

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**SPOTŘEBA ENERGIE PRO CHLAZENÍ OBCHODNÍHO
CENTRA**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Souhrn

Diplomová práce se zabývá měřením a vyhodnocením spotřeb energie v obchodním centru Chodov. První část diplomové práce je věnována všeobecnému popisu a rozdělení klimatizačních systémů, zdrojů chladu a systému freecooling. Teoretická část také obsahuje způsoby měření spotřeby elektrické energie, popis potřebných zařízení k měření spotřeb elektrické energie a rozdělení chladicích faktorů. Následující část této práce se věnuje všeobecnému popisu, kontrole a vyhodnocení naměřených dat v obchodním centru Chodov. Popis obchodního centra zahrnuje dispozici objektu, návrhové podmínky, popis obou strojoven a identifikaci měřených energetických toků. Poslední část diplomové práce se zabývá měřením a vyhodnocením naměřených dat. Před měřením spotřeb energie byla provedena osobní kontrola měřičů tepla. Tato část dále obsahuje popis zpracování a vyhodnocení spotřeb energie. Tyto spotřeby jsou dále prezentovány ve čtyřech na sebe navazujících zprávách respektive kapitolách. Na závěr byla celková data zpracována do souhrnné tabulky, ze které byly vytvořeny koláčové grafy pro porovnání spotřeb elektrické energie za jednotlivá období.

Summary

The Master's thesis deals with the measurement and evaluation of energy consumption in the shopping center Chodov. The first part is divided to the general description and categorization of air-conditioning systems, cold sources and freecooling system. The theoretical part also contains ways how to measure energy consumption, a description of the necessary equipment for measuring the energy consumption of electricity and the types of cooling factors. The next part of this thesis is devoted to the general description, inspection and evaluation of the measured data in the shopping center Chodov. Description of the shopping center includes a design conditions, a description of both engine rooms and the identification of measured energy flows. The last part of the thesis deals with the measurement and evaluation of measurement data. Before the measuring energy consumption the heat meters were inspected. This part also includes a description of processing and evaluating energy consumption. These consumptions are also presented in four consecutive reports respectively chapters. In conclusion, the overall data was processed into summary tables from which they were created pie charts to compare the consumption of electricity for each period.

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

V Praze 11. 01. 2016

Bc. Daniel Karnas

Rád bych poděkoval vedoucímu mé diplomové práce Ing. Milošovi Lainovi Ph.D. za ochotu, trpělivost, cenné rady a připomínky. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za podporu během celého studia.

| | |
|--|-----------|
| SEZNAM POUŽITÝCH JEDNOTEK..... | 8 |
| ÚVOD..... | 10 |
| 1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY KLIMATIZACE | 11 |
| 1.1 POHODA PROSTŘEDÍ..... | 11 |
| 1.1.1 <i>Tepelná rovnováha a tepelná pohoda</i> | 12 |
| 1.2 KLIMATIZACE..... | 12 |
| 1.3 KLIMATIZAČNÍ SYSTÉMY..... | 13 |
| 1.3.1 <i>Vzduchové systémy</i> | 13 |
| 1.3.2 <i>Vodní systémy s ventilátorovými konvektory (fan-coil)</i> | 13 |
| 1.3.3 <i>Chladicí stropy</i> | 14 |
| 1.3.4 <i>Chladivové systémy</i> | 14 |
| 2 ZDROJE CHLADU | 15 |
| 2.1 KOMPRESOROVÉ CHLAZENÍ..... | 15 |
| 2.1.1 <i>Pístové kompresory</i> | 15 |
| 2.1.2 <i>Kompresory šroubové</i> | 15 |
| 2.1.3 <i>Rotační objemové</i> | 15 |
| 2.1.4 <i>Kompresory scroll</i> | 16 |
| 2.1.5 <i>Turbokompresory</i> | 16 |
| 2.2 ABSORPČNÍ CHLAZENÍ..... | 16 |
| 2.3 CHLADÍCÍ VĚŽE | 17 |
| 2.3.1 <i>Chladicí věž otevřená</i> | 17 |
| 2.3.2 <i>Chladicí věž uzavřená</i> | 17 |
| 3 FREECOOLING..... | 19 |
| 3.1 VZDUCEM CHLAZENÝ KONDENZÁTOR – V CHLADIVOVÉM OBĚHU..... | 19 |
| 3.1.1 <i>Freecooling přímý s čerpadlem</i> | 19 |
| 3.1.2 <i>Freecooling s thermosyphonem</i> | 20 |
| 3.2 VZDUCEM CHLAZENÝ KONDENZÁTOR - MIMO CHLADIVOVÝ OBĚH..... | 21 |
| 3.2.1 <i>Freecooling s odděleným výměníkem</i> | 21 |
| 3.2.2 <i>Freecooling vestavěný do jednotky</i> | 22 |
| 3.3 FREECOOLING S VODOU CHLAZENÝM KONDENZÁTOREM..... | 23 |
| 3.3.1 <i>Freecooling s odděleným výměníkem</i> | 24 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4 | MĚŘENÍ SPOTŘEBY ENERGIE | 25 |
| 4.1 | INSTALACE MĚŘICÍCH MÍST | 25 |
| 4.2 | MOŽNOSTI MĚŘENÝCH DAT | 26 |
| 4.2.1 | <i>Přímé signály poruch</i> | 26 |
| 4.2.2 | <i>Kumulované hodnoty.....</i> | 26 |
| 4.2.3 | <i>Odvozené signály poruch</i> | 26 |
| 4.3 | ELEKTROMĚRY | 26 |
| 4.4 | PRŮTOKOMĚRY | 27 |
| 4.4.1 | <i>Měření rozdílu tlaku před a za primárním prvem</i> | 27 |
| 4.4.2 | <i>Měření rychlosti proudění tekutiny</i> | 27 |
| 4.4.3 | <i>Měření objemového průtoku.....</i> | 28 |
| 4.4.4 | <i>Měření hmotnostního průtoku</i> | 28 |
| 4.5 | KALORIMETRY | 28 |
| 4.5.1 | <i>Kompaktní měřiče tepla a chladu.....</i> | 28 |
| 4.5.2 | <i>Soupravy měřičů tepla a chladu.....</i> | 29 |
| 5 | CHLADICÍ FAKTORY ZDROJŮ CHLADU..... | 29 |
| 5.1 | CHLADICÍ FAKTOR CHLADICÍHO ZAŘÍZENÍ EER..... | 29 |
| 5.2 | EVROPSKÝ SEZONNÍ CHLADICÍ FAKTOR ESEER..... | 30 |
| 5.3 | CHLADICÍ FAKTOR KLIMATIZAČNÍHO ZAŘÍZENÍ EER _{AC} | 31 |
| 5.4 | SEZONNÍ CHLADICÍ FAKTOR SEER..... | 32 |
| 6 | OBCHODNÍ CENTRUM CHODOV | 33 |
| 6.1 | VNĚJŠÍ PODMÍNKY | 33 |
| 6.2 | VNITŘNÍ PARAMETRY PROSTŘEDÍ..... | 34 |
| 6.3 | STANOVENÍ SPOTŘEBY CHLADICÍHO VÝKONU | 35 |
| 6.4 | ZDROJE CHLADU..... | 35 |
| 6.4.1 | <i>Technické řešení strojovny východ.....</i> | 35 |
| 6.4.2 | <i>Technické řešení strojovny západ</i> | 39 |
| 6.5 | ENERGETICKÉ TOKY V OBCHODNÍM CENTRU CHODOV | 42 |
| 7 | KONTROLA A VYHODNOCENÍ MĚŘIČŮ TEPLA..... | 44 |
| 7.1 | POPIS ŘEŠENÍ..... | 44 |
| 7.2 | MÍSTNÍ KONTROLA A MĚŘENÍ HODNOT | 45 |
| 7.3 | ZPRACOVÁNÍ DAT..... | 45 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 7.4 | VYHODNOCENÍ MĚŘIČŮ TEPLA | 46 |
| 8 | VYHODNOCENÍ OBDRŽENÝCH SPOTŘEB ENERGIE | 48 |
| 8.1 | SBĚR DAT | 48 |
| 8.2 | POSTUP ZPRACOVÁNÍ A ANALÝZY DAT | 48 |
| 8.3 | VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT ZA PRVNÍ OBDOBÍ | 49 |
| 8.4 | VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT ZA DRUHÉ OBDOBÍ..... | 54 |
| 8.4.1 | <i>Chladicí faktory zdrojů chladu.....</i> | <i>58</i> |
| 8.5 | VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT ZA TŘETÍ OBDOBÍ..... | 59 |
| 8.5.1 | <i>Chladicí faktory zdrojů chladu.....</i> | <i>63</i> |
| 8.5.2 | <i>Průběhy teplot</i> | <i>64</i> |
| 8.6 | VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT ZA ČTVRTÉ OBDOBÍ..... | 68 |
| 8.6.1 | <i>Chladicí faktory zdrojů chladu.....</i> | <i>73</i> |
| 8.6.2 | <i>Průběhy teplot</i> | <i>75</i> |
| 8.7 | SOUHRN SPOTŘEB ENERGIE ZA CELÉ MĚŘENÉ OBDOBÍ..... | 77 |
| | ZÁVĚR..... | 82 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 84 |

Seznam použitých jednotek

| | |
|-----------------------------------|--|
| COPC | účinnost Carnotova oběhu [-] |
| COPR | účinnost reálného oběhu [-] |
| EER | chladičí faktor zdroje chladu [-] |
| EERAC | chladičí faktor klimatizačního zařízení [-] |
| ESEER | evropský chladičí faktor [-] |
| n | fyzická činnosti [-] |
| P ₁ | elektrický příkon kompresoru [kW] |
| P ₂ | elektrický příkon ventilátorů [kW] |
| P ₃ | příkon čerpadel [kW] |
| P ₄ | příkon ventilátorů [kW] |
| P _c | roční potřeba elektrické energie na chlazení [kWh/rok] |
| P _{CHL} ^{CEL} | celkový potřebný chladičí výkon [kW] |
| P _{CHL} ^{OJ} | potřebný chladičí výkon obchodních jednotek [kW] |
| P _{CHL} ^{vých.} | spotřeba chladu pro strojovnu východ [kW] |
| P _{CHL} ^{záp.} | spotřeba chladu pro strojovnu západ [kW] |
| q | produkovaný tepelný tok [W/m ²] |
| Q ₁ | chladičí výkon na výparníku [kW] |
| Q _c | referenční potřeba na chlazení [kWh/rok] |
| q _d | měrný tepelný tok sdílený do okolí dýcháním [W/m ²] |
| q _k | měrný tepelný tok sdílený z povrchu těla do okolí konvekcí [W/m ²] |
| q _m | měrný energetický výdej [W/m ²] |

| | |
|-----------|---|
| q_s | měrný tepelný tok sdílený z povrchu těla do okolí sáláním [W/m^2] |
| Q_v | objemový průtok [m^3/s] |
| q_w | měrný tepelný tok sdílený z povrchu těla do okolí vypařováním [W/m^2] |
| S | průřez potrubí [m^2] |
| SEER | sezonní chladicí faktor [-] |
| t_e | venkovní teplota [$^{\circ}C$] |
| t_k | teplota povrchu těla [$^{\circ}C$] |
| \bar{v} | střední rychlost proudění kapaliny [m/s] |

Úvod

Klimatizace v obchodních centrech má značný finanční vliv na provoz obchodního centra, a proto je snahou co nejvíce uspořit pomocí různých systémů nebo optimalizací provozu v těchto obchodních centrech. Díky vysoké tepelné zátěži v průběhu celého roku, je zapotřebí provozovat klimatizaci po celý rok. Tato práce se tedy zabývá spotřebou energie obchodního centra Chodov v průběhu celého roku.

Cílem práce je analýza systému klimatizace obchodního centra Chodov, kontrola měřičů tepla a vyhodnocení obdržených dat s následným návrhem pro optimalizaci provozu. V části práce, která je věnována identifikaci systému, bude využito technické zprávy, ale také získaných poznatků z bakalářské práce. Součástí práce je také kontrola měřičů tepla, která bude provedena místní kontrolou v obchodním centru Chodov. Významnou částí této práce bude zpracování obdržených dat a následné porovnání těchto zpracovaných hodnot za jednotlivá období. Nejdůležitější částí mé práce je navrhnout možné úspory energie ze zpracovaných dat. V závěru práce budou porovnány spotřeby energie a příkony obou strojoven.

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY KLIMATIZACE

1.1 Pohoda prostředí

Vzhledem k tomu, že člověk tráví převážnou část celého dne v interiérech budov, má toto prostředí významný vliv na smyslové chápání člověka a také na jeho fyzický, ale i duševní stav. Kvalita vnitřního prostředí se hodnotí podle stavu následujících faktorů prostředí [1]:

1. čistota vzduchu
2. teplota vzduchu
3. teplota povrchu stěn a předmětů
4. rychlost proudění vzduchu
5. vlhkost vzduchu
6. oděv
7. intenzita osvětlení
8. hluk a vibrace
9. koncentrace iontů
10. intenzita elektrických a magnetických polí
11. intenzita ionizujícího záření
12. prostorové a estetické řešení prostředí
13. tělesná konstituce člověka
14. činnost člověka
15. schopnost aklimatizace
16. klima, rasové záležitosti, návyky lidí
17. další vlivy – tlak vzduchu, psychické stavy aj.

Velký vliv na člověka mají tepelně vlhkostní parametry interiéru, ve kterém se člověk nachází. Z hlediska důsledku na lidské zdraví se zdá, že nejvýznamnějším faktorem je kvalita respektive čistota vzduchu. Je dána obsahem škodlivin ve vzduchu, které člověk bezprostředně nepocítuje. [2]

Znečištění vzduchu může být způsobeno: plynnými škodlivinami (z výrobní činnosti, vydechovanými osobami - CO₂, H₂O), zápachy, prachem, choroboplodnými zárodky (baktérie, viry a plísně) nebo nadměrným teplem. Odstraňování těchto škodlivin se provádí větráním a klimatizací. [3]

Faktory prostředí 2 až 6 a 14 se navzájem ovlivňují a jejich hodnoty vytváří stav, který nazýváme tepelná pohoda prostředí. [1]

1.1.1 Tepelná rovnováha a tepelná pohoda

Tepelná rovnováha těla a okolí je stav, při kterém se produkovaný tepelný tok člověkem rovná tepelnému toku odnímaného tělu okolím.

Tepelná pohoda prostředí neboli tepelný komfort lze definovat jako subjektivní pocit, při němž je zachována tepelná rovnováha za optimálních hodnot fyziologických parametrů. Mezi tyto parametry patří teplota povrchu těla t_k a tepelný tok odváděný vypařováním q_w . [4]

Při konstantní teplotě těla je rovnice tepelné rovnováhy

$$q_m - n = q = \pm q_k \pm q_s + q_w + q_d$$

q_m měrný energetický výdej [W/m^2]

n fyzická činnosti [-]

q produkovaný tepelný tok [W/m^2]

q_k měrný tepelný tok sdílený z povrchu těla do okolí konvekcí [W/m^2]

q_s měrný tepelný tok sdílený z povrchu těla do okolí sáláním [W/m^2]

q_w měrný tepelný tok sdílený z povrchu těla do okolí vypařováním [W/m^2]

q_d měrný tepelný tok sdílený do okolí dýcháním [W/m^2]

1.2 Klimatizace

Klimatizace se zabývá úpravou tepelných a vlhkostních vlastností vzduchu, větráním a prouděním vzduchu, spojeným s filtrací vzduchu. Požadované vlastnosti vzduchu v interiérech určují dvě základní hlediska – požadavky osob (komfortní klimatizace) a požadavky technologické. Jinými slovy můžeme komfortní klimatizaci popsat jako zařízení, které se stará o zajištění tepelné pohody člověka.

K dosažení požadovaných parametrů vzduchu slouží různé klimatizační systémy, které můžeme rozdělit například podle teplotnosné látky na: [5]

- vzduchové
- vodní
- chladivové
- kombinované

1.3 Klimatizační systémy

Klimatizační systémy slouží k rozvodu chladu, ale i tepla vzduchovodem, vodním nebo chladivovým potrubím. Každý z uvedených klimatizačních systémů je zakončen koncovými prvky k předání tepelné energie do prostředí. U vzduchových systémů k předání tepelné energie slouží vyústky popřípadě anemostaty. Pro vodní systémy jsou to vodní ventilátorové konvektory (fan-coil) nebo chladicí panely (pro systém chladících stropů). Chladivové systémy zakončují chladivové ventilátorové konvektory, do kterých tepelná energie přivádí chladivovým potrubím. Pro kombinované systémy vzduch/voda se používají indukční jednotky nebo chladicí trámce, do kterých je teplo přiváděno jak vzduch, tak i vodou. [5]

1.3.1 Vzduchové systémy

Vlastnosti vzduchu uvnitř budovy zajišťuje upravený vzduch, který je přiváděný do prostoru. Vzduch je upravován v centrální jednotce, ve které je možné vzduch směšovat a vlhčit. Samozřejmostí klimatizační jednotky jsou filtry a ventilátory. Mezi vzduchové klimatizační systémy patří: [5]

- vzduchový jednokanálový systém, jednozónový
- vzduchový jednokanálový systém s proměnným průtokem vzduchu, vícezónový
- vzduchový dvoukanálový systém, vícezónový

1.3.2 Vodní systémy s ventilátorovými konvektory (fan-coil)

U vodních systémů je energie přiváděna do klimatizovaných prostor chladicí vodou. Výhodou vodních systému jsou, že jsou jednoduché, spolehlivé a dobře regulovatelné. Vodní systémy lze použít jak pro chlazení, tak i pro vytápění budov. Tento systém je vhodný pro jakýkoliv typ budov. Nejvíce se využívá pro hotely a administrativní budovy. Jednotky jsou

umístěné přímo v klimatizovaném prostoru, a tím umožňuje vytvoření individuální tepelné pohody v jednotlivých místnostech. Hlavní součástí jsou ventilátorové jednotky, (konvektory, klimakonvektory, fan-coil) které jsou dále připojeny na rozvod teplé a chladné vody. Podle rozvodu vody dále rozlišujeme systémy: [5][8]

- dvoutrubkové přepínací (jeden výměník)
- čtyřtrubkové (dva výměníky)

1.3.3 Chladicí stropy

Chladicí stropy patří mezi vodní systémy, které představují moderní technologii chlazení budov (mohou zajišťovat i vytápění) [9]. Nejčastěji se používají v administrativních budovách a společenských prostorách. Chladicí stropy jsou účinné klimatizační systémy, které využívají relativně vysokou teplotou vody, což vede k úsporám energie. Chladicí stropy lze rozdělit podle provedení na otevřené (konvektivní) a uzavřené (sálavé). Uzavřené stropy jsou výhodnější z hlediska hygienických požadavků, protože nedochází k hluku a průvanu.[10]

1.3.4 Chladivové systémy

Hlavní součástí chladivových systémů je venkovní jednotka (nejčastěji na střeše budovy) a vnitřní jednotka (umístěna v místnosti). Venkovní jednotka obsahuje kompresorové chladicí zařízení, výměník tepla a ventilátor. Vnitřní jednotka se skládá z filtru, ventilátoru, výměníku tepla a vyústky. Venkovní a vnitřní jednotka jsou propojeny chladivovým potrubím (dvě trubky - pro plynné chladivo, pro kapalně chladivo). Chladivové systémy můžeme rozdělit podle konstrukce na [5]

- split systém, jednozónový
- multisplit systém s konstantním průtokem chladiva, vícezónový
- multisplit systém s proměnným průtokem chladiva, vícezónový

2 Zdroje chladu

V minulosti se jako zdroj chladu využíval led nebo voda. Až postupem času bylo vyžadováno strojní chlazení, které si nejprve vyžadovali technologické procesy. Mezi strojní chlazení patří především kompresorové chlazení, ale také do této kategorie patří absorpční chlazení. Z důvodu úspor energie se začaly využívat také alternativní způsoby, které využívají chlad z okolního prostředí. Mezi tyto systémy můžeme zařadit freecooling nebo také chladičí věže k odvodu kondenzačního tepla. [6]

2.1 Kompresorové chlazení

Kompresorové chlazení je nejrozšířenější systém chlazení v současné době. Oběh kompresorové chlazení se skládá z výparníku, kondenzátoru, škrticího ventilu a kompresoru. Kompresorové chlazení je možné rozdělit podle typu chladivových kompresorů. Rozlišujeme kompresory objemové, kam patří kompresory **pístové, šroubové, rotační a spirálové**, nebo kompresory rychlostní, kam můžeme zařadit **turbokompresory**. [5]

2.1.1 Pístové kompresory

Většina pístových kompresorů používá pro vratný pohyb pístu klikový mechanismus nebo excentr. Používají se taky kompresory se šikmou deskou, které se spíše používají v klimatizaci dopravních prostředků. Bavíme-li se o klimatizačním zařízení, tak jsou pístové kompresory využívány především u menších zařízení a čím dál více jsou nahrazovány rotačními typy kompresorů. [24]

2.1.2 Kompresory šroubové

Se zvyšováním výkonnosti kompresoru, se také zvětšují rozměry kompresoru. Z tohoto důvodu se využívají Rotační (šroubové) kompresory, které mají obvodovou rychlost troj až dvacetinásobnou v porovnání se střední pístovou rychlostí u pístových kompresorů s vratným pohybem pístu. To umožňuje zmenšení rozměrů, při zachování chladicího výkonu. Šroubové kompresory bývají dvourotorové nebo jednorotorové a to v mazané nebo bezmazné verzi. [24]

2.1.3 Rotační objemové

Rotační objemové kompresory mají rozmanitou konstrukci, která vychází ze snahy o zjednodušení konstrukčního řešení (odstranění vratného pohybu pístu). Do této skupiny patří kompresory s rotujícím pístem, kompresory lamelové, Rootsovy kompresory a kompresory „svingující“. V této skupině se vyskytuje velké množství řešení různě rotujících válců (pístů)

nebo válců s lamelami s různými provozními vlastnostmi. Typické použití těchto kompresorů je pro bytové klimatizace, splitové jednotky nebo malé klimatizace. Nejrozšířenějším typem je kompresor s rotujícím válcem. Píst ve tvaru válce se odvaluje po stěně pracovního válce a vytlačuje nasáté páry chladiva. Mezi prostorem nízkého a vysokého tlaku je pohyblivá těsnící deska. [24]

2.1.4 Spirálové Kompresory (scroll)

Technické řešení scroll je známo delší dobu, ale výrobu umožnili až číslicově řízené obráběcí stroje. Principem je odvalování se pohyblivého rotoru po pevném rotoru. Dále se směrem z obvodu do středu rotoru postupně stlačují páry chladiva. Tvar a velikost rotorů určuje pevný kompresní poměr a objem nasátého chladiva. Výhodou scroll kompresoru je stlačování par chladiva v jednom směru, což má za následek nulový škodlivý prostor. Díky této výhodě je v řadě použití výhodnější, než pístová verze. Další výhodou je také malý počet pohyblivých částí, což má vliv na lepší životnost a spolehlivost kompresoru. Hlavní nevýhodou jsou odstředivé síly vyvolané rotací rotoru, které musí být odstraněny. [24]

2.1.5 Turbokompresory

Turbokompresory se v chladicí technice využívají pro vysoké objemy nasávaných par chladiva (vysoké chladicí výkony). Turbokompresory můžeme rozdělit na axiální, radiální a diagonální. Stlačení par chladiva v turbokompresoru je zapříčiněno snížením velmi vysoké rychlosti par chladiva z oběžného kola v difuzoru kompresoru (pohybová energie se mění na tlakovou). Pro regulaci průtoku par chladiva se využívá natáčecích lopatek rozváděcího kola, které mohou řídit průtok od 10 do 100% jmenovitého průtoku. [24]

2.2 Absorpční chlazení

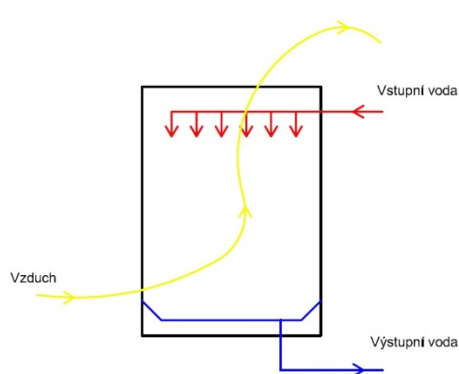
Absorpční oběh neobsahuje kompresory, ale oběhová čerpadla. Do absorpčního zařízení je nutné dodávat teplo, které se dále využívá k vypařování chladiva. Absorpční chlazení se tedy nejlépe využije tam, kde je možnost využití odpadního tepla. Při využití tepla z technologických procesů je úspora provozních nákladů velmi výrazná. Další možností je také využití tepla z kogenerační výroby elektřiny, kde se teplo v zimě využívá k vytápění a v létě naopak k výrobě chladu díky absorpčnímu chlazení. Tento proces se nazývá trigenerace (výroba elektřiny, tepla a chladu). [5]

2.3 Chladicí věže

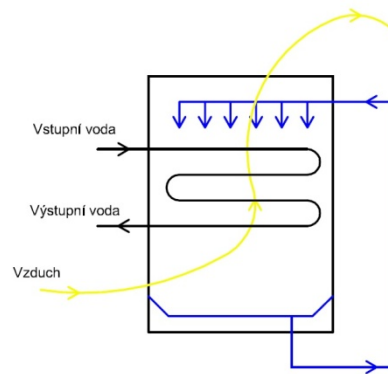
Chladicí věže se používají převážně pro vodou chlazené chladiče. Jedná se o adiabatické chlazení, při kterém dochází k rozstříkávání vody do vzduchu a následnému odparu vody z povrchu kapek. Ochlazení je limitováno stavem nasycení, který odpovídá teplotě mokrého teploměru. Jelikož je v České republice teplé a suché klima, tak je potenciál pro adiabatické chlazení poměrně značné. Okruh kondenzační vody je oddělený od okruhu ochlazené vody a používá se k odebírání tepla z chladicího cyklu. [5]

2.3.1 Chladicí věž otevřená

Otevřená chladicí věž je taková věž, ve které dochází ke styku chladicí vody s okolní atmosférou. Schéma otevřené chladicí věže můžeme vidět na obr. 1. Chladicí voda je rozstříkována v horní části chladicí věže a následně stéká přes výplň chladicí věže do spodní části chladicí věže, kde je vana. Současně se nasává vzduch pomocí ventilátoru a je tlačěn proti proudu stékající vody do horní části věže. Malá část vody se odpaří, a odnímá tak teplo ze zkrápějící vody. Chladicí voda je následně z vany odčerpávána čerpadlem a dopravována zpět do okruhu. [11]



Obr. 1 Otevřená chladicí věž



Obr. 2 Uzavřená chladicí věž

2.3.2 Chladicí věž uzavřená

Uzavřená chladicí věž je taková věž, kde ke styku chladicí vody s okolní atmosférou nedochází. Schéma uzavřené chladicí věže můžeme vidět na obr. 2. Jedná se tedy o uzavřený chladicí okruh, kde chladicí voda proudí trubkovým respektive deskovým výměníkem, který je umístěn uvnitř chladicí věže. Rozprašovací systém stříká chladicí vodu na tento tepelný výměník a rovněž využívá odvodu tepla vlivem výparu chladicí vody. Uzavřené chladicí věže jsou díky výše zmiňovaným vlastnostem velmi vhodné pro tzv. freecooling, při kterém je

vypnuto strojní chlazení a využívá se pouze nízkých venkovních teplot vzduchu pro ochlazení chladicí vody. [12]

3 Freecooling

Freecooling neboli volné chlazení pracuje na principu využití nízkých venkovních teplot vzduchu, pro chlazení teplotonosné látky klimatizačního systému přímo venkovním vzduchem, bez nutnosti používání kompresorového chlazení. To znamená, že se ze systému chlazení odpojí kompresor, což má za následek velkou úsporu energie. Při tomto druhu chlazení fungují ventilátory, které nasávají vzduch skrze lamelový výměník s nemrznoucí kapalinou, ta své teplo odevzdává do vzduchu a tím se ochlazuje. Freecooling lze nejlépe využít v prostorných objektech s nutností chlazení hlavně přes zimní období. Z tohoto hlediska lze usoudit, že free cooling má největší využití tam, kde je chlazení potřeba v průběhu celého roku, např. v průmyslových objektech, serverovnách nebo obchodních centrech. V současné době můžeme freecooling rozdělit do tří hlavních kategorií: [13]

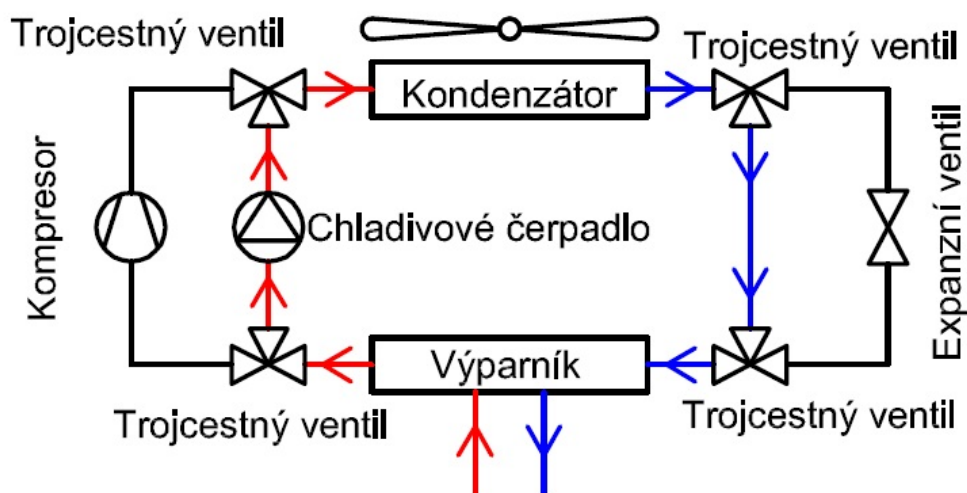
- Vzduchem chlazeným kondenzátorem – v chladivovém oběhu
- Vzduchem chlazeným kondenzátorem –s dalším chladičem
- Vodou chlazeným kondenzátorem

3.1 Vzduchem chlazený kondenzátor – v chladivovém oběhu

Vzduchem chlazené kondenzátory jsou výměníky chladivo - vzduch, kdy je kondenzační teplo z chladiva odváděno venkovním tepelně neupraveným vzduchem. Systém se vzduchem chlazeným kondenzátorem můžeme rozdělit na freecooling přímý s čerpadlem nebo freecooling přímý s thermosyphonem. [10]

3.1.1 Freecooling přímý s čerpadlem

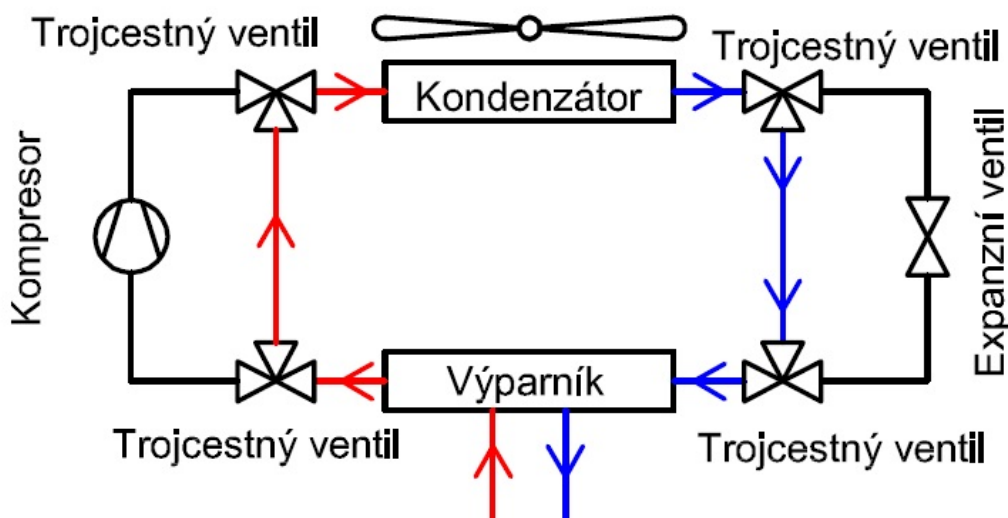
Tento způsob zapojení můžeme vidět na obr. 3. Do chladícího okruhu je nainstalován bypass a čerpadlo chladiva. Pro chod freecoolingu se zapne čerpadlo chladiva a otevře se bypass. Výhodou tohoto zařízení je snadná regulace chodu motorů. Velkou nevýhodou je malý výkon, více částí v chladivovém okruhu, větší objem chladiva (o 20 %) a nemožnost provozovat strojní chlazení a freecooling současně. [10]



Obr. 3 Freecooling přímý s čerpadlem [10]

3.1.2 Freecooling s thermosyphonem

Thermosyphon je způsob, jak využít přirozené cirkulace chladiva a kondenzátorů vzduchem chlazených jednotek k zajištění volného chlazení. Jak je vidět na obr. 4, pro možnost využití tohoto principu musí být chladicí jednotka vybavena potrubím by-pasujícím kompresor a potrubím s druhým expanzním ventilem. V režimu freecoolingu se vypne kompresor, uzavře se standardní expanzní ventil a reguluje se expanzní ventil systému freecooling. Díky proudění chlazené teplotné látky výparníkem se chladivo odpařuje, roste jeho tlak ve výparníku a samovolně proudí do místa s menším tlakem – do kondenzátoru, kde dochází díky proudění okolního chladného vzduchu k jeho kondenzaci. Poté je chladivo přiváděno přes expanzní ventil zpět do výparníku. Výhody tohoto systému jsou v tom, že není potřeba speciálního okruhu pro freecooling, dále ve velmi vysoké účinnosti díky odstavení kompresoru a není potřeba nemrznoucí směsi. Nevýhodou tohoto systému je, že se nedá využívat společně s kompresorovým chlazením pro předchlazování a následné dochlazení kompresorovým chlazením. [10]



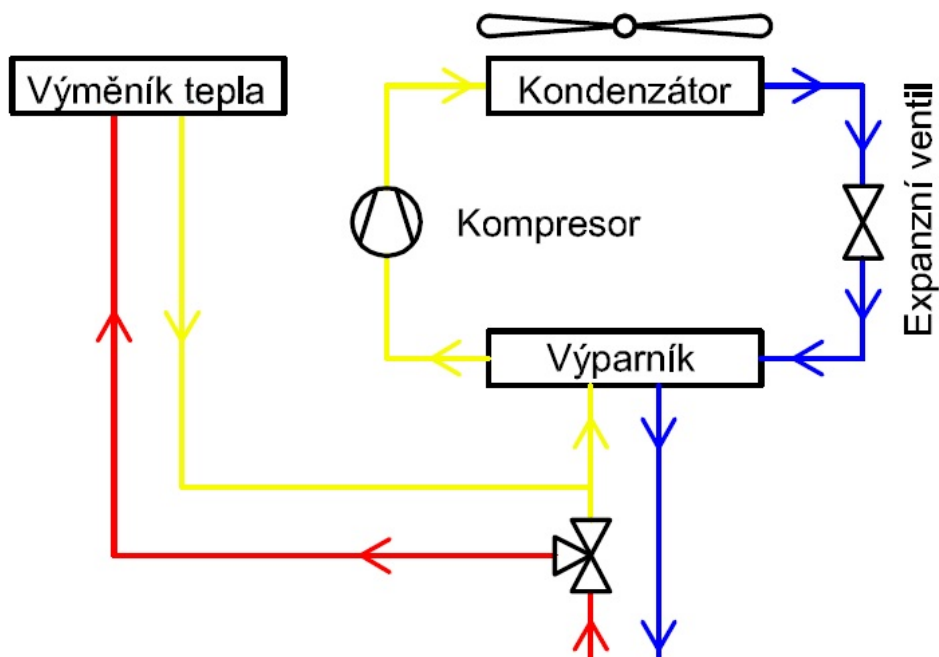
Obr. 4 Freecooling přímý s thermosyphonem [10]

3.2 Vzduchem chlazený kondenzátor - mimo chladivový oběh

Vzduchem chlazené kondenzátory mimo chladivový oběh fungují velmi podobně jako vzduchem chlazené kondenzátory v chladivovém oběhu. Největším rozdílem a současně výhodou je, že lze využívat současně strojní chlazení společně se systémem freecooling. [10]

3.2.1 Freecooling s odděleným výměníkem

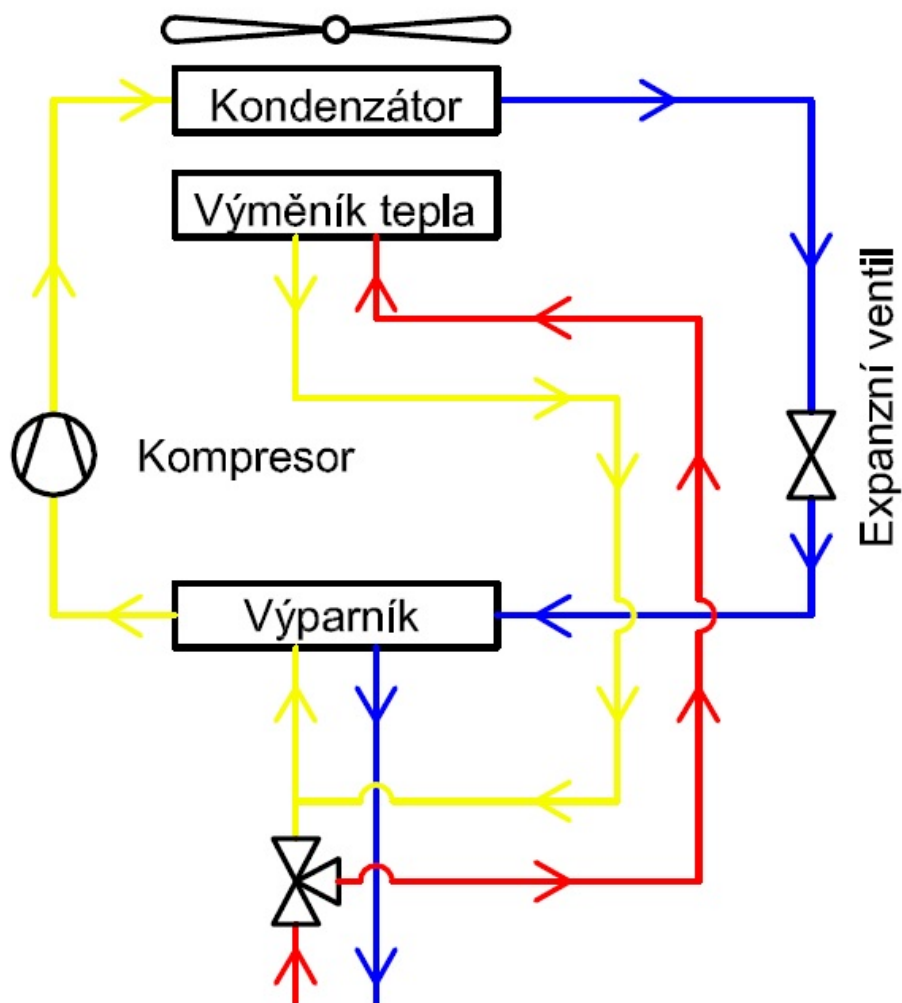
Strojní neboli kompresorové chlazení a freecooling jsou od sebe oddělené ve dvou různých jednotkách, i když na první pohled vypadají jako jedna jednotka. Propojené jsou spolu komunikačním kabelem a rozvody ochlazované kapaliny. Ochlazovaná kapalina nejprve prochází výměníkem, kde se předchladí, respektive ochladí a dále pokračuje přes strojní chlazení, kde se v případě potřeby kapalina dochladí. Výhodou je možnost doplnit freecooling ke stávající jednotce. Mezi nevýhody patří vyšší hmotnost celku a větší rozměry. Tento způsob zapojení je patrný z obr. 5. [10]



Obr. 5 Freecooling s odděleným výměníkem [10]

3.2.2 Freecooling vestavěný do jednotky

Toto je velice jednoduchý způsob instalace freecoolingového výměníku do jednotky viz obr. 6. Před kondenzátor je zařazen další výměník, ve kterém proudí nemrznoucí kapalina. Výhodou tohoto zapojení je úspora plochy, využití stejných ventilátorů jako u kompresorového chlazení a možností provozování freecoolingu a kompresorového chlazení současně. Mezi nevýhody patří zvýšená tlaková ztráta, současně vyšší nutný příkon ventilátorů a regulace chodu motorů ventilátorů. [10]



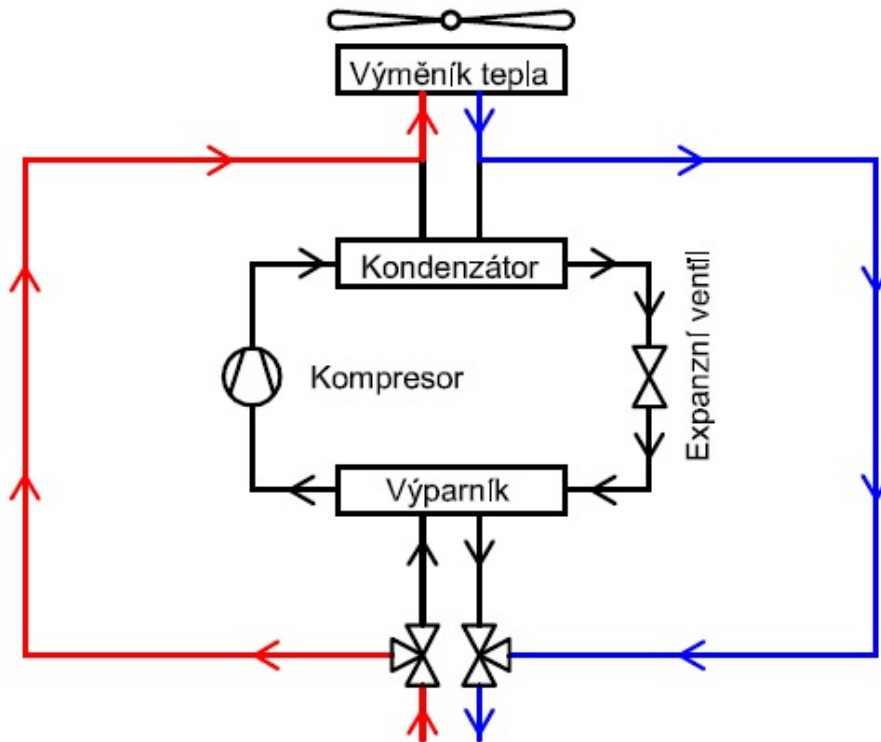
Obr. 6 Freecooling vestavěný do jednotky [10]

3.3 Freecooling s vodou chlazeným kondenzátorem

Vodou chlazené kondenzátory jsou výměníky chladivo-voda. Způsob odvodu kondenzačního tepla závisí na možnostech chlazení. Možnosti chlazení kondenzátoru lze rozdělit na vodou chlazený kondenzátor s odděleným výměníkem a na vodou chlazený kondenzátor s chladicí věží. U vodou chlazeného kondenzátoru s chladicí věží, je možné nahradit chladicí věž použitím hlubinné či povrchové vody. Freecooling s vodou chlazeným kondenzátorem může být zapojen přímo nebo nepřímě. U nepřímého systému je mezi okruh chladicí vody a věžové vody respektive výměník tepla vložen deskový výměník. Z tohoto důvodu je efektivita nepřímého zařízení z energetického hlediska poněkud menší. Výhodou je možnost použití i v zimních obdobích a menší potřeba chladiva. [10]

3.3.1 Freecooling s odděleným výměníkem

Na obr. 7 můžeme vidět zapojení tohoto systému bez vloženého deskového výměníku, což znamená, že se jedná o přímý systém. U tohoto systému vracející se chladicí voda je přes trojcestný ventil puštěna do oběhu kompresorového chlazení nebo do režimu volného chlazení. U tohoto systému nelze použít freecooling a kompresorové chlazení zároveň, což je velká nevýhoda tohoto systému. [10]



Obr. 7 Free cooling s odděleným výměníkem [10]

4 Měření spotřeby energie

Spotřeba energie na provoz klimatizačních zařízení má značné náklady a má vliv na provoz obchodního centra, a proto je vytvářen tlak na snižování spotřeby energie pro chlazení obchodních center. Možné úspory energie se nejlépe navrhují z naměřených dat v reálném provozu, a proto je důležité provádět kvalitní měření současně se sběrem dat spotřebované energie na chlazení. Měření spotřeb energie lze provádět trvalou instalací měřících prvků nebo pouze dočasnou instalací měřících prvků. Obecně pro velké klimatizační zařízení jako jsou v obchodních centrech nebo administrativních budovách, je důležité mít měření spotřeby energie ke kvalitní optimalizaci provozu. Měření spotřeby energie není ze zákona povinné, ale jsou povinné pravidelné kontroly klimatizačních zařízení podle vyhlášky 193/2013Sb., která říká: Pravidelná kontrola klimatizačního systému zahrnuje posouzení účinnosti klimatizace a jejího výkonu v porovnání s požadavky na chlazení budov. Výsledkem pravidelné kontroly klimatizačního systému je zpráva obsahující zjištění s návrhy na opatření, doporučení a poradenství o možném zlepšení nebo výměně klimatizačního systému a o alternativních řešeních. [14]

Pokud chceme vyhodnocovat spotřeby energie pro klimatizační zařízení a následně optimalizovat provoz tohoto klimatizačního zařízení, tak je zapotřebí mít k dispozici provozní veličiny pro konkrétní jednotky naměřené nejlépe za několik sezón. Nejprve je proto důležité správně zvolit soubor čidel a měřičů a následně správně nainstalovat měřicí místa. [14]

4.1 Instalace měřících míst

Jak už bylo řečeno, můžeme rozlišit instalace dočasné a trvalé. Už z názvu je patrné, že dočasné instalace slouží pouze pro jednorázové (např. sezónní) měření, které je po ukončení měření opět odstraněno. Toto měření lze použít k vyhodnocení, zda se vyplatí rekonstrukce zařízení popřípadě demontáž původního zařízení a instalace nového. Naproti tomu trvalé instalace se využívají u budov, kde chceme do budoucna dosáhnout minimalizace spotřeby energie na chlazení dané budovy. Počáteční náklady na instalaci potřebných měřících zařízení jsou častokrát natolik vysoké, že se investor rozhodne měřiče nainstalovat. [14]

4.2 Možnosti měřených dat

Měřené hodnoty můžeme rozdělit do tří skupin:

- Přímé signály poruchy
- Kumulované hodnoty
- Odvozené signály poruch

4.2.1 Přímé signály poruch

Jedná se o základní signály, které často bývají součástí systému měření a regulace (MaR), zaintegrováném do řídicího systému budovy (Building Management System, BMS). Zpravidla to bývá binární výstup, který přímo hlásí poruchu technologie, například z protimrazové ochrany. [14]

4.2.2 Kumulované hodnoty

V této skupině se vyskytují především naměřené spotřeby teplotonosných látek, ale také například provozní hodiny nebo četnost spínání kompresorů. Jsou to hodnoty, které se časem postupně navyšují, a u kterých má význam počítat denní, týdenní měsíční i roční přírůstky. Pro měření a sběr těchto dat se používají především elektroměry, kalorimetry a průtokoměry, které jsou dále popsány v této kapitole. [14]

4.2.3 Odvozené signály poruch

Do této skupiny spadají veškeré výsledky vyhodnocování řady naměřených dat, pomocí statistických metod detekce poruch. Důležité je těmto algoritmům poskytnout relevantní data, což představují okamžité měřené i kumulované hodnoty. S rostoucí záznamovou kapacitou a zvyšujícím se výpočetním výkonem regulačních podstanic budou tyto odvozené signály poruch stále více využívány.

4.3 Elektroměry

Elektroměr je přístroj, který měří spotřebu (odběr) elektrické energie. Dříve se k měření elektrické energie používali mechanické indukční elektroměry, které se postupně nahradily statickými elektroměry. Nejčastěji používané statické elektroměry jsou buď s pulsním, nebo digitálním výstupem. Měření spotřeby pulsními elektroměry vychází z počtu impulzů elektronického wattmetru a konstanty elektroměru, která se udává v impulzech na 1kWh. Digitální elektroměry komunikuje pomocí optického komunikačního rozhraní napojeného na M-Bus, což je protokol sloužící k dálkovému odečtu naměřených hodnot. V oblasti měření spotřeby energie pro klimatizační zařízení se nejvíce využívají

komunikativní elektroměry, síťové analyzátoary nebo měřicí transformátory. Pro jednodušší případy lze také použít elektroměry s impulsním výstupem a čítací moduly na sběrnici. [15]

4.4 Průtokoměry

Měření průtoku tekutin je velmi důležitá veličina pro měření spotřeby energie klimatizačního zařízení. Průtok lze obecně rozdělit na objemový, hmotnostní a rychlostní. Tato kapitola se dále věnuje měření průtoku tekutin, který můžeme rozdělit na čtyři základny metody:

- Měření rozdílu tlaku před a za primárním prvem
- Měření rychlosti proudění tekutiny
- Měření objemového průtoku
- Měření hmotnostního průtoku

4.4.1 Měření rozdílu tlaku před a za primárním prvem

Tato metoda se používá u většiny průmyslových průtokoměrů. Základní součásti těchto průtokoměrů jsou škrticí orgány, mezi které můžeme zařadit například clonu, dýzu, Venturiho trubici, atd. Mezi průtokoměry, které jsou založeny na snímání tlakové diference, také patří rychlostní sondy (Pitotova trubice, Prandtlova sonda, víceotvorová rychlostní sonda, atd.), kolenový průtokoměr, plováčkové průtokoměry, atd. Tlakové poměry při proudění potrubím vyjadřuje zákon zachování mechanické energie. Tento zákon vyjadřuje Bernoulliho rovnice, která říká, že při stejných podmínkách tlak v tekutině klesá s nárůstem rychlosti proudění. Tohoto jevu dosáhneme vložením překážky do potrubí, ve kterém proudí tekutina. Dále pak ze zákona zachování energie dále vyplývá, že rozdíl tlaků před a za překážkou je přímo úměrný druhé mocnině rychlosti proudění (pozn. závisí také na tvaru překážky). [16]

4.4.2 Měření rychlosti proudění tekutiny

U tohoto principu se objemový průtok vypočítá jako střední rychlost proudění tekutiny vynásobená hodnotou průřezu potrubí (rovnice 1):

$$Q_v = \bar{v} \cdot S \quad (1)$$

U průtokoměrů, které měří rychlost proudění tekutiny je signál z výstupu lineárně závislý na hodnotě průtoku, na rozdíl od metody měření rozdílu tlaku, kde je závislost kvadratická. Z tohoto důvodu zde odpadají problémy s chybami, které nastávají

odmocňováním. Mezi průtokoměry, které pracují na tomto principu, můžeme zařadit turbínkové průtokoměry, vírové průtokoměry, elektromagnetické průtokoměry a neposlední řadě ultrazvukové elektroměry. [16]

4.4.3 Měření objemového průtoku

Tyto průtokoměry měří objem tekutiny rozdělením objemů do samostatných prostor o známém objemu. Hodnotu objemu, který potrubím protekl za daný časový úsek, získáme vynásobením známého objemu daného prostoru s počtem naplnění téhož objemu. Tento druh průtokoměru nejčastěji ukazuje celkový proteklý objem, ale může mít i impulsy odpovídající počtu naplněných prostor. Mezi tyto průtokoměry můžeme zařadit průtokoměr s krouživým pístem, oválové měřidlo, bubnové průtokoměry a další. [16]

4.4.4 Měření hmotnostního průtoku

Hmotnostní průtok lze získat nepřímo přepočtem z objemového průtoku. Existují také metody, které měří hmotnostní průtok přímo. Dvěma základními metodami jsou Coriolisův průtokoměr a tepelný hmotnostní průtokoměr. [16]

4.5 Kalorimetry

Kalorimetr také označován jako měřič tepla a chladu je zařízení pro měření tepla, tepelné kapacity, měrné tepelné kapacity a dalších kalorimetrických veličin. Tepelný zisk je získáván na základě měření rychlosti průtoku teplotnosné látky a teplotních rozdílů na přívodním a na zpětném potrubí. Kalorimetr je tvořen kalorimetrickým počítadlem, průtokoměrem a také teploměrem respektive teplotním čidlem nejčastěji pt_{100} . Kalorimetry neboli měřič tepla a chladu je možné rozdělit na dvě základní skupiny.

- Kompaktní měřiče tepla a chladu
- Soupravy měřičů tepla a chladu

Mimo jiné lze také kalorimetry rozdělit podle použitého průtokoměru na mechanické, indukční, fluidikové a ultrazvukové.

4.5.1 Kompaktní měřiče tepla a chladu

Slouží k měření tepla a chladu tam, kde jsou požadavky na kompaktní rozměry měřiče a nízkou cenu. Kompaktní měřiče tepla a chladu jsou tvořeny kalorimetrickým počítadlem,

průtokoměrem a často i teploměry, které tvoří nerozdělitelný celek. Kompaktní měřiče se dále dělí podle průtoku do dvou skupin:

- Průtoky 0,6 – 2,5 m³/h pro menší zařízení (např. bytové a rodinné domy)
- Průtoky na 2,5 m³/h pro větší zařízení (např. administrativní budovy nebo obchodní centra)

4.5.2 Soupravy měřičů tepla a chladu

Soupravy měřičů tepla a chladu jsou tvořeny samostatným průtokoměrem, kalorimetrickým počítadlem, párem teploměrů a dalším příslušenstvím. Výhodou soupravy měřičů tepla a chladu je, že je možné každou část soupravy nadefinovat podle vlastních požadavků. Typická instalace těchto měřičů je ve výměňkových stanicích a průmyslových odvětvích.

5 Chladicí faktory zdrojů chladu

Spotřeba energie na klimatizování budov je v České republice velkou neznámou. Měření spotřeb energie pro chlazení, není zákonem předepsáno, a proto je více méně ojedinělé. Metodiky výpočtu, které se používá k energetickému vyhodnocení budov, jsou velmi zjednodušené a nezahrnují veškeré faktory chování klimatizačního systému. Velmi často se zanedbává energie potřebná pro pohon čerpadel a ventilátorů. Dále se v této kapitole budeme zabývat následujícími faktory:

- EER – Chladicí faktor chladicího zařízení
- ESEER – Evropský sezónní chladicí faktor zařízení
- EER_{AC} – Chladicí faktor klimatizačního systému
- SEER – Sezónní chladicí faktor

5.1 Chladicí faktor chladicího zařízení EER

Chladicí faktor je definován jako poměr chladicího výkonu k příkonu. Pokud tuto obecnou definici použijeme pro klimatizační zařízení v režimu chlazení, pak by definice zněla jako poměr tepelné zátěže odvedené z klimatizovaného prostoru ku celkovému příkonu klimatizačního zařízení (rovnice 2). Dříve byl chladicí faktor označován jako COP (Coefficient of Performance), ale v současné době se označuje EER (Energy Efficiency Ratio), aby se odlišil od topného faktoru, který se nadále označuje COP. [14]

$$EER = \frac{\text{Chlad í výkon}}{\text{Příkon}} \quad (2)$$

Pro porovnání a studium základních zákonitostí kompresorového chlazení se využívá Carnotův levotočivý oběh. Tento oběh je pouze teoretický, protože má v praxi nedosažitelnou účinnost. Účinnost tohoto oběhu je definována jako poměr termodynamické teploty vypařování T_o a rozdílu termodynamických teplot kondenzační T_k a vypařovací T_o (rovnice 3).

Skutečný oběh se od teoretického Carnotova levotočivého oběhu liší nevratností dějů. Porovnání reálného oběhu s Carnotovým oběhem lze vyjádřit účinností η_R (rovnice 4)

$$COP_C = \frac{T_o}{T_k - T_o} \quad (3)$$

$$COP_R = COP_C \cdot \eta_R = \frac{T_o}{T_k - T_o} \cdot \eta_R \quad (4)$$

Celkový chladicí faktor reálného oběhu COP_1 je potom poměr tepla odvedeného na výparníku k elektrickému příkonu kompresoru a musí zohlednit i účinnost kompresoru jeho pohonu η_E . [13]

Chladicí faktor pro zdroje chladu s vodou chlazeným kondenzátorem se vypočítá podle vztahu, kde Q_1 je chladicí výkon na výparníku a P_1 je elektrický příkon kompresoru a kondenzátoru (5). [13]

$$EER = \frac{Q_1}{P_1} \quad (5)$$

Pro zdroje chladu se vzduchem chlazeným kondenzátorem je nutné připočítat elektrický příkon ventilátorů P_2 pro odvod kondenzačního tepla viz vztah (6). [13]

$$EER' = \frac{Q_1}{P_1 + P_2} \quad (6)$$

5.2 Evropský sezonní chladicí faktor ESEER

Evropský sezonní energetický faktor, ve srovnání s jednoduchým EER, je stanoven jako kombinace různých provozních podmínek definovaných nejnověji podle EUROVENT/CEN tak, aby faktor odrážel co nejlépe provoz stroje v normálních sezónních provozních podmínkách mimo projektované maximální parametry. [13]

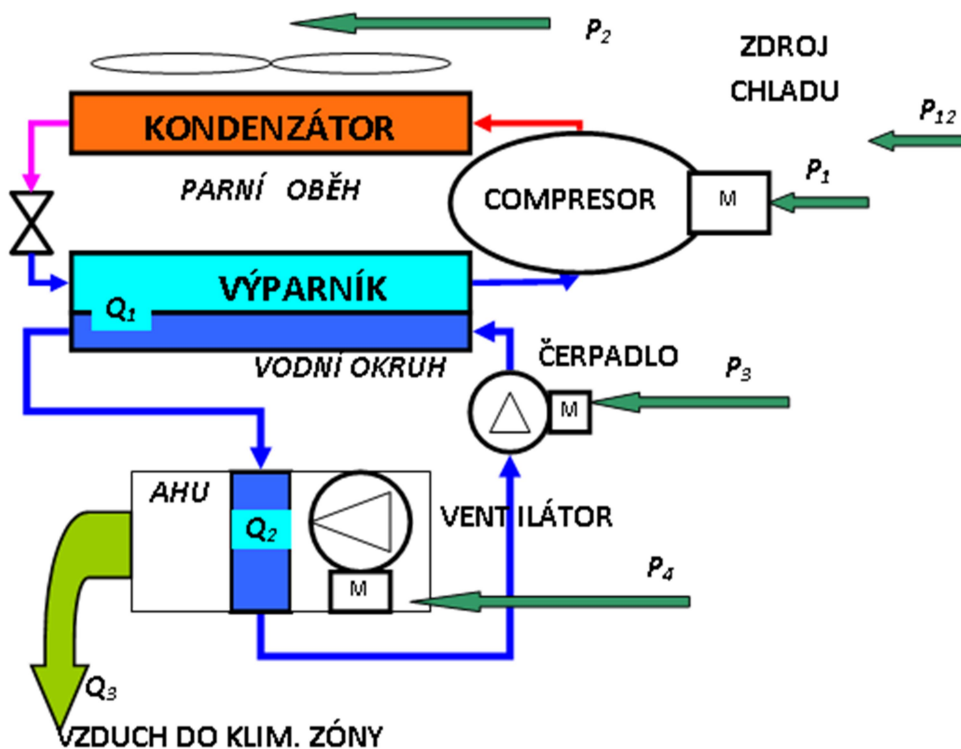
5.3 Chladicí faktor klimatizačního zařízení EER_{AC}

Do celkové charakteristiky klimatizačního systému lze zařadit také distribuci chladu po budově. U vodních klimatizačních systémů je distribuce chladu zajištěna vodním okruhem. Vzduchové systémy s vodním chladičem mají vodní okruh jednodušší, protože propojuje pouze zdroj a centrální klimatizační jednotku pro úpravu vzduchu. Tyto systémy musí mít oběhové čerpadlo (čerpadla), které má nezanedbatelný elektrický příkon P_3 , který je třeba také zahrnout do celkové bilance systému.

$$EER_{AC} = \frac{Q_1}{P_1 + P_2 + P_3} \quad (7)$$

Posledním stupněm je potom příkon ventilátorů zajišťujících rozvod vzduchu po budově a jeho distribuci v klimatizovaných prostorech nebo pouze cirkulaci vzduchu přes ventilátorové konvektory (fan-coil) v prostoru u systémů vodních. Příkon těchto ventilátorů P_4 je nutné zahrnout do celkového chladicího faktoru daného systému. Celkový chladicí faktor systému EER_{AC} je tedy poměr odvedené zátěže z klimatizovaného prostoru ku součtu všech příkonů viz (8). [13]

$$EER_{AC} = \frac{Q_1}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4} \quad (8)$$



Obr. 8 Schéma energetických toků v klimatizačním zařízení [13]

5.4 Sezonní chladicí faktor SEER

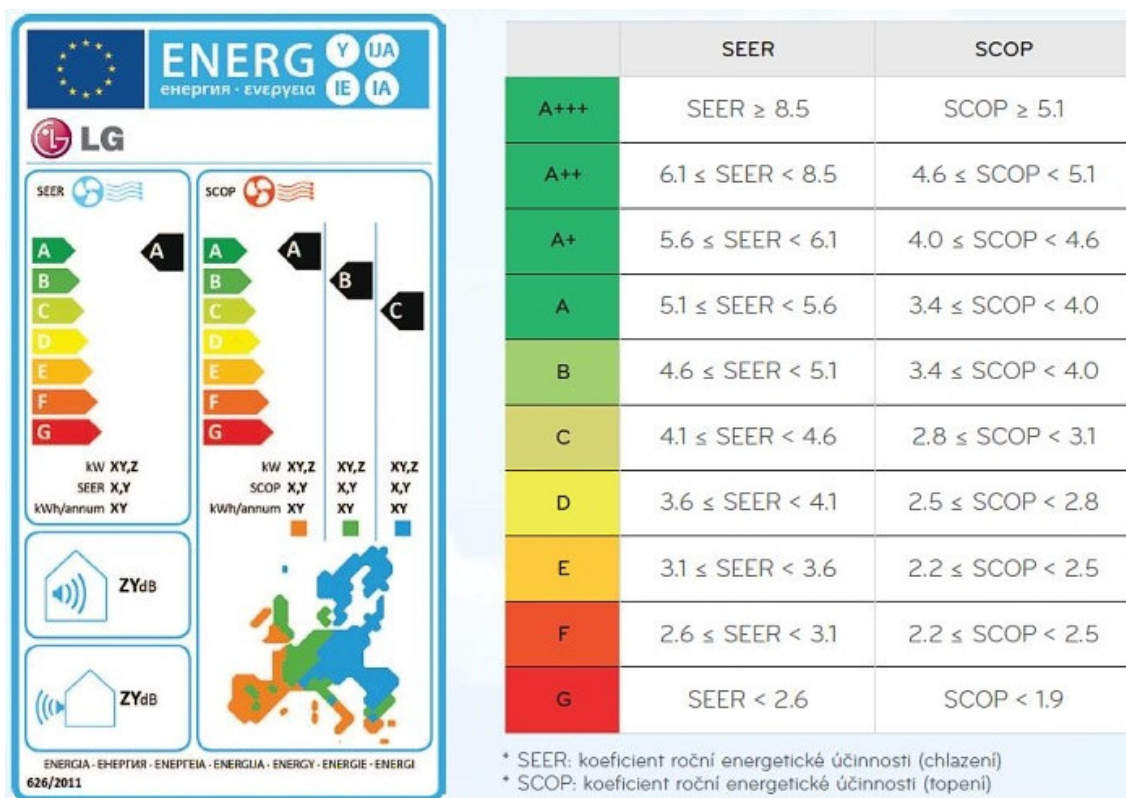
Chladicím faktorem daného období SEER, se rozumí celkový chladicí faktor jednotky, který je reprezentativní pro celé chladicí období a vypočítá se jako podíl referenční potřeby chlazení Q_c a roční potřeby elektrické energie na chlazení P_c .

$$SEER = \frac{Q_c}{P_c} \quad (9)$$

Referenční potřeba chlazení Q_c [kWh/rok] je potom vyjádřena jako součin návrhového chladicího zatížení a ekvivalentního počtu hodin v aktivním režimu.

Ekvivalentním počtem hodin v aktivním režimu pro chlazení rozumíme předpokládaný počet hodin, při kterém jednotka splňuje návrhové chladicí zatížení tak, aby byla dodržena roční referenční potřeba chlazení. [22]

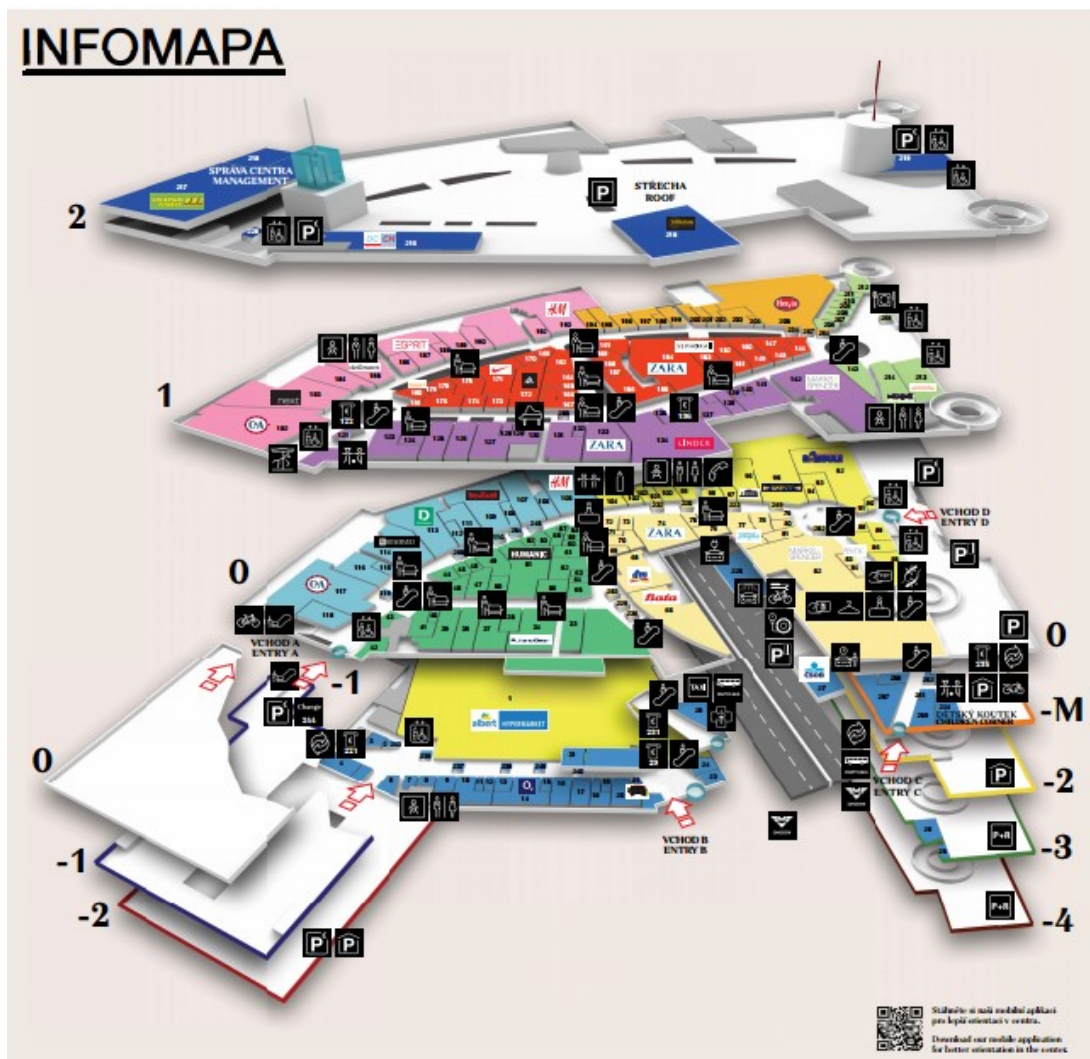
Na obrázku číslo 9 je možné vidět energetické třídy společně se sezonními chladicími faktory SEER pro malé klimatizační jednotky.



Obr. 9 Energetické třídy SEER [23]

6 Obchodní centrum Chodov

Obchodní centrum Chodov (dále jen OC Chodov) je koncipováno jako nový obchodně společenský komplex s širokou nabídkou obchodů a služeb. OC Chodov má přibližně 55 tisíc metrů čtverečních, které se rozkládají ve čtyřech podlažích.[17]



Obr. 10 Informační mapa OC Chodov [21]

6.1 Vnější podmínky

Zařízení vzduchotechniky a klimatizace bylo navrženo na parametry vnějšího prostředí v následující tabulce (Tab. 1)

Tab. 1 Parametry vnějšího prostředí [18]

| | Zima | Léto |
|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Tlak vzduchu | 98 kPa | |
| Nadmořská výška | 300 m.n.m | |
| Teplota vzduchu | -12°C (-15°C pro vzduchotechniku) | 32°C |
| Entalpie vzduchu | | 60 kJ/kg s.v. |
| Relativní vlhkost | (50%) | 34% |
| Měrná vlhkost vzduchu | 0,5 g/kg s.v. (minimum) | 10,85 g/kg s.v. (maximum) |

6.2 Vnitřní parametry prostředí

Pro návrh zařízení bylo použito hodnot vnějšího prostředí v následující tabulce (Tab.2)

Tab. 2 Parametry vnitřního prostředí [18]

| Prostor | Výpočtová zimní teplota | Požadovaná zimní teplota | Výpočtová letní teplota | Požadovaná letní teplota | Požadovaná vlhkost | Poznámka |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------|----------------------------|
| Podzemní parkoviště | | | | | | *2) |
| Otevřené parkoviště | | | | | | *2) |
| Pasáž | 18 | 18±2 | 26 | 25±2 | neřízená | |
| Pronajímatelné obchodní plochy | 20 | 20±2 | 24 | 23±2 | neřízená | *1) |
| Restaurace | 20 | 21±1 | 25 | 25±1 | neřízená | *1) |
| Kanceláře | 20 | 21±1 | 24 | 24±1 | neřízená | |
| Sociální zařízení | 20 | min.15 | neřízená | | neřízená | |
| Schodiště, komunikační prostory | 15 | min.10 | neřízená | | neřízená | |
| Sklady | 15 | min.10 | neřízená | | neřízená | |
| Strojovny | 10 | min.10 | max.36 | | neřízená | dle specifických požadavků |
| Šatny | 22 | 22±1 | neřízená | | neřízená | |
| Umývárny, sprchy | 24 | 24±1 | neřízená | | neřízená | |

6.3 Stanovení spotřeby chladicího výkonu

V technické zprávě pro obchodní centrum Chodov byla stanovena spotřeba chladu pro obchodní jednotky podle hodnoty potřeby chladu na m^2 plochy obchodní jednotky ve výši 100 W/m^2 . Tato definovaná hodnota byla dále navýšena o 15 %. Na základě pronajímatelné plochy pro obchodní jednotky a výše uvedené měrné potřeby chladicího výkonu byla stanovena potřeba chladicího výkonu na $P_{\text{CHL}}^{\text{OJ}} = 4723 \text{ kW}$.

Potřeba chladu pro vzduchotechnické zařízení byla celkově stanovena na $P_{\text{CHL}}^{\text{VZT}} = 5030 \text{ kW}$.

Celková potřeba chladu byla stanovena na $P_{\text{CHL}}^{\text{CEL}} = 9753 \text{ kW}$. Z celkové potřeby chladu byla dále navržena spotřeba pro strojovnu východ $P_{\text{CHL}}^{\text{vých.}} = 4192 \text{ kW}$ a pro strojovnu západ $P_{\text{CHL}}^{\text{záp.}} = 5561 \text{ kW}$ [18].

6.4 Zdroje chladu

V OC Chodov je celkem 8 vodních chladicích jednotek s kondenzátory chlazenými vodou resp. nemrznoucí směsí, prostřednictvím otevřených, resp. uzavřených chladicích věží. Chladicí jednotky jsou rozděleny do dvou strojoven

- Strojovna chlazení východ - 3 x chladicí jednotka
- Strojovna chlazení západ - 4 x chladicí jednotka + samostatná jednotka Ahold

6.4.1 Technické řešení strojovny východ

Dle výše uvedené spotřeby chladu pro strojovnu východ byly navrženy tři vodní chladicí jednotky.

Zdroje chladu východ

Z toho dvě jednotky TRANE RTHD E3 G3 G3 o chladicím výkonu $2 \times 1417 \text{ kW}$ propojenou s uzavřenými, vodou zkrápěnými chladicími věžemi DECSA REF-C-140. Výpočtový teplotní spád byl volen $6/12 \text{ }^\circ\text{C}$, kondenzátorové nemrznoucí směsi (30% ethylenglykol) $29/35^\circ\text{C}$ a venkovní teplotě $t_e = +32^\circ\text{C}$. Chladicí jednotka je vybavena šroubovým pomaluběžným kompresorem. Jako chladivo je použito ekologické chladivo R 134a.

Třetí jednotkou je RTHD E3 G3 G3 o chladicím výkonu 1470 kW ve spojení s otevřenou vodní chladicí věží DECSA TMR-225. Výpočtový teplotní spád chladicí vody na výparníku činí $6/12^\circ\text{C}$, kondenzátorové vody $25,8/31,8^\circ\text{C}$ při venkovní teplotě $t_e = +32^\circ\text{C}$.

Chladicí jednotka je vybavena šroubovým pomaluběžným kompresorem. Ekologickým chladivem je voleno opět chladivo R 134a.

Celkový instalovaný chladicí výkon ve strojovně chlazení východ činí 4304 kW. Technické údaje obou chladicích jednotek a chladicích věží jsou součástí přílohy č. 1 a 2 [19].

Technické řešení chladicích jednotek ve strojovně východ

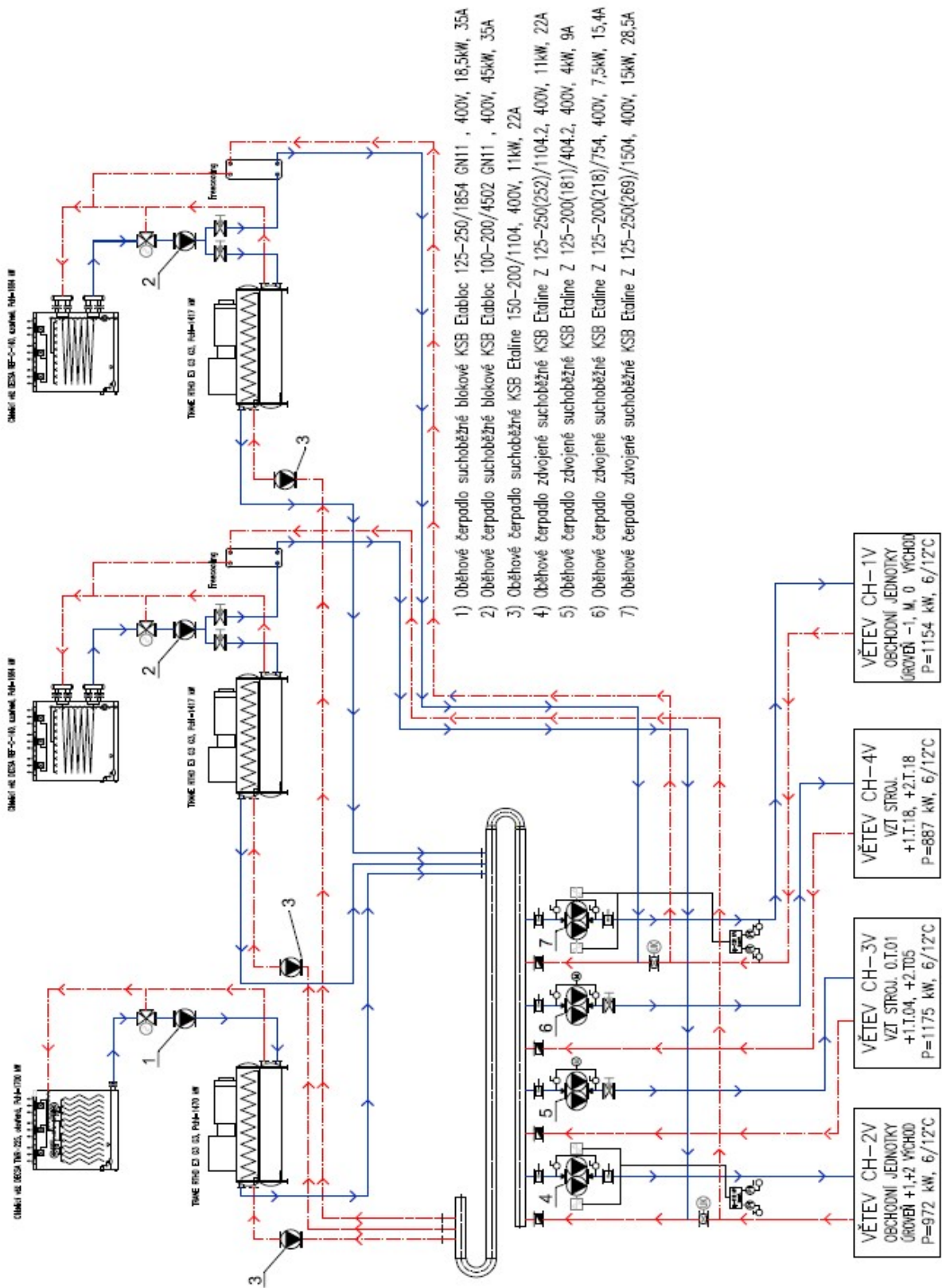
Chladicí jednotky jsou umístěny ve strojovně východ společně s dalším technologickým zařízením. Jsou také vybaveny vlastním regulačním systémem s plynulou regulací chladicího výkonu v závislosti na odebíraném výkonu soustavou. Spouštění jednotek může být manuální nebo automatické (pomocí MaR) [19].

Popis funkce strojovny východ

Schéma strojovny východ je na obr. 9. Na obrázku můžeme vidět zapojení celého chladicího systému a dále pak rozvody pro různé potřeby chladu. Z obrázku je patrné, že chladicí jednotky napojené na uzavřené chladicí věže mohou běžet pomocí kompresorového chlazení, nebo může být využito systému freecooling, ale není možné používat oba systémy současně. V případě, že bude výkon freecoolingu nedostatečný, bude chladicí voda dochlazována pomocí jednotky TRANE, která bude pomocí třicestného ventilu odpojena od otevřené chladicí věže.

Pokud je spuštěno kompresorové chlazení, tak vracující se voda je rozváděna do tří jednotek TRANE. Počet běžících jednotek závisí na potřebě chladu. To znamená, že mohou běžet všechny chladicí jednotky nebo pouze některé. Dále můžeme vidět, že jednotky TRANE jsou sériově propojeny s chladicími věžemi. V případě odstavení, či přerušení provozu chladicích věží se využije trojcestný ventil, který přepouští vodu respektive ethylenglykol zpátky do jednotky TRANE. V zimním období mohou z důvodu zamrznání běžet pouze chladicí jednotky dvě a tři, které jsou napojené na uzavřené chladicí věže, a v okruhu neobíhá voda, ale využívá se nemrznoucí směs. V případě, že teploty poklesnou na vhodné podmínky, je možné využít systém freecooling. Freecooling využívá dva deskové skládané výměníky, které jsou na jedné straně zapojeny na zpátečku chladicí vody pro obchodní jednotky a na straně druhé do dvou věžových okruhů. V případě, že venkovní teplota poklesne natolik, že zajistí vychlazení věžové nemrznoucí směsi pod teplotu vratné chladicí vody z rozvodů pro obchodní jednotky, tj. pod cca 12°C, systém automaticky sepne režim freecooling. Pro využívání freecoolingu systém uzavře elektronickou klapku na zpátečce, a

vratná voda pro obchodní jednotky bude vedena přes deskové výměníky freecoolingu, kde se bude ochlazovat nemrznoucí směsí z uzavřené chladicí věže. Tímto způsobem je odebírána tepelná zátěž z obchodního centra. Dále se na výtlačku věžových čerpadel uzavřou první klapky a tím zamezí průtoku věžového chladiva přes kondenzátor chladicí jednotky a následným otevřením druhé klapky začne chladivo proudit přes deskový výměník freecoolingu [20].



Obr. 11 Schéma strojvny východ

6.4.2 Technické řešení strojovny západ

Podle stanovené spotřeby v kapitole 6.3 byly pro strojovnu západ navrženy čtyři vodní chladicí jednotky.

Zdroje chladu západ

Ve strojovně západ jsou dvě jednotky TRANE RTHD E3 G3 G3 o chladicím výkonu 2 x 1417 kW propojenou s uzavřenými, vodou zkráplenými chladicími věžemi DECSA REF-C-140. Výpočtový teplotní spád byl volen 6/12 °C, kondenzátorové nemrznoucí směsi (30% ethylenglykol) 29/35°C a venkovní teplotě $t_e = +32^{\circ}\text{C}$. Chladicí jednotka je vybavena šroubovým pomaluběžným kompresorem. Jako chladivo je použito ekologické chladivo R 134a.

Zbývající jednotky jsou RTHD E3 G3 G3 o chladicím výkonu 1470 kW ve spojení s otevřenou vodní chladicí věží DECSA TMR-225. Výpočtový teplotní spád chladicí vody na výparníku činí 6/12°C, kondenzátorové vody 25,8/31,8°C při venkovní teplotě $t_e = +32^{\circ}\text{C}$. Chladicí jednotka je vybavena šroubovým pomaluběžným kompresorem. Ekologickým chladivem je voleno opět chladivo R 134a.

Celkový instalovaný chladicí výkon ve strojovně chlazení východ činí 5774 kW (bez Aholdu). Technické údaje obou chladicích jednotek a chladicích věží jsou součástí přílohy č. 1 a 2. [19].

Technické řešení chladicích jednotek ve strojovně západ

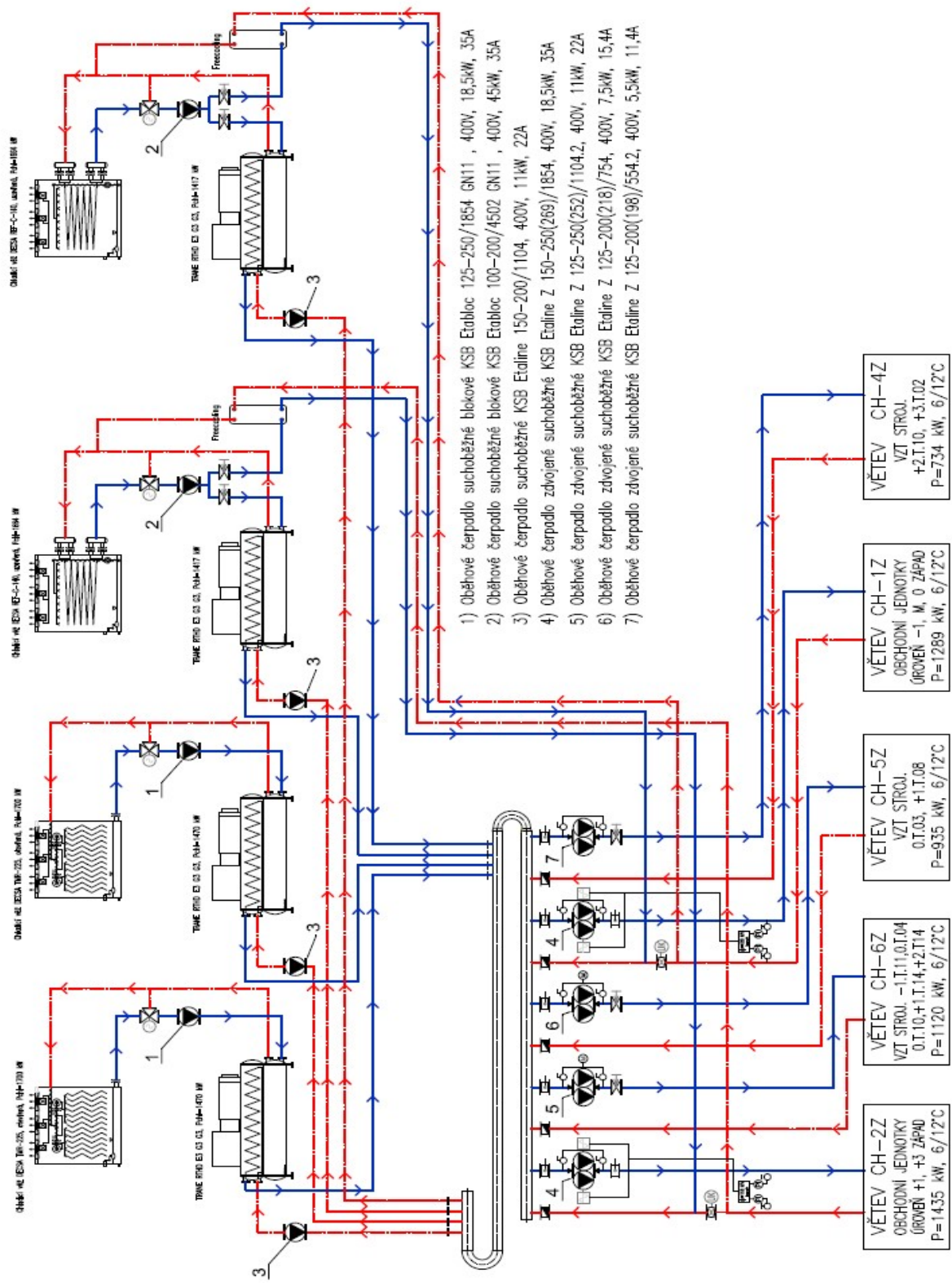
Obdobně jako ve strojovně východ jsou jednotky TRANE umístěny ve strojovně západ společně s dalším technologickým zařízením. Jednotky jsou také vybaveny vlastním regulačním systémem s plynulou regulací chladicího výkonu v závislosti na odebíraném výkonu soustavou. Spouštění jednotek může být manuální nebo automatické (pomocí MaR) [19].

Popis funkce strojovny západ

Na obrázku číslo 10 můžeme vidět zapojení celého chladicího systému a dále pak rozvody pro různé potřeby chladu. Z obrázku je patrné, že dvě chladicí jednotky, které jsou napojené na příslušné uzavřené chladicí věže, mohou běžet v režimu kompresorového chlazení, nebo může být využito systému freecooling. Tyto dva režimy nelze provozovat současně. V případě, že je nedostatečný výkon volného chlazení, tak se bude chladicí voda

dochlazovat ve zbývajících dvou jednotkách TRANE, které budou pomocí třicestného ventilu odpojeny od otevřené chladicí věže.

Pokud je v režimu kompresorové chlazení, tak se vracející voda rozvádí do čtyř jednotek TRANE. Stejně jako ve strojovně východ mohou běžet všechny chladicí jednotky nebo pouze některé a to v závislosti na potřebě chladu. Na obrázku číslo 10 můžeme vidět, že jednotky TRANE jsou sériově propojeny s chladicími věžemi DESCA, které napomáhají k chlazení systému. Trojcestný ventil mezi jednotkou TRANE a chladicí věží slouží k odstavení, či přerušení provozu chladicích věží. V tomto případě třicestný ventil přepouští vodu respektive chladivo zpátky do jednotky TRANE. V zimním období mohou běžet pouze chladicí jednotky tři a čtyři, které mají uzavřené chladicí věže, a v okruhu obíhá nemrznoucí směs. V případě, že teploty poklesnou na vhodné podmínky, je možné spustit chlazení systému v režimu freecooling. Freecooling v daném případě zajišťují dva deskové skládané výměníky, které jsou na jedné straně zapojeny na zpátečku chladicí a na druhé straně jsou zapojeny do věžových okruhů, ve kterých obíhá nemrznoucí směs. V případě, že venkovní teplota poklesne natolik, že se věžová nemrznoucí směs dokáže ochladit pod teplotu vratné chladicí vody (pod cca 12°C), systém automaticky sepne režim freecooling. Pro správnou činnost režimu freecooling se uzavřou elektronické klapky na zpátečce pro obchodní jednotky a vratná voda bude proudit přes deskové výměníky freecoolingu, kde se nemrznoucí směs přirozeně ochladí. V režimu freecooling je tímto způsobem odebrána teplotní zátěž obchodního centra. Dále se na výtlaku věžových čerpadel uzavřou první klapky a tím zamezí průtoku věžového chladiva do kondenzátoru chladicí jednotky. Otevřením druhé klapky začne chladivo proudit přes deskový výměník freecoolingu [20].



Obr. 12 Schéma strojovny západ

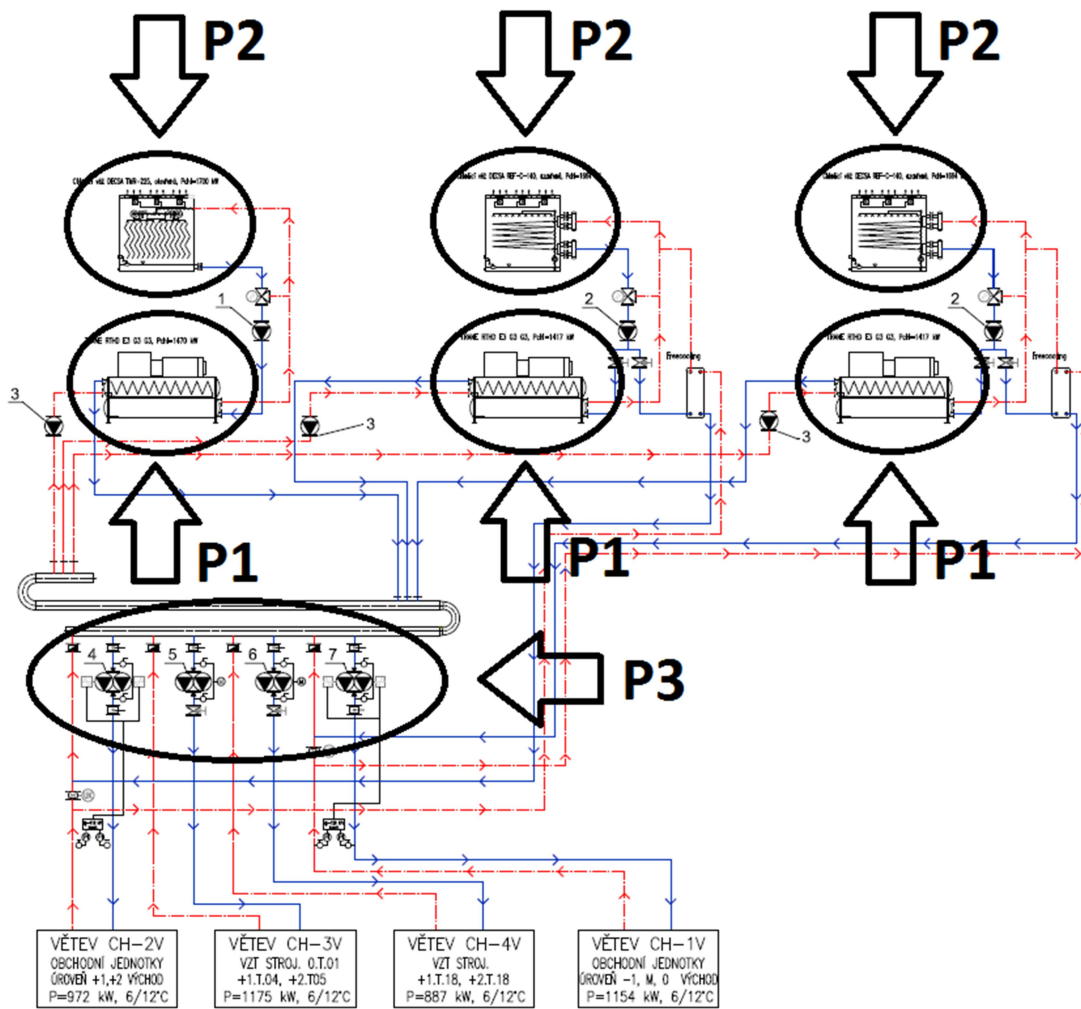
6.5 Energetické toky v obchodním centru Chodov

Pro názornost bylo vytvořena schéma energetických toků v obchodním centru Chodov, které je obdobné jako obecné schéma na obrázku číslo 11. Energetické toky byly zakresleny do schématu strojovny východ, viz obrázek 13. Schéma energetických toků pro strojovnu západ by byly obdobné, pouze s tím rozdílem, že by přibyl energetický tok vodní věže a energetický tok jednotky Trane.

Ve strojovnách chlazení je šestnáct multimetrů sítě IME NEMO D4L Johnson Conrols, které jsou přímo napojené na N2 – OPEN Bus. Tyto přístroje jsou napojeny do stávajícího systému měření a regulace budovy Johnson Conrols, který pak monitoruje spotřeby elektrické energie jednotlivých částí strojoven chladu.

Na obrázku číslo 13 je vidět, že měření se provádí samostatně pro:

- P1 - Každý zdroj chladu Trane (3 ve strojovně východ a 4 ve strojovně západ)
- P2 - Část odvodu kondenzačního tepla pro každý zdroj chladu (označeno Tower) tj. chladicí věže a čerpadla na straně kondenzátoru (3 pro strojovnu východ a 4 pro strojovnu západ).
- P3 - Sekundární čerpadla pro rozvod chladné vody v budově, pro každou strojovnu jsou měřena všechna sekundární čerpadla na rozvaděči dohromady (2 měření).



Obr. 13 Měřené energetické toky ve strojově východ

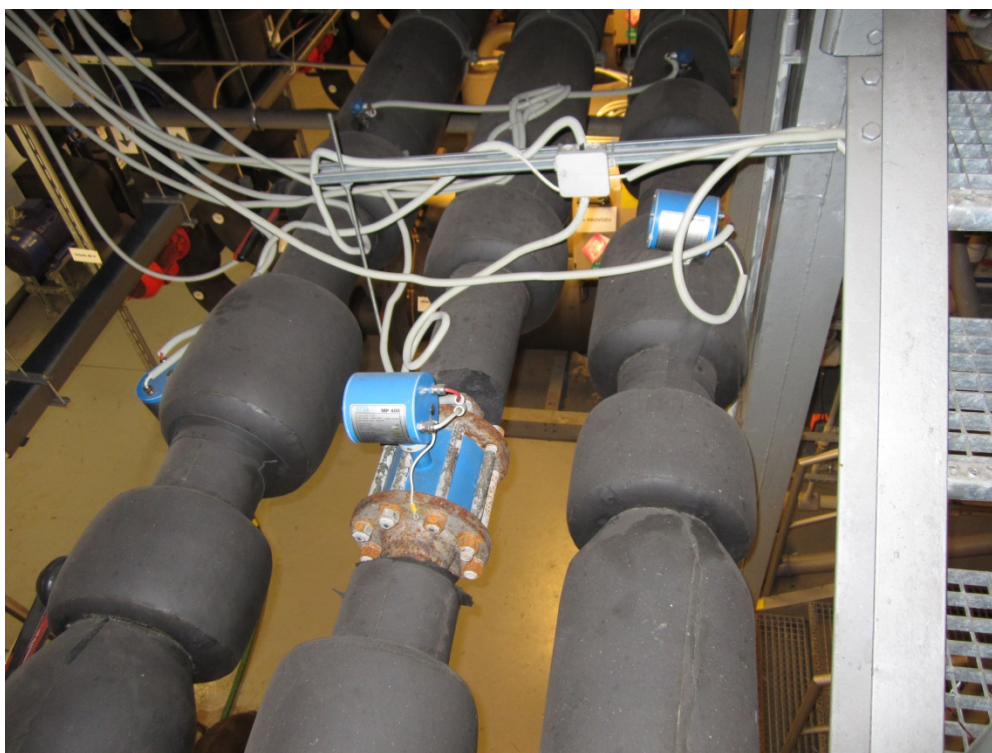
7 Kontrola a vyhodnocení měřičů tepla

Na základě podnětu obchodního centra Chodov bylo provedeno místní šetření a analýza naměřených dat pro posouzení měřičů tepla (kalorimetrů) systému volného chlazení v objektu centra. Šetření bylo provedeno ve spolupráci s firmou AB Facility a.s..

7.1 Popis řešení

Ve strojovnách chlazení jsou pro volné chlazení osazeny celkem 4 měřiče tepla (kalorimetry) dva jsou ve strojovně východ a dva ve strojovně západ. Každý měřič je osazen na vodorovném potrubí mezi chladicí věží a deskovým výměníkem pro volné chlazení (freecooling). V každé strojovně jsou dvě chladicí věže a dva výměníky. Umístění měřičů tepla je z hlediska funkce systému správné.

Každý měřič tepla se skládá z ultrazvukového průtokoměru dvou teploměrů v jímkách a vyhodnocovací jednotky CF51. Nebyly zjištěny hrubé chyby v osazení průtokoměrů a teplotních čidel, ani v propojení s vyhodnocovací jednotkou, ale podmínky neumožňují detailní ověření propojení. Technické řešení zapojení měřičů tepla je možné vidět na obrázku číslo 14.



Obr. 14 Zapojení měřičů tepla ve strojovně OC Chodov

7.2 Místní kontrola a měření hodnot

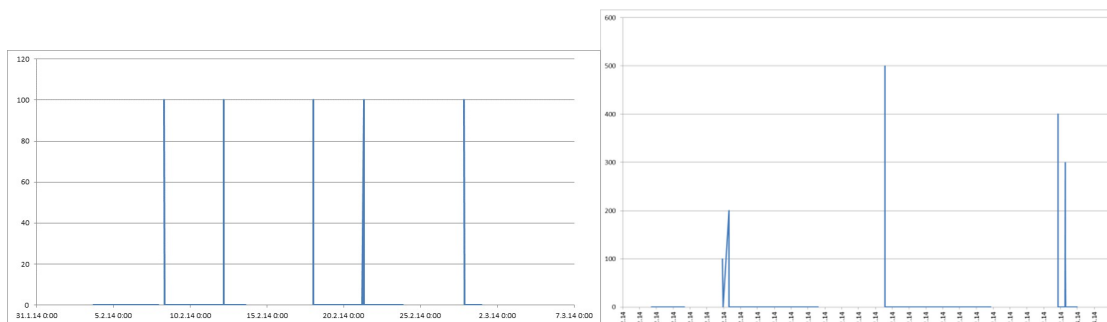
Dne 28. 2. 2014 byly provedeny tři kontrolní odečty pro všechny kalorimetry. Dále bylo provedeno měření teploty vody na vstupech a výstupech výměníků pro volné chlazení, laboratorním teploměrem Ahlborn Almemo 2590 s čidlem ZA9030-FS1. Teplota vzduchu ve strojovnách byla přibližně 23°C.

Tab. 3 Kontrolní odečty

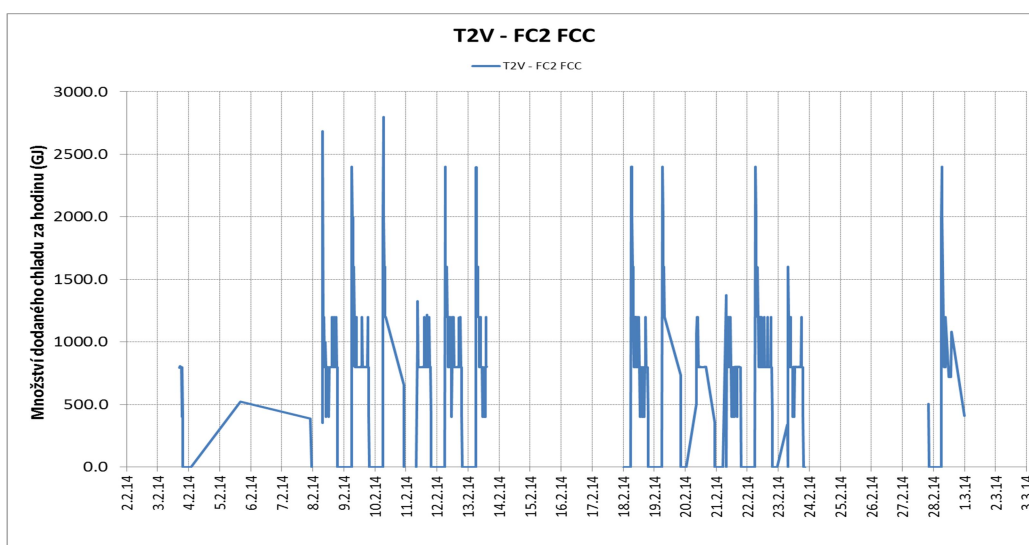
| | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| strojovna | | východ | východ | východ | východ | východ | východ |
| přístroj | | FC1 | FC1 | FC1 | FC2 | FC2 | FC2 |
| měření | | č.1 | č.2 | č.3 | č.1 | č.2 | č.3 |
| teplo | GJ | 1147.2 | 1147.6 | 1147.6 | 2891.6 | 2897.5 | 2898.1 |
| průtok | m ³ /h | 0 | 197.4 | 194.8 | 188.7 | 188.7 | 188 |
| výkon | kW | 0 | 23.66 | 24.2 | 189.6 | 260 | 234.8 |
| teplota 1 | °C | 14.7 | 10.6 | 10.4 | 10.7 | 9.3 | 8.9 |
| teplota 2 | °C | 18.5 | 10.3 | 10.3 | 9.8 | 8.2 | 7.8 |
| rozdíl teplot | K | -3.76 | 0.11 | 0.1 | 0.85 | 1.17 | 1.06 |
| strojovna | | Západ | Západ | Západ | Západ | Západ | Západ |
| přístroj | | FC1 | FC1 | FC1 | FC2 | FC2 | FC2 |
| měření | | č.1 | č.2 | č.3 | č.1 | č.2 | č.3 |
| teplo | GJ | 3037.9 | 3037.9 | 3037.9 | 3021.9 | 3021.9 | 3021.9 |
| průtok | m ³ /h | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| výkon | kW | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| teplota 1 | °C | 15.3 | 13.5 | 12.7 | 14.2 | 12.9 | 12.7 |
| teplota 2 | °C | 15.4 | 14 | 11.1 | 12.6 | 11.1 | 11.1 |
| rozdíl teplot | K | -0.06 | 0.44 | 1.5 | 1.58 | 1.79 | 1.5 |
| Měření Ahlborn na výměnících FC | | východ | východ | Západ | Západ | | |
| | | FC1 | FC2 | FC1 | FC2 | | |
| primár | °C | 10.1 | 7.5 | 11.4 | 13.2 | | |
| | °C | 10.2 | 8.4 | 12.4 | 13.6 | | |
| sekundár | °C | 10.7 | 10.9 | 14.4 | 13.8 | | |
| | °C | 10.4 | 9 | 13.2 | 13.8 | | |

7.3 Zpracování dat

Za měsíc únor byla zpracována data z průběžného měření údajů kalorimetrů. Data by se měla zaznamenávat do systému měření a regulace, ale z obrázku 15 je patrné, že dochází dochází k častým výpadkům.



Obr. 15 Průběh množství naměřeného chladu za časový krok kalorimetrem FC1 ve strojovně západ (vlevo) a kalorimetrem FC1 ve strojovně východ (vpravo) za měsíc únor.



Obr. 16 Průběh množství naměřeného chladu kalorimetrem FC2 ve strojovně východ za měsíc únor.

7.4 Vyhodnocení měřičů tepla

Z jednorázových odečtů i zpracovaných dat tedy vyplývá, že:

- Jediný kalorimetr FC2 ve strojovně Východ udává hodnoty odpovídající provozu
- Druhý kalorimetr FC1 ve strojovně Východ zaznamenává občas minimální hodnoty a při jednom kontrolním odečtu i nulový průtok při ostatních odečtech průtok zaznamenával.
- Kalorimetr FC1 ve strojovně západ odesílá téměř stále nulové hodnoty a jen několik ojedinělých výstupů v hodnotě minima (100 GJ). Při kontrolní odečtu ukazoval tento průtokoměr vždy nulový průtok.

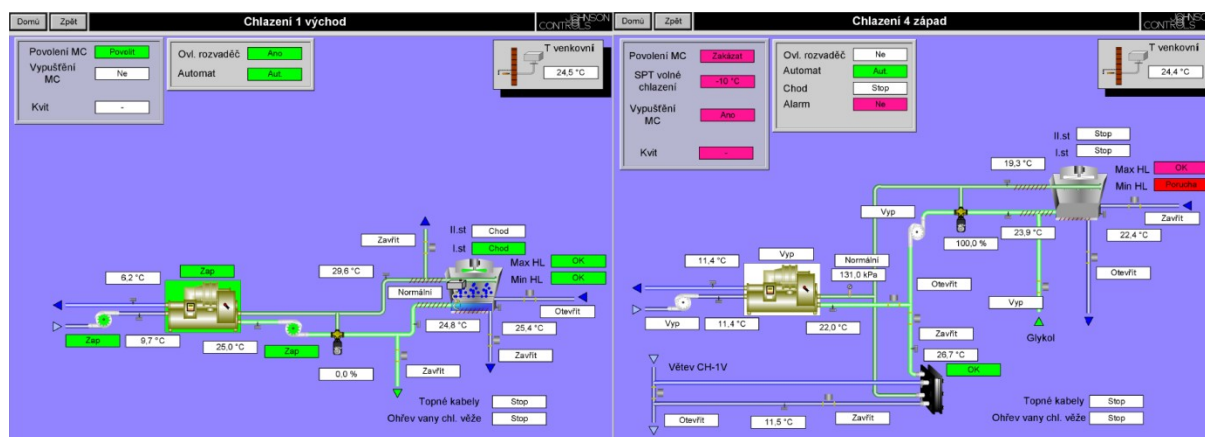
- Kalorimetr FC2 ve strojovně západ odesílá stále nulové hodnoty a při kontrolní odečtu ukazoval též vždy nulový průtok.
- Na všech kalorimetrech jsou teplotní rozdíly nižší než minimální teplotní rozdíl udávaný výrobcem (3 K) proto nelze u naměřených hodnot garantovat přesnost.
- Měřené teploty u výměníků volného chlazení v obou strojovnách jsou výrazně nižší nežli teplota ve strojovně, z čehož vyplývá, že systém volného chlazení je v provozu a trubkami protéká voda.
- Naměřené teplotní rozdíly na výměnících volného chlazení jsou minimální
- Při kontrolních odečtech na zdrojích chladu Trane, bylo zjištěno, že teploty u kondenzátoru jsou podobné jako teploty vody v systému volného chlazení, přestože byl ventil této větve v poloze zavřen a kondenzátorem by neměla protékat chladná voda.

8 Vyhodnocení obdržených spotřeb energie

Na základě nového softwaru pro odečet dat, bylo možné provést podrobný monitoring a vyhodnocení spotřeb energie obchodního centra za delší časový úsek. Monitoring spotřeb energie i výroby chladu začal od 15. 3. 2014 do 31. 10. 2015 a data za toto období byla vyhodnocena ve čtyřech zprávách. Za toto období bylo nasbíráno dostatečné množství dat k dalšímu vyhodnocení spotřeby energie a následnému návrhu k dalším úsporám.

8.1 Sběr dat

Data se jak z měřičů tepla a chladu, tak z elektroměrů se zaznamenávají v patnácti minutových intervalech do systému měření a regulace. Data jsou zpracovány pomocí softwaru od firmy Johnson Control. Na obrázku 17 je možné vidět uživatelské rozhraní tohoto softwaru pro řízení a regulaci chladicí věže otevřené a Tranu ve strojovně východ (Chlazení 1 východ) a také chladicí věže uzavřené a Tranu napojené na systém freecooling ve strojovně západ (Chlazení 4 západ). Data jsem vždy obdržel elektronickou formou od AB Facility a.s. Hodnoty spotřeb elektrické energie jsem obdržel v textovém souboru a hodnoty z měřičů tepla a chladu jsem obdržel v souboru Excel.



Obr. 17 Uživatelské rozhraní softwaru pro MaR

8.2 Postup zpracování a analýzy dat

Data spotřeb elektrické energie, bylo zapotřebí na několik kroků převést z textového souboru do Excelu, aby bylo možné data dále zpracovat. Dále bylo nutné data roztřídit podle příslušných zařízení a zkontrolovat přibližný patnáctiminutový interval mezi jednotlivými odečty. Nejdůležitější bylo, aby krok mezi jednotlivými odečty nebyl záporný. Data v textovém souboru byly v jednotkách kW, a tak bylo zapotřebí je dále převést na kWh, čehož se docílilo vynásobením hodnoty v kW časovým intervalem v hodinách. Tento krok byl

zapotřebí hlavně z důvodu následného porovnání hodnot měřičů tepla a chladu společně s hodnotami z elektroměrů. Po tomto zpracování dat jsem vytvořil výběrové tabulky pro zhotovení grafů, které bylo možné přepínat o hodnotu dvou respektive čtrnácti dnů pomocí ovládacího prvku.

Jak již bylo řečeno, data z měřičů tepla a chladu jsem dostal v souboru Excel, které bylo zapotřebí dále zpracovat. Nejprve bylo nutné data vyfiltrovat dle popisu měřiče a následně data přesunout na vlastní list v programu Excel. Hodnoty jednotlivých měřičů bylo nutné převést z MJ na kWh. K tomu bylo zapotřebí, stejně jako v předešlém případě odečíst 15-ti minutový časový interval a zkontrolovat aby nebyl záporný. Pokud byl časový interval záporný, bylo zapotřebí tuto hodnotu respektive řádek v programu Excel po kontrole manuálně opravit. Z takto upravených dat jsem dále vytvořil grafy celkových spotřeb energie.

Data byla zpracována do tabulek a grafů a byly vyhodnoceny spotřeby elektrické energie jednotlivých částí. Pro celkový přehled pak slouží grafy spotřeb za celé vybrané období a detailní průběhy lze pak sledovat na vybraných 14 dnech či vybraných 2 dnech.

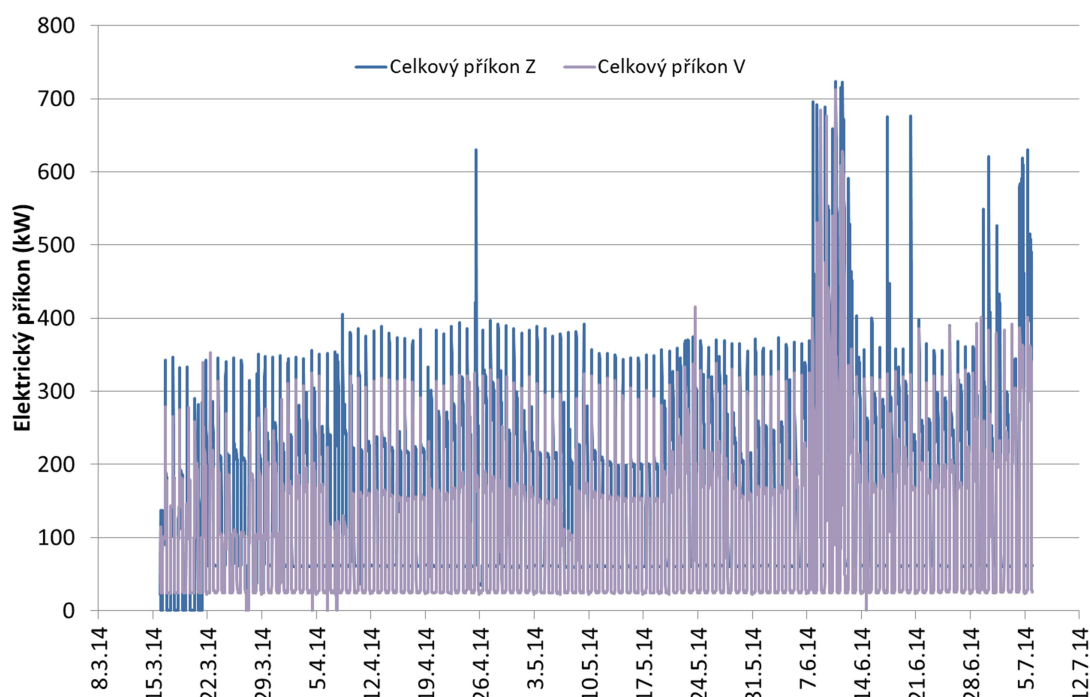
8.3 Vyhodnocení naměřených hodnot za první období

Ve sledovaném období od 15.3.2014 23:30 do 5.7.2014 22:45 je celková spotřeba elektrické energie obou strojoven 735 MWh. Spotřeba strojovny východ je 39 % a strojovny západ 61% této hodnoty.

Jak je patrné z tabulky číslo 4, kompresory zdrojů chladu spotřebovaly celkem 52 %, oběhová čerpadla a chladičí věže pro odvod kondenzačního tepla a přímé chlazení spotřebovaly 7 % a oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody 31%.

Tab. 4 Tabulka spotřeb elektrické energie za první období

| Celkem od 15.3.2014 23:30 do 5.7.2014 22:45 | | | | | | | | | | | | | |
|---|----------|----------|----------|----------|---------------|----------|----------|----------|----------|--------------|-----------------|---------------|------------|
| | Trane 1V | Trane 2V | Trane 3V | | Celk. Trane V | Tower 1V | Tower 2V | Tower 3V | | Celk. Tow. V | Sec. Čerpadla V | Mimo provoz V | Celkem |
| | MWh | MWh | MWh | | MWh | MWh | MWh | MWh | | MWh | MWh | MWh | MWh |
| | 114.6 | 37.4 | 0.8 | | 152.8 | 4.3 | 25.7 | 35.5 | | 65.5 | 70.5 | 34.1 | 288.8 |
| | 16% | 5% | 0% | | 21% | 1% | 3% | 5% | | 9% | 10% | 5% | 39% |
| Celkem od 8.3.2014 00:00 do 12.7.2014 23:59 | | | | | | | | | | | | | |
| | Trane 1Z | Trane 2Z | Trane 3Z | Trane 4Z | Celk. Trane Z | Tower 1Z | Tower 2Z | Tower 3Z | Tower 4Z | Celk. Tow. Z | Sec. Čerpadla Z | Mimo provoz Z | Celkem |
| | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh |
| | 135.9 | 84.3 | 3.0 | 5.6 | 228.7 | 36.5 | 19.5 | 2.1 | 4.9 | 63.0 | 154.5 | 76.5 | 446.2 |
| | 18% | 11% | 0% | 1% | 31% | 5% | 3% | 0% | 1% | 9% | 21% | 10% | 61% |
| | | | | | 52% | | | | | 17% | 31% | 15% | 735 |
| Měsíc | Trane 1V | Trane 2V | Trane 3V | | Celk. Trane | Tower 1V | Tower 2V | Tower 3V | | Celk. Tow. | Sec. Čerpadla V | Mimo provoz V | Celkem |
| 3 | 0.91 | 11.49 | 0.00 | | 12.4 | 0.60 | 13.09 | 0.31 | | 14.0 | 9.86 | 5.14 | 36.2 |
| 4 | 34.1 | 0.6 | 0.5 | | 35.2 | 2.2 | 0.3 | 10.3 | | 12.7 | 18.9 | 9.7 | 66.8 |
| 5 | 39.0 | 0.1 | 0.3 | | 39.4 | 1.5 | 0.0 | 12.3 | | 13.8 | 19.2 | 9.9 | 72.3 |
| 6 | 40.6 | 14.2 | 0.0 | | 54.8 | 0.1 | 7.3 | 12.6 | | 20.0 | 19.3 | 10.0 | 94.2 |
| | Trane 1Z | Trane 2Z | Trane 3Z | Trane 4Z | Celk. Trane Z | Tower 1Z | Tower 2Z | Tower 3Z | Tower 4Z | Celk. Tow. Z | Sec. Čerpadla Z | Mimo provoz Z | Celkem |
| 3 | 20.66 | 0.00 | 0.14 | 2.9 | 23.7 | 5.59 | 0.00 | 1.24 | 3.3 | 10.2 | 14.35 | 7.39 | 48.2 |
| 4 | 13.2 | 41.2 | 0.5 | 0.8 | 55.7 | 3.5 | 9.9 | 0.1 | 0.6 | 14.1 | 43.8 | 22.2 | 113.6 |
| 5 | 40.7 | 15.0 | 0.2 | 0.0 | 55.9 | 10.9 | 3.4 | 0.0 | 0.0 | 14.3 | 45.5 | 22.9 | 115.7 |
| 6 | 51.0 | 24.8 | 0.4 | 1.8 | 78.0 | 13.7 | 5.5 | 0.1 | 1.0 | 20.3 | 43.6 | 21.7 | 141.8 |

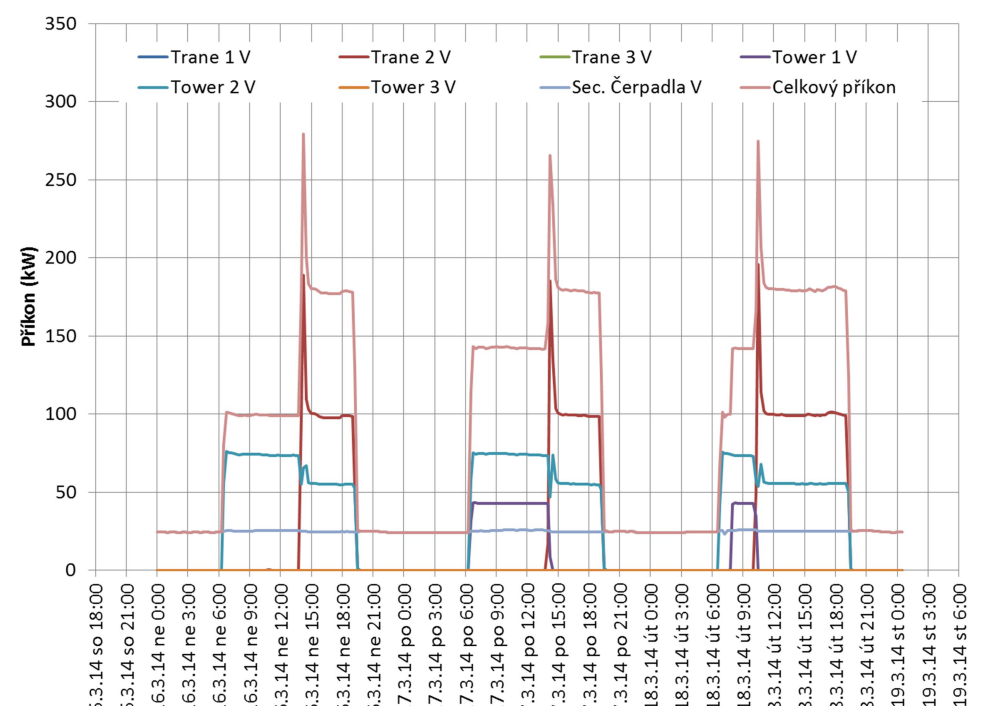


Obr. 18 Graf spotřeby za první období

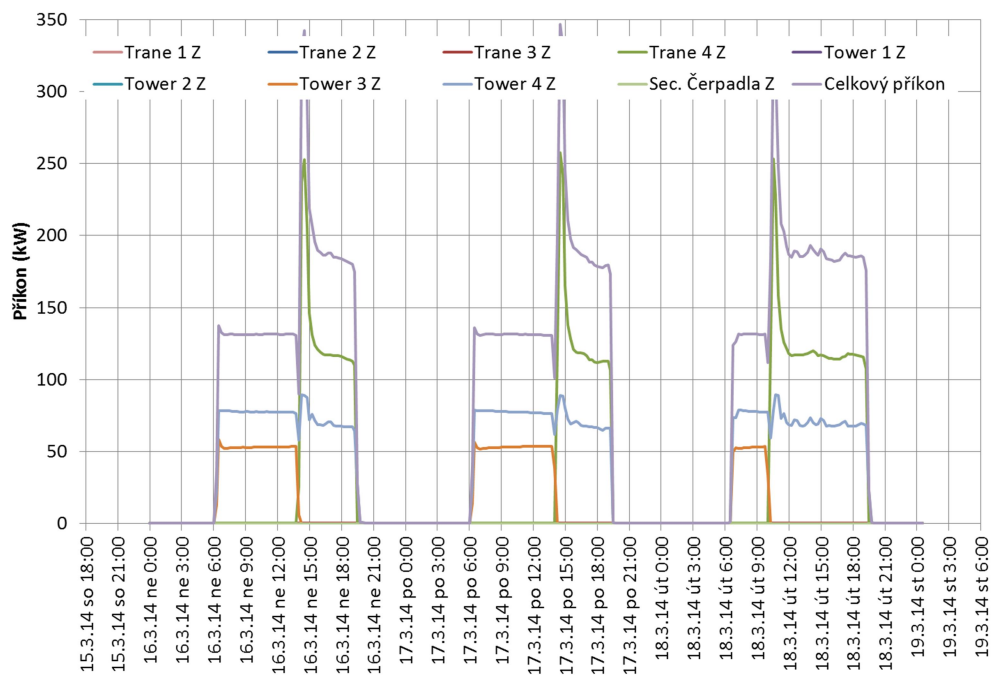
Na obrázku číslo 18 je možné vidět graf spotřeby elektrické energie za celé první období. Z tohoto grafu je patrný nárůst elektrické energie v jednotlivých měsících s rostoucí potřebou na chlazení, které je závislá na rostoucí venkovní teplotě a na tepelných ziscích.

Maximální elektrické příkony strojoven chladu byly cca 700 kW a nastávaly mezi 7.6 a 14.6. Obvykle se denní maxima pohybovaly do 400 kW a běžné denní hodnoty dosahovaly přes 200 kW u strojovny západ a pod 200 kW u strojovny východ jak je patrné z předchozího grafu.

Sledované období je zajímavé i tím, že v něm můžeme vidět několik typů provozu. Na začátku v březnu je ještě využíváno část dne volné chlazení (freecooling). V té době jsou mimo provoz jednotky Trane a chladí pouze chladicí věže. Celkové spotřeby elektrické energie jsou nižší, než se zapnutým kompresorem, což je patrné na obou následujících obrázcích 19 a 20.

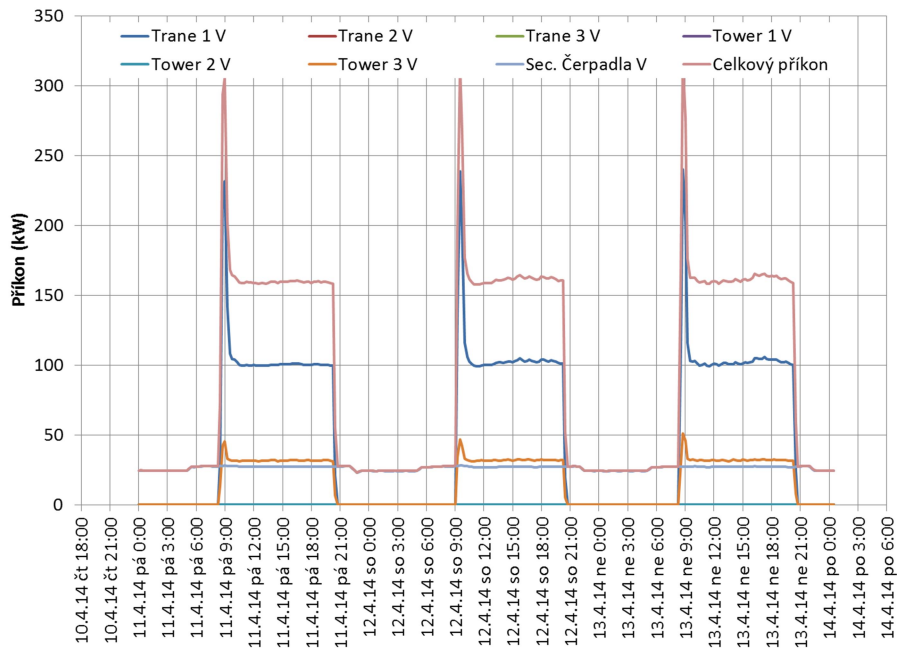


Obr. 19 Spotřeba elektrické energie od 16. 3. 2014 do 19. 3. 2014 strojovny východ

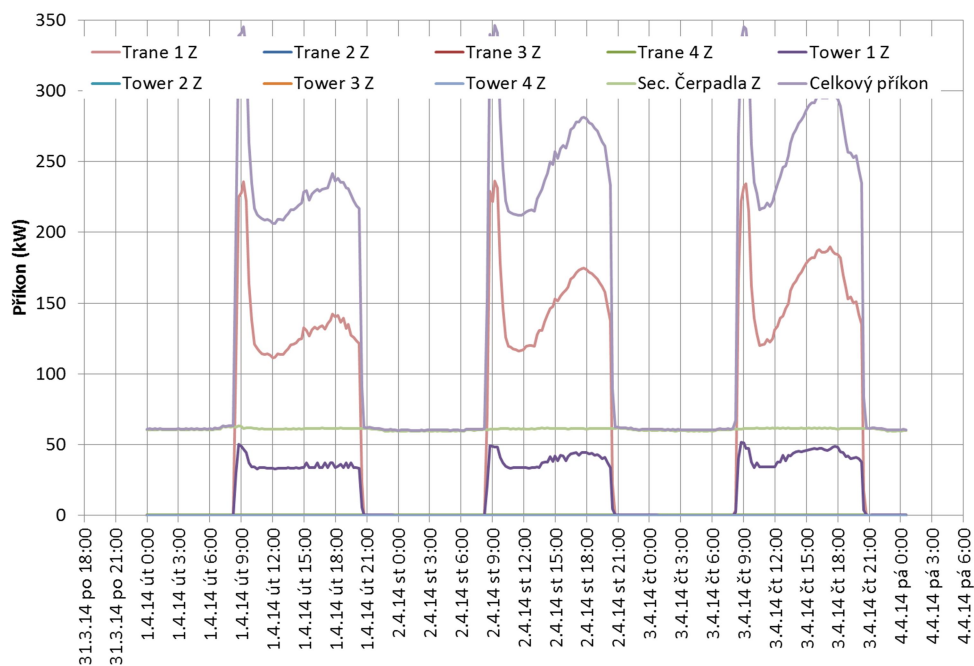


Obr. 20 Spotřeba elektrické energie od 16. 3. 2014 do 19. 3. 2014 strojovny západ

Z obrázku číslo 22 je vidět, že v západní strojovně dochází častěji k dalšímu nárůstu příkonu během odpoledne, které mohou být způsobeny například nárůstem počtu návštěvníků.



Obr. 21 Spotřeba elektrické energie od 11. 4. 2014 do 14. 4. 2014 strojovny východ



Obr. 22 Spotřeba elektrické energie od 14. 4. 2014 do 4. 4. 2014 strojovny západ

8.4 Vyhodnocení naměřených hodnot za druhé období

Ve druhém období je celková spotřeba elektrické energie obou strojoven 725 MWh. Spotřeba strojovny východ je 40% a spotřeba strojovny západ 60% z celkové hodnoty 725 MWh.

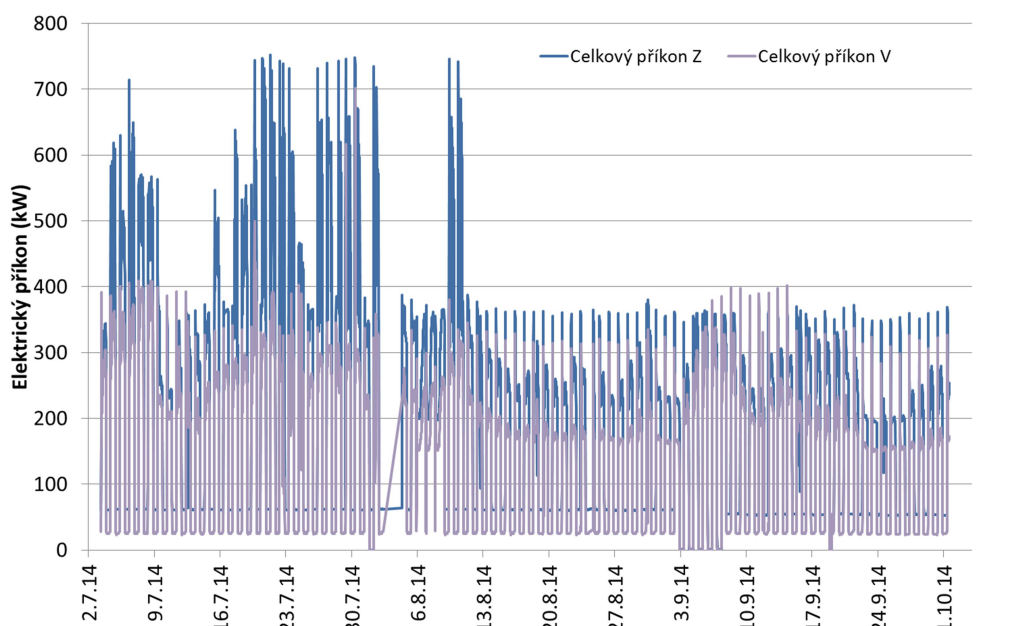
Kompresory zdrojů chladu spotřebovaly celkem 57% celkové spotřeby, oběhová čerpadla a chladicí věže pro odvod kondenzačního tepla a přímé chlazení spotřebovaly 18% a oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody 25%, což je patrné z následující tabulky číslo 5.

Tab. 5 Tabulka spotřeb elektrické energie za druhé období

| | Celkem od 3.7.2014 8:15 | | | | do 1.10.2014 15:00 | | | | | | | | |
|-------|-------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------------|---------------|------------|
| | Trane 1 V | Trane 2 V | Trane 3 V | | Celk. Trane V | Tower 1 V | Tower 2 V | Tower 3 V | | Celk. Tow. V | Sec. Čerpadla V | Mimo provoz V | Celkem |
| | MWh | MWh | MWh | | MWh | MWh | MWh | MWh | | MWh | MWh | MWh | MWh |
| | 118.0 | 52.8 | 0.0 | | 170.8 | 0.6 | 25.4 | 36.7 | | 62.8 | 55.6 | 25.6 | 289.2 |
| | 16% | 7% | 0% | | 24% | 0% | 4% | 5% | | 9% | 8% | 4% | 40% |
| | Trane 1 Z | Trane 2 Z | Trane 3 Z | Trane 4 Z | Celk. Trane Z | Tower 1 Z | Tower 2 Z | Tower 3 Z | Tower 4 Z | Celk. Tow. Z | Sec. Čerpadla Z | Mimo provoz Z | Celkem |
| | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh |
| | 198.7 | 10.3 | 33.3 | 2.2 | 244.6 | 54.1 | 2.6 | 11.1 | 0.8 | 68.6 | 122.8 | 59.0 | 436.0 |
| | 27% | 1% | 5% | 0% | 34% | 7% | 0% | 2% | 0% | 9% | 17% | 8% | 60% |
| | | | | | 57% | | | | | 18% | 25% | 12% | 725 |
| Měsíc | Trane 1 V | Trane 2 V | Trane 3 V | | Celk. Trane | Tower 1 V | Tower 2 V | Tower 3 V | | Celk. Tow. | Sec. Čerpadla V | Mimo provoz V | Celkem |
| 7 | 41.91 | 28.76 | 0.00 | | 70.7 | 0.33 | 12.87 | 12.47 | | 25.7 | 18.96 | 10.08 | 115.3 |
| 8 | 49.01 | 1.80 | 0.04 | | 50.8 | 0.31 | 0.72 | 15.50 | | 16.5 | 18.68 | 9.87 | 86.1 |
| 9 | 26.40 | 22.20 | 0.00 | | 48.6 | 0.00 | 11.83 | 8.55 | | 20.4 | 17.60 | 9.88 | 86.6 |
| 10 | 0.68 | 0.00 | 0.00 | | 0.7 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | | 0.2 | 0.40 | 0.17 | 1.3 |
| | Trane 1 Z | Trane 2 Z | Trane 3 Z | Trane 4 Z | Celk. Trane Z | Tower 1 Z | Tower 2 Z | Tower 3 Z | Tower 4 Z | Celk. Tow. Z | Sec. Čerpadla Z | Mimo provoz Z | Celkem |
| 7 | 70.66 | 10.28 | 27.20 | 0.4 | 108.6 | 19.37 | 2.58 | 9.10 | 0.1 | 31.1 | 42.42 | 21.70 | 182.1 |
| 8 | 63.92 | 0.00 | 5.92 | 1.5 | 71.4 | 17.41 | 0.00 | 2.00 | 0.7 | 20.1 | 42.68 | 21.55 | 134.2 |
| 9 | 63.25 | 0.07 | 0.22 | 0.2 | 63.7 | 17.03 | 0.02 | 0.00 | 0.0 | 17.0 | 36.89 | 20.20 | 117.7 |
| 10 | 0.91 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.9 | 0.25 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.2 | 0.81 | 0.34 | 2.0 |

Maximální potřeba elektrické energie na chlazení byla v měsíci červenci a srpnu. V září, kdy se už dostáváme do přechodového období, byly spotřeby výrazně nižší. Hodnoty pro měsíc říjen jsou nevypovídající, protože bylo zahrnuto jen několik dní.

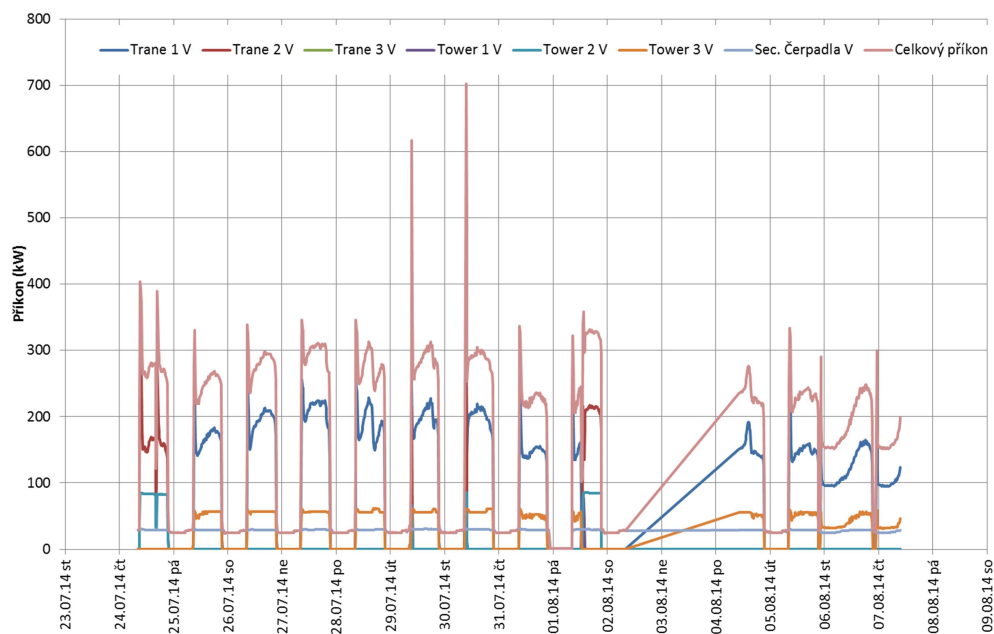
Velice zajímavé je, že celkové spotřeby energie se příliš neliší od prvního období, které lze charakterizovat jako přechodové.



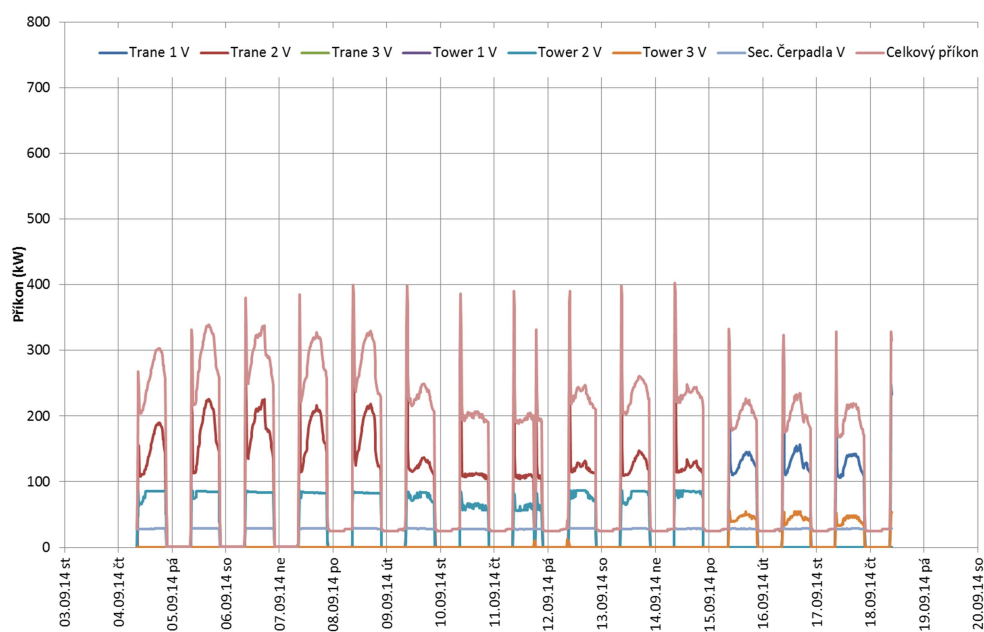
Obr. 23 Graf spotřeby za druhé období

Maximální elektrické příkony strojovny západ byly cca 750 kW a nastávaly mezi 16. 7. a 13. 8., což je možné vidět na obrázku číslo 23. Ze stejného obrázku je možné vidět, že strojovna východ měla spotřebu podstatně nižší a hodnoty nad 400 kW se příliš často neobjevovali. V druhé polovině sledovaného období se obvykle denní maxima pohybovaly do 400 kW. Průměrné hodnoty potom dosahovaly hodnot 300 kW pro strojovnu západ a do 200 kW pro strojovnu východ.

Ve sledovaném období se volné chlazení nepoužívalo, takže docházelo pouze k přepínání zdrojů chladu. Ve strojovně východ byl v provoz především zdroj Trane 1 a v ranních špičkách i Trane 2 v září byl základním zdrojem Trane 2. Třetí zdroj Trane 3 nebyl vůbec v provozu, viz obrázek 24 a 25.

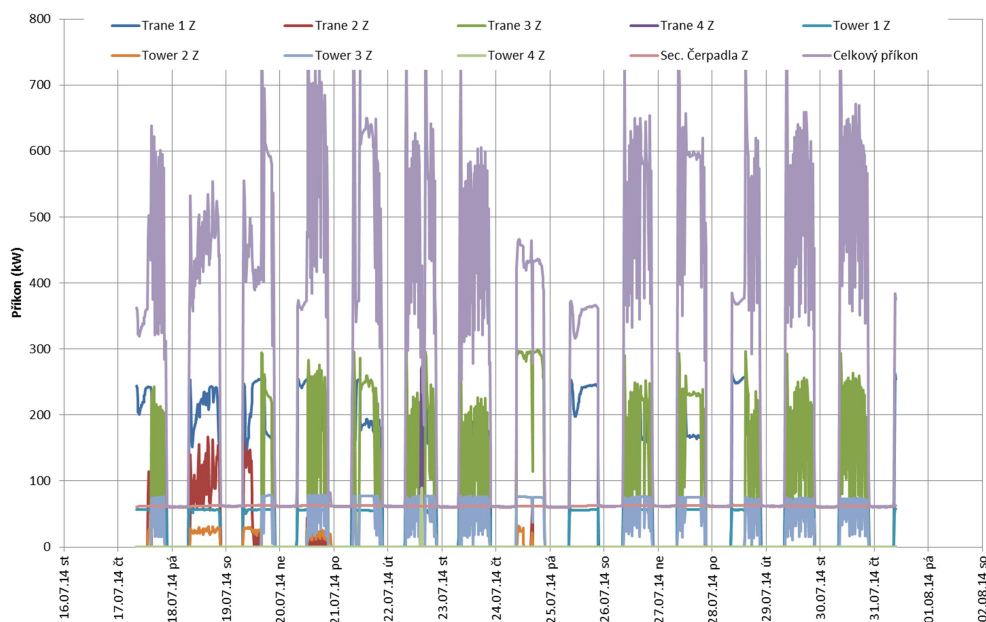


Obr. 24 Spotřeba elektrické energie od 24. 7. 2014 do 7. 8. 2014 strojovny východ

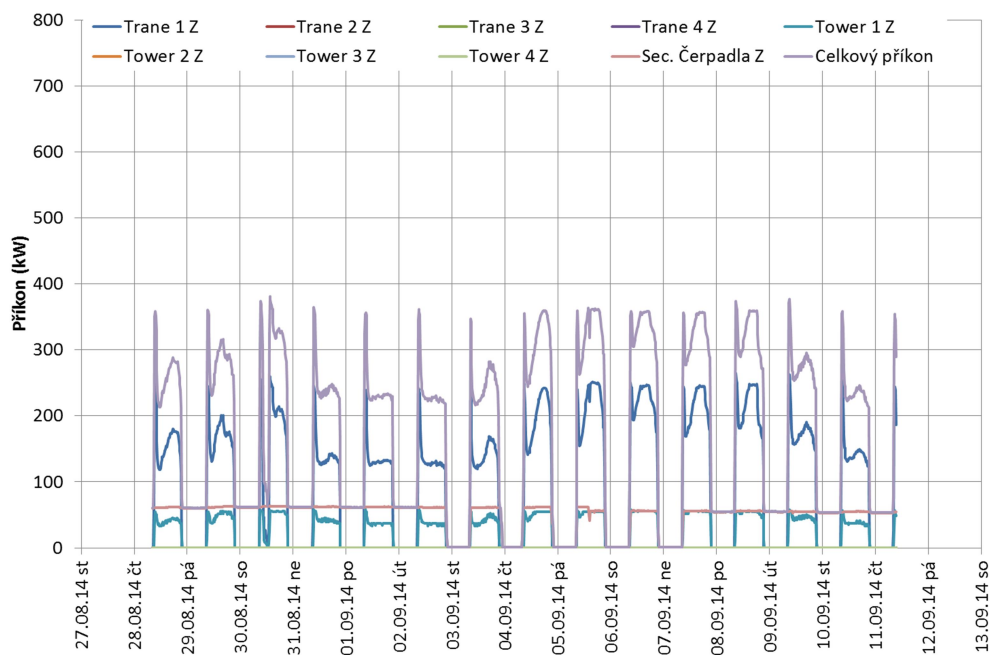


Obr. 25 Spotřeba elektrické energie od 4. 9. 2014 do 18. 9. 2014 strojovny východ

V západní strojovně je většinou v provozu jednotka Trane 1 a v době špiček i zdroj Trane 3 respektive Trane 2. V září už je v provozu většinou pouze Trane 1.

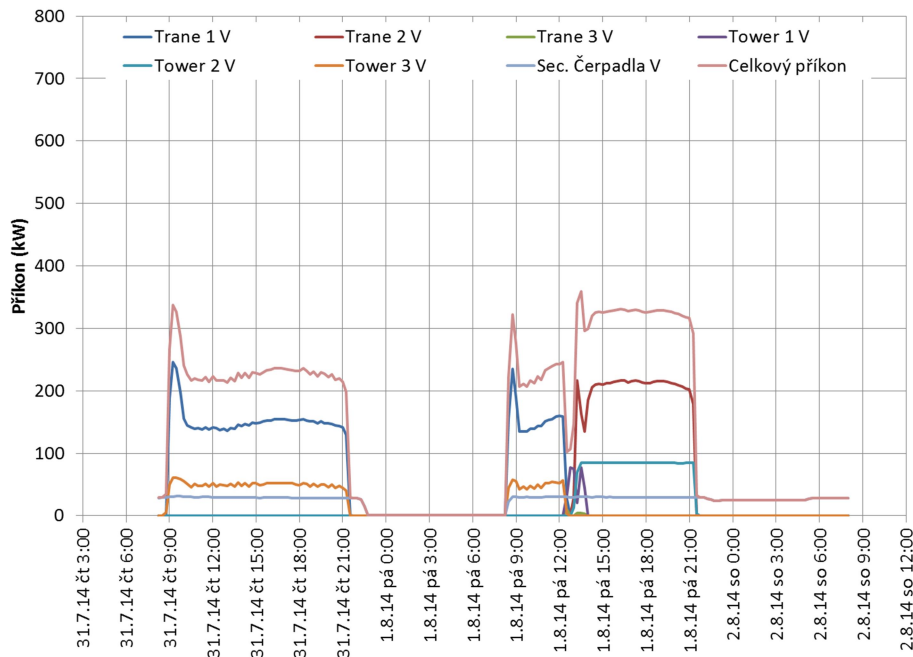


Obr. 26 Spotřeba elektrické energie od 17. 7. 2014 do 31. 7. 2014 strojovny západ



Obr. 27 Spotřeba elektrické energie od 28. 8. 2014 do 11. 9. 2014 strojovny západ

Ve strojovně východ byl proveden experiment s navrhovaným vypínáním oběhových čerpadel v noci. Bohužel v době experimentu došlo k výpadku měření, takže je v datech zaznamenám pouze jeden den bez nočního provozu čerpadel, viz obrázek 28.



Obr. 28 Spotřeba energie při nočním vypínání čerpadel

8.4.1 Chladicí faktory zdrojů chladu

V tom měřeném období pro měsíc září byly naměřeny hodnoty spotřeb, ale také hodnoty dodávek chladu, ze kterých bylo možné dále stanovit chladicí faktory pro daný měsíc.

Tab. 6 Chladicí faktory září 2014

| od 1.9. do 31.9. 2014 | | Strojovna východ | | | | Strojovna západ | | | | | celkem |
|--------------------------------|-----|------------------|------------|---------|----------------|-----------------|---------|---------|---------|----------------|----------------|
| | | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | celkem | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | Trane 4 | celkem | |
| Produkce chladu | kWh | 130 667 | 112 583 | 750 | 244 000 | 367 611 | 222 | 83 | 111 | 368 028 | 856 028 |
| Spotřeba el. energie | kWh | 26 361 | 22 172 | 0 | 48 534 | 63 151 | 67 | 215 | 215 | 63 649 | 160 717 |
| Chladicí faktor | - | 5.0 | 5.1 | - | 5.0 | 5.8 | 3.3 | 0.4 | 0.5 | 5.8 | 5.3 |
| Spotřeba chladicích věží | kWh | 8 540 | 11 808 | 0 | | 17 004 | 18 | 0 | 0 | 17 021 | 37 369 |
| Chladicí faktor (vč věží) | - | 3.7 | 3.3 | - | 5.0 | 4.6 | - | - | - | 4.6 | 4.3 |
| Spotřeba oběhových čerpadel | kWh | | | | 17 459 | | | | | 36 723 | 54 182 |
| Chladicí faktor (vč. čerpadel) | - | | | | 2.8 | | | | | 3.8 | 3.4 |

Z tabulky číslo 6 je patrné, že jednotky Trane 1 a Trane 2 ve strojovně východ měly střední chladicí faktor 5 a 5,1. Střední chladicí faktor zdroje chladu Trane 1 ve strojovně západ 5,8. Chladicí faktor udávaný výrobcem je 5,36. Při započítání příkonů na odvod kondenzačního tepla a oběhových čerpadel vychází souhrnný chladicí faktor 3,4.

Dále můžeme vidět, že jednotka Trane 3 ve strojovně východ dodala určité množství chladu, i když nespotřebovala elektrickou energii. Naopak u zdrojů chladu Trane 3 a Trane 4

ve strojovně západ byly spotřeby elektrické energie vyšší než dodaný chlad. Tyto hodnoty jsou pravděpodobně způsobeny nepřesností měření kalorimetrů (při nízkých dodávkách).

8.5 Vyhodnocení naměřených hodnot za třetí období

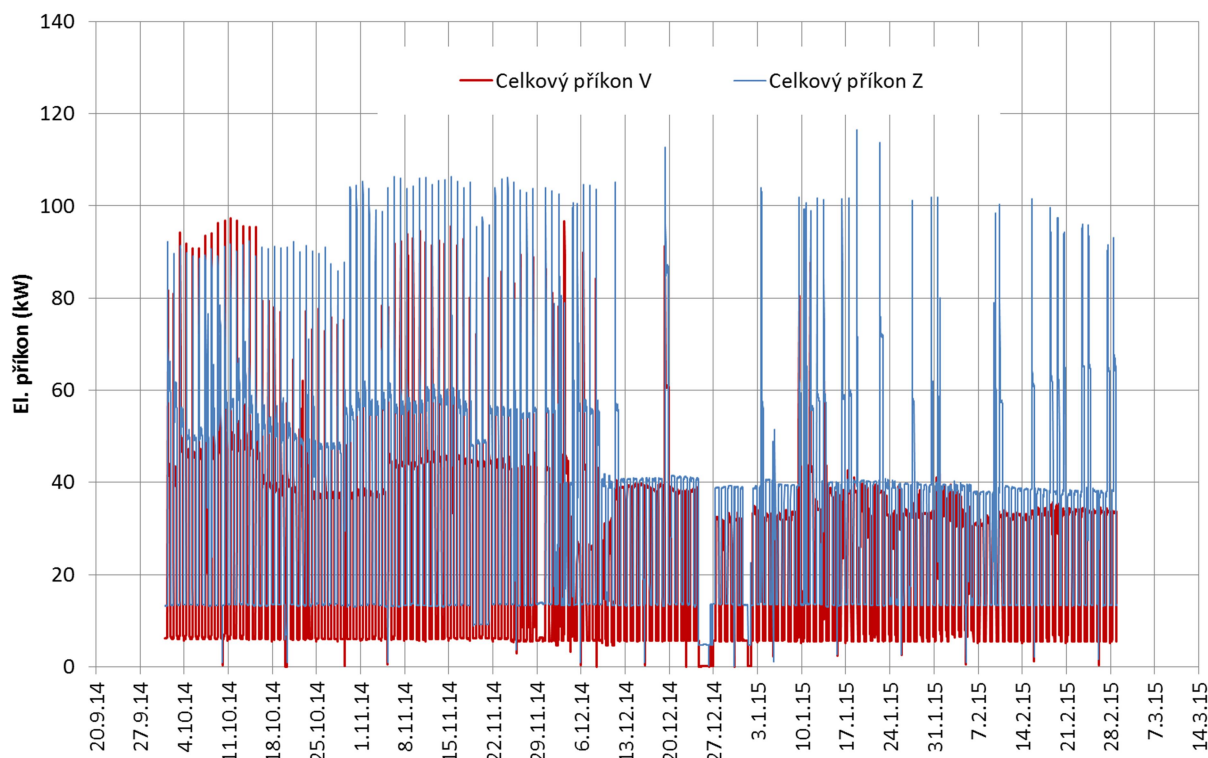
Ve třetím sledovaném období byla celková spotřeba elektrické energie obou strojoven 842 MWh. Z toho po-té náleží 41% strojovně východ a 59% strojovně západ z této celkové hodnoty 842 MWh.

Z následující tabulky číslo 7 kompresory zdrojů chladu spotřebovaly celkem 28%, oběhová čerpadla a chladičí věže pro odvod kondenzačního tepla a přímé chlazení spotřebovaly 39% a oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody potom spotřebovaly 33% celkové spotřeby. Vyšší podíl spotřeby věží a čerpadel je způsoben provozováním volného chlazení v části zimního období.

Tab. 7 Tabulka spotřeb elektrické energie za třetí období

| | Celkem od 1.10.2014 0:15 | | | | do 28.2.2015 23:30 | | | | | | | | |
|-------|--------------------------|-----------|-----------|-----------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------------|---------------|------------|
| | Trane 1 V | Trane 2 V | Trane 3 V | | Celk. Trane V | Tower 1 V | Tower 2 V | Tower 3 V | | Celk. Tow. V | Sec. Čerpadla V | Mimo provoz V | Celkem |
| | MWh | MWh | MWh | | MWh | MWh | MWh | MWh | | MWh | MWh | MWh | MWh |
| | 26 | 64 | 1 | | 91.2 | 0.1 | 108.6 | 63.6 | | 172.3 | 84.0 | 41.31 | 347.6 |
| | 3% | 8% | 0% | | 11% | 0% | 13% | 8% | | 20% | 10% | 5% | 41% |
| | Trane 1 Z | Trane 2 Z | Trane 3 Z | Trane 4 Z | Celk. Trane Z | Tower 1 Z | Tower 2 Z | Tower 3 Z | Tower 4 Z | Celk. Tow. Z | Sec. Čerpadla Z | Mimo provoz Z | Celkem |
| | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh |
| | 47.0 | 0.1 | 38.3 | 59.2 | 144.6 | 12.4 | 0.0 | 59.8 | 85.3 | 157.6 | 192.3 | 95.1 | 494.5 |
| | 6% | 0% | 5% | 7% | 17% | 1% | 0% | 7% | 10% | 19% | 23% | 11% | 59% |
| | | | | | 28% | | | | | 39% | 33% | 16% | 842 |
| Měsíc | Trane 1 V | Trane 2 V | Trane 3 V | | Celk. Trane | Tower 1 V | Tower 2 V | Tower 3 V | | Celk. Tow. | Sec. Čerpadla V | Mimo provoz V | Celkem |
| 10 | 21.1 | 20.4 | 0.02 | | 41.5 | 0.09 | 11.18 | 6.66 | | 17.9 | 18.52 | 9.57 | 77.9 |
| 11 | 5.2 | 32.7 | 0 | | 37.9 | 0.01 | 17.34 | 1.68 | | 19.0 | 17.50 | 8.84 | 74.4 |
| 12 | 0 | 7.0 | 0.74 | | 7.7 | 0.01 | 22.29 | 17.88 | | 40.2 | 15.82 | 8.03 | 63.7 |
| 1 | 0 | 4.1 | 0 | | 4.1 | 0.00 | 29.77 | 18.64 | | 48.4 | 16.93 | 8.54 | 69.5 |
| 2 | 0 | 0.0 | 0 | | 0.0 | 0.00 | 28.06 | 18.72 | | 46.8 | 15.25 | 7.74 | 62.0 |
| | Trane 1 Z | Trane 2 Z | Trane 3 Z | Trane 4 Z | Celk. Trane Z | Tower 1 Z | Tower 2 Z | Tower 3 Z | Tower 4 Z | Celk. Tow. Z | Sec. Čerpadla Z | Mimo provoz Z | Celkem |
| | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh |
| 10 | 47.0 | 0.1 | 2.3 | 3.2 | 52.6 | 12.4 | 0 | 1.1 | 1.9 | 15.4 | 39.8 | 20.2 | 107.8 |
| 11 | 0 | 0 | 0.2 | 44.3 | 44.5 | 0 | 0 | 0.0 | 24.7 | 24.7 | 37.3 | 18.8 | 106.4 |
| 12 | 0 | 0 | 5.0 | 10.3 | 15.3 | 0 | 0 | 15.4 | 22.5 | 37.9 | 38.7 | 19.6 | 91.9 |
| 1 | 0 | 0 | 16.2 | 1.1 | 17.4 | 0 | 0 | 22.0 | 18.9 | 40.9 | 40.2 | 20.3 | 98.4 |
| 2 | 0 | 0 | 14.6 | 0.2 | 14.9 | 0 | 0 | 21.4 | 17.4 | 38.7 | 36.5 | 18.5 | 90.0 |

Spotřeby elektrické energie za jednotlivé měsíce ukazují, že spotřeby pro chlazení jsou poměrně vyrovnané. Mírně vyšší spotřeby jsou v říjnu a listopadu, kdy byly vyšší teploty vzduchu. Nižší spotřeby elektrické energie jsou v zimním období (prosinec, leden a únor), kdy byly teploty vzduchu nižší.



Obr. 28 Graf spotřeby za třetí období

Maximální elektrické příkony strojovny chladu západ byly cca 120 kW a nastávají většinou pouze po ránu při spuštění zdrojů chladu, strojovna východ měla spotřebu nižší, maxima nedosahují ani 100 kW.

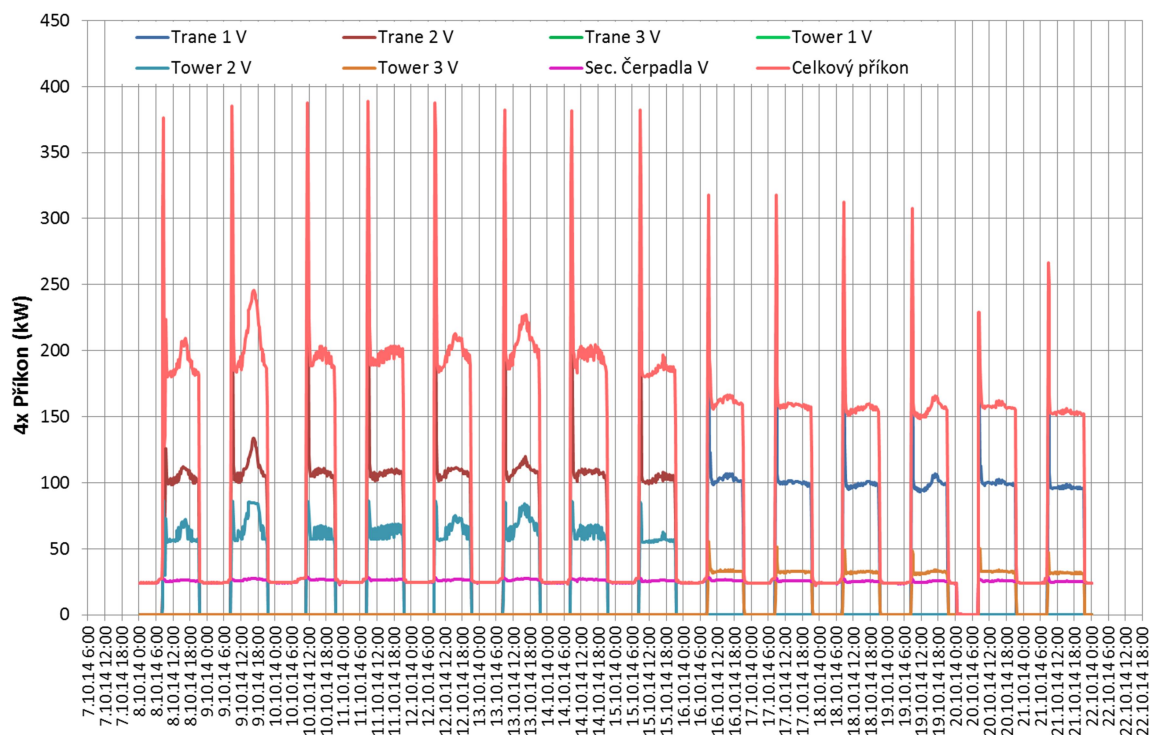
V tomto delším měřeném období je možné rozlišit režimy, kdy byly v provozu kompresory zdrojů (říjen a listopad), a kdy byl v provozu především freecooling (prosinec, leden a únor). Při volném chlazení nenastávají ranní maxima a průměrné čtvrt hodinové příkony se pohybují kolem 40 kW pro strojovnu západ a pro strojovnu východ jsou ještě o něco nižší.

Ve sledovaném období kromě volného chlazení docházelo k typickému přepínání zdrojů chladu.

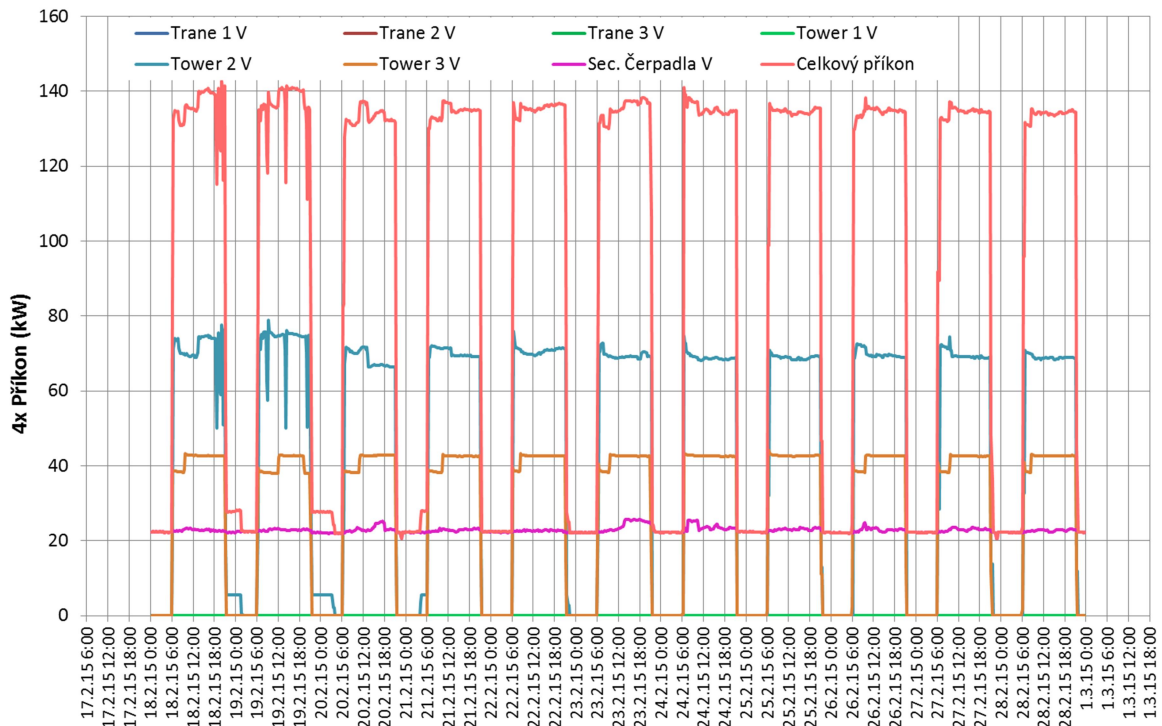
Ve strojovně východ byly v provozu především zdroje Trane 1 a Trane 2, ale nikdy neběžely současně. Na obrázku 29 je znázorněn typický zimní provoz strojovny východ při provozu kompresorového chlazení, kdy po ránu dosahují maxima téměř 100 kW a během dne pak cca 50 kW (vynesené hodnoty příkonů v následujících grafech jsou stanoveny jako čtvrt hodinové a skutečný příkon je pak $\frac{1}{4}$ vynesených hodnot). V tomto období je příkon oběhových čerpadel přibližně 6 kW. V zimním období došlo k zajímavému rozdílu spotřeb energie mezi režimem s chladicí věží 2 a s chladicí věží 3 viz obrázek 30. Věž označená jako

Tower 2 V má přibližně dvojnásobnou spotřebu oproti věži Tower 3 V a tento rozdíl je patrný i při volném chlazení znázorněném v dalším grafu. Tato skutečnost mohla být způsobena chybou měření nebo nějakou technickou závadou.

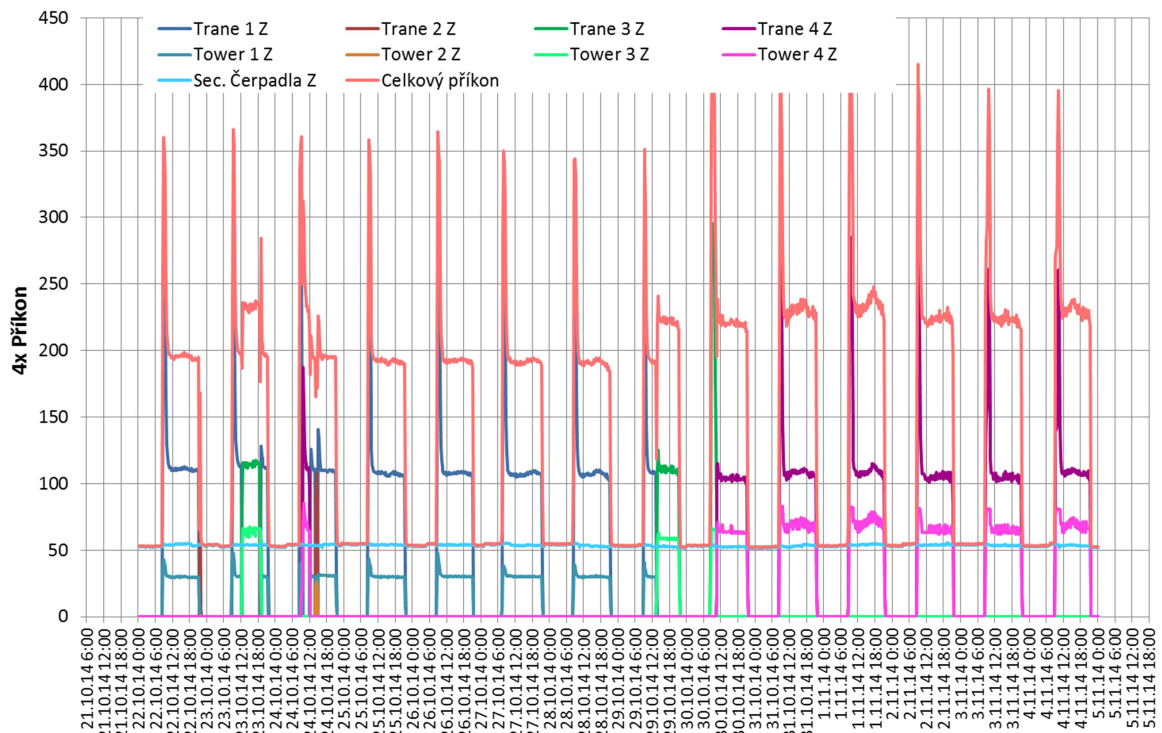
Na obrázku 31 a 32 je možné vidět provoz ve strojovně západ, kde dochází k přepínání mezi všemi jednotkami Trane. Volné chlazení je ve strojovně západ využíváno v lednu a únoru, ale i přesto je občas sepne strojní chlazení a to především v ranních hodinách, kdy je zapotřebí nachladit rozvodný systém.



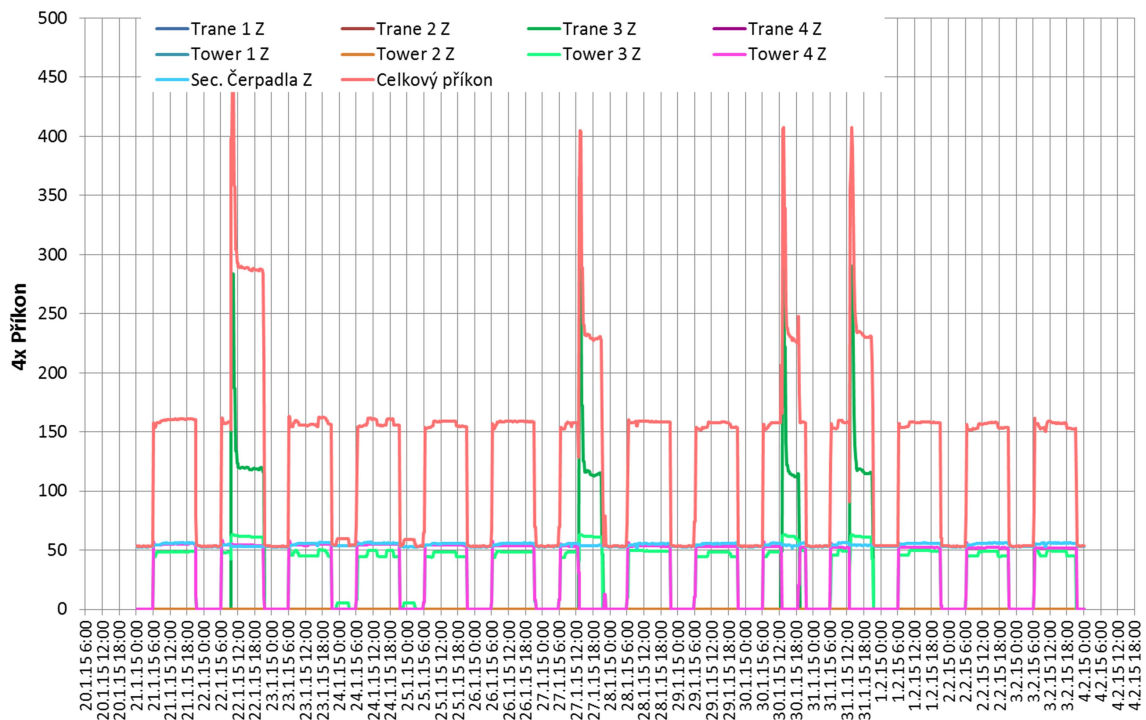
Obr. 29 Spotřeba elektrické energie od 8. 10. 2014 do 22. 10. 2014 strojovny východ



Obr. 30 Spotřeba elektrické energie od 18. 2. 2014 do 1. 3. 2014 strojovny východ



Obr. 31 Spotřeba elektrické energie od 22. 10. 2014 do 5. 11. 2014 strojovny západ



Obr. 32 Spotřeba elektrické energie od 21. 1. 2015 do 4. 2. 2015 strojovny západ

8.5.1 Chladicí faktory zdrojů chladu

Pro jednotlivé měsíce (číslo měsíce uvedeno v levém horním rohu) byly z naměřených hodnot spotřeb a dodávky chladu stanoveny chladicí faktory viz tabulka 8. Vzhledem k přepínání zdrojů je často hodnota příkonu zdroje za daný měsíc rovna nule a chladicí faktor nelze stanovit (v tabulce křížky). Produkce chladu je součet chladu v režimu volného chlazení společně s chladem dodaným v režimu kompresorového chlazení. Vyhodnocené chladicího faktory zdroje chladu pak mohou při vysokém podílu volného chlazení dosahovat extrémně vysokých hodnot. Celkové chladicí faktory se zahrnutím příkonu chladicích věží jsou v lednu a únoru velmi nízké. Zásadní roli zde hraje chyba měření kalorimetrů, při nízkých teplotních rozdílech, jak již bylo zmíněno v předešlých kapitolách.

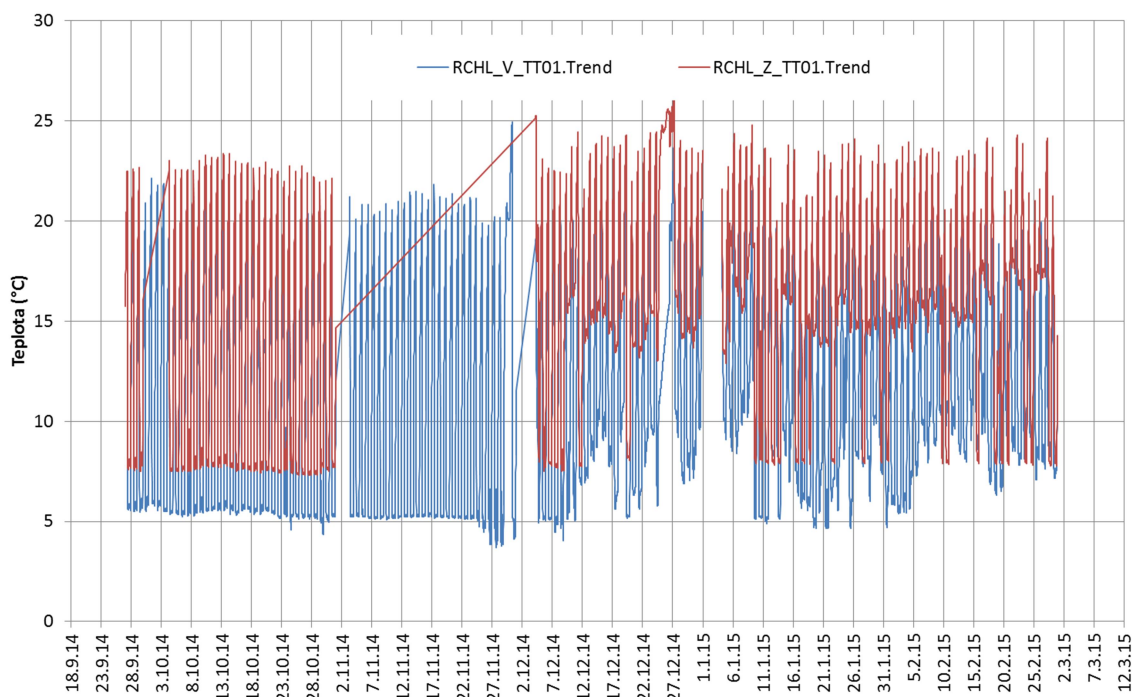
V tomto období nastaly problémy s odečtem z kalorimetru FC1 ve strojovně západ, z kterého nebyla po většinu sledovaného období data k dispozici. Další nepřesnost nastává, když obě chladicí věže běží v téměř shodném režimu, a přesto mají údaje z kalorimetrů volného chlazení 1 a 2 značné rozdíly.

Tab. 8 Tabulka chladicích faktorů ve třetím období

| | 11 | Strojovna východ | | | | Strojovna západ | | | | | celkem |
|--------------------------------|-----|------------------|---------------|------------|----------------|-----------------|------------|------------|-------------|----------------|------------------|
| | | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | celkem | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | Trane 4 | celkem | |
| Produkce chladu | kWh | 60 100 | 359 000 | 0 | 419 100 | 0 | 100 | 700 | 800 900 | 801 700 | 1 220 800 |
| Spotřeba el. energie | kWh | 18 818 | 227 512 | 0 | 246 330 | 0 | 0 | 1 483 | 290 583 | 292 066 | 538 396 |
| Chladicí faktor | - | 3.2 | 1.6 | ##### | 1.7 | ##### | ##### | 0.5 | 2.8 | 2.7 | 2.3 |
| Spotřeba chladicích věží | kWh | 20 | 120 532 | 6 063 | 126 615 | 0 | 0 | 0 | 158 235 | 158 235 | 284 851 |
| Chladicí faktor (vč věží) | - | 3.2 | 1.0 | 0.0 | 1.1 | ##### | ##### | 0.5 | 1.8 | 1.8 | 1.5 |
| Spotřeba oběhových čerpadel | kWh | | | | 117 975 | | | | | 259 923 | 377 898 |
| Chladicí faktor (vč. čerpadel) | - | | | | 0.9 | | | | | 1.1 | 1.0 |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | 12 | Strojovna východ | | | | Strojovna západ | | | | | celkem |
| | | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | celkem | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | Trane 4 | celkem | |
| Produkce chladu | kWh | 65 900 | 265 700 | 36 100 | 367 700 | 0 | 0 | 68 900 | 464 200 | 533 100 | 900 800 |
| Spotřeba el. energie | kWh | 0 | 100 836 | 10 593 | 111 429 | 0 | 0 | 71 908 | 148 376 | 220 284 | 331 713 |
| Chladicí faktor | - | ##### | 2.6 | 3.4 | 3.3 | ##### | ##### | 1.0 | 3.1 | 2.4 | 2.7 |
| Spotřeba chladicích věží | kWh | 257 490 | 321 015 | 155 | | 0 | 0 | 221 151 | 324 220 | 545 370 | 545 370 |
| Chladicí faktor (vč věží) | - | 0.3 | 0.6 | - | 3.3 | ##### | ##### | 0.2 | 1.0 | 0.7 | 1.0 |
| Spotřeba oběhových čerpadel | kWh | | | | 227 925 | | | | | 227 925 | 455 849 |
| Chladicí faktor (vč. čerpadel) | - | | | | 1.1 | | | | | 0.5 | 0.7 |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | 1 | Strojovna východ | | | | Strojovna západ | | | | | celkem |
| | | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | celkem | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | Trane 4 | celkem | |
| Produkce chladu | kWh | 40 900 | 332 400 | 0 | 373 300 | 0 | 0 | 250 900 | 207 800 | 458 700 | 832 000 |
| Spotřeba el. energie | kWh | 0 | 59 356 | 0 | 59 356 | 0 | 0 | 233 373 | 16 556 | 249 930 | 309 286 |
| Chladicí faktor | - | ##### | 5.6 | ##### | 6.3 | ##### | ##### | 1.1 | 12.6 | 1.8 | 2.7 |
| Spotřeba chladicích věží | kWh | 268 884 | 429 343 | 0 | 698 227 | 0 | 0 | 317 219 | 272 116 | 589 336 | 1 287 563 |
| Chladicí faktor (vč věží) | - | 0.2 | 0.7 | ##### | 0.5 | ##### | ##### | 0.5 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |
| Spotřeba oběhových čerpadel | kWh | | | | 243 635 | | | | | 577 922 | 821 557 |
| Chladicí faktor (vč. čerpadel) | - | | | | 0.5 | | | | | 0.5 | 0.3 |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | 2 | Strojovna východ | | | | Strojovna západ | | | | | celkem |
| | | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | celkem | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | Trane 4 | celkem | |
| Produkce chladu | kWh | 24 200 | 281 000 | 0 | 305 200 | 0 | 0 | 192 100 | 120 500 | 312 600 | 617 800 |
| Spotřeba el. energie | kWh | 0 | 58 | 0 | 58 | 0 | 0 | 211 031 | 3 137 | 214 168 | 214 226 |
| Chladicí faktor | - | ##### | 4878.5 | ##### | 5298.6 | ##### | ##### | 0.9 | 38.4 | 1.5 | 2.9 |
| Spotřeba chladicích věží | kWh | 0 | 404 429 | 0 | 404 429 | 0 | 0 | 307 908 | 250 439 | 558 347 | 962 776 |
| Chladicí faktor (vč věží) | - | ##### | 0.7 | ##### | 0.8 | ##### | ##### | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 0.5 |
| Spotřeba oběhových čerpadel | kWh | | | | 243 621 | | | | | 0 | 243 621 |
| Chladicí faktor (vč. čerpadel) | - | | | | 0.7 | | | | | 0.4 | 0.4 |

8.5.2 Průběhy teplot

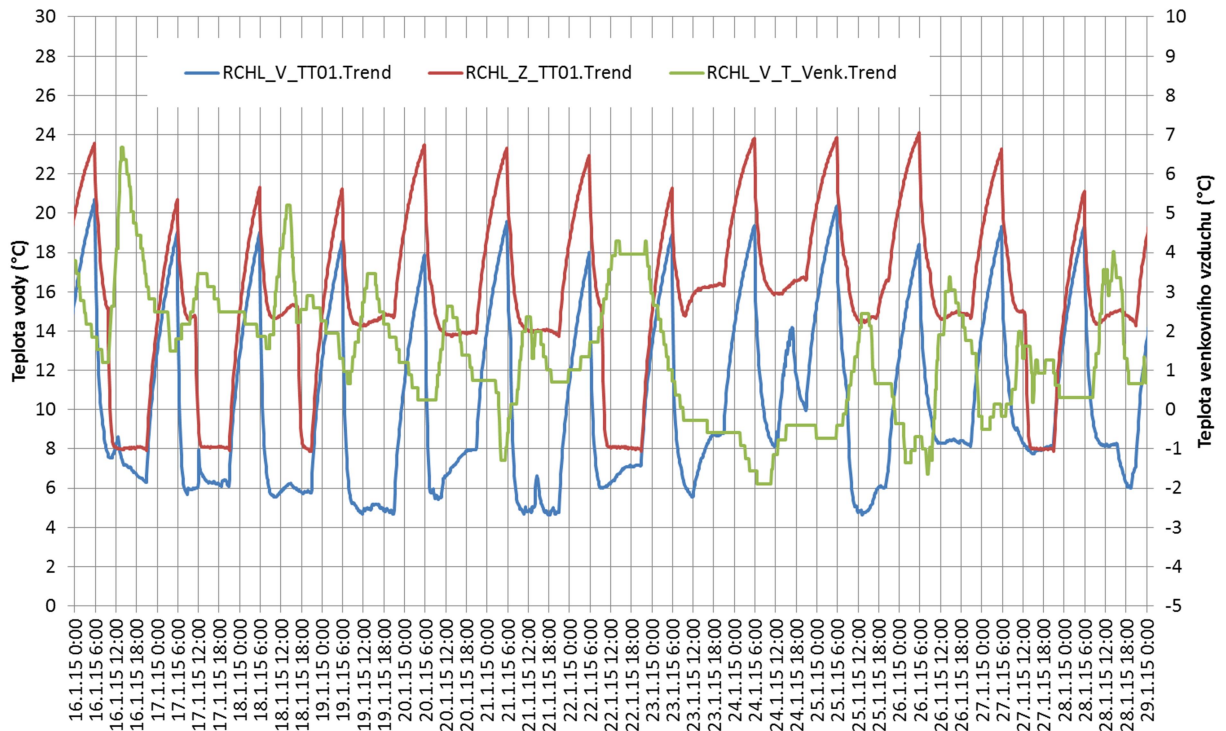
Z obdržených dat byly zpracovány teploty chladicí vody a venkovního vzduchu a dále také zaznamenávané teploty v pasážích. Teploty chladicí vody při provozu strojního chlazení se pro strojovnu východ pohybují kolem 5,5 °C a pro strojovnu západ kolem 7, 5 °C. Při provozu volného chlazení jsou teploty na východě mezi 5 a 10°C a na západě mezi 10 a 15 °C jak je patrné z následujícího obrázku číslo 33. V nočních hodinách potom stoupá teplota vody a blíží se k teplotě okolí.



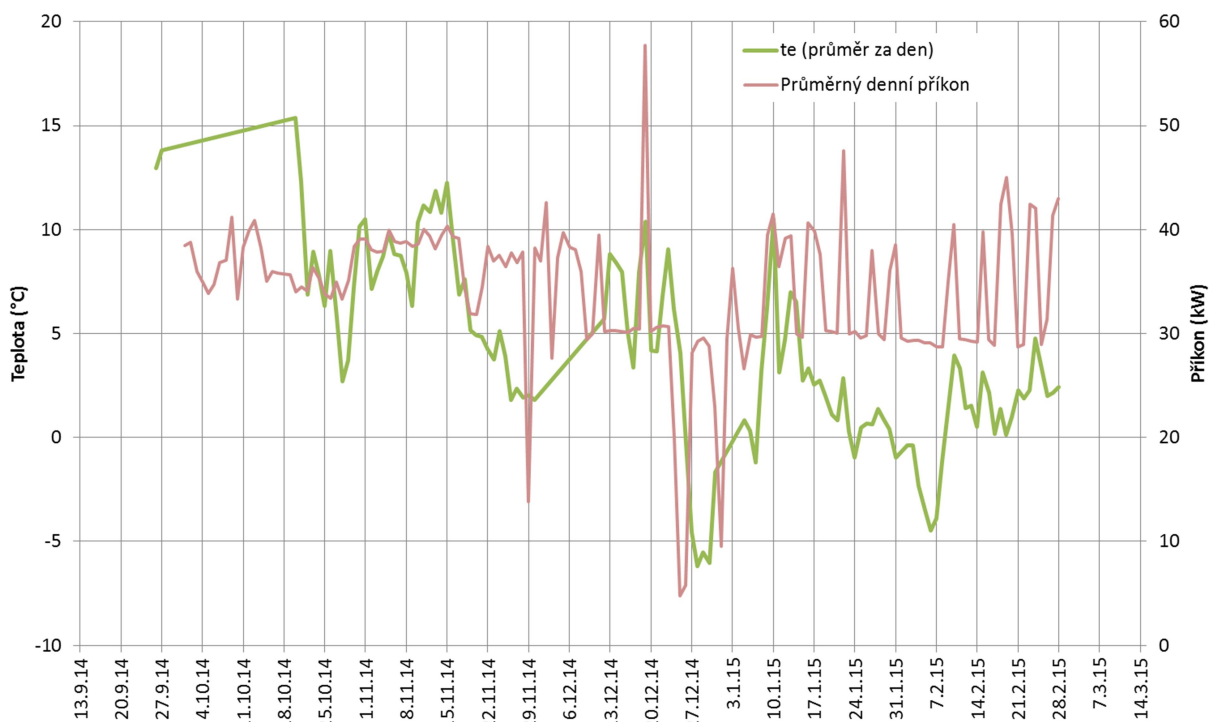
Obr. 33 Průběh teplot chlazené vody na rozdělovači strojovny východ (modrá) a západ (červená) po celé měřené období.

Tyto teploty potvrzuje i následující detailní průběh na obrázku 34 pro vybrané období doplněný o venkovní teplotu vzduchu. Závislost teploty vody na teplotě vzduchu není příliš výrazná.

Na obrázku 35 byl vyhodnocen průběh průměrného denního příkonu obou strojoven (průměr za 24 hodin) a průměrné venkovní teploty za 24 hodin. Z tohoto obrázku lze říci, že průměrný denní příkon v přechodovém období je ovlivněn teplotou vzduchu, ale závislost nemá jednoznačný charakter. To znamená, že průměrný denní příkon v přechodovém období je ovlivněn i dalšími významnými faktory.

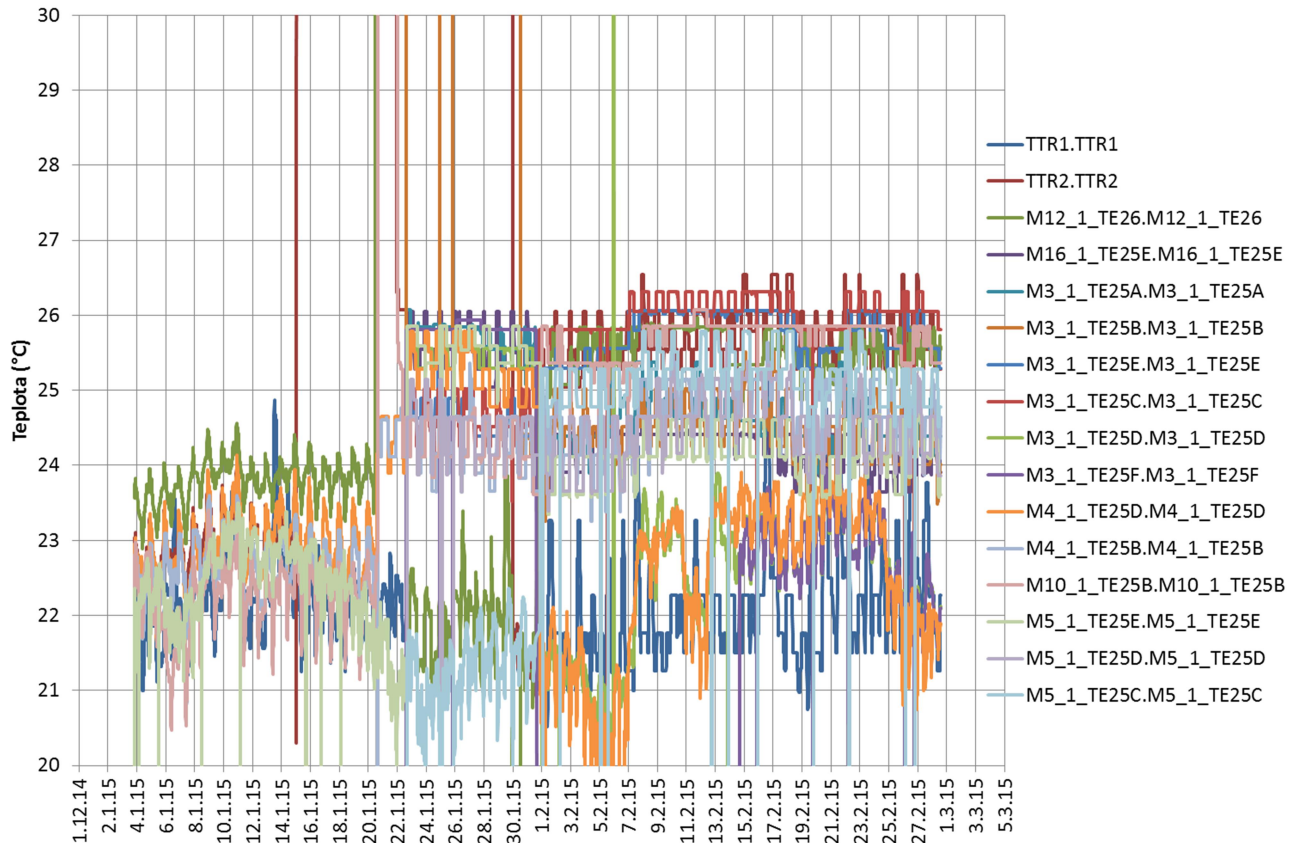


Obr. 34 Průběh teplot chlazené vody na rozdělovači strojovny východ (modrá) a západ (červená) a teploty venkovního vzduchu (zelená)



Obr. 35 Průběh průměrných hodnot teplot venkovního vzduchu a příkonu obou strojoven chlazení za celé období

V tomto období byly obdrženy a zpracovány také teploty v pasážích, jak je vidět na obrázku číslo 36. Do 22. 1. 2015 jsou zaznamenána pouze některá data a je patrná i skoková změna teplot po tomto datu. Z grafu je patrné, že občas hodnoty vyskočí na nesmyslné hodnoty. Pro další vyhodnocení nočního chlazení pasáží by bylo zapotřebí identifikovat čidla a také zpracovat další data v přechodovém a letním období.



Obr. 36 Průběh teplot vzduchu a konstrukcí v pasážích pro celé období.

8.6 Vyhodnocení naměřených hodnot za čtvrté období

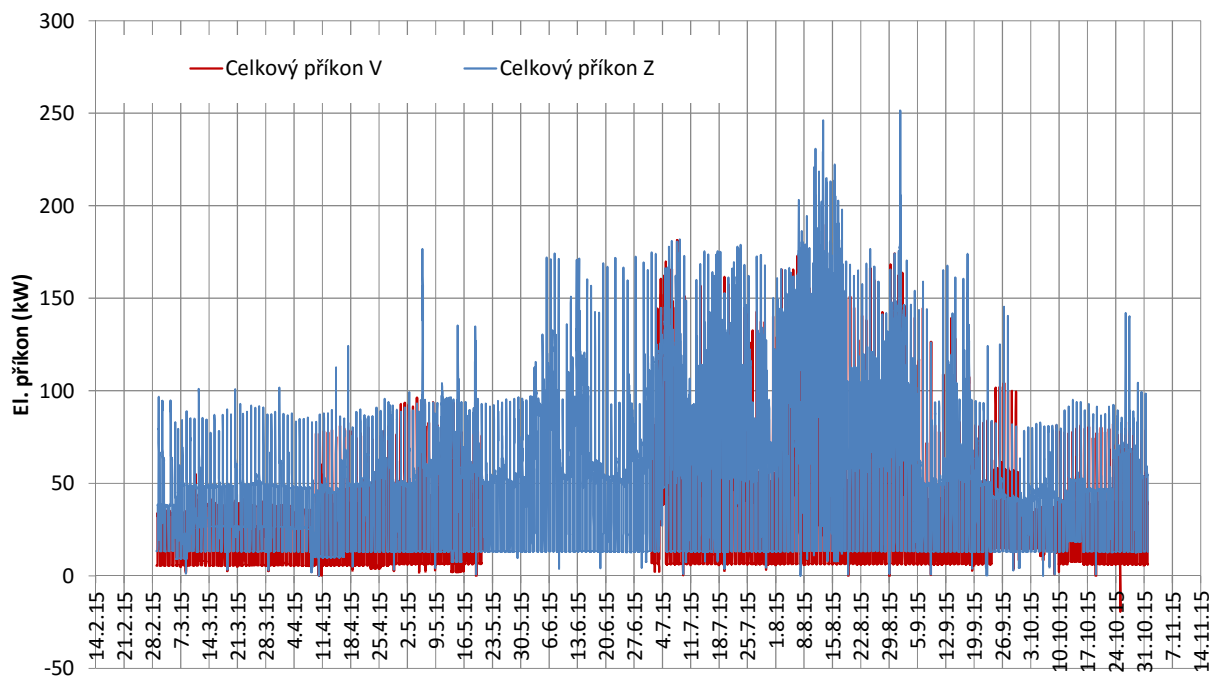
Ve sledovaném období je celková spotřeba elektrické energie obou strojoven 1772 MWh. Spotřeba strojovny východ je 38% a strojovny západ 62% z celkové hodnoty 1772 MWh.

V tabulce číslo 9 je možné vidět, že kompresory zdrojů chladu spotřebovaly celkem 54%, oběhová čerpadla a chladicí věže pro odvod kondenzačního tepla a přímé chlazení spotřebovaly 21% a oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody 24% z celkové hodnoty 1772 MWh.

Tab. 9 Tabulka spotřeb elektrické energie za čtvrté období

| Celkem od 01.03.2015 0:15 do 31.10.2015 22:45 | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------------|---------------|-------------|
| | Trane 1 V | Trane 2 V | Trane 3 V | | Celk. Trane V | Tower 1 V | Tower 2 V | Tower 3 V | | Celk. Tow. V | Sec. Čerpadla V | Mimo provoz V | Celkem |
| | MWh | MWh | MWh | | MWh | MWh | MWh | MWh | | MWh | MWh | MWh | MWh |
| | 243 | 94 | 3 | | 339,6 | 92,9 | 85,6 | 38,4 | | 216,9 | 124,4 | 60,50 | 680,9 |
| | 14% | 5% | 0% | | 19% | 5% | 5% | 2% | | 12% | 7% | 3% | 38% |
| | Trane 1 Z | Trane 2 Z | Trane 3 Z | Trane 4 Z | Celk. Trane Z | Tower 1 Z | Tower 2 Z | Tower 3 Z | Tower 4 Z | Celk. Tow. Z | Sec. Čerpadla Z | Mimo provoz Z | Celkem |
| | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh | MWh |
| | 430,8 | 133,2 | 48,9 | 11,6 | 624,5 | 92,3 | 38,1 | 18,3 | 12,9 | 161,6 | 305,6 | 150,3 | 1091,6 |
| | 24% | 8% | 3% | 1% | 35% | 5% | 2% | 1% | 1% | 9% | 17% | 8% | 62% |
| | | | | | 54% | | | | | 21% | 24% | 12% | 1772 |
| Měsíc | Trane 1 V | Trane 2 V | Trane 3 V | | Celk. Trane | Tower 1 V | Tower 2 V | Tower 3 V | | Celk. Tow. | Sec. Čerpadla V | Mimo provoz V | Celkem |
| 3 | 0,0 | 0,6 | 1,1 | | 1,7 | 0,00 | 27,29 | 23,82 | | 51,1 | 17,06 | 8,66 | 69,9 |
| 4 | 29,1 | 1,5 | 0,0 | | 30,7 | 8,72 | 8,54 | 5,62 | | 22,9 | 16,65 | 8,45 | 70,2 |
| 5 | 21,4 | 10,3 | 0,0 | | 31,7 | 6,17 | 5,30 | 0,00 | | 11,5 | 11,98 | 6,31 | 55,1 |
| 6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,0 |
| 7 | 65,9 | 24,6 | 0,0 | | 90,5 | 22,46 | 12,60 | 0,18 | | 35,2 | 20,08 | 10,47 | 145,8 |
| 8 | 60,4 | 41,3 | 0,1 | | 101,7 | 21,43 | 23,05 | 2,12 | | 46,6 | 20,30 | 10,47 | 168,6 |
| 9 | 35,4 | 15,1 | 0,3 | | 50,8 | 17,53 | 8,81 | 0,65 | | 27,0 | 19,27 | 9,90 | 97,1 |
| 10 | 30,4 | 0,1 | 2,0 | | 32,5 | 16,61 | 0,03 | 5,99 | | 22,6 | 19,08 | 9,64 | 74,2 |
| | Trane 1 Z | Trane 2 Z | Trane 3 Z | Trane 4 Z | Celk. Trane Z | Tower 1 Z | Tower 2 Z | Tower 3 Z | Tower 4 Z | Celk. Tow. Z | Sec. Čerpadla Z | Mimo provoz Z | Celkem |
| 3 | 33,8 | 0,0 | 5,2 | 5,2 | 44,2 | 8,2 | 0,0 | 3,5 | 9,1 | 20,8 | 38,6 | 19,4 | 103,6 |
| 4 | 49,1 | 0,7 | 0,0 | 0,6 | 50,4 | 11,7 | 0,1 | 0,0 | 1,5 | 13,4 | 35,9 | 18,1 | 99,6 |
| 5 | 58,7 | 2,8 | 2,3 | 4,1 | 67,8 | 11,8 | 0,7 | 0,5 | 1,3 | 14,3 | 38,7 | 20,0 | 120,8 |
| 6 | 57,4 | 22,9 | 0,2 | 0,2 | 80,7 | 12,4 | 6,5 | 0,0 | 0,0 | 19,0 | 38,1 | 19,4 | 137,8 |
| 7 | 72,4 | 44,4 | 2,8 | 0,2 | 119,9 | 17,3 | 13,3 | 0,8 | 0,0 | 31,4 | 39,1 | 20,0 | 190,5 |
| 8 | 69,1 | 51,7 | 20,3 | 0,2 | 141,4 | 16,7 | 14,0 | 6,5 | 0,0 | 37,2 | 39,5 | 19,9 | 218,1 |
| 9 | 55,9 | 10,4 | 0,2 | 0,2 | 66,7 | 9,2 | 2,9 | 0,0 | 0,0 | 12,1 | 37,1 | 19,1 | 116,0 |
| 10 | 34,5 | 0,2 | 17,8 | 0,9 | 53,3 | 4,9 | 0,5 | 7,0 | 0,9 | 13,4 | 38,6 | 19,4 | 105,3 |

Spotřeby elektrické energie za jednotlivé měsíce ukazují, že spotřeby pro chlazení jsou vyšší v letních měsících, kdy byly vysoké teploty venkovního vzduchu. Naopak nižší spotřeby jsou v přechodovém období na jaře a na podzim, kdy byly naopak teploty vzduchu nižší.



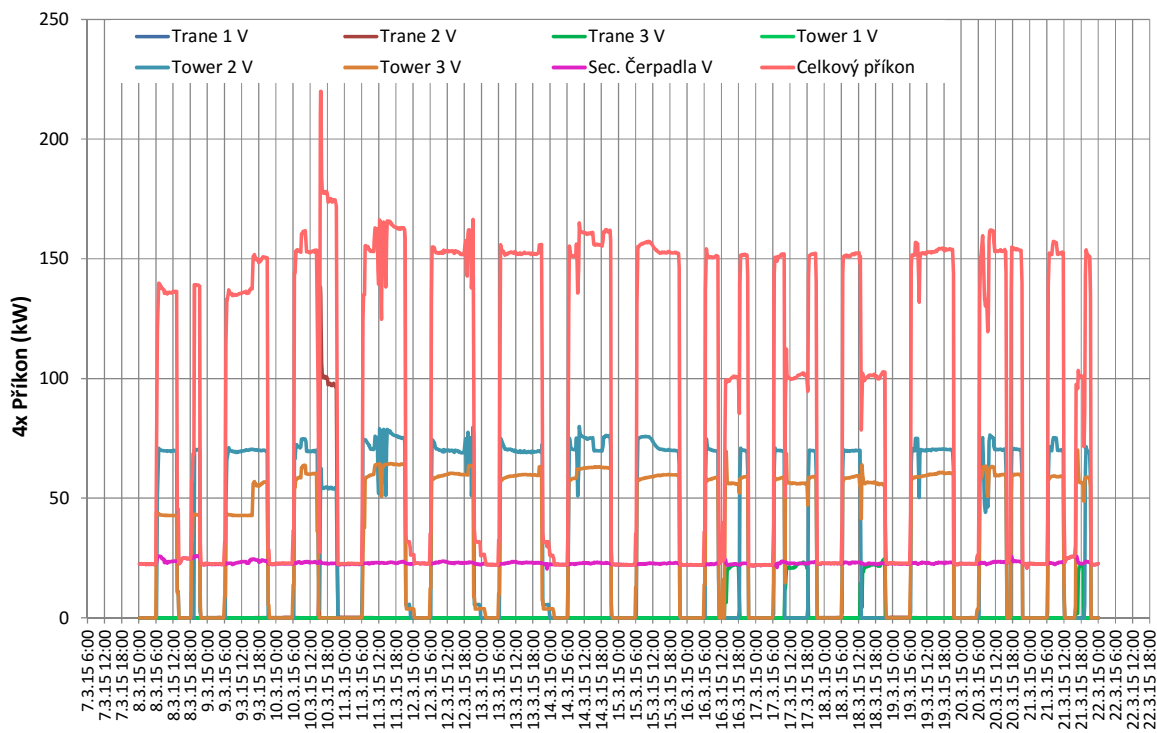
Obr. 37 Graf spotřeby za čtvrté období

Z obrázku číslo 37 je možné odečíst, že maximální elektrické příkony strojovny chladu západ byly cca 250 kW a nastávaly v letních obdobích. Strojovna východ měla spotřebu opět nižší a maxima zde dosahovaly cca 170 kW.

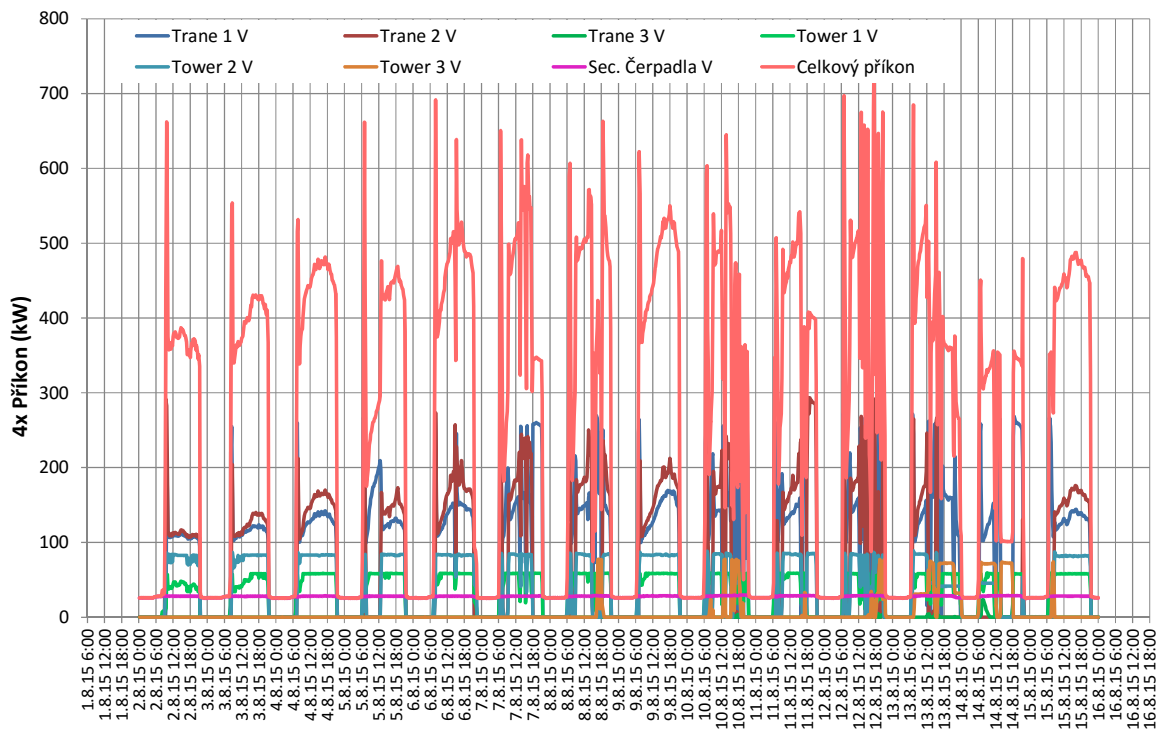
Ve sledovaném období opět docházelo k přepínání zdrojů chladu. Ve strojovně východ byly v provozu pouze zdroje Trane 1 a Trane 2 jak můžeme vidět na obrázcích číslo 38 a 39. Na obrázku číslo 38 je zobrazen průběh spotřeby energie za měsíc březen. Z tohoto grafu můžeme zaznamenat dny, kdy bylo ve strojovně východ v provozu volné chlazení s pomocí chladicích věží. Při volném chlazení se celkové čtvrt hodinové příkony pohybují kolem 150 kW a nedochází k ranním náběhovým špičkám, jako u strojovny západ, kde celkový čtvrt hodinový příkon v ranní náběhové špičce dosahuje až 400 kW. Z grafu je dále patrné, že příkon strojovny východ je stále cca 40 kW, mimo 10. 03. 2015, kdy se ve 12:00 spustilo strojní chlazení a je patrná náběhová špička cca 55 kW. Z celkového příkonu 40 kW tvoří 5 kW sekundární oběhová čerpadla a 35 kW dvě chladicí věže s pomocnými čerpadly (vynesené hodnoty příkonů jsou stanoveny jako čtvrt hodinové a skutečný příkon je pak $\frac{1}{4}$).

V březnu už není markantní rozdíl mezi spotřebou chladicích věží 2 a 3, tak jako tomu bylo v zimním období.

Z grafu pro letní období (Obr. 39) je vidět, že příkon je vyšší než v přechodovém období. Z celkového příkonu cca 120 kW tvoří cca 5 kW sekundární oběhová čerpadla, 85 kW strojní chlazení a zbylých 30 kW chladicí věže s pomocnými čerpadly (vynesené hodnoty příkonů jsou stanoveny jako čtvrt hodinové a skutečný příkon je pak $\frac{1}{4}$).

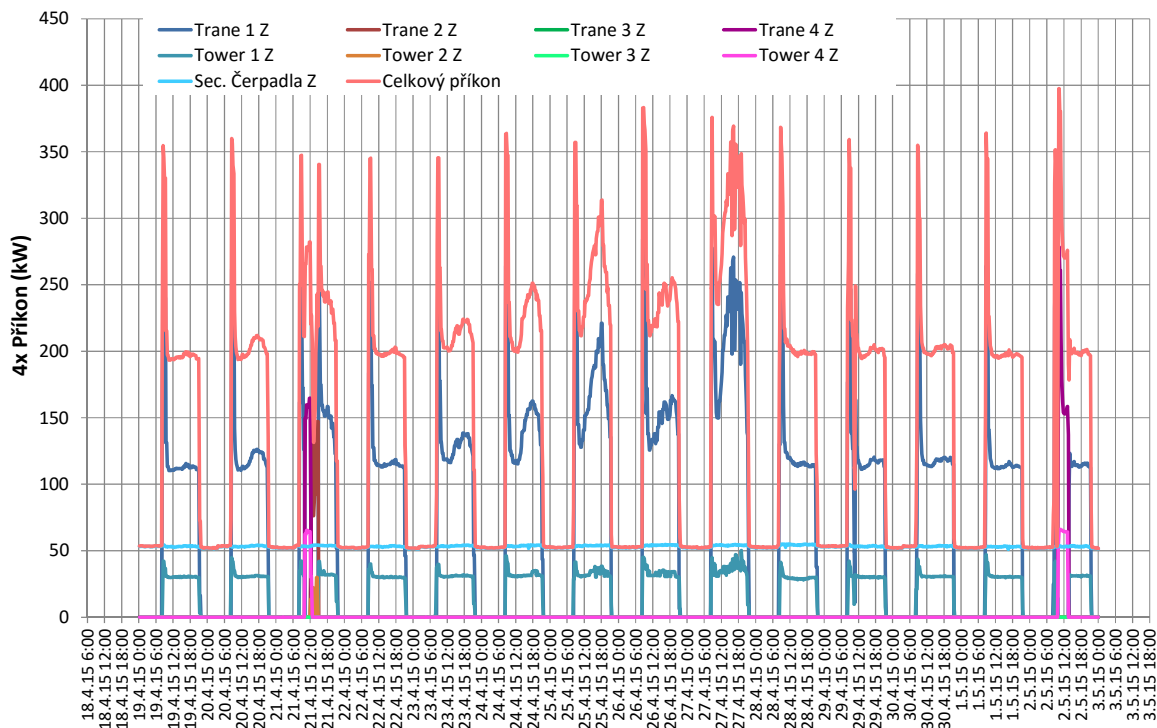


Obr. 38 Spotřeba elektrické energie od 8. 3. 2015 do 22. 3. 2015 strojovny východ

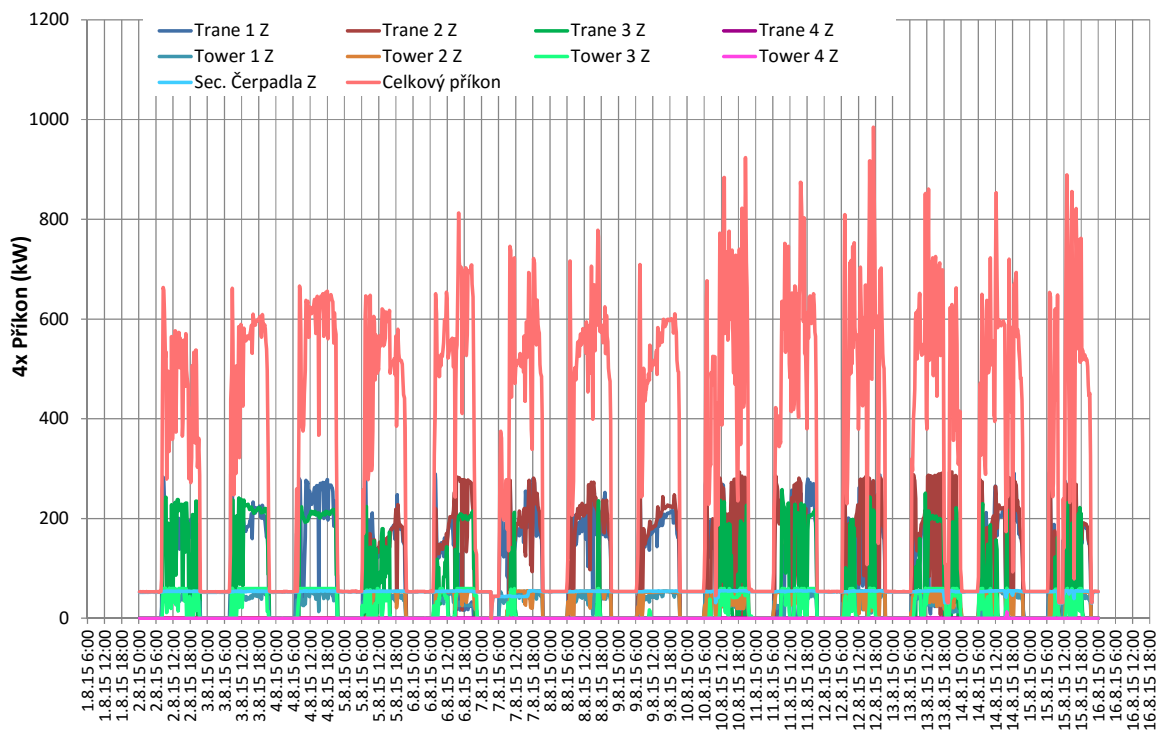


Obr. 39 Spotřeba elektrické energie od 2. 8. 2015 do 16. 8. 2015 strojovny východ

Z obrázků číslo 40 a 41 je možné vidět, že ve strojovně západ docházelo k přepínání zdrojů a za sledované období se prostrídaly všechny zdroje chladu. Nejvíce chladu vyrobily zdroje Trane 1 a Trane 2. Za toto období běželo ve strojovně západ pouze strojní chlazení. V přechodovém období (Obr. 40) je celkový příkon 50 kW z toho 13 kW tvoří sekundární čerpadla, 8 kW chladicí věže a 29 kW strojní chlazení. Při letním chlazení (Obr. 41) dosahují náběhové špičky až 1000 kW. Průměrný celkový příkon je pro letní období cca 160 kW z toho 13 kW tvoří sekundární čerpadla, 30 kW chladicí věže a 117 kW strojní chlazení.



Obr. 40 Spotřeba elektrické energie od 19. 4. 2015 do 3. 5. 2015 strojovny západ



Obr. 41 Spotřeba elektrické energie od 2. 8. 2015 do 16. 8. 2015 strojovny západ

8.6.1 Chladicí faktory zdrojů chladu

Pro jednotlivé měsíce byly z naměřených hodnot spotřeb a dodávky chladu stanoveny chladicí faktory. Vzhledem k tomu, že docházelo opět k přepínání zdrojů, je často hodnota příkonu zdroje za daný měsíc rovna nule a chladicí faktor nelze stanovit (v tabulce křížky). V tabulce je produkce chladu spočítána jako součet chladu v režimu volného chlazení s chladem dodaným z režimu kompresorového chlazení. Vyhodnocené chladicího faktory zdroje chladu pak mohou při vysokém podílu volného chlazení dosahovat extrémně vysokých hodnot. Celkové chladicí faktory se zahrnutím příkonu chladicích věží jsou opět velmi nízké a to z již zmíněné chyby v měření kalorimetrů při nízkých teplotních rozdílech.

| | 3 | Strojovna východ | | | | Srojovan západ | | | | | celkem |
|--------------------------------|-----|------------------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | celkem | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | Trane 4 | celkem | |
| Produkce chladu | kWh | 20 417 | 76 694 | 17 111 | 114 222 | 0 | 83 | 30 417 | 46 250 | 109 920 | 224 142 |
| Spotřeba el. energie | kWh | 0 | 638 | 1 059 | 1 697 | 33 755 | 0 | 5 247 | 5 158 | 44 159 | 45 857 |
| Chladicí faktor | - | ##### | 120,2 | 16,2 | 67,3 | 0,0 | ##### | 5,8 | 9,0 | 2,5 | 4,9 |
| Spotřeba chladicích věží | kWh | 0 | 27 286 | 23 818 | 51 104 | 8 228 | 0 | 3 532 | 9 061 | 20 822 | 71 926 |
| Chladicí faktor (vč věží) | - | ##### | 2,7 | 0,7 | 2,2 | 0,0 | ##### | 3,5 | 3,3 | 1,7 | 1,9 |
| Spotřeba oběhových čerpadel | kWh | | | | 17 055 | | | | | 38 578 | 55 633 |
| Chladicí faktor (vč. čerpadel) | - | | | | 1,6 | | | | | 1,1 | 1,3 |

| | 4 | Strojovna východ | | | | Srojovan západ | | | | | celkem |
|--------------------------------|-----|------------------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | celkem | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | Trane 4 | celkem | |
| Produkce chladu | kWh | 131 611 | 29 389 | 1 417 | 162 417 | 196 750 | 2 306 | 833 | 8 639 | 208 528 | 370 944 |
| Spotřeba el. energie | kWh | 29 128 | 1 508 | 19 | 30 655 | 49 068 | 731 | 0 | 551 | 50 351 | 81 006 |
| Chladicí faktor | - | 4,5 | 19,5 | 75,1 | 5,3 | 4,0 | 3,2 | ##### | 15,7 | 4,1 | 4,6 |
| Spotřeba chladicích věží | kWh | 8 720 | 8 535 | 5 619 | 22 874 | 11 682 | 145 | 0 | 1 529 | 13 356 | 36 229 |
| Chladicí faktor (vč věží) | - | 3,5 | 2,9 | 0,3 | 3,0 | 3,2 | 2,6 | ##### | 4,2 | 3,3 | 3,2 |
| Spotřeba oběhových čerpadel | kWh | | | | 16 654 | | | | | 35 870 | 52 524 |
| Chladicí faktor (vč. čerpadel) | - | | | | 2,3 | | | | | 2,1 | 2,2 |

| | 5 | Strojovna východ | | | | Srojovan západ | | | | | celkem |
|--------------------------------|-----|------------------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | celkem | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | Trane 4 | celkem | |
| Produkce chladu | kWh | 193 667 | 55 222 | 0 | 248 889 | 331 417 | 16 278 | 7 889 | 14 972 | 370 556 | 619 444 |
| Spotřeba el. energie | kWh | 21 402 | 10 257 | 0 | 31 659 | 58 672 | 2 798 | 2 279 | 4 080 | 67 829 | 99 488 |
| Chladicí faktor | - | 9,0 | 5,4 | ##### | 7,9 | 5,6 | 5,8 | 3,5 | 3,7 | 5,5 | 6,2 |
| Spotřeba chladicích věží | kWh | 6 172 | 5 305 | 0 | 11 477 | 11 757 | 651 | 544 | 1 307 | 14 259 | 25 736 |
| Chladicí faktor (vč věží) | - | 7,0 | 3,5 | ##### | 5,8 | 4,7 | 4,7 | 2,8 | 2,8 | 4,5 | 4,9 |
| Spotřeba oběhových čerpadel | kWh | | | | 11 977 | | | | | 38 698 | 50 674 |
| Chladicí faktor (vč. čerpadel) | - | | | | 4,5 | | | | | 3,1 | 3,5 |

| | 6 | Strojovna východ | | | | Srojovan západ | | | | | celkem |
|--------------------------------|-----|------------------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | celkem | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | Trane 4 | celkem | |
| Produkce chladu | kWh | 294 417 | 111 | 0 | 294 528 | 331 417 | 16 278 | 7 889 | 14 972 | 370 556 | 665 083 |
| Spotřeba el. energie | kWh | 0 | 0 | 0 | 0 | 57 443 | 22 862 | 216 | 218 | 80 739 | 80 739 |
| Chladicí faktor | - | ##### | ##### | ##### | ##### | 5,8 | 0,7 | 36,6 | 68,7 | 4,6 | 8,2 |
| Spotřeba chladicích věží | kWh | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 405 | 6 535 | 0 | 26 | 18 966 | 18 966 |
| Chladicí faktor (vč věží) | - | ##### | ##### | ##### | ##### | 4,7 | 0,6 | 36,6 | 61,4 | 3,7 | 6,7 |
| Spotřeba oběhových čerpadel | kWh | | | | 0 | | | | | 38 053 | 38 053 |
| Chladicí faktor (vč. čerpadel) | - | | | | ##### | | | | | 2,7 | 4,8 |

| | 7 | Strojovna východ | | | | Srojovan západ | | | | | celkem |
|--------------------------------|-----|------------------|------------|--------------|----------------|----------------|------------|------------|------------|----------------|------------------|
| | | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | celkem | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | Trane 4 | celkem | |
| Produkce chladu | kWh | 384 611 | 117 639 | 1 500 | 503 750 | 402 861 | 248 667 | 7 083 | 194 | 658 806 | 1 162 556 |
| Spotřeba el. energie | kWh | 65 882 | 24 642 | 3 | 90 528 | 72 407 | 44 419 | 2 826 | 237 | 119 889 | 210 417 |
| Chladicí faktor | - | 5,8 | 4,8 | 504,2 | 5,6 | 5,6 | 2,5 | 0,8 | 5,5 | 5,5 | |
| Spotřeba chladicích věží | kWh | 22 462 | 12 601 | 181 | 35 244 | 17 311 | 13 277 | 819 | 27 | 31 434 | 66 678 |
| Chladicí faktor (vč věží) | - | 4,4 | 3,2 | 8,2 | 4,0 | 4,5 | 4,3 | 1,9 | 0,7 | 4,4 | 4,2 |
| Spotřeba oběhových čerpadel | kWh | | | | 20 076 | | | | | 39 137 | 59 213 |
| Chladicí faktor (vč. čerpadel) | - | | | | 3,5 | | | | | 3,5 | 3,5 |

| | 8 | Strojovna východ | | | | Srojovan západ | | | | | celkem |
|--------------------------------|-----|------------------|------------|--------------|----------------|----------------|------------|------------|------------|----------------|------------------|
| | | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | celkem | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | Trane 4 | celkem | |
| Produkce chladu | kWh | 341 389 | 188 472 | 22 806 | 552 667 | 376 444 | 262 361 | 62 194 | 278 | 701 278 | 1 253 944 |
| Spotřeba el. energie | kWh | 60 413 | 41 254 | 77 | 101 744 | 69 126 | 51 733 | 20 337 | 223 | 141 419 | 243 164 |
| Chladicí faktor | - | 5,7 | 4,6 | 294,7 | 5,4 | 5,4 | 5,1 | 3,1 | 1,2 | 5,0 | 5,2 |
| Spotřeba chladicích věží | kWh | 21 429 | 23 048 | 2 119 | 46 596 | 16 734 | 14 027 | 6 455 | 24 | 37 240 | 83 836 |
| Chladicí faktor (vč věží) | - | 4,2 | 2,9 | 10,4 | 3,7 | 4,4 | 4,0 | 2,3 | 1,1 | 3,9 | 3,8 |
| Spotřeba oběhových čerpadel | kWh | | | | 20 296 | | | | | 39 474 | 59 770 |
| Chladicí faktor (vč. čerpadel) | - | | | | 3,3 | | | | | 3,2 | 3,2 |

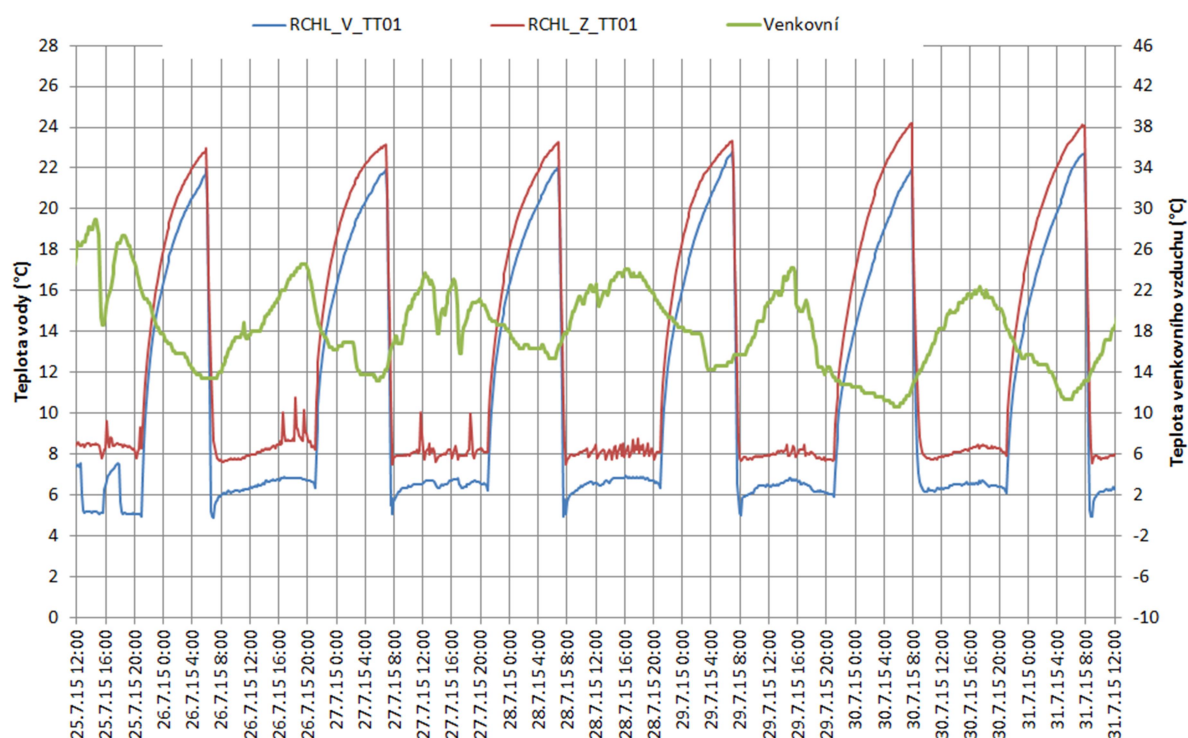
| | 9 | Strojovna východ | | | | Srojovan západ | | | | | celkem |
|--------------------------------|-----|------------------|------------|------------|----------------|----------------|------------|------------|------------|----------------|----------------|
| | | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | celkem | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | Trane 4 | celkem | |
| Produkce chladu | kWh | 195 917 | 75 889 | 1 222 | 273 028 | 304 250 | 68 222 | 1 528 | 83 | 374 083 | 647 111 |
| Spotřeba el. energie | kWh | 35 381 | 15 112 | 310 | 50 803 | 55 869 | 10 447 | 216 | 216 | 66 747 | 117 551 |
| Chladicí faktor | - | 5,5 | 5,0 | 3,9 | 5,4 | 5,4 | 6,5 | 7,1 | 0,4 | 5,6 | 5,5 |
| Spotřeba chladicích věží | kWh | 17 527 | 8 808 | 653 | 26 989 | 9 215 | 2 923 | 0 | 0 | 12 139 | 39 128 |
| Chladicí faktor (vč věží) | - | 3,7 | 3,2 | 1,3 | 3,5 | 4,7 | 5,1 | 7,1 | 0,4 | 4,7 | 4,1 |
| Spotřeba oběhových čerpadel | kWh | | | | 19 271 | | | | | 37 129 | 56 400 |
| Chladicí faktor (vč. čerpadel) | - | | | | 2,8 | | | | | 3,2 | 3,0 |

| | 10 | Strojovna východ | | | | Srojovan západ | | | | | celkem |
|--------------------------------|-----|------------------|------------|-------------|----------------|----------------|------------|------------|------------|----------------|----------------|
| | | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | celkem | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | Trane 4 | celkem | |
| Produkce chladu | kWh | 119 389 | 500 | 58 833 | 178 722 | 167 889 | 1 139 | 63 500 | 3 056 | 235 583 | 414 306 |
| Spotřeba el. energie | kWh | 30 382 | 146 | 1 965 | 32 493 | 34 501 | 176 | 17 759 | 913 | 53 350 | 85 843 |
| Chladicí faktor | - | 3,9 | 3,4 | 29,9 | 5,5 | 4,9 | 6,5 | 3,6 | 3,3 | 4,4 | 4,8 |
| Spotřeba chladicích věží | kWh | 16 607 | 30 | 5 986 | 22 622 | 4 924 | 542 | 6 983 | 910 | 13 359 | 35 981 |
| Chladicí faktor (vč věží) | - | 2,5 | 2,8 | 7,4 | 3,2 | 4,3 | 1,6 | 2,6 | 1,7 | 3,5 | 3,4 |
| Spotřeba oběhových čerpadel | kWh | | | | ##### | | | | | 38 614 | ##### |
| Chladicí faktor (vč. čerpadel) | - | | | | 0,0 | | | | | 2,2 | 0,0 |

Velice zajímavá je nulová produkce chladu při celkem vysoké spotřebě elektrické energie v měsíci březnu ve strojovně západ. Tato skutečnost může být způsobena problémy s odečtem kalorimetrů. Podobný, ale zcela opačný problém nastává ve strojovně východ téhož měsíce, kdy byla naměřena nulová spotřeba elektrické energie při produkci chladu 20 417 kWh. V některých případech si můžeme také všimnout velmi vysokých chladicích faktorů mimo zimní období. Například v měsíci červnu je produkce chladu pro jednotku Trane 3 14 972 kWh při spotřebě elektrické energie 218 kWh. Již z grafů je patrné, že koncem května a v měsíci červnu došlo k výpadku elektroměrů ve strojovně východ.

8.6.2 Průběhy teplot

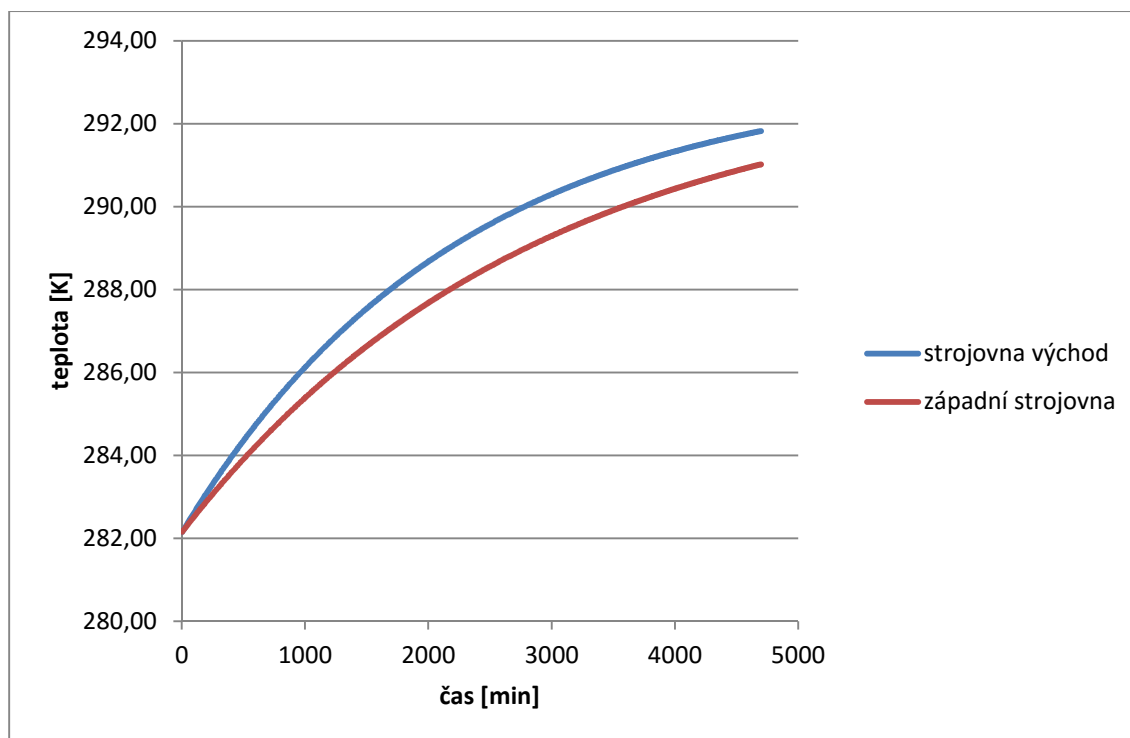
V tomto období bylo možné opět zpracovat teploty chladicí vody a venkovního vzduchu. Data byla obdržena od měsíce dubna, kdy už nebyl v provozu freecooling. Z těchto hodnot jsou nejzajímavější průběhy teplot za letní období, které jsou pouze do konce června z důvodu výpadku měření za měsíc srpen. Na obrázku číslo 42 je možné vidět průběh teplot, ze kterého je možné odečíst teploty chladicí vody při provozu strojního chlazení. Pro strojovnu východ se pohybují kolem 6 °C a pro strojovnu západ kolem 8 °C. V nočních hodinách potom stoupá teplota vody a blíží se k teplotě okolí.



Obr. 42 Průběh teplot chlazené vody na rozdělovači strojovny východ (modrá) a západ (červená) a teploty venkovního vzduchu (zelená)

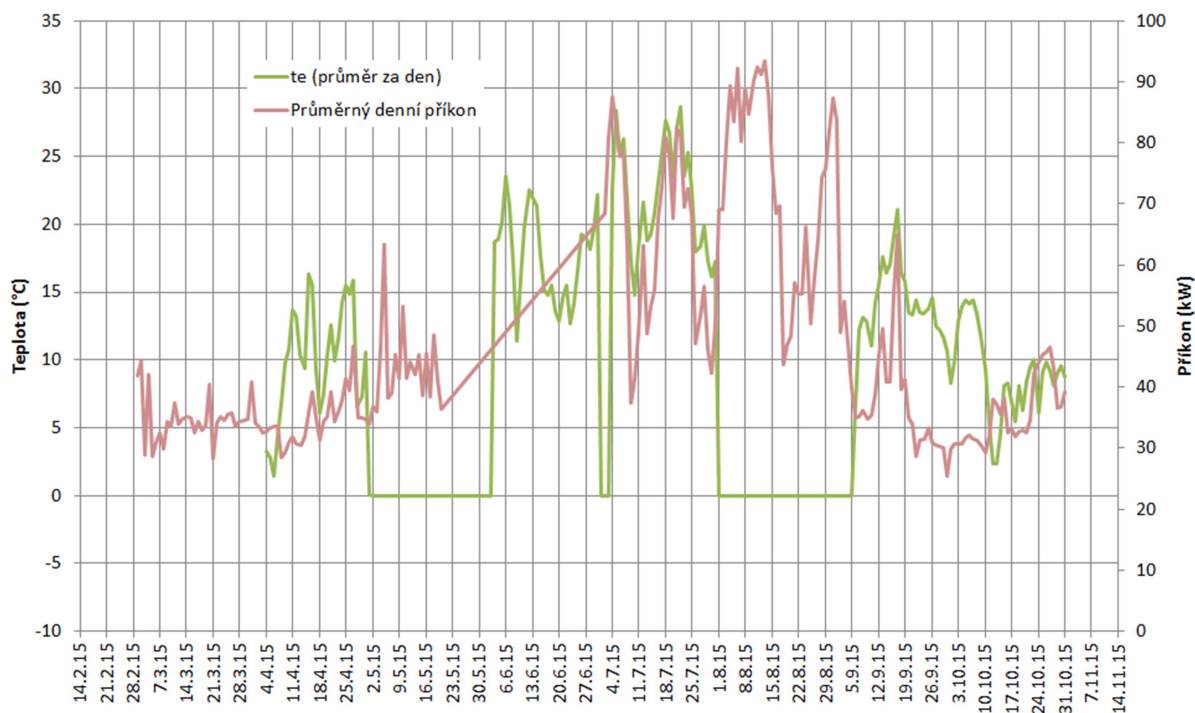
Ve své bakalářské práci jsem spočítal teoretické ohřátí vody po vypnutí jednotek Trane za stavu, kdy voda v potrubí neproudí. K tomuto výpočtu jsem tedy použil součinitel přestupu tepla pro stojící vodu v kruhovém potrubí, povrch potrubí, objem vody v potrubí, teplotu okolí a postupně měnící se teplotu vody. Z obrázku 42 a 43 je patrné, že charakter křivek ohřátí vody v potrubí je podobný jako reálný, ale doba ohřevu je v reálném provozu daleko rychlejší, než tomu je v teoretickém výpočtu. Z tohoto grafu lze pak odečíst, že voda by se za dobu, kdy jsou jednotky Trane mimo provoz (cca 11 hodin) ohřála přibližně na 12 °C. Z obrázku číslo 42 ale vidíme, že teplota vody se za dobu 11 hodin ohřeje přibližně na

teplotu okolí. Tato skutečnost může nastat díky tomu, že v teoretickém výpočtu není zahrnut součinitel přestupu tepla při proudění vody, ke kterému v reálném provozu dochází, ale také k předávání tepla do systému od oběhových čerpadel, která jsou v provozu 24 hodin. Při vypnutí oběhových čerpadel se bude doba ohřátí vody blížit teoretickému průběhu. Z této úvahy lze konstatovat, že je možné ušetřit elektrickou energii při ranních náběhových špičkách, kdyby se voda nemusela chladit na provozní teplotu z teploty 26 °C.



Obr. 43 Průběh teploty v potrubí po vypnutí jednotek Trane [10]

Na obrázku 44 byl vyhodnocen průběh průměrného denního příkonu obou strojoven (průměr za 24 hodin) a průměrné venkovní teploty za 24 hodin. Je patrné, že opět docházelo k výpadkům měření jak na straně teplot, tak na straně příkonů. Z tohoto obrázku lze říci, že průměrný denní příkon v letním období je značně ovlivněn teplotou vzduchu a je přímo závislý na teplotě okolí.



Obr. 44 Průběh průměrných hodnot teplot venkovního vzduchu a příkonu obou strojoven chlazení za celé období

8.7 Souhrn spotřeb energie za celé měřené období

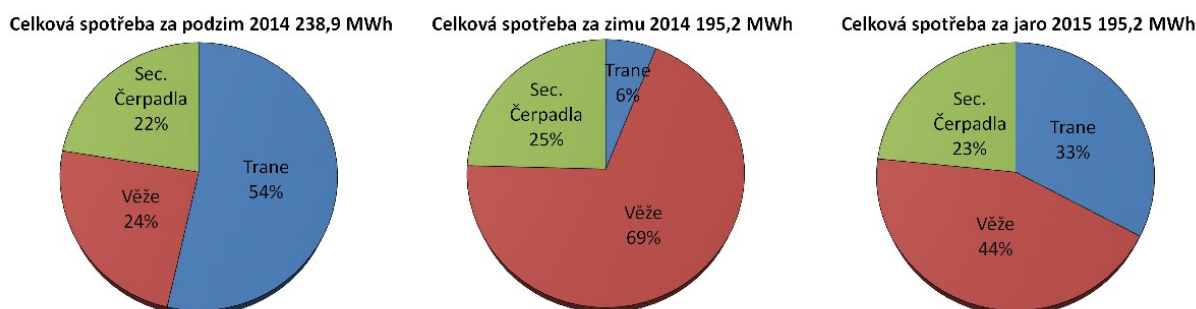
Pro lepší názornost byly celkové spotřeby elektrické energie zpracovány do tabulky, ale také do koláčových grafů. V následující tabulce číslo 9 můžeme vidět měsíční spotřeby energie pro jednotlivá zařízení. Dále jsou v tabulce celkové spotřeby kompresorového chlazení (Celkem Trane), oběhových čerpadel společně s chladicími věžemi pro odvod kondenzačního tepla (Celkem Tower), sekundární čerpadla pro rozvod vody po budově (Sekundární Čerpadla) a celková spotřeba za daný měsíc (Celkem). Mimo jiné je v tabulce sloupec označený jako „Mimo provoz“, ve kterém můžeme najít možné měsíční úspory elektrické energie, pokud by byla přes noc vypnutá sekundární oběhová čerpadla.

Tab. 9 Měsíční spotřeby energie strojovny východ

| Východ | Měsíc | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | Celkem | Tower 1 | Tower 2 | Tower 3 | Celkem | Sekundárn | Mimo | Celkem |
|-------------|-------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|------------|---------|--------|
| | | [MWh] | [MWh] | [MWh] | Trane | [MWh] | [MWh] | [MWh] | [MWh] | í Čerpadla | provvoz | [MWh] |
| Jaro 2014 | 4 | 34,11 | 0,62 | 0,50 | 35,23 | 2,19 | 0,26 | 10,30 | 12,74 | 18,88 | 9,67 | 66,85 |
| | 5 | 39,00 | 0,06 | 0,31 | 39,36 | 1,46 | 0,00 | 12,33 | 13,79 | 19,19 | 9,85 | 72,35 |
| Léto 2014 | 6 | 40,59 | 13,15 | 0,01 | 53,75 | 0,10 | 6,71 | 12,56 | 19,36 | 19,34 | 10,04 | 92,45 |
| | 7 | 41,91 | 28,76 | 0,00 | 70,7 | 0,33 | 12,87 | 12,47 | 25,7 | 18,96 | 10,08 | 115,3 |
| Podzim 2014 | 8 | 49,01 | 1,80 | 0,04 | 50,8 | 0,31 | 0,72 | 15,50 | 16,5 | 18,68 | 9,87 | 86,1 |
| | 9 | 26,40 | 22,20 | 0,00 | 48,6 | 0,00 | 11,83 | 8,55 | 20,4 | 17,60 | 9,88 | 86,6 |
| Zima 2014 | 10 | 21,1 | 20,4 | 0,02 | 41,5 | 0,09 | 11,18 | 6,66 | 17,9 | 18,52 | 9,57 | 77,9 |
| | 11 | 5,2 | 32,7 | 0 | 37,9 | 0,01 | 17,34 | 1,68 | 19,0 | 17,50 | 8,84 | 74,4 |
| Jaro 2015 | 12 | 0 | 7,0 | 0,74 | 7,7 | 0,01 | 22,29 | 17,88 | 40,2 | 15,82 | 8,03 | 63,7 |
| | 1 | 0 | 4,1 | 0 | 4,1 | 0,00 | 29,77 | 18,64 | 48,4 | 16,93 | 8,54 | 69,5 |
| Léto 2015 | 2 | 0 | 0,0 | 0 | 0,0 | 0,00 | 28,06 | 18,72 | 46,8 | 15,25 | 7,74 | 62,0 |
| | 3 | 0,0 | 0,6 | 1,1 | 1,7 | 0,00 | 27,29 | 23,82 | 51,1 | 17,06 | 8,66 | 69,9 |
| Podzim 2015 | 4 | 29,1 | 1,5 | 0,0 | 30,7 | 8,72 | 8,54 | 5,62 | 22,9 | 16,65 | 8,45 | 70,2 |
| | 5 | 21,4 | 10,3 | 0,0 | 31,7 | 6,17 | 5,30 | 0,00 | 11,5 | 11,98 | 6,31 | 55,1 |
| Léto 2015 | 6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,0 | 0,00 | 0,00 | 0,0 |
| | 7 | 65,9 | 24,6 | 0,0 | 90,5 | 22,46 | 12,60 | 0,18 | 35,2 | 20,08 | 10,47 | 145,8 |
| Podzim 2015 | 8 | 60,4 | 41,3 | 0,1 | 101,7 | 21,43 | 23,05 | 2,12 | 46,6 | 20,30 | 10,47 | 168,6 |
| | 9 | 35,4 | 15,1 | 0,3 | 50,8 | 17,53 | 8,81 | 0,65 | 27,0 | 19,27 | 9,90 | 97,1 |
| 10 | 30,4 | 0,1 | 2,0 | 32,5 | 16,61 | 0,03 | 5,99 | 22,6 | 19,08 | 9,64 | 74,2 | |
| Západ | Měsíc | Trane 1 | Trane 2 | Trane 3 | Celkem | Tower 1 | Tower 2 | Tower 3 | Celkem | Sekundárn | Mimo | Celkem |
| Jaro 2014 | 4 | 13,17 | 41,23 | 0,47 | 55,69 | 3,49 | 9,85 | 0,10 | 0,61 | 0,00 | 14,06 | 113,58 |
| | 5 | 40,71 | 15,02 | 0,22 | 55,95 | 10,90 | 3,40 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 14,31 | 115,72 |
| Léto 2014 | 6 | 50,96 | 24,81 | 0,40 | 77,95 | 13,66 | 5,54 | 0,07 | 1,01 | 0,00 | 20,27 | 141,81 |
| | 7 | 70,66 | 10,28 | 27,20 | 108,6 | 19,37 | 2,58 | 9,10 | 0,1 | 0,1 | 31,1 | 182,1 |
| Podzim 2014 | 8 | 63,92 | 0,00 | 5,92 | 71,4 | 17,41 | 0,00 | 2,00 | 0,7 | 0,0 | 20,1 | 134,2 |
| | 9 | 63,25 | 0,07 | 0,22 | 63,7 | 17,03 | 0,02 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 17,0 | 117,7 |
| Zima 2014 | 10 | 47,0 | 0,1 | 2,3 | 52,6 | 12,4 | 0 | 1,1 | 1,9 | 1,9 | 15,4 | 107,8 |
| | 11 | 0 | 0 | 0,2 | 44,5 | 0 | 0 | 0,0 | 0,0 | 24,7 | 24,7 | 106,4 |
| Jaro 2015 | 12 | 0 | 0 | 5,0 | 15,3 | 0 | 0 | 15,4 | 22,5 | 22,5 | 37,9 | 91,9 |
| | 1 | 0 | 0 | 16,2 | 17,4 | 0 | 0 | 22,0 | 18,9 | 18,9 | 40,2 | 98,4 |
| Léto 2015 | 2 | 0 | 0 | 14,6 | 14,9 | 0 | 0 | 21,4 | 17,4 | 17,4 | 38,7 | 90,0 |
| | 3 | 33,8 | 0,0 | 5,2 | 44,2 | 8,2 | 0,0 | 3,5 | 9,1 | 9,1 | 20,8 | 103,6 |
| Podzim 2015 | 4 | 49,1 | 0,7 | 0,0 | 50,4 | 11,7 | 0,1 | 0,0 | 1,5 | 1,5 | 13,4 | 99,6 |
| | 5 | 58,7 | 2,8 | 2,3 | 67,8 | 11,8 | 0,7 | 0,5 | 1,3 | 1,3 | 14,3 | 120,8 |
| Léto 2015 | 6 | 57,4 | 22,9 | 0,2 | 80,7 | 12,4 | 6,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 19,0 | 137,8 |
| | 7 | 72,4 | 44,4 | 2,8 | 119,9 | 17,3 | 13,3 | 0,8 | 0,0 | 0,0 | 31,4 | 190,5 |
| Podzim 2015 | 8 | 69,1 | 51,7 | 20,3 | 141,4 | 16,7 | 14,0 | 6,5 | 0,0 | 0,0 | 37,2 | 218,1 |
| | 9 | 55,9 | 10,4 | 0,2 | 66,7 | 9,2 | 2,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 12,1 | 116,0 |
| 10 | 34,5 | 0,2 | 17,8 | 53,3 | 4,9 | 0,5 | 7,0 | 0,9 | 0,9 | 13,4 | 105,3 | |

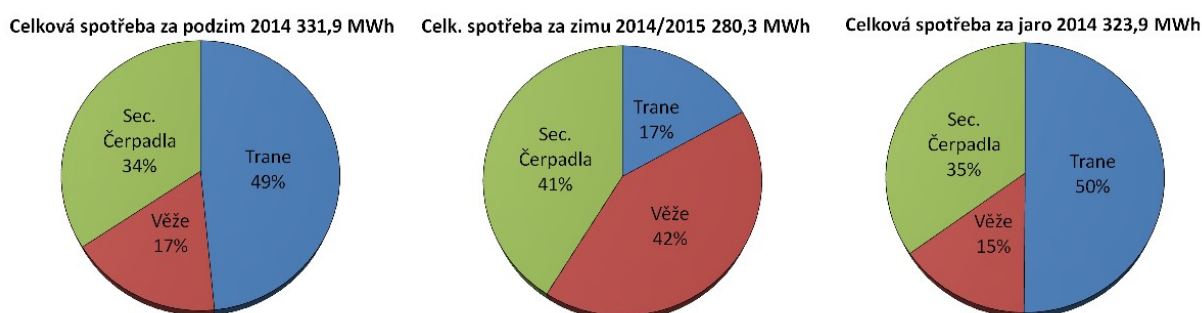
Jak již bylo zmíněno, pro přehledné porovnání byly vytvořeny koláčové grafy spotřeb energie a také porovnání příkonu a spotřeby jednotlivých strojoven.

Na obrázku číslo 45 můžeme vidět porovnání spotřeb elektrické energie za tři čtvrtletí, kdy se jedná o dvě přechodová období a jedno zimní období. Z grafu je patrné, že v zimě se využívá systému freecooling a strojní chlazení téměř v provozu není. Co se týče přechodových období, tak můžeme vidět, že jaro bývá chladnější a více se využívá systému freecooling. Toto je i patrné z celkové spotřeby elektrické energie pro chlazení, kdy na podzim byla spotřeba 238,9 MWh a na jaře 195,2 MWh.



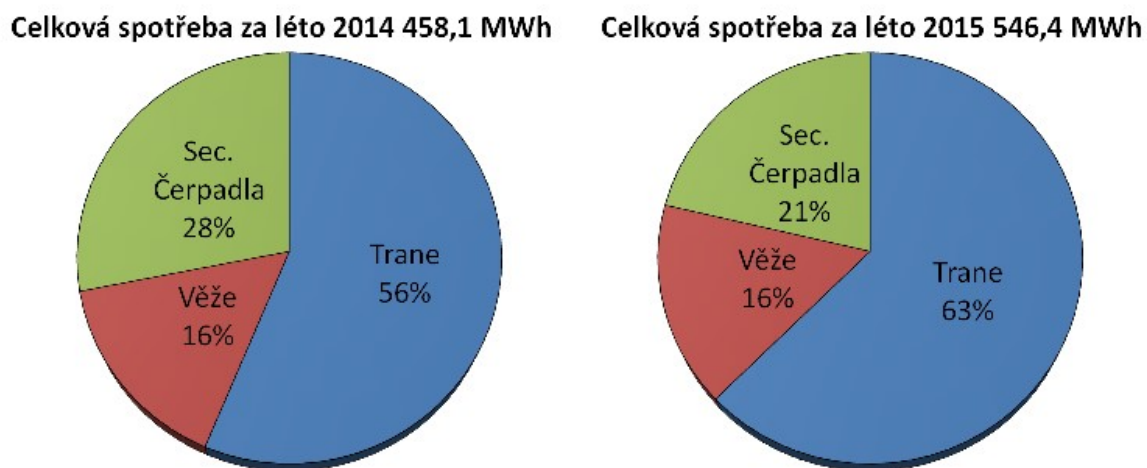
Obr. 45 Porovnání spotřeb elektrické energie za podzim 2014, zimu 2014/2015 a jaro 2015 ve strojově východ

Obdobně jako ve strojově východ, můžeme vidět porovnání tří čtvrtletí pro strojovnu západ. Opět se jedná o dvě přechodová období (jaro a podzim) a zimní období. Již z naměřených hodnot bylo vidět, že strojovna západ využívá systém freecooling daleko méně, než strojovna východ, což se potvrdilo i na následujícím obrázku číslo 46.



Obr. 46 Porovnání spotřeb elektrické energie za podzim 2014, zimu 2014/2015 a jaro 2015 ve strojově západ

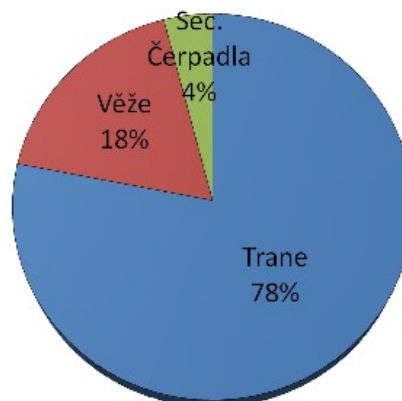
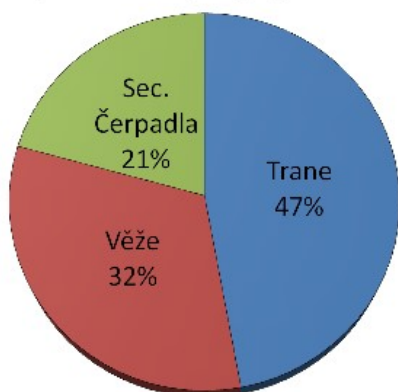
Ve strojovně západ během léta 2014 i 2015 nedošlo k výpadkům měření, a proto bylo možné porovnat dvě po sobě jdoucí letní období, viz obrázek číslo 47. Z celkových spotřeb je vidět, že léto 2015 bylo teplejší, než léto 2014. Tento rozdíl se také projevil na vyšší spotřebě elektrické energie chladicích věží jednotek Trane.



Obr. 47 Porovnání spotřeb elektrické energie za léto 2014 a léto 2015 ve strojovně západ

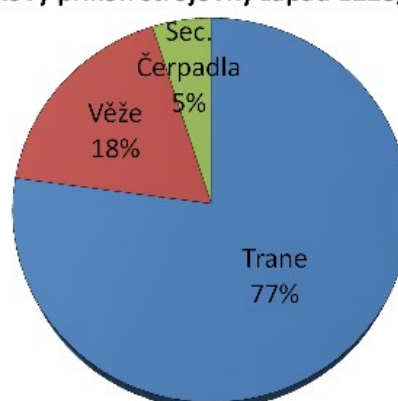
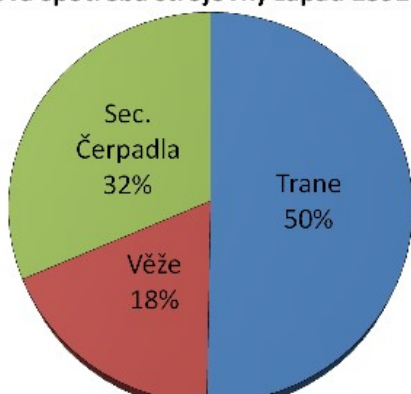
Na obrázku číslo 48 můžeme vidět zajímavé porovnání mezi příkonem a spotřebou elektrické energie. Z grafu je patrné, že návrhový příkon čerpadel je zastoupen cca. v 5% z celkového příkonu jednotlivých strojoven. V reálném provozu je spotřeba elektrické energie od sekundárních čerpadel daleko vyšší, což je dáno především tím, že jsou čerpadla v provozu 24 hodin denně. Z tohoto zjištění se opět potvrzuje myšlenka, že vypínáním čerpadel v době kdy je obchodní centrum zavřené, je možné ušetřit značné množství energie.

Celková spotřeba strojovny východ 1548 MWh Celkový příkon strojovny východ 923,3 kW



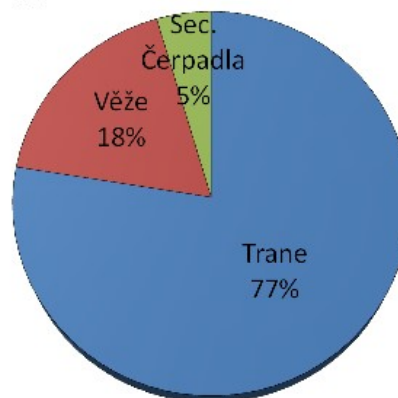
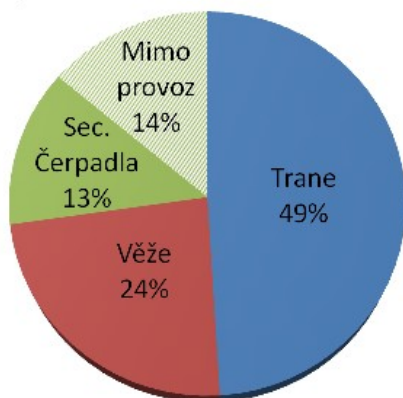
Celková spotřeba strojovny západ 2391 MWh

Celkový příkon strojovny západ 1228,8 kW



Celk. výkon obchodního centra 3939,25 MWh

Celkový příkon obchodního centra 2152,1 kW



Obr. 48 Porovnání celkové spotřeby a příkonů elektrické obou strojoven

Závěr

Tato práce se zabývala analýzou obchodního centra Chodov, kontrolou měřičů tepla systému freecooling a vyhodnocením naměřených spotřeb elektrické energie s návrhem úspor. Veškeré naměřené hodnoty byly obdrženy od AB Facility a.s.

V první řadě jsem se zabýval kontrolou měřičů tepla systému freecooling v obou strojovnách obchodního centra. Popis obchodního centra byl vypracován s pomocí technické zprávy, výkresové dokumentace a následné návštěvy zázemí v obchodním centru. Na základě problémů s odečtem hodnot z měřičů tepla pro systém freecooling byla provedena identifikace a kontrola těchto měřičů tepla, která proběhla místním šetřením v obou strojovnách. Touto kontrolou bylo zjištěno, že rozdíl teplot při provozu systému freecooling přívodní a vratné vody je nižší, než minimální pracovní rozdíl osazených kalorimetrů. Další problém byl ve strojovně západ, kde kalorimetry zaznamenávaly nulový průtok vody.

V další části jsem se věnoval už samotnému zpracování a vyhodnocení obdržených dat. Zpracovaná data byla rozdělena do 4 zpráv respektive kapitol. Každá z těchto kapitol obsahuje vyhodnocení naměřených dat a výpočet chladicích faktorů. Z těchto dat lze konstatovat, že freecooling se využívá od prosince do března, a pokud je výkon nedostačující, tak se voda dochlazuje jednotkou strojního chlazení, která není napojena na uzavřenou chladicí věž. V přechodovém období bývá v provozu pouze jedna jednotka Trane. V době ranního náběhu pracuje na plný výkon a zbytek dne pouze na částečný výkon. Zdroj chladu, příslušná chladicí věž a primární čerpadla mají stejný provoz. Oběhová čerpadla sekundární jsou v provozu nepřetržitě a při jejich vypínání mimo otevírací dobu je možné ušetřit značné množství energie. Pokud porovnáme celkové měsíční spotřeby energie v zimním a letním období, tak můžeme říci, že jsou celkové měsíční spotřeby energie v letním období cca dvojnásobné oproti zimnímu období. (297 kWh za červen 2014, 155 kWh za prosinec 2014, 218,1 kWh za srpen 2015, 98,4 kWh za leden 2015). V rámci čtvrté zprávy jsem porovnal skutečný a teoretický ohřev chladicí vody. Z tohoto porovnání lze usoudit, že prouděním vody a předáním tepla této vodě od čerpadel se chladicí voda ohřeje více, než by tomu bylo při vypnutí čerpadel, kdy je obchodní centrum zavřené. Pokud by se tedy voda ohřála méně, tak je možné ušetřit při ranních náběhových špičkách. Dále jsem data spotřeb energie shrnul do přehledné tabulky, ze které bylo možné vytvořit koláčové grafy. Z těchto grafů je možné porovnat různá období mezi sebou, kde můžeme například vidět, že v létě 2015 bylo potřeba více elektrické energie pro výrobu chladu, než tomu bylo v roce 2014. Další zajímavé

porovnání je mezi skutečnou spotřebou a příkonem jednotlivých strojoven. Příkon čerpadel je v celkových příkonech strojoven zastoupen cca. v 5%, ale ve spotřebě elektrické energie už je to až cca. 30%. Tímto se nám potvrzuje možná úspora energie při vypínání sekundárních čerpadel mimo otevírací dobu. Pro celé obchodní centrum by byla tato úspora cca 14%, což je cca 550 MWh. Z toho připadá 166 MWh strojovně východ a 384 MWh strojovně západ.

V návaznosti na získané poznatky, by mělo následovat ověření možných úspor energie vypínáním čerpadel několikedenním experimentálním provozem.

Seznam použité literatury

- [1] JANOTKOVÁ, Eva. *Technika prostředí*. Brno: Vysoké učení technické, 1991. 201 s. ISBN 80-214-0258-X.
- [2] RUBINOVÍ, Olga a Aleš. *Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda* [online]. 22. 8. 2005 [26. 10. 2015] Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2650-vnitri-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka>
- [3] URBANOVÁ, Magdaléna. *Klimatizace a větrání restauračního provozu*. Brno: VUT 2008. Diplomová práce. VUT Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav
- [4] NOVÝ, Richard. *Technika prostředí*. Praha: ČVUT, 2008. 267 s. ISBN 80-01-03492-5
- [5] DRKAL, František. LAIN, Miloš. SCHWARZER, Jan, ZMRHAL, Vladimír. *Klimatizace a průmyslová vzduchotechnika*. Praha: Evropský sociální fond. 2008.
- [6] KABELE, Karel. Zdroje a distribuce chladu. In: www.topin.cz [online]. Topin Media s.r.o., 2006. [27. 10. 2015] Dostupné z: <http://www.topin.cz/download.php?idx=69756&di=7>
- [7] Přehled klimatizačních zařízení. [online] AB Klimatizace, s.r.o. [2. 11. 2015]. Dostupné z: <http://www.abklimatizace.cz/news/a5-0-prehled-klimatizacnich-zarizeni/>
- [8] CHYSKÝ, J, HEMZAL, K., a kol. *Větrání a klimatizace: Technický průvodce*.
- [9] RUBINOVÍ, O. a A. *Klimatizace a větrání*. Brno : ERA group, 2004. 117 s.
- [10] KARNAS, Daniel. *Zimní chlazení obchodního centra Chodov*. Praha: ČVUT 2013. Bakalářská práce. ČVUT Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí
- [11] *Otevřené chladicí věže* [online] SOKRA s.r.o. [30. 11. 2015] Dostupné z: <http://www.chladiciveze.com/veze2013/box1.php>
- [12] *Uzavřené chladicí věže* [online] SOKRA s.r.o. [30. 11. 2015] Dostupné z: <http://www.chladiciveze.com/veze2013/box2.php>
- [13] *Co je to vlastně freecooling?* [online] Topinfo s.r.o. [30. 11. 2015] Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/8799-co-je-to-vlastne-free-cooling>

- [13] *Celkové chladicí faktory klimatizačních zařízení a jejich zlepšování* [online] Topinfo s.r.o. [1. 12. 2015]
Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/8797-celkove-chladici-faktory-klimatizacnich-systemu-a-jejich-zlepsovani>
- [14] *Kontroly klimatizačních zařízení* [online] Topinfo s.r.o. [15. 12. 2015]
Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/9048-kontroly-klimatizacnich-zarizeni>
- [15] *Elektroměry historie a současnost* [online] PREměření a.s. [15. 12. 2015]
Dostupné z: <https://www.premereni.cz/Files/dulezite-informace/ke-stazeni/tiskoviny-ke-stazeni/elektromery-historie-a-soucasnost/>
- [16] *Měření průtoku tekutin – principy průtokoměrů* [online] Topinfo s.r.o. [15. 12. 2015] Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4624-mereni-prutoku-tekutin-principy-prutokomeru>
- [17] *Centrum Chodov* [online] Centrum Chodov, a.s. [16.12.2015]
Dostupné z: <http://www.centrumchodov.cz/W/do/centre/informace-main>
- [18] HELIKA a.s., Vzduchotechnika a klimatizace - Technická zpráva OC Chodov
- [19] KÁRNÍK, P. Energetický audit obchodního centra Chodov 2010. 135 s.
- [20] MOOPEX a.s. Zdroje chladu - Technická zpráva OC Chodov
- [21] *Podrobná mapa CCH* [online] Centrum Chodov, a.s. [16.12.2015]
Dostupné z: <http://www.centrumchodov.cz/W/do/centre/mapa-centra>
- [22] *Nariadení komise v přenesené pravomoci (EU) č. 626/2011* [online] Done s.r.o. [21.12.2015] Dostupné z: <http://www.mojeenergie.cz/cz/narizeni-komise-v-prenesene-pravomoci-eu-c-626-2011>
- [23] *Energetické třídy* [online] AB Klimatizace s.r.o. [21.12.2015]
Dostupné z: <http://www.abklimatizace.cz/energeticke-tridy/>

[24] LAIN, M, VAVŘIČKA, R. *Kontrola klimatizačních systémů. Kontrola kotlů a rozvodů tepelné energie*. Praha: Společnost pro techniku prostředí. 2014. ISBN 978-80-02-02576-4

Seznam příloh

Příloha č. 1

Technická data CHJ TRANE RTHD E3 G3 G3 (30% glykol) :

| | |
|-----------------------------|---|
| Chladicí výkon | ... 1417 kW (při 6/12, 32/26°C a $t_e=32^\circ\text{C}$) |
| COP | ... 5,74 (poměr chl. výkonu a el. příkonu) |
| Průtok chl. vody výparníkem | ... 56 l/s = 201,6 m ³ /h |
| Tlaková ztráta výparníku | ... 40 kPa |
| Průtok vody kondenzátorem | ... 73 l/s = 262,8 m ³ /h |
| Tlaková ztráta kondenzátoru | ... 32 kPa |

El. data :

| | |
|-----------------------|--------------|
| El. příkon kompresoru | ... 246,9 kW |
| Startovací proud | ... 750 A |
| Max. provozní proud | ... 490 A |

Hmotnosti a rozměry :

| | |
|---------------------|-------------------------|
| Přepravní hmotnost | ... 8914 kg |
| Provozní hmotnost | ... 9882 kg |
| Rozměry : l x š x v | = 3886 x 1780 x 2032 mm |

Technická data CHJ TRANE RTHD E3 G3 G3 (voda):

| | |
|-----------------------------|---|
| Chladicí výkon | ... 1470,4 kW (při 6/12, 31,8/25,8°C a $t_e=32^\circ\text{C}$) |
| COP | ... 6,48 (poměr chl. výkonu a el. příkonu) |
| Průtok chl. vody výparníkem | ... 58 l/s = 208,8 m ³ /h |
| Tlaková ztráta výparníku | ... 43 kPa |
| Průtok vody kondenzátorem | ... 67 l/s = 241,2 m ³ /h |
| Tlaková ztráta kondenzátoru | ... 26 kPa |

El. data :

| | |
|-----------------------|------------|
| El. příkon kompresoru | ... 227 kW |
| Startovací proud | ... 750 A |
| Max. provozní proud | ... 490 A |

Hmotnosti a rozměry :

| | |
|---------------------|-------------------------|
| Přepravní hmotnost | ... 8914 kg |
| Provozní hmotnost | ... 9882 kg |
| Rozměry : l x š x v | = 3886 x 1780 x 2032 mm |

Příloha č. 2

Technická data CHV DECSA REF-C-140 :

| | |
|------------------------------|--|
| Chladicí výkon | ... 1664 kW (při 6/12, 35/29°C a $t_e=32^\circ\text{C}$) |
| Chladicí médium | ... Pecosol |
| Průtok ETG věží | ... 72,8 l/s = 262 m ³ /h |
| Tlaková ztráta výměníku věže | ... 204 kPa |

El. data :

| | |
|--------------------------------|--------------|
| El. příkon 2-ot. ventilátoru | ... 45/11 kW |
| El. příkon vytápění vany věže | ... 6 kW |
| El. příkon zkrápecího čerpadla | ... 4 kW |

Hmotnosti a rozměry :

| | |
|---|-----------------------|
| Provozní hmotnost | ... 2100 kg |
| Rozměry (vč. tlumičů hluku) : l x š x v = | 5480 x 3880 x 5160 mm |

Technická data CHV DECSA TMR-225 :

| | |
|-----------------------|--|
| Chladicí výkon | ... 1697 kW (při 6/12, 31,8/25,8°C a $t_e=32^\circ\text{C}$) |
| Chladicí médium | ... voda |
| Průtok vody věží | ... 67 l/s = 241,2 m ³ /h |
| Tlaková ztráta trysek | ... 60 kPa |

El. data :

| | |
|--------------------------------|--------------|
| El. příkon 2-ot. ventilátoru | ... 45/11 kW |
| El. příkon vytápění vany věže | ... 6 kW |
| El. příkon zkrápecího čerpadla | ... 4 kW |

Hmotnosti a rozměry :

| | |
|---|-----------------------|
| Provozní hmotnost | ... 840 kg |
| Rozměry (vč. tlumičů hluku) : l x š x v = | 5480 x 3880 x 5160 mm |