaly, jako například u objektu č. 3, je zde nezbytné doplnit datové mezery, vzniklé především v roce 2019 na základě ostatních již zmíněných metod.

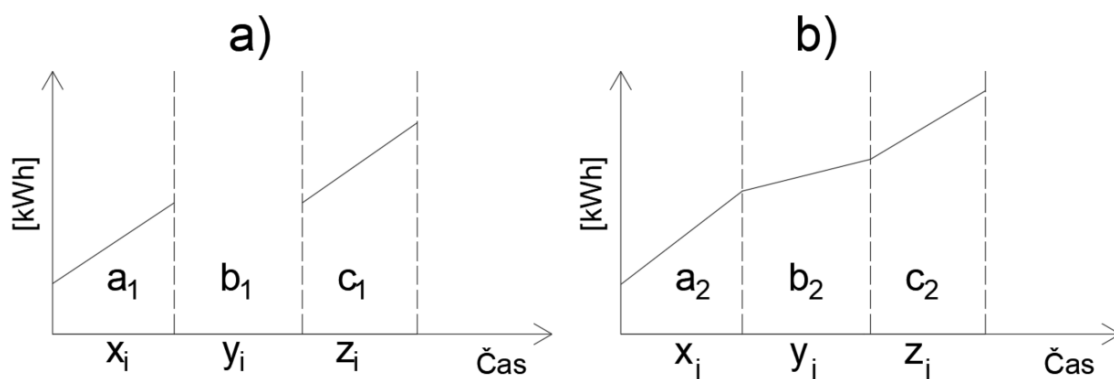
Souvislost mezi spotřebou el. energie a průměrnou měsíční teplotou byl jeden z hlavních nástrojů pro doplňování chybějících dat. Byly zde uvedeny a podrobně popsány dva objekty č. 3 a 11 jako reprezentativní příklady. Obdobným způsobem probíhalo posuzování, zda je metoda vhodná či nikoli, i u ostatních objektů.



Obr. 103 Regresivní funkce popisující závislost spotřeby el. energie na chlazení a průměrné měsíční teploty, pro objekt č. 11

3.4.4 Využití poměrů směrnic nárůstu el. energie v okolních měsících

Poslední nástroj pro doplnění chybějících dat, který byl využit, je založený na průběhu spotřeby el. energie v okolních měsících ve zjišťovaném a referenčním roce. Metoda vychází z předpokladu, že průběh spotřeby el. energie ve dvou stejných měsících v jiném roce bude podobný v případě, kdy i okolní měsíce vykazují podobný průběh spotřeby. Pro zjednodušení modelu byla jako hodnotící parametr zvolena lineární směrnice růstu spotřeby energie pro každý měsíc. Směrnice byla získána z rozdílu posledního a prvního záznamu a známého časového intervalu. Vyjadřuje tedy průměrný denní přírůstek spotřeby el. energie na chlazení v daném měsíci. Na obr. 3 je schematicky znázorněn graf popisující zjednodušenou lineární závislost spotřeby el. energie na čase. Na obr. 3a je závislost pro zjišťovaný rok a na obr. 3b pro rok referenční. Hodnoty $a_{1,2}$, $b_{1,2}$, $c_{1,2}$ jsou směrnice růstu pro odpovídající časové intervaly, tedy měsíce $x_{i,j}$, $y_{i,j}$, $z_{i,j}$.



Obr. 104 Schématické znázornění principu doplnění dat založené na lineárních směrnicích

Neznámou je v tomto případě směrnice b_1 , která reprezentuje chybějící data v měsíci y_i . Získáme jí z následujících vztahů, které popisují závislost spotřeby v chybějícím časovém intervalu. Na základě dat naměřených v měsíci $x_{i,j}$ a y_j , jsme schopni sestavit rovnici:

$$\frac{b_1}{b_2} = \frac{a_1}{a_2} \quad (1)$$

Ze které vyjádříme neznámou b_1 :

$$b_1 = b_2 \cdot \frac{a_1}{a_2} \quad (2)$$

Stejným způsobem využijeme naměřených dat z měsíce $z_{i,j}$ a vyjádříme neznámou pomocí směrnic $c_{1,2}$:

$$b_1 = b_2 \cdot \frac{c_1}{c_2} \quad (3)$$

Abychom vyjádřili neznámou b_1 , vynásobíme mezi sebou vztahy 2 a 3 a dostaneme následující vztah:

$$b_1^2 = b_2^2 \cdot \frac{a_1}{a_2} \cdot \frac{c_1}{c_2} \quad (4)$$

Směrnici b_1 získáme odmocněním a dostáváme výsledný vztah:

$$b_1 = b_2 \cdot \sqrt{\frac{a_1}{a_2} \cdot \frac{c_1}{c_2}} \quad (5)$$

Jak již bylo zmíněno, směrnice b_1 vyjadřuje průměrný denní přírůstek energie v měsíci y_i a po vynásobení počtem dní získáme požadovanou měsíční spotřebu el. energie. Metoda je ovšem použitelná pouze v případě, kdy je poměr okolních měsíců ve zjišťovaném a referenčním roce podobný. Průměrná relativní odchylka je přibližně 10 %, za předpokladu, kdy je splněna následující podmínka:

$$\left| \frac{a_1}{c_1} - \frac{a_2}{c_2} \right| < 0,2 \quad (6)$$

Tato metoda zohledňuje všechny faktory ovlivňující el. spotřebu energie včetně vnitřních i vnějších tepelných zisků, pokud nedošlo k výrazným změnám v řízení chladicího stroje. V takovém případě by ovšem nemohla být splněna zmíněná podmínka. Ta je sama o sobě velice limitujícím faktorem a situací, kdy je tato metoda využitelná nebylo mnoho. Sloužila především pro ověřování ostatních metod. Především pro kontrolu zda nedošlo k úplnému výpadku zaznamenávání v časovém intervalu, který byl doplněn metodou využívající posledního záznamu při přemazání dat.

4. Závěr

Hlavním cílem této práce bylo zpracovat a analyzovat naměřená data spotřeby elektrické energie na chlazení u dvanácti objektů. Dalším cílem bylo vytvoření standardizovaného postupu pro monitorování klimatizačních zařízení s důrazem na spotřebu elektrické energie.

V teoretické části se práce zabývala popisem klimatizačních systémů, jejich základním rozdělením a zhodnocením energetické náročnosti. Dále byly popsány možnosti pro měření spotřeby elektrické energie. Bylo uvedeno rozdělení elektroměrů do různých kategorií a byly popsány jejich základní fyzikální principy. Dále se teoretická část práce zabývala možnostmi zpracování dat.

V analytické části práce byly podrobně zpracovány a zanalyzovány naměřená data spotřeby elektrické energie na chlazení u zmíněných dvanácti objektů. Jednalo se především o administrativní budovy s výjimkou jednoho hotelu a jednoho obchodního domu. V rámci této práce byla podrobně zpracována data z let 2017 až 2019. Analyzovaná data byla použita pro rozšíření statistického vzorku starších záznamů z let 2012 až 2016, jejichž výsledky byly prezentovány v projektu *Měření a analýza spotřeby energie budov na chlazení pro klimatizaci a vyhodnocení měrných spotřeb pro další využití* [11]. U každého objektu byly uvedeny základní informace o budově a byl popsán klimatizační systém, využívaný ke chlazení dané budovy. Výsledná analýza naměřených dat je znázorněna v grafické podobě nejdříve ročního příkonu el. energie zdroje chladu, dále měsíční spotřeby el. energie na chlazení v jednotlivých letech a také v tabulkách popisujících poslední zmiňovanou grafickou závislost. Součástí analýzy dat každé budovy bylo také grafické znázornění roční spotřeby el. energie na chlazení z let 2012 až 2019. Pro výsledné porovnání energetické náročnosti budov na jejich chlazení, byla jako srovnávací kritérium použita plocha klimatizované části objektu. Byl vytvořen průměr měrné spotřeby el. energie na chlazení vztažený k podlahové ploše z let 2012 až 2019 u každého objektu. Měrná spotřeba energie budov se pohybovala od 4,3 kWh/m² do 35,2 kWh/m², s tím, že průměrná hodnota činila 20,6 kWh/m². V další kapitole analytické části práce byl popsán standardizovaný postup pro monitorování klimatizačních zařízení s důrazem na spotřebu energie. Vzhledem ke značné nekonzistentnosti naměřených dat byly při jejich analýze velkým problémem datové mezery. V souvislosti s touto skutečností se poslední kapitola této práce zabývá vznikem jejich příčin a možnostmi jejich řešení.

5. Zdroje

- [1] CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL. Větrání a klimatizace. Technický průvodce. BOLIT press, Brno 1993. ISBN 80-901574-0-8.
- [2] HITCHIN, Roger a Ian KNIGHT. Daily energy consumption signatures and control charts for air-conditioned buildings. *Energy and Buildings*. 2016, 2016(112), 9.
- [3] KODYTEK, Zdeněk. Kontrola klimatizačních systémů - I. část. *Tzb-info.cz* [online]. 2007 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3869-kontrola-klimatizacnich-systemu-i-cast>
- [4] Elektroměry Historie a současnost [online]. Na Hroudě 1492/4 100 05 Praha 10, 2009, 16 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <https://www.premereni.cz/Files/dulezite-informace/ke-stazeni/tiskoviny-ke-stazeni/elektromery-historie-a-soucasnost/>
- [5] SAMUEL, Tomáš. Analýza výskytu neoprávněných odběrů při užití on-line spotřeby za pomoci plošné instalace dálkových odečtů. Brno, 2008. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [6] HAŠEK, Miroslav. Systém pro měření spotřeby energií a dalších veličin v budově. Praha, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Pavel Mlejnek, Ph.D.
- [7] ŠÍMA, Jan. Model statického elektroměru. Ostrava, 2018. Diplomová práce. Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Petr Bílík, Ph.D.
- [8] ŠŤASTNÝ, Jiří. Měření spotřeby energie při provozu elektrických zařízení: Energy Consumption Measurement during the Electric Equipment Operation. *Facilit management, provoz, řízení*, 6.

- [9] Data Logger Fundamentals for Environmental Monitoring Applications. Geoscientific Ltd. [online]. Vancouver, 2006., 9 [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: http://www.geoscientific.com/technical/tech_references_pdf_files/Data_Logger_Fundamentals.pdf
- [10] LOGGER S7021: Návod k použití [online]. [cit. 2020-07-19]. DOI: I-LOG-S7021-06. Dostupné z: <https://marcomplet.cz/docs/Comet/i-log-s7021.pdf>
- [11] KOTEK, Petr, Jan ANTONÍN, Richard POUL a Jiří BERANOVSKÝ. Měření spotřeby elektrické energie na chlazení budov: GRANT ČR OLP/3481/2011. WkoWatt.cz., 166.
- [12] ŠIMEK, Jakub. Spotřeba energie na chlazení budov. Praha, 2017. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Miloš Lain, Ph.D.
- [13] Český hydrometeorologický ústav: Územní teploty [online]. [cit. 2020-07-19]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>
- [14] LINHARTOVÁ, K. Provoz klimatizace budovy Parlamentu ČR. Praha, 2012. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní
- [15] VACKOVÁ, J. Klimatizace administrativní budovy Opatov. Praha, 2013. Diplomová práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní.
- [16] KARPÍŠEK, Z. Regresní analýza. Brno, 2006. Dostupné z: mathonline.fme.vutbr.cz/download.aspx?id_file=524
- [17] ČSN 73 0548: Výpočet tepelné zátěže klimatizovaných prostorů. Praha: ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1985.
- [18] HORKÁ, Lucie. Optimalizace spotřeb energie v administrativní budově. Brno, 2015. Diplomová práce. Vysoké učení technické v brně.

6. Seznam příloh

Označení	Název
[P1]	1. budova
[P2]	2. budova
[P3]	3. budova
[P4]	4. budova
[P5]	5. budova
[P6]	6. budova
[P7]	7. budova
[P8]	8. budova
[P9]	9. budova
[P10]	10. budova
[P11]	11. budova
[P12]	12. budova
[P13]	Výsledná analýza