

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

SPOTŘEBA ENERGIE NA KLIMATIZACI BUDOV

DIPLOMOVÁ PRÁCE



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Kunc** Jméno: **Martin** Osobní číslo: **434240**
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
 Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
 Studijní program: **Strojní inženýrství**
 Studijní obor: **Technika životního prostředí**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Spotřeba energie na klimatizaci budov

Název diplomové práce anglicky:

Energy Consumption for Building AC

Pokyny pro vypracování:

Zabývejte se spotřebou energie klimatizačního systému zadaného obchodního centra. Proveďte sběr dat, jejich analýzu a doporučte opatření pro snížení spotřeby energie.

Seznam doporučené literatury:

Chyský, J.; Hemzal, K. a kol. Větrání a klimatizace. Technický průvodce. BOLIT B press, Brno 1993. ISBN 80-901574-0-8.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

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

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

Datum zadání diplomové práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání diplomové práce: **31.07.2020**

Platnost zadání diplomové práce:

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

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

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

_____ Datum převzetí zadání

_____ Podpis studenta

Souhrn

Diplomová práce se zabývá měřením a vyhodnocením spotřeb energie v obchodním centru Chodov a následnou analýzou a návrhem možných opatření pro snížení spotřeby energie. V první části diplomové práce se zabývám historií klimatizace, životním prostředím a pohodě vnitřního prostředí, větracím zařízením a klimatizací, využívanými druhy chladiva, zdroji chladu, chladícími faktory zdrojů chladu a měřením spotřeby energie. Druhá část diplomové práce obsahuje popis obchodního centra Chodov, dispozice objektu, návrhové podmínky a identifikaci strojoven západ a východ a strojovny v přistavěné části objektu D. Třetí část této práce obsahuje analýzu spotřeb elektrické energie vzduchotechniky, zdrojů chladu a kontrolu a vyhodnocení měřičů tepla. Analýza spotřeb elektrické energie je provedena pro čtyři letní období 2015, 2017, 2018, 2019 a v dalších kapitolách pro celé roky 2017, 2018 a 2019. Na konci diplomové práce jsou pro přehledné porovnání zpracovány celkové spotřeby do souhrnné tabulky za celé měřené období.

Summary

This Master's thesis deals with measuring and assessing the energy consumption of the Chodov Shopping Center culminating in an analysis and proposal for possible measures to reduce energy consumption. The first part Master's thesis describes the history of air conditioning, the environment and comfort of interior spaces, ventilation equipment and air conditioning, types of coolant used, sources of cooling, the cooling properties of coolant sources, and measuring energy consumption. The second part Master's thesis contains a description of the Chodov Shopping Center, building layout, design conditions and the identification of the east and west mechanical rooms and the mechanical room in the built-up part of Building D. The third part the thesis consists of an analysis of the electrical consumption of the HVAC system, cooling sources and the monitoring and assessment of temperature sensors. An analysis of electricity consumption is done for four summer seasons: 2015, 2017, 2018, and 2019 and for other chapters, the full years of 2017, 2018 and 2019 are used. For comparison purposes, a summary table of total energy consumption can be found at the end of the paper.

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

V Praze 1. 7. 2020

Bc. Martin Kunc

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

Obsah

Soupis použitého značení.....	10
Úvod.....	12
1 HISTORIE.....	13
2 ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ A POHODA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ.....	15
2.1 Tepelná rovnováha a tepelná pohoda	16
3 VĚTRACÍ ZAŘÍZENÍ A KLIMATIZACE	17
3.1 Větrací zařízení.....	17
3.2 Systémy větrání	18
3.2.1 Nucené podtlakové větrání.....	18
3.2.2 Centrální podtlakové systémy	18
3.2.3 Lokální podtlakové systémy.....	19
3.2.4 Nucené rovnotlaké větrání	19
3.2.5 Centrální rovnotlaké systémy	19
3.2.6 Lokální rovnotlaké systémy	20
3.2.7 Teplovzdušné vytápění.....	20
3.2.8 Hybridní větrání	20
3.3 Klimatizační zařízení.....	21
3.3.1 Systémy jednozónové.....	21
3.3.2 Systémy vícezónové.....	22
3.3.3 Vzduchové systémy.....	22
3.3.4 Kombinované systémy	23
3.3.5 Klimatizační systém chladící strop	23
3.3.6 Chladivové systémy	25
4 CHLADIVA.....	28
4.1 Chladivo R410A.....	28
4.2 Chladivo R407c	29

4.3	Chladivo R32	29
5	ZDROJE CHLADU	30
5.1	Kompresorové chlazení	30
5.1.1	Pístové kompresory	32
5.1.2	Spirálové kompresory	32
5.1.3	Šroubové kompresory	32
5.1.4	Rotační objemové kompresory	33
5.1.5	Turbokompresory	33
5.2	Absorpční chlazení	34
5.3	Alternativní zdroje chladu	34
5.3.1	Noční chlazení	34
5.3.2	Adiabatické chlazení	34
5.3.3	Využití chladu zemského polomasivu	34
5.4	Chladicí věže	35
5.5	Suché chladiče	36
6	CHLADÍCÍ FAKTORY ZDROJŮ CHLADU	37
6.1	Chladicí faktor chladicího zařízení	37
6.2	Chladicí faktor klimatizačního zařízení EER_{AC}	38
6.3	Evropský sezónní chladicí faktor ESEER	39
6.4	Sezónní chladicí faktor SEER	40
7	MĚŘENÍ SPOTŘEBY ENERGIE	42
7.1	Instalace měřících míst	43
7.2	Skupiny měřených dat	43
7.2.1	Přímé signály poruch	43
7.2.2	Kumulované hodnoty	43
7.2.3	Odvozené signály poruch	43
7.3	Elektroměry	44

7.4	Průtokoměry	44
7.4.1	Měření rozdílu tlaku před a za primárním prvkem průtokoměru.....	44
7.4.2	Měření rychlosti proudění tekutiny	45
7.4.3	Měření objemového průtoku	45
7.4.4	Měření hmotnostního průtoku.....	45
7.5	Kalorimetry.....	46
8	OBCHODNÍ CENTRUM CHODOV.....	47
8.1	Vnější podmínky.....	48
8.2	Vnitřní parametry prostředí	48
8.3	Stanovení potřeby chladicího výkonu	49
8.4	Zdroje chladu.....	49
8.5	Technické řešení zdrojů chladu strojovna východ	50
8.6	Technické řešení zdrojů chladu strojovna západ.....	52
8.7	Technické řešení zdrojů chladu strojovna nového objektu D.....	53
9	VYHODNOCENÍ KALORIMETRŮ.....	55
9.1	Zpracování dat	55
10	VYHODNOCENÍ OBDRŽENÝCH SPOTŘEB ENERGIE	59
10.1	Postup zpracování dat.....	59
10.2	Vyhodnocení naměřených hodnot za první období (léto 2015)	61
10.3	Vyhodnocení naměřených hodnot za druhé období (léto 2017).....	63
10.4	Vyhodnocení naměřených hodnot za třetí období (léto 2018)	65
10.5	Vyhodnocení naměřených hodnot za čtvrté období (léto 2019).....	67
10.6	Porovnání vyhodnocených naměřených hodnot za všechny letní období (léto 2015, 2017, 2018 a 2019)	69
11	ANALÝZA DAT ZA ROK 2017	70
11.1	Vyhodnocení průběhů teplot a příkonů obou strojoven	74
11.2	Chladicí faktory zdrojů chladu	76

12	ANALÝZA DAT ZA ROK 2018	78
12.1	Vyhodnocení průběhů teplot a příkonů obou strojoven	82
12.2	Chladící faktory zdrojů chladu	84
13	ANALÝZA DAT ZA ROK 2019	86
13.1	Vyhodnocení průběhů teplot a příkonů obou strojoven	90
13.2	Chladící faktory zdrojů chladu	92
14	CHLADÍCÍ FAKTORY ZDROJŮ CHLADU ZA ROK 2017/2018/2019	94
15	VYHODNOCENÍ SPOTŘEB VZT ZA ROK 2017/2018/2019	95
15.1	Vyhodnocení a souhrn spotřeb energie VZT za rok 2017.....	95
15.2	Vyhodnocení a souhrn spotřeb energie VZT za rok 2018.....	97
15.3	Vyhodnocení a souhrn spotřeb energie VZT za rok 2019.....	99
15.4	Výpočet snížení spotřeby el. energie snížením průtoku ventilátorem.....	101
16	SOUHRN SPOTŘEB EL. ENERGIE ZDROJŮ CHLADU	103
16.1	Porovnání spotřeb el. energie ročních období 2017/2018/2019	105
16.2	Porovnání spotřeby el. energie a el. příkonu obou strojoven	107
16.3	Porovnání spotřeby el. energie roku 2017/2018/2019.....	109
16.4	Porovnání spotřeby el. energie zdrojů chladu a VZT 2017/2018/2019.....	110
17	ZÁVĚR	111
	Seznam použité literatury	116
	Seznam obrázků	119
	Seznam grafů	120
	Seznam tabulek	121
	Seznam příloh	123

Soupis použitého značení

q	produkovaný tepelný tok [W/m ²]
n	fyzická činnost [-]
q_m	měrný energetický výdej [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]
I	intenzita větrání [h ⁻¹]
Ve	průtok venkovního vzduchu [m ³ /h]
O	vnitřní objem místnosti [m ³]
GWP	potenciální globální oteplování (Global Warming Potential) [-]
p	tlak [Pa]
Δp	diferenciální tlak [Pa]
t_e	venkovní teplota [°C]
t_i	vnitřní teplota [°C]
h	entalpie vzduchu [KJ/Kg]
ϕ	relativní vlhkost vzduchu [%]
x	měrná vlhkost vzduchu [g/kg _{s.v.}]
ρ	hustota tekutiny [kg/m ³]
COP_C	účinnost Carnotova oběhu [-]
COP_R	účinnost reálného oběhu [-]
EER	chladičí faktor zdroje chladu [-]

EER_{AC}	chladičí faktor klimatizačního zařízení [-]
$ESEER$	evropský chladičí faktor [-]
$SEER$	sezonní chladičí faktor [-]
$SCOP$	sezonní topný faktor [-]
P_1	elektrický příkon kompresoru [kW]
P_2	elektrický příkon ventilátorů (odvod kondenzačního tepla) [kW]
P_3	elektrický příkon čerpadel [kW]
P_4	elektrický příkon ventilátorů (rozvodu vzduchu po budově) [kW]
Q_N	chladičí výkon [kW]
Q_1	chladičí výkon na výparníku [kW]
Q_2	zátěž odvedena z klimatizačního prostoru [kW]
P_N	elektrický příkon zdroje [kW]
T_O	termodynamická vapařovací teplota [K]
T_K	teplota kondenzační [K]
η_R	účinnost oběhu [-]
η_E	účinnost kompresoru [-]
η_C	účinnost pohonu [-]
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_c	referenční potřeba na chlazení [kWh/rok]

Úvod

V dnešní době už se neseťkáme s tím, že by součástí obchodního centra nebo rozsáhlejší administrativní budovy nebyla klimatizace. Klimatizace se celosvětově čím dál více rozšiřuje, a to nejen v obchodních centrech nebo administrativních budovách ale také v supermarketech, datových centrech a domácnostech. Tudíž každým rokem prudce roste spotřeba elektřiny na chlazení vzduchu budov po celém světě.

V obchodních centrech je jedním z hlavních a největších zařízení klimatizace. Proto je v posledních letech velkou snahou, pomocí různých systémů nebo optimalizací provozu co nejvíce energie uspořit. V obchodních centrech je nutné provozovat klimatizaci celoročně, kvůli vysoké tepelné zátěži během celého roku a nárokům na tepelnou pohodu.

Cílem diplomové práce je analýza spotřeb elektrické energie klimatizačního systému a následný návrh pro optimalizaci provozu a šetření elektrické energie, kontrola a vyhodnocení měřičů tepla obchodního centra Chodov. Je zpracována identifikace systémů strojoven západ a východ, kde je využito technické zprávy ventilace a chlazení. Důležitou částí práce je zpracování a vyhodnocení naměřených spotřeb energie chlazení za roky 2017, 2018 a 2019. Naměřené hodnoty z roku 2017 jsem pro lepší analýzu a vyhodnocení systému využil ze své bakalářské práce. Nejdůležitější částí práce je návrh a doporučení opatření pro možné snížení spotřeby energie.

1 HISTORIE

Počátky klimatizace sahají do dávné minulosti, ve starých asijských, indických oblastech a také v Egyptě a Římě. Nejednalo se o klimatizování tak, jak jej známe dnes, ale bylo založeno na přirozeném proudění vzduchu, přenosu tepla a vlhkosti. Tento princip využívali např. v Indii. Za horkého období, bylo využito intenzivního stabilního proudění větru k úpravě teploty a vlhkosti v palácových stavbách. Přes otvory na návětrné straně budov byly zavěšovány rohože z rákosy nebo trávy navlhčené ručně nebo z vodních žlabů. Docházelo k adiabatickému chlazení (vypařováním) a tak se ochlazoval a zvlhčoval vzduch, který proudil do budovy.

Chytrý klimatizační systém vymysleli také staří Římané. Používali ho zejména v prominentních budovách. Měli vybudovanou důmyslnou síť akvaduktů, která jim dopravovala čistou vodu z horských pramenů do měst i desítky kilometrů. Z akvaduktů vedli vodu i kolem zdí domů, a tak domy chladili.

Historicky první záznamy o komfortní klimatizaci (s využitím větrání a chlazení vzduchu) jsou od amerického lékaře a technika Dr. Johna Gorrie (1802-1855). Jeho návrhy na úpravu vzduchu vycházely z lékařských zkušeností s malárií, která se v té době široce vyskytovala na Floridě. V roce 1844 navrhl, aby domy v teplých krajinách byly stavěny s tepelnou izolací a aby byly vydávány prostředky na snížení teploty a zmenšování vlhkosti vzduchu. V roce 1844 navrhl, postavil a provozoval zařízení pro komfortní chlazení s větráním v prvním klimatizovaném nemocničním oddělení.

První klimatizační systém instaloval roku 1902 Dr. W. H. Carrier (1875-1950). Klimatizační systém byl instalován v americkém New Yorku v tiskárně Sackett-Wilhelm, která měla problémy s usycháním barev a mačkáním papíru kvůli vysoké teplotě a vlhkosti vzduchu. Dr. W. H. Carrier postavil svoji klimatizaci na nápadu hnát vzduch kolem trubek se studenou vodou. Tím docházelo ke srážení vodních par na těchto trubkách, čímž se ochlazoval okolní prostor.

K nejvýznamnějšímu pokroku v klimatizační technice přispěly roku 1911 vědecké práce Dr. W. H. Carrieria z oblasti termodynamiky vlhkého vzduchu (vytvoření h-x diagramu a tabulek vlhkého vzduchu). V práci byli publikovány vztahy mezi veličinami určující stav vlhkého vzduchu společně s psychrometrickým diagramem.

První klimatizační zařízení byla velkých rozměrů a používala čpavkový chladicí systém, který objevil britský vědec Michael Faraday v roce 1820. Teprve v roce 1930 Dr. W. H. Carrier dokázal klimatizační zařízení zmenšit. Bylo použito pro první klimatizační námořní loď a poté i pro železniční vůz. První klimatizovaná auta se začala vyrábět v USA až po druhé světové válce.

Od té doby klimatizace prodělala mohutný vývoj a běžně se s ní setkáváme všude od výrobních budov, obchodních center, administrativních budov až po automobily, dopravní prostředky a domácnosti. [1] [2] [3]



Obr. 1 Dr. W. H. Carrier u chladícího systému [1]

2 ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ A POHODA VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

Životním prostředím člověka se rozumí ta část světa, s níž člověk přichází do styku, kterou přetváří a využívá pro uspokojování svých potřeb. Pozornost se soustřeďuje především na hmotnou část prostředí, která je dána prostorem, kde člověk bydlí, pracuje a odpočívá. Hlavními problémy ve vnějším prostředí jsou znečišťování vzduchu, vody, půdy, oblasti živých organismů, eroze půdy změna obsahu minerálních látek v půdě aj. Ve vnitřním prostředí, kde člověk tráví 70 až 80 % svého života jsou hlavními problémy čistota ovzduší, zajištění tepelného stavu prostředí, ochrana proti hluku, vhodné osvětlení, ochrana před ionizujícím a elektromagnetickým zářením atd. Vzhledem k tomu, že člověk stráví v interiérech budov velkou část dne, má vnitřní prostředí významný vliv na lidské zdraví. Kvalita vnitřního prostředí se hodnotí podle stavu faktorů prostředí. [4]

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

Faktory 2 až 6, 13 a 14 se navzájem ovlivňují a jejich hodnoty vytváří stav, který se nazývá tepelná pohoda prostředí. [4]

2.1 Tepelná rovnováha a tepelná pohoda

Tepelná rovnováha těla a okolí je stav, při kterém je zachována rovnost produkovaného tepelného toku a toku tepla odnímaného tělu okolím. [5] [6]

Tepelná pohoda (tepelný komfort) je subjektivní pocit, při němž je zachována tepelná rovnováha člověka za optimálních hodnot fyziologických parametrů. Mezi tyto parametry patří teplota povrchu pokožky a množství tepla odvedené vypařováním. [5] [6] [7]

$$q_m - n = q = \pm q_k \pm q_s + q_w + q_d \quad (1)$$

q_m – měrný energetický výdej [W/m^2]

n – fyzická činnost [–]

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]

3 VĚTRACÍ ZAŘÍZENÍ A KLIMATIZACE

Větráním a klimatizací se upravuje kvalita (čistota) vzduchu, tepelný a vlhkostní stav vzduchu v obytných budovách, společenských budovách, průmyslových budovách, dopravních prostředcích, technologických prostorech a zemědělských objektech. Tyto místa jsou zatěžovány produkcí látkových škodlivin (plynů, par, pevných i kapalných částic), vlhkosti a tepelné energie ze zařízení od vnitřních zdrojů (od osob, elektronických zařízení, osvětlení, technologických zařízení, elektromotorů, pecí, ustájených zvířat atd.) i od venkovních zdrojů (venkovní ovzduší, sluneční radiace).

3.1 Větrací zařízení

Větrání ve vnitřním prostředí slouží k zajištění požadované kvality vzduchu a má zásadní vliv na zdraví a pohodu osob. Větrací zařízení slouží k přívodu čerstvého venkovního vzduchu do vnitřních prostorů budov a k odvodu vzduchu znehodnoceného přimíšenými látkovými škodlivinami, případně produkovaným teplem. Přívod čerstvého venkovního vzduchu definujeme intenzitou větrání $I = V_e / O$ [h^{-1}], kde V_e [m^3/h] je průtok venkovního vzduchu a O [m^3] je vnitřní objem místnosti. V dnešní době, kdy roste cena energií je při výstavbě obytných budov kladen důraz na technické vlastnosti stavebních konstrukcí. Na výplně otvorů oken a dveří jsou navíc kladeny vysoké nároky z hlediska neprůvzdušnosti, proto nelze pro trvalé větrání použít přirozené větrání infiltrací. Důsledkem instalace těsných oken je často nedostatečné větrání, které může vést například k vyšší koncentraci škodlivin, ke zvýšené vlhkosti nebo k výskytu plísní, které mají negativní vliv na zdraví osob. Primární požadavek národní přílohy normy ČSN EN 15 665/Z1 je zajištění trvalého přívodu venkovního vzduchu s minimální intenzitou větrání $0,3 \text{ h}^{-1}$ v obytných prostorech jako jsou pokoje, ložnice a v kuchyních. Pro vyšší požadovanou kvalitu vnitřního vzduchu se doporučuje dle normy ČSN EN 15251 intenzita větrání $0,5$ až $0,7 \text{ h}^{-1}$. Pokud obytné budovy nejsou užívány dlouhodobě můžeme zvolit provoz s nižší intenzitou větrání $0,1 \text{ h}^{-1}$ vztáženou k celkovému vnitřnímu objemu. Při větrání obytných budov je také nutné zajistit odvod vzduchu z místností se zdrojem znečišťujících látek (vlhkost, zápach, škodliviny vznikající při vaření atd.). Pokud větráme trvale odpovídá průtok odváděného vzduchu průtoku přiváděnému, který se stanoví podle požadované intenzity větrání. Dle normy (Tab.1) dále definujeme průtoky odsávaného vzduchu pro nárazové větrání hygienického zázemí a kuchyní. Odsátý vzduch je hrazen buď prisáváním větracími otvory nebo zvýšením přívodem vzduchu větrací jednotkou. [5] [9]

Tab. 1 Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665/Z1 [8]

Požadavek	Trvalé větrání (průtok venkovního vzduchu)		Nárazové větrání (průtok odsávaného vzduchu)		
	Intenzita větrání [h ⁻¹]	Dávka venkovního vzduchu na osobu [m ³ /(h·os)]	Kuchyně [m ³ /h]	Koupelny [m ³ /h]	WC [m ³ /h]
Minimální hodnota	0,3	15	100	50	25
Doporučená hodnota	0,5	25	150	90	50

3.2 Systémy větrání

Pro větrání obytných budov se doporučuje použít jeden z uvedených systémů: [8]

- nucené podtlakové větrání
- nucené rovnotlaké větrání
- hybridní větrání

3.2.1 Nucené podtlakové větrání

Podtlakové větrání je řešeno nuceným odvodem vzduchu z místností se zdrojem škodlivin nebo vlhkosti (hygienické zázemí, kuchyně) a přívodem vzduchu z venkovního prostředí. Přívod venkovního vzduchu u podtlakového větrání je možné řešit přívodními větracími otvory v obvodových stěnách budovy, nebo integrovanými do výplní stavebních otvorů. Umístění přívodních otvorů může být pod okno, za nebo nad otopná tělesa, případně pod strop nad okna. Přívodní otvor může být osazen kvalitním filtrem vzduchu případně tlumičem hluku. Větrací otvory mohou mít různý tvar, např. kruhové, obdélníkové nebo úzké štěrbinové. Větrací otvory lze také osadit regulací průtoku vzduchu. Ohřev venkovního vzduchu zajišťuje otopná soustava. Výhodou podtlakového větrání je oproti nucenému rovnotlakému větrání jednoduchost zařízení a poměrně nízké náklady. Nevýhoda u tohoto zařízení je, že neobsahuje zpětné získávání tepla a kvůli tomu jsou vyšší náklady na ohřev větracího vzduchu. [8] [10]

3.2.2 Centrální podtlakové systémy

Odvod odváděného vzduchu je prostřednictvím centrálního ventilátoru umístěného zpravidla v nejvyšším místě budovy (podkroví, střecha). Ventilátor hradí tlakové ztráty vzduchovodu a systému distribuce vzduchu včetně tlumičů hluku a přívodních i odvodních prvků. Výhodou je relativně velká účinnost ventilátorů a skutečnost, že nedochází k nežádoucím přenosům pachů mezi bytovými jednotkami. Vzhledem k tomu, že ventilátor je zdroj hluku, je nutné při návrhu dbát na protihluková opatření. Zabránit šíření hluku do

bytových jednotek a také do venkovního prostředí. Dnes existují centrální podtlakové systémy, které poskytují trvalé větrání podle potřeby. Ventilátory je možné regulovat změnou otáček. V každém bytě je systém vybaven čidlem CO₂, popř. vlhkosti. Signálem čidla dojde k automatickému otevírání a zavírání odvodního prvku, tím dojde ke změně statického tlaku v odvodním potrubí. Ventilátor pomocí snímače tlakové difference reaguje na změny tlaku změnou otáček a udržuje ve stoupacím potrubí konstantní tlak. [10]

3.2.3 Lokální podtlakové systémy

U lokálního podtlakového systému jsou radiální ventilátory umístovány přímo v dané místnosti odkud je vzduch odsáván, nebo může být opatřen dvěma až třemi hrdly pro společný odvod vzduchu z několika místností jednoho bytu současně. V tomto případě je možné ventilátor umístit do podhledu nebo do svislé stoupací šachty. Nevýhoda malých radiálních ventilátorů je nízká účinnost a hlučnost. [10]

3.2.4 Nucené rovnotlaké větrání

Kvalita větrání u nuceného rovnotlakého větrání je vyšší než u podtlakového nebo hybridního větrání. Vzduchotechnický systém, zajišťující nucený přívod čerstvého vzduchu a současně odvod znehodnoceného vzduchu. Výhodou tohoto systému je možnost využití zpětného získávání tepla a díky tomu se sníží spotřeba energie na ohřev venkovního vzduchu. Vzduch je poháněn dvojicí ventilátorů, které jsou umístěné ve vzduchotechnické jednotce spolu s filtrací, výměníkem ZZT, případně ohřívačem nebo zvlhčovačem vzduchu. Nevýhoda proti podtlakovému systému může být pořizovací cena, vyšší spotřeba energie při pohonu ventilátorů a prostorové nároky. Vzduchotechnická jednotka se zpravidla umísťuje do technické místnosti, šatny, komory atd. [8] [10] [11]

3.2.5 Centrální rovnotlaké systémy

Vzduchotechnický systém s centrální vzduchotechnickou jednotkou, která slouží pro přívod čerstvého vzduchu a odvod znehodnoceného vzduchu. Vzduch v jednotce je dále možné filtrovat a ohřívat. Jednotka bývá vybavena výměníkem ZZT. Vzduch je distribuován k jednotlivým bytovým jednotkám odkud je dále veden do jednotlivých místností. Rozptýlení vzduchu v místnostech je pomocí distribučních elementů s dostatečným dosahem proudu. Při větrání jednotkou pro více bytů, musí zařízení automaticky vyrovnávat tlakové poměry v přívodních i odváděcích vzduchovodech při zásahu jednotlivých uživatelů. K tomu slouží ventilátor s proměnnými otáčkami. Nevýhodou jsou zvýšené nároky na prostor pro umístění vzduchotechnické jednotky, která musí být osazená tlumiči hluku. [10]

3.2.6 Lokální rovnotlaké systémy

Individuální větrání bytových jednotek. Pro větrání se používají malé vzduchotechnické jednotky, které jsou vybaveny filtrací vzduchu, ventilátory a výměníkem ZZT. Nevýhodou tohoto systému je poměrně nízká účinnost ventilátorů, zvýšené prostorové nároky pro umístění vzduchotechnické jednotky a hlučnost. Výhodou je zajištění trvalé kvality vnitřního vzduchu s nízkou spotřebou energie pro ohřev větracího vzduchu. [10]

3.2.7 Teplovzdušné vytápění

Nejkomfortnější systém používaný převážně pro rodinné domy a slouží pro současné vytápění a větrání objektu. Venkovní vzduch se predehřívá výměníkem zpětného získávání tepla. Cirkulační vzduch je odváděn z obytných místností nebo chodeb a přiváděný čerstvý vzduch je po predehřátí v rekuperačním výměníku smíchán se vzduchem cirkulačním, filtrován a po dohřevu nebo ochlazení přiveden do obytných místností pro pokrytí tepelné ztráty nebo zisků objektu. Díky cirkulaci je pro obyvatele využíván celý vzduchový objem objektu, a tím se snižuje okamžitý požadavek na výkony větrání. Není tedy potřeba jiná doplňková otopná soustava, pouze do koupelen se instalují otopné žebříky. Výhoda tohoto vzduchotechnického systému je spojení vytápění a větrání v jednom zařízení. Nevýhodou je složitá regulace teploty v místnostech, teplotní rozdíl v místnosti a zejména vyšší spotřeba elektrické energie pro chod ventilátorů. Hlavní použití je u novostaveb a nízkoenergetických budov. [10] [12] [13]

3.2.8 Hybridní větrání

Jedná se o systém přirozeného větrání s pomocným ventilátorem. Koncepce spočívá v kombinaci a střídání přirozeného i nuceného větrání. Přívod venkovního vzduchu je zajištěn samoregulačními přiváděcími vyústkami se servopohonem, které bývají umístěny nad okny, nebo nade dveřmi obytných místností. Přiváděcí vyústky je možno dálkově ovládat. Odvod vzduchu je zajištěn přirozeně nebo nuceně v závislosti na klimatických podmínkách a požadovaném průtoku větracího vzduchu. Odváděcí vyústky se umísťují v kuchyni, koupelně a na WC. Větrání se řídí na základě koncentrace oxidu uhličitého v obytných místnostech. Ten je produkován lidmi při dýchání a produkce závisí na fyzické konstituci člověka a jeho činnosti. V každé obytné místnosti je umístěn senzor oxidu uhličitého a na základě koncentrace oxidu uhličitého jsou otevírány přiváděcí vyústky. Pokud koncentrace oxidu uhličitého v dané místnosti nepřekročí nastavenou hodnotu, vyústky jsou uzavřené a venkovní vzduch se dostává dovnitř pouze infiltrací. Tento systém umožňuje udržet kvalitu vnitřního vzduchu bez vysokých nároků na spotřebu elektrické energie. [10] [14]

3.3 Klimatizační zařízení

Klimatizace je strojní úprava vzduchu zajišťující požadované parametry prostředí a to, teplotu, vlhkost a čistotu vzduchu. Klimatizační zařízení z pohledu fyzikálního je systém plnící následující termodynamické funkce úprav vzduchu. Úpravy vzduchu chlazení, ohřev, vlhčení a odvlhčování. Klimatizační zařízení, které zajistí všechny parametry prostředí je celoročně označováno jako úplná klimatizace. Klimatizační zařízení, které zajistí jen některé funkce především chlazení je označováno jako dílčí klimatizace. Dle účelu rozdělujeme klimatizační zařízení na komfortní a technologické. Komfortní klimatizace slouží k úpravě vnitřního prostředí pro dodržení hygienických podmínek tedy pro pohodu osob v prostředí bez průmyslových škodlivin. Používá se především pro obytné prostory, domácnosti, kanceláře, výrobní prostory apod. Technologická klimatizace slouží k zajištění nutného prostředí k průběhu technologických procesů. Převládá požadavek technologie nad požadavkem osob. Klimatizace se používá k zajištění interního mikroklimatu s vyššími požadavky na jeho kvalitu, zejména v letním období. Stává se potřebnou v budovách s velkou tepelnou zátěží, v budovách s velkým podílem zasklení a v budovách s velkými nároky na pohodu prostředí, ale také ve výrobních budovách. [15] [16] [17]

- Dle technického provedení a druhu teplotonosné látky lze klimatizační systémy dělit na:
 - Vzduchové systémy
 - Vodní systémy
 - Chladivové systémy
 - Kombinované systémy
- Dle způsobu sdílení tepla:
 - Konvektivní
 - Sálavé
- Dle počtu zón (místností), ve kterých klimatizační systém upravuje prostředí:
 - Jednozónové
 - Vícezónové

3.3.1 Systémy jednozónové

Systémy jednozónové se používají k úpravě vzduchu v jednom prostoru, resp. ve více prostorech se stejným charakterem tepelné zátěže a provozu. Systémy mají jednu klimatizační jednotku, která je řízena čidly umístěnými v klimatizovaném prostoru. Typický jednozónový systém je vzduchový jednokanálový systém používaný např. pro divadla, kina, koncertní sály,

sportovní haly, průmyslové haly. Další jednozónový systém je chladivový split systém používaný pro klimatizování kanceláří, obchodů a bytů. [17]

3.3.2 Systémy vícezónové

Systémy vícezónové se používají k úpravě vzduchu u budov s větším počtem místností např. pro administrativní budovy a hotely. Ústřední klimatizační zařízení slouží pro úpravu vzduchu (filtraci, ohřev, chlazení, vlhčení) a pro rozvod venkovního vzduchu (případně i oběhového). Další prvky systému tvoří ústřední zdroje chladu/tepla a vodní/chladivové rozvody v budově. V jednotlivých místnostech se pak dodatečně upravuje teplota podle individuálních tepelných podmínek sledovaných teplotním čidlem pomocí koncových prvků napojených na ústřední zdroje vzduchu, vody nebo chladiva. Systémy vícezónové umožňují úpravu vnitřních tepelných podmínek jednotlivých místností podle aktuální tepelné zátěže, počtu osob, provozu elektrických spotřebičů, stínění budovy, aj. [17]

3.3.3 Vzduchové systémy

Jako teplonosná látka u vzduchových systémů pro přenos tepla a chladu mezi zdrojem a klimatizovanou místností k pokrytí tepelné zátěže slouží vzduch vedený vzduchovody. V centrální jednotce se upravuje vzduch směřováním venkovního a cirkulačního vzduchu, ohřev v zimním období a chlazení v letním období, vlhčení případně odvlhčení. Součástí jednotky jsou i ventilátory a filtry. Vzduch má malou tepelnou kapacitu, a proto k přenosu tepelné energie jsou nutné větší průtoky vzduchu. Pro zajištění požadovaného vnitřního prostředí jsou nutné větší výměny vzduchu v místnostech a s tím jsou spojené poměrně velké průřezy vzduchovodů. Vzduchové systémy se dělí dle způsobu regulace a uspořádání na jednozónové a vícezónové, jednokanálové a dvoukanálové. Dále lze systémy dělit podle rychlosti proudění vzduchu na nízkotlaké a vysokotlaké. Používají se tam, kde jsou požadavky na vysoké průtoky čerstvého vzduchu, přesné dodržení teplot vlhkostí a koncentrací. Typické aplikace jsou pro občanské a průmyslové budovy. Mezi vzduchové klimatizační systémy patří: [16] [18]

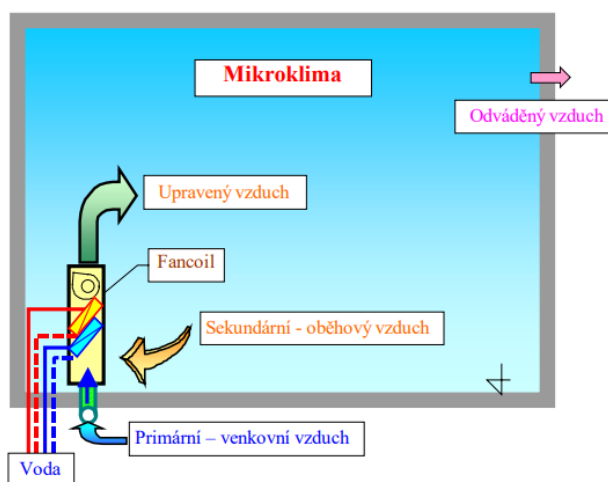
- Vzduchové systémy jednozónové
 - Jednokanálový systém s konstantním průtokem vzduchu
- Vzduchové systémy vícezónové
 - Jednokanálový systém s proměnným průtokem vzduchu
 - Dvoukanálový systém s konstantním průtokem vzduchu

3.3.4 Kombinované systémy

U kombinovaných klimatizačních systémů se pro tvorbu vnitřního mikroklimatu a pokrytí tepelné zátěže i ztrát místností používá vzduch-voda. Voda se rozvádí potrubní sítí z místa své úpravy do jednotlivých klimatizovaných místností budovy. V jednotlivých klimatizovaných místnostech jsou instalovány koncové prvky, které slouží k předání tepla. Koncové prvky s teplosměnnou plochou sdílejí teplo:

- Konvekcí pomocí indukčních jednotek
- Konvekcí pomocí ventilátorových jednotek tzv. Fancoilů
- Sáláním velkoplošnou plochou tzv. chladícím stropem

Kombinované systémy používající indukční jednotky nebo fancoily jsou v podstatě stejné, rozdíl je v použití koncových prvků. Systémy lze rozdělit dle způsobu rozvodu vody na dvoutrubkové, třítrubkové a čtyřtrubkové s horizontálním a vertikálním provedení. Vnitřní klimatizační jednotky jsou připojeny na rozvod primárního vzduchu. Ve vnitřních klimatizačních jednotkách (indukční jednotky nebo fancoil jednotky) probíhá konečná úprava teploty vzduchu. [15] [16] [18]



Obr. 2 schéma kombinovaného systému [16]

3.3.5 Klimatizační systém chladící strop

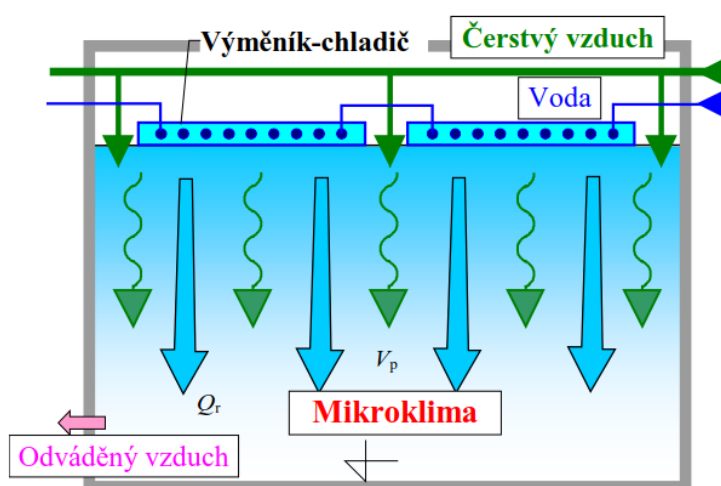
Klimatizační systém chladící strop je tvořen částí chladicí a částí vzduchotechnickou. Systémem lze pokrýt tepelnou zátěž částečně nebo úplně a v zimním období je možné systémem pokrýt tepelné ztráty. Chladicí část tvoří plochý trubkový výměník tepla, kterým protéká chladná voda a pokrývá tak částečně nebo úplně tepelnou zátěž. Obvyklé povrchové

teploty chladícího stropu se pohybují okolo 19 až 20 °C dle teploty chladící vody a požadovaného vnitřního mikroklimatu. Výměna vzduchu a jeho vlhčení se zajišťuje vzduchotechnickým systémem, kterým také lze pokrýt tepelné ztráty nebo částečně tepelné zisky.

Chladící stropy lze rozdělit podle konstrukce na masivní a lehké. Masivní systémy jsou vloženy do stropní konstrukce, lehké systémy jsou zavěšené. Lehké chladící stropy lze dále rozdělit na otevřené a uzavřené. U otevřených chladících stropů dochází ke konvektivnímu přenosu tepla a u uzavřených k sálavému přenosu tepla. Základní typy chladících stropů:

- Masivní chladící strop jako součást stropní konstrukce
- Modulační klima deska
- Chladící panely umístěné v podhledové konstrukci opatřené izolací
- Lamelový chladící strop upevněný na vodní potrubí
- Otevřený chladící strop v podobě protlačovaných profilů s vodními kanály
- Kapilární systém umístěný v omítce

Jedna z výhod tohoto systému je, že zajišťuje stav prostředí bez proudění vzduchu a bez nežádoucího průvanu. Oproti vzduchovým systémům se objemový průtok vzduchu průměrně snižuje na 20 % a je závislý na počtu osob v klimatizované místnosti. Nároky na prostor u chladícího stropu jsou minimální a údržba také. Chladící výkon se pohybuje dle provedení od 20 do 50 W/m². Chladící stropy se používají např. pro banky, kanceláře, obchody, restaurace, aj. [16] [19]



Obr. 3 schéma chladícího stropu [16]

3.3.6 Chladivové systémy

Chladivové systémy jsou v dnešní době stále oblíbenější a rozšířenější. Představují moderní pojetí klimatizace, protože jsou pro uživatele komfortní a prostorově nenáročné. Chladivové systémy využívají přímo oběhu chladiva, pracují se základní variantou kompresorového chladicího okruhu.

Chladivové klimatizační systémy se skládají z venkovní jednotky a vnitřní jednotky. Venkovní jednotka bývá umístěna např. na střeše budovy nebo na fasádě objektu a její součástí je kompresor a vzduchem chlazený kondenzátor. Vnitřní jednotky se umísťují ve vnitřním prostoru v místnostech a součástí je výparník ve funkci chladiče vzduchu. Venkovní a vnitřní jednotky jsou propojeny chladivovým potrubím, dvěma trubky pro plynné a kapalně chladivo. Používají se pro klimatizaci administrativních budov, hotelů, bytového prostředí atd. Vyrábějí se ve variantách jedna venkovní jednotka a jedna vnitřní jednotka nebo jedna venkovní jednotka a více vnitřních jednotek. Umožňují v létě chlazení a v zimě vytápění, u technicky nejdokonalejších systémů je možno zároveň chladit i vytápět.

Tyto systémy se vyznačují dvou nebo třítrubkovým rozvodem chladiva a přenosem tepla pomocí skupenských změn. V základním chladicím režimu provozu probíhá vypařování chladiva ve vnitřní jednotce (odnímá se teplo klimatizované místnosti) a kondenzace chladiva se vnější kondenzátorové jednotce (kondenzační teplo se předává externímu vzduchu). Základní varianta umožňuje chlazení, dokonalejší varianty umožňují i vytápění. V režimu vytápění probíhají tepelné děje s přenosem tepla opačně (tepelné čerpadlo). Kompresor kromě stlačování chladiva zajišťuje i jeho dopravu k výparníkům ve vnitřních jednotkách. Kompresor pokrývá tlakové ztráty chladiva v potrubí a s délkou potrubí chladicí výkon systému klesá. U každé venkovní jednotky je dána maximální vodorovná a svislá vzdálenost potrubí mezi vnitřní a venkovní jednotkou, tato odpovídá zpravidla 15 % poklesu nominálního výkonu zařízení.

Do chladicího oběhu nejsou přidány žádné další okruhy jako je to např. u vodního chlazení a díky tomu dosahují chladivové systémy vysokého chladicího faktoru a mají úspornější provoz. Oproti vodním systémům odpadají rozměrné a těžké akumulční nádoby, hydraulické vyvážení rozvodů chladné vody atd.

Vnitřní jednotky jsou umístěné ve vnitřních místnostech a obsahují jeden výměník, ventilátor, vzduchový filtr a expanzní ventil. Vnitřní jednotky pracují pouze s oběhovým vzduchem nebo je možné jednotku napojit na přívod venkovního vzduchu. Dnes je dbáno na filtraci vzduchu, filtry instalované ve vnitřních jednotkách odstraňují zápachy, tabákový kouř,

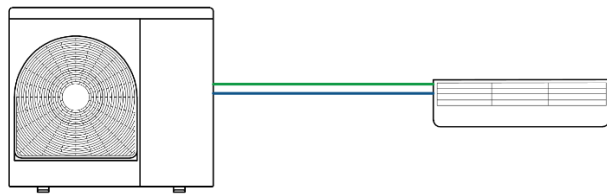
pyl apod. Většina vnitřních jednotek má částečně nastavitelný směr výfuku vzduchu pomocí nastavitelných lamel. Umístění vnitřní jednotky a volby vhodného výkonu jednotky je důležitým faktorem pro správnou funkci klimatizačního systému a spokojenosti uživatele. Vnitřní jednotky lze z hlediska umístění a proudění vzduchu rozdělit na:

- Nástěnné
- Podstropní
- Parapetní
- Kazetové
- Potrubní

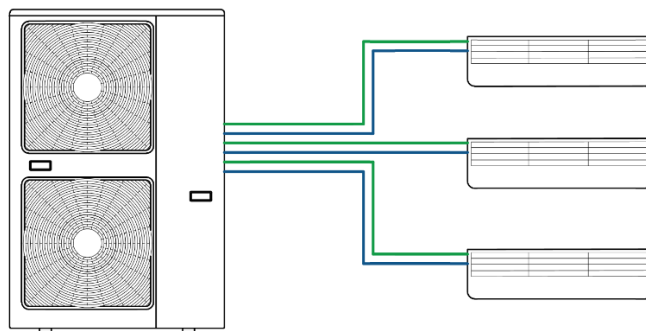
Venkovní jednotky se skládají z kondenzátoru a kompresoru. Většina kondenzačních jednotek je chlazená vzduchem, výjimečně jsou upraveny pro chlazení vodou. Ventilátor zajišťuje proudění vzduchu přes kondenzátor. Kompresor ve venkovní jednotce je zdrojem hluku, a proto je nutné venkovní jednotku umístit na vhodné místo nebo použít akustickou zástěnu. Při návrhu větších VRV systémů je možné předimenzování kondenzační jednotky, to znamená, že součet výkonů vnitřních jednotek může být až 130 % jejího nominálního výkonu.

Chladivové systémy můžeme rozdělit do těchto základních skupin: [15] [16] [18]

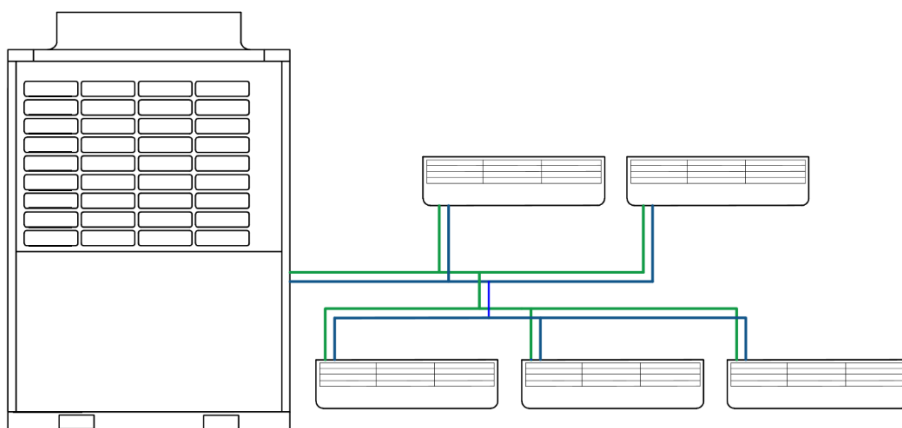
- **Split systém** – skládá se z jedné venkovní a jedné vnitřní jednotky. Výkon kompresoru se reguluje 0/100 % - zapnuto/vypnuto, nebo plynule, tato technologie se nazývá invertorová.
- **Multisplit systém** – skládá se z jedné venkovní jednotky a z několika (zpravidla od 2 do 4) vnitřních jednotek. Vnitřní jednotky pracují ve stejném režimu, každá vnitřní jednotka je ovládána samostatně. Výkon kompresoru se reguluje 0/100 % - zapnuto/vypnuto.
- **Multisplit s proměnným průtokem chladiva** (obchodní označení VRV, VRF, MRV) – systém se skládá z jedné venkovní jednotky a několika (podle velikosti od 2 do 40) vnitřních jednotek. Výkon kompresoru je plynule řízen frekvenčním měničem (inverter).
- **Multisplit s proměnným průtokem chladiva s přečerpáním tepla** (obchodní označení VRV-R, VRF-R) – někdy také označované se zpětným získáváním tepla. Stejná varianta jako systém předešlý doplněný o prvky umožňující distribuci tepelné energie mezi jednotlivými vnitřními jednotkami. Tím je možné některými vnitřními jednotkami chladit a některými současně topit.



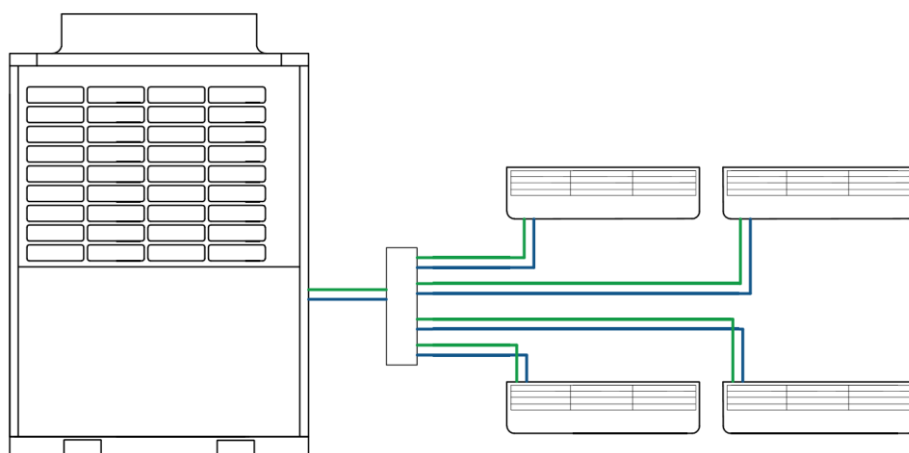
Obr. 4 Systém split [16]



Obr. 5 Systém multisplit [16]



Obr. 6 Systém VRF [16]



Obr. 7 Systém VRF-R [16]

4 CHLADIVA

Aby mohly klimatizační systémy fungovat, potřebují médium (chlادivo). Chladivo je pracovní látkou chladivového oběhu, které cirkuluje v tepelném okruhu a odebírá energii ve výparníku při nízké teplotě a předává tuto energii v kondenzátoru při vysoké teplotě. Chladivo mění své skupenství z kapalného na plynné ve výparníku, a naopak z plynného na kapalné v kondenzátoru. Chladiva můžeme dělit dle původu na přírodní (voda, oxid uhličitý, čpavek), čisté uhlovodíky (propan, izobutan) a syntetická (halogenové uhlovodíky). Chladiva se dají dále dělit na jednosložková a směsi zeotropické (fázová změna probíhá v určitém rozsahu teplot), nebo azeotropické (fázová změna probíhá za konstantního tlaku a teploty). Velmi důležitý je vliv chladiva na životní prostředí při jeho úniku. Nebezpečný je potenciál rozkladu ozónu ODP, chladiva s tím potenciálem se nadále nesmějí v Evropské unii používat. Pro lepší orientaci v dopadu chladiva na životní prostředí se dále používají dvě důležité zkratky.

GWP (Global Warming Potential) – potenciální globální oteplování, tedy potenciál látky zvýšit teplotu klimatu v poměru k potenciálu oxidu uhličitého (CO₂), počítaný jako stoletý potenciál oteplování 1 kg skleníkového plynu v poměru k 1 kg CO₂. Chladiva, která mají vysoký potenciál GWP z dlouhodobého hlediska nejsou perspektivní.

CO₂_ekv. (ekvivalent CO₂) – vypočte se jako násobek GWP a náplně chladiva. Vyjadřuje se v tunách. V praxi to znamená, že čím je nižší GWP a čím je méně chladiva v jednotce, tím nižší je ekvivalent CO₂. Ekvivalent CO₂ vyjadřuje, kolik tun oxidu uhelnatého má v ovzduší stejný dopad jako množství konkrétního chladiva použitého v klimatizaci. Od roku 2017 je povinné tuto hodnotu uvádět na štítku venkovní klimatizační jednotky.

V minulosti byla používána chladiva na bázi halogenových uhlovodíků obsahujících chlór (CFC), a která se označovala pod komerčním názvem freony. Později se ukázalo, že tyto chladiva mají špatný vliv na životní prostředí a začaly se používat uhlovodíky částečně halogenované (HCFC). V dnešní době je zakázáno použití i těchto chladiv a používají se jen fluorované uhlovodíky a jejich směsi (HFC). Chladiva neobsahují chlór a nenarušují ozónovou vrstvu. [17] [20] [21]

4.1 Chladivo R410A

Chladivo s GWP = 2088. Chladivo je stále ještě používané pro klimatizace. Je to směs pentafluorethanu R125 a difluormethanu R32 a nepodléhá zatím žádným zákazům. Je nehořlavé a oproti jiným chladivům má vysokou objemovou chladivost a energetickou efektivnost. [21]

4.2 Chladivo R407c

Chladivo s GWP = 1770. Chladivo je směsí difluormethanu R32, pentafluorethanu R125 a tetrafluorethanu R134a v poměru 23 : 25 : 52 %. Jedná se o stabilní látku, která není pro lidský organismus nebezpečná. V klimatizacích nahradilo chladivo R22, které je nebezpečné pro ozónovou vrstvu. Chladivo R407c se používá u klimatizačních systémů do -10 °C. Chladivo má příznivější dopad na životní prostředí než chladivo R410c. [21]

4.3 Chladivo R32

Chladivo s GWP = 675. Toto chladivo je ekologičtější a s hodnotou GWP = 675 je výrazně příznivější než ostatní chladiva. Navíc chladivo R32 je energeticky účinnější a má mnohem lepší schopnost přenosu tepla. V porovnání s chladivem R410A může klimatizace s R32 se stejnou náplní dodat cca o 60 % vyšší výkon (v závislosti na konkrétní aplikaci a zařízení). Chladivo R32 má nízkou hodnotu GWP, a proto je bezpečné a udržitelné z hlediska budoucnosti. [21]

Tab. 2 Přehled chladiv pro klimatizační zařízení [18]

Fluorované skleníkové plyny		GWP
Označení	Chemické označení	
R22	CHCLF ₂	1700
R32	CH ₂ F ₂	675
R134a	CH ₂ FCF ₃	1300
R404A	R125/R134a/R143a	3784
R407C	R32/R125/R134a	1770
R410A	R32/R125	2088

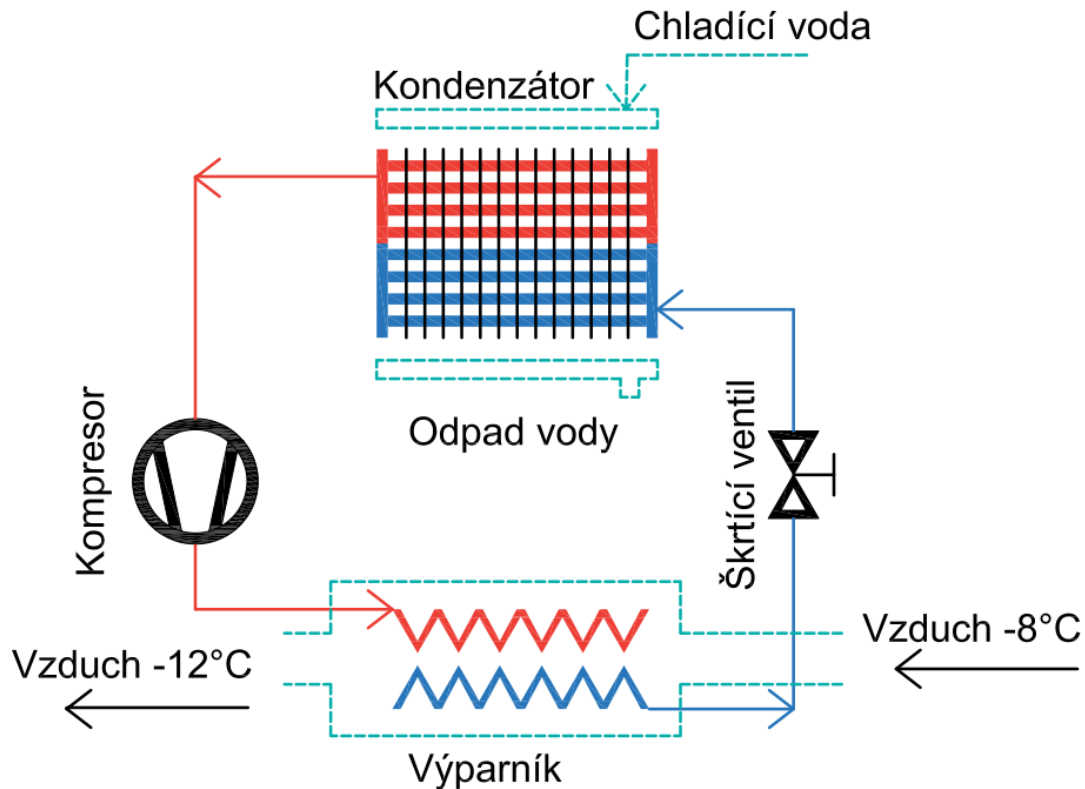
Přírodní chladiva		GWP
Označení	Chemické označení	
R290	C ₃ H ₈	3
R744	CO ₂	1
R717	NH ₃	0

5 ZDROJE CHLADU

Jednou z hlavních funkcí klimatizačních zařízení je v letním období chlazení. Zdroje chladu pro klimatizační zařízení lze rozdělit podle několika kritérií. Rozlišují se zařízení založená na oběhu chladiva (absorpční, kompresorová), termoelektrické chlazení a alternativní způsoby chlazení využívající chlad z okolního prostředí (zemní chlazení, noční chlazení a adiabatické chlazení). Většina zdrojů chladu pro klimatizace pracuje s kompresorovým oběhem chladiva. [22]

5.1 Kompresorové chlazení

V současné době většina zdrojů chladu pro klimatizaci pracuje s kompresorovým oběhem chladiva a tento systém patří mezi nejrozšířenější. Využívá se jak v průmyslu, tak v komunální sféře, ale i v domácnostech (lednička, mraznička). Chlazení je založeno na odpařování a kondenzaci kapalného chladiva. K této skupenské přeměně je zapotřebí velkého množství tepla. Kromě toho mají používaná chladiva při tlacích blízkých atmosférickému tlaku teplotu varu hluboko pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Chladivo nepřetržitě obíhá v zařízení. Kompresní chladicí zařízení se skládá z výparníku, kompresoru, kondenzátoru a regulačního (škrťacího) ventilu.



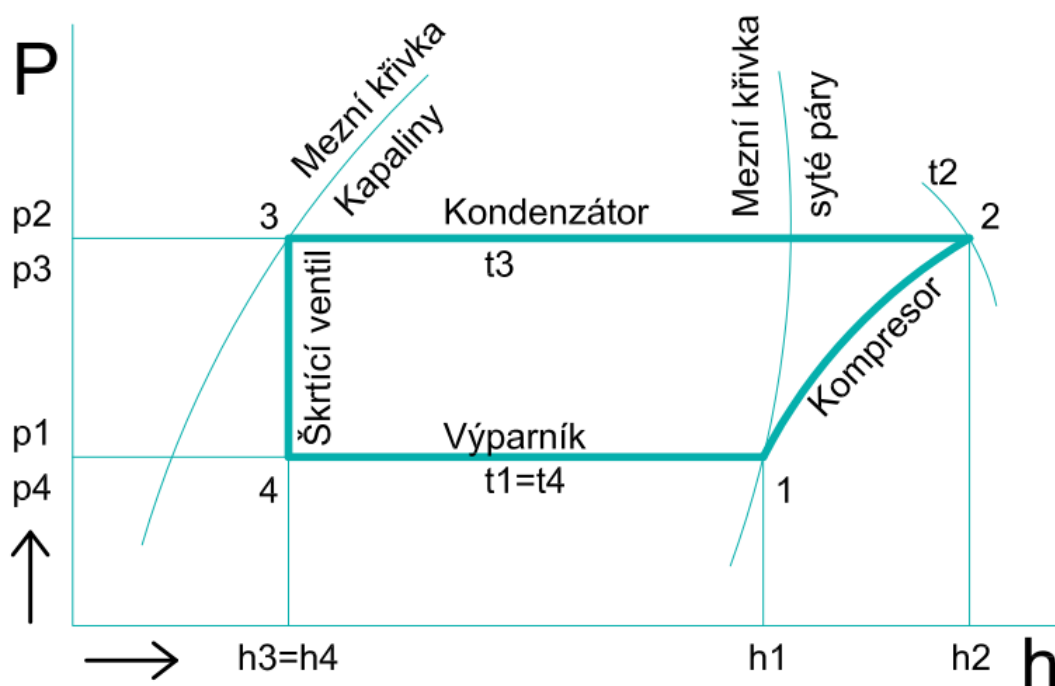
Obr. 8 Technologické schéma kompresorového chlazení [23]

Způsob funkce kompresorového chlazení je na obr. 8 a na obr. 9 jeho znázornění v p-h diagramu. Kompresorové chlazení je založeno na principu, kdy se chladicí látka odpařuje ve výparníku a při odpařování pohlcuje teplo z místa (systému), které má být ochlazen.

Kompresor nasává páry chladiva z výparníku a stlačuje je na kondenzační tlak (p_2), tím dochází i ke zvýšení teploty par (t_2). Páry jsou přivedeny do kondenzátoru, kde jim chladicí tekutina odebere teplo a páry kondenzují při konstantním tlaku a teplotě (p_3 , t_3). Z kondenzátoru pokračuje kapalné chladivo k expanznímu ventilu, kde dojde ke snížení tlaku (expanzí) a tím i snížení teploty. Ve výparníku se potom při nízké teplotě (t_1) a tlaku (p_1) chladivo vypařuje a odebírá teplo chlazené tekutině. Množství energie odebrané chlazené látce lze stanovit z rozdílu entalpie chladiva před a za výparníkem ($h_1 - h_4$) a množství energie předané chladicí látce je dáno rozdílem entalpií v kondenzátoru ($h_3 - h_2$). Rozdíl entalpií na kompresoru ($h_2 - h_1$) odpovídá energii dodané pro chod oběhu. [15] [22] [24]

Kompresorové chlazení lze rozdělit podle typu chladivových kompresorů na:

- Pístové
- Spirálové (tzv. scroll)
- Šroubové
- Rotační objemové
- Turbokompresory



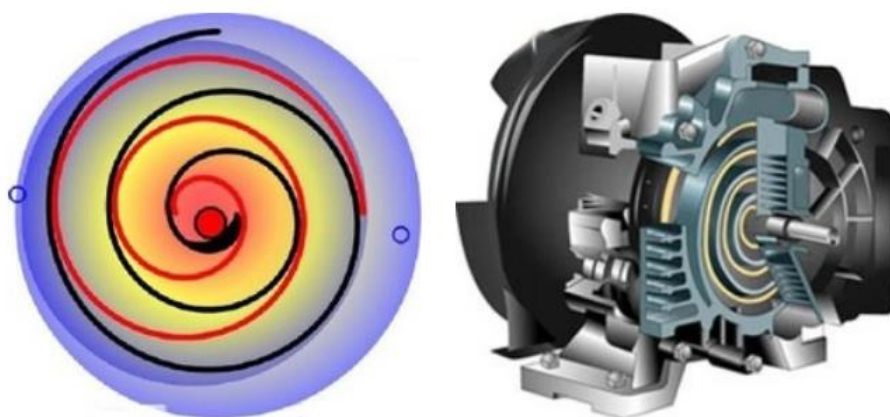
Obr. 9 Schéma kompresorového chladivového oběhu v p-h diagramu [22]

5.1.1 Pístové kompresory

Tyto kompresory se v klimatizaci používají především pro menší zařízení do výkonu stovek kW. V dnešní době jsou v klimatizaci čím dál více nahrazovány kompresory rotačními. Většina pístových kompresorů používá pro vratný pohyb pístu klikový mechanismus nebo excentr. Výhoda těchto kompresorů je zvládnutá výrobní technologie. [22] [25]

5.1.2 Spirálové kompresory

První kompresor typu scroll byl vyvinut na počátku 20.století. Kompresor je tvořen dvěma spirálami vloženými do sebe, jednou pevnou a druhou excentricky kroužící. Ve spirálách dojde k nasátí média a jeho stlačení směrem ke středu. Tím se teplota i tlak zvyšují na požadovanou hodnotu. Ve středu spirály je výtlačná trubka. Aby nedocházelo k úniku média, je třeba spirály nepřetržitě mazat. Při nízkých rychlostech je účinnost mazání snížena a může dojít k předčasnému opotřebení kompresoru. Jedna z výhod tohoto druhu kompresoru je, že má malý počet pohyblivých dílů, což má vliv na životnost a spolehlivost stroje. Nevýhodou kompresoru jsou odstředivé síly vzniklé rotací rotoru. Tyto kompresory jsou využívány u menších zdrojů chladu s regulací průtoku a chladiva. [22] [25] [26]



Obr. 10 Spirálový kompresor [26]

5.1.3 Šroubové kompresory

Šroubové kompresory jsou vhodné pro většinu běžných chladiv. Využívají se u zdrojů chladu dosahujících vyšších výkonů kW až MW. Dosahují vysoké obvodové rychlosti a to troj, až dvacetinásobně vyšší než pístové kompresory. Díky tomu je umožněno zmenšení kompresoru při zachování chladicího výkonu. Dělí se na jednorotorové a dvourotorové v mazaném a bezmazaném provedení. [22] [25]

5.1.4 Rotační objemové kompresory

Rotační kompresory mají různá řešení rotujících pístů (válců). Kompresory jsou typické pro malé klimatizační jednotky typu split. Píst ve tvaru válce se vystředěně odvaluje po stěně pracovního válce a vytlačuje před sebou páry chladiva. Prostor vysokého a nízkého tlaku odděluje pohyblivá těsnící deska. K těmto typům kompresorů patří také dvojitý rotační kompresor, který v osmdesátých letech minulého století vyvinula japonská společnost Toshiba. Kompresor je tvořen dvěma pevnými komorami. V každé z nich se otáčí excentrická vačka, která stlačuje chladivo ve spolupráci pohyblivou komorovou přepážkou. Obě vačky jsou uloženy v protilehlých polohách na jedné společné hřídeli tak, aby bylo zajištěno vyrovnaní namáhání hřídele a ložisek rotoru. V dnešní době kompresory používá například firma Toshiba, Daikin, Mitsubishi a IVT. [22] [25] [26]



Obr.11 Dvojitý rotační kompresor [26]

5.1.5 Turbokompresory

Využívají se pro zdroje chladu velkých výkonů. Plynu v pohyblivém lopatkovém kole turbokompresoru je dodána kinetická energie, která se v nepohyblivém lopatkovém kole převádí na tlakovou. Výhodou těchto kompresorů je při částečném zatížení vysoký nárůst chladicího faktoru. Kompresory se dělí na axiální, radiální a diagonální podle charakteru proudění par chladiva oběžným kolem nebo více oběžnými koly. Dále je možné kompresory dělit podle spojení s pohonem na ucpávkové, polohermetické a hermetické. Kromě techniky chlazení mají turbokompresory uplatnění v metalurgii při výrobě železa, v dolech, tlakových plynárnách, chemickém průmyslu při zpracování ropy a zemního plynu. Jsou také součástí spalovacích turbín, tlakovzdušných elektráren. [22]

5.2 Absorpční chlazení

Absorpční zařízení pracuje bez kompresoru jen s oběhovými čerpadly. Pro funkci abs. oběhu je nutné dodávat teplo. Využití zdrojů chladu s absorpčním oběhem je tam, kde je k dispozici odpadní teplo od technologických procesů. Např. při kogenerační výrobě elektřiny se odpadní teplo v zimě využívá k vytápění a v létě k pohonu absorpčního zdroje chladu. [15]

5.3 Alternativní zdroje chladu

Někdy se označuje jako nízkoenergetické chlazení. Využívá nízkoenergetického chladu z okolního prostředí pro chlazení budov. Alternativní zdroje chladu lze využít tam, kde je budova i systém větrání vhodně navržen. A tam, kde vnitřní zisky nejsou vysoké a není požadavek na přesné podmínky vnitřního vzduchu. [15]

5.3.1 Noční chlazení

U nočního chlazení jsou tepelné zisky během dne akumulovány do tepelné hmoty budovy a odvedeny větráním v noci. Základní podmínkou nočního chlazení je dostatečně nízká teplota vzduchu v nočních hodinách. Další podmínkou funkce je dostatečná tepelná hmota budovy a noční větrání venkovním vzduchem. Noční chlazení s vysokou tepelnou hmotou budovy dokáže odvézt 20 až 30 W/m² periodické tepelné zátěže a snížit teplotu vzduchu v prostoru o 2 až 3 K. [15]

5.3.2 Adiabatické chlazení

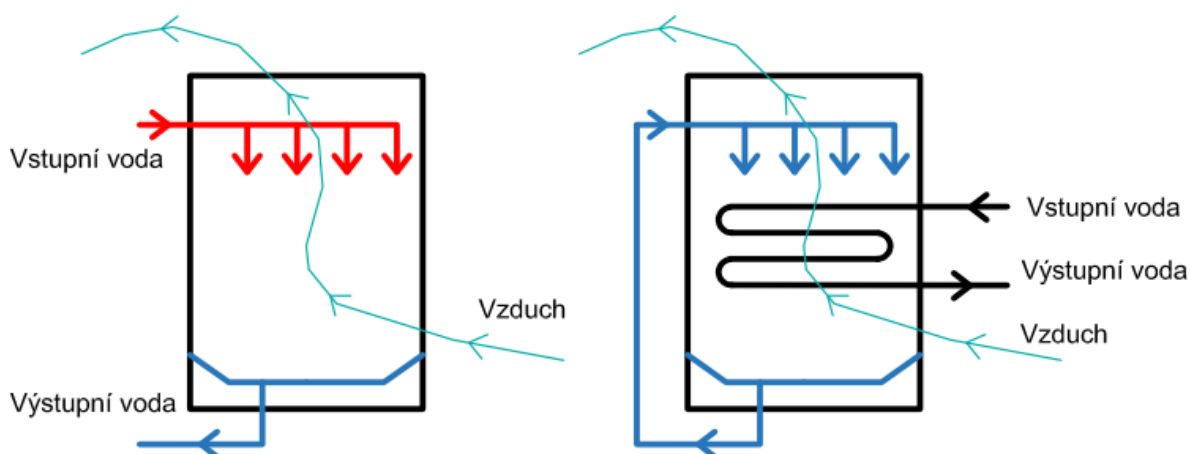
Principem adiabatického (odpařovacího) chlazení je přeměna citelného tepla na teplo vázané při odpařování vody. Rozprašováním vody do vzduchu se voda odpařuje a tím klesá teplota vzduchu a roste vlhkost vzduchu. Existují tři základní metody adiabatického chlazení: přímé, nepřímé a adiabatické chlazení s využitím sorpčních výměníků. Přímé adiabatické chlazení spočívá v přímém ochlazování přiváděného vzduchu odpařováním vody. U nepřímého adiabatického chlazení je adiabaticky chlazen sekundární vzduch, nebo je adiabaticky vyráběna chladicí voda. Sekundární vzduch pak odebírá citelné teplo přiváděnému vzduchu pomocí výměníků tepla vzduch-vzduch. Při adiabatické přípravě chladicí vody se pak chladná voda používá k chlazení vzduchu nebo pro sálavé chlazení. [15] [27]

5.3.3 Využití chladu zemského polomasivu

Základní metody, které pro chlazení budov využívající chlad země jsou: výměníky země – vzduch, výměníky země – voda, využití spodní vody, využití vody řek a jezer. [15]

5.4 Chladicí věže

Zařízení chladicí věž slouží k ochlazení vody kondenzátorového okruhu chladících jednotek s vodou chlazenými kondenzátory. Jedná se o adiabatické chlazení, při kterém je rozstříkována voda do vzduchu a dochází k odparu kapek. Tím se mění vázané teplo na teplo citelné a vzduch i kapky se ochlazují. Ochlazení je limitováno stavem nasycení, který odpovídá teplotě mokrého teploměru. Díky tomu, že v České republice je polosuché a teplé klima, je potenciál pro adiabatické chlazení poměrně velký. Maximální teplota mokrého teploměru je v České republice v běžném roce 20 °C a v extrémním roce 25 °C. Díky tomu mají kondenzátory chlazené vzduchem, který byl adiabaticky ochlazen, nebo přímo osazené do chladících věží nižší kondenzační teploty než suché vzduchem chlazené kondenzátory. Na obr. 19 je vidět chladicí věž obchodního centra Chodov. Chladicí věže jsou pro venkovní instalace v provedení s možností tlakově otevřeného nebo uzavřeného okruhu. Chladicí věž otevřená: dochází přímo ke styku chladicí vody s okolní atmosférou. Chladicí voda je rozstříkována v horní části chladicí věže a následně stéká přes výplň chladicí věže do vany. Proti stékající vodě proudí vzduch, který ochlazuje chladicí vodu na požadovanou teplotu. Následně je chladicí voda nasávána čerpadlem a dopravována ke spotřebiči. Chladicí věž uzavřená: dochází ke styku chladicí vody (určené pro chlazení spotřebiče) s okolní atmosférou. Jde o uzavřený chladicí okruh. Trubkovým výměníkem, který je umístěn v chladicí věži proudí chladicí voda. Na výměník je rozstříkována voda, která je čerpána z vany chladicí věže. Přes výměník a rozstříkovanou vodu proudí vzduch (stejně jako u otevřené chladicí věže). Množství vzduchu je řízeno dle požadované teploty chladicí vody. [15] [28] [29]



Obr. 12 Otevřená chladicí věž (vlevo) a uzavřená chladicí věž (vpravo) [23]

5.5 Suché chladiče

Suché chladiče slouží k chlazení kapalin pouze pomocí proudění vzduchu přes výměník, ve kterém proudí chlazená kapalina. Výměník je vyráběn z měděných trubek, které jsou opatřeny roznášecími lamelami pro zvětšení teplosměnné plochy výměníku. Suché chladiče se vyrábějí v provedení horizontálního průtoku vzduchu a v provedení vertikálního průtoku vzduchu. Suché chladiče jsou velmi vhodné pro kombinaci s konvenčními chladicími systémy. Proto v zimním období, kdy je teplota venkovního vzduchu nízká se využívá pouze suchých chladičů pro freecooling (volné chlazení). Na obr. 13 jsou vidět suché chladiče na střeše obchodního centra Chodov. Jsou navrženy pro chlazení vodních kondenzátorů chladících jednotek pro strojovnu objektu D. [15] [30]



Obr. 13 Suché chladiče (střeša OC Chodov)

6 CHLADÍCÍ FAKTORY ZDROJŮ CHLADU

V této kapitole je popsán celkový chladicí faktor klimatizačního systému. Mimo energetických nároků zdroje chladu zahrnuje celkový chladicí faktor i energetické nároky ventilátorů a čerpadel. Ty jsou součástí klimatizačního systému a zajišťují odvod tepelné zátěže. Jedná se vlastně o stupeň využití energie, kterou musíme zařízení nebo procesu dodat tak, aby byl dosažen požadovaný výsledný efekt. Celkový chladicí faktor je tedy jedním z důležitých ukazatelů hospodárnosti klimatizačního zařízení. [31]

6.1 Chladicí faktor chladícího zařízení

Chladicí faktor je definovaný jako poměr chladícího výkonu k příkonu. Kdybychom použili definici pro celé klimatizační zařízení, pak bychom definovali zkratkou *COPAC*. Poměr tepelné zátěže odvedené z klimatizovaného prostoru ku příkonu celého klimatizačního zařízení. Chladicí faktor se dříve označoval zkratkou *COP* (Coefficient of Performance). Dnes se chladicí faktor označuje zkratkou *EER* (Energy Efficiencyratio). Původní zkratka *COP* se nadále používá pro označení topného faktoru.

$$EER = \frac{Q_N}{P_N} = COP \quad (9)$$

Q_N – chladicí výkon

P_N – elektrický příkon zdroje

V klimatizaci většina zdrojů chladu pracuje s parním oběhem, který je také označován jako kompresorový oběh. V chladicí technice se pro porovnání a pro studium základních zákonitostí kompresorového oběhu používá levotočivý Carnotův oběh. V praxi má tento oběh nedosažitelnou účinnost. Chladicí faktor takového oběhu se označuje COP_C . Je dán poměrem termodynamické teploty vypařovací T_o a rozdílu teploty kondenzační T_k a teploty vypařovací T_o . Chladicí faktor je pro dané teploty a pro Carnotův oběh nejvyšší možný a nezávislý na druhu látky obíhající v okruhu. Od teoretických oběhů se skutečné liší nevratností dějů. Jak se liší chladicí faktor teoretického oběhu COP_C a reálného oběhu COP_R je vyjádřeno následujícími vztahy. [15] [17] [31]

$$COP_C = \frac{T_o}{T_k - T_o} \quad (10)$$

$$COP_R = COP_C * \eta_R = \frac{T_O}{T_K - T_O} * \eta_R \quad (11)$$

T_O – termodynamická vypařovací teplota

T_K – teplota kondenzační

η_R – účinnost oběhu

Celkový chladicí faktor reálného oběhu COP_I je dán poměrem tepla odvedeného na výparníku k elektrickému příkonu kompresoru a musí zohlednit i účinnost kompresoru η_C a pohonu η_E .

$$COP_1 = COP_R * \eta_C * \eta_E = \frac{Q_1}{P} * = EER_1 \quad (12)$$

η_C – účinnost kompresoru

η_E – účinnost pohonu

Q_1 – chladicí výkon na výparníku

P_1 – příkon kompresoru

Rovnice číslo 12 je chladicí faktor definovaný pro zdroje chladu s vodou chlazeným kondenzátorem. V případě kompaktního zdroje s vzduchem chlazeným kondenzátorem je součástí zdroje i ventilátor pro odvod kondenzačního tepla a je nutné přičíst elektrický příkon tohoto ventilátoru P_2 . [15] [17] [31]

$$COP'_1 = \frac{Q_1}{P_1 + P_2} = EER'_1 \quad (13)$$

P_2 – příkon ventilátorů (odvod kondenzačního tepla)

6.2 Chladicí faktor klimatizačního zařízení EER_{AC}

Distribuce chladu po budově je u vodních klimatizačních systémů zajištěna vodním okruhem. Vzduchové klimatizační systémy s vodním chladičem jsou jednodušší, vodní okruh je propojen pouze se zdrojem a centrální klimatizační jednotkou. Oba systémy musí mít oběhové čerpadlo (čerpadla). Tento elektrický příkon P_3 je třeba přičíst do celkové bilance systému. Posledním stupněm v této bilanci je příkon ventilátorů P_4 . Příkon těchto ventilátorů zajišťuje rozvod vzduchu po budově a jeho distribuci v klimatizovaných prostorech

u vzduchových systémů, nebo jen u vodních systémů cirkulaci vzduchu přes ventilátorové konvektory (fan-coil).

$$COP_{AC} = \frac{Q_2}{P_1 + P_2 + P_3 + P_4} = EER_{AC} \quad (14)$$

Q_2 – zátěž odvedená z klimatizačního prostoru

P_3 – příkon oběhové čerpadlo (čerpadla)

P_4 – příkon ventilátorů (rozvodu vzduchu po budově)

U chladivových systémů a systémů s přímým výparníkem nejsou zahrnuta oběhová čerpadla. U zdrojů chladu s vodou chlazenými nebo externími kondenzátory, je nutné zohlednit i příkon pro odvod kondenzačního tepla (čerpadla, ventilátory, chladicí věže). [15] [17] [31]

6.3 Evropský sezónní chladicí faktor ESEER

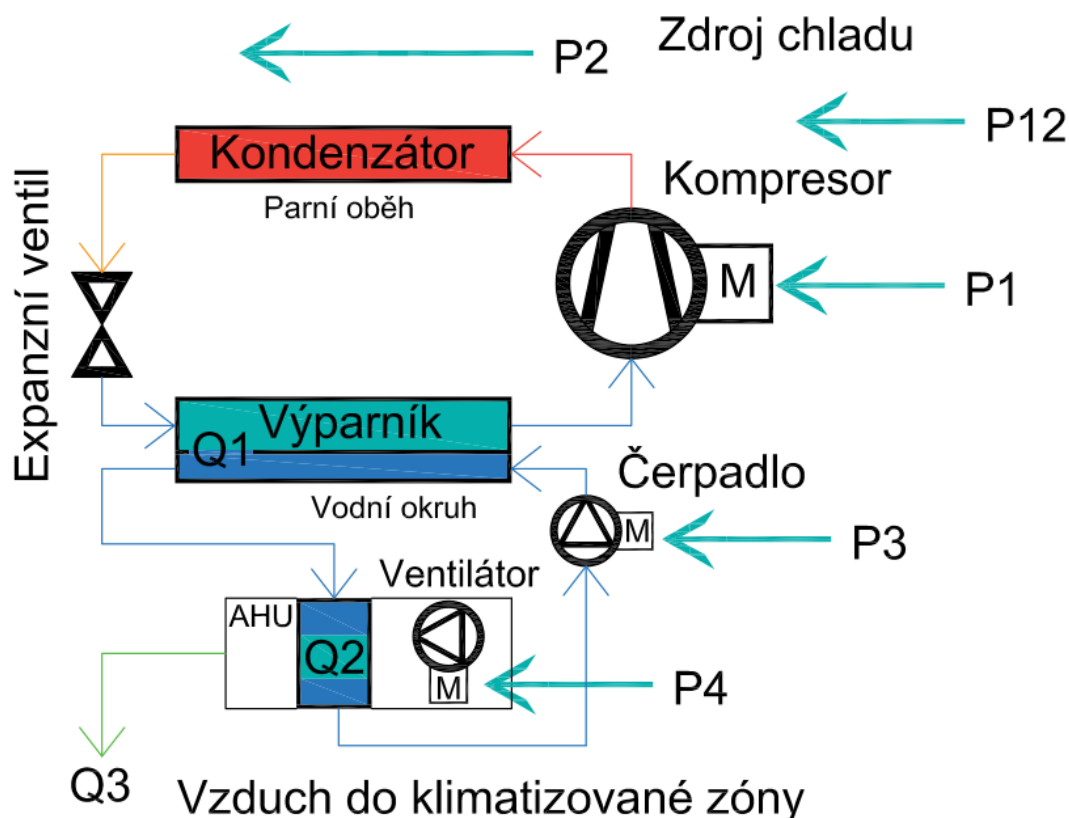
Evropský sezónní energetický faktor. V porovnání s EER, je stanoven jako kombinace různých provozních podmínek definovaných nejnověji podle EUROVENT/CEN tak, aby faktor odrážel co nejlépe provoz stroje v normálních sezónních provozních podmínkách mimo projektované maximální parametry. Evropský sezónní energetický faktor se vypočítá dle následujícího vztahu:

$$ESEER = A * EER_{100\%} + B * EER_{75\%} + C * EER_{50\%} + D * EER_{25\%} \quad (15)$$

$EER_{XX\%}$ chladicí faktor při XX procentním zatížení určený pro podmínky dle tabulky:

Tab. 3 Parametry pro vyhodnocení ESEER [15]

Procento zatížení	Teplota vzduchu (°C)	Teplota vody (°C)	Koeficient v rovnici
100	35	30	3 %
75	30	26	33 %
50	25	22	41 %
25	20	18	23 %

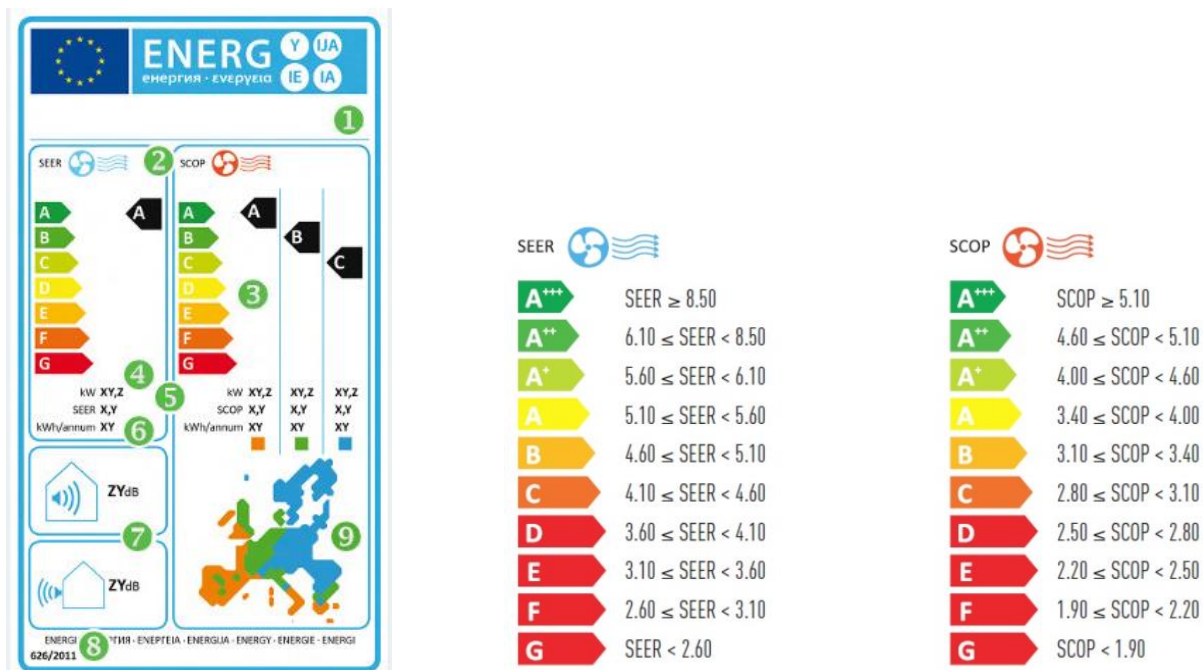


Obr. 14 Schéma energetických toků v klimatizačním systému [31]

6.4 Sezónní chladicí faktor SEER

Sezónní energetický faktor SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio). SEER se vyhodnocuje podobně jako ESEER z chladicích faktorů při různém zatížení, ale mírně se liší jak váhový koeficient, tak způsob stanovení dílčích chladicích faktorů. Na obrázku číslo 15 je možné vidět energetické třídy společně se sezónními chladicími faktory *SEER* pro malé klimatizační jednotky a sezónní topné faktory SCOP (Seasonal Coefficient of Performance). Podle nové legislativy je Evropa rozdělena na 3 regiony. Rozdělení je znázorněno na energetickém štítku. Teplý region je na mapě znázorněn barvou oranžovou, střední region barvou zelenou a studený region barvou modrou. Na energetickém štítku (pole číslo 7) je údaj pro hladinu akustického výkonu vnitřní a venkovní jednotky. Na rozdíl od akustického tlaku akustický výkon není ovlivněn umístěním zdroje a přijímače. Kategorie pro SEER a SCOP faktory jsou vidět na energetickém štítku a jsou rozděleny do 7 tříd, kde zařazení do třídy D je nejhorší a zařazení do třídy A⁺⁺⁺ je nejlepší. Dále jsou na energetickém štítku hodnoty P design C a P design H. P design C se rovná výkonu jednotky při 100 % chladicí zátěži (tento bod byl stanoven na 35 °C). P design H je obdobný jako P design C ale jde o 100 % topné zátěži. Při

určení P design H nastává problém, protože není určen přesný bod (teplota) pro kterou se má počítat. Závisí na bodu bivalence, který se volí z intervalu T design a T bivalent podle klimatické oblasti.



obr. 15 Energetický štítek klimatizačních jednotek [32]

1 – Výrobce, model

2 – Funkce chlazení SEER nebo EER, funkce vytápění SCOP nebo COP

3 – Energetická třída a příslušná barevná škála

4 – Jmenovitý výkon chlazení nebo vytápění

5 – jednoduché klimatizace: hodnota SEER a SCOP,

jednokanálové a dvoukanálové klimatizace: hodnota EER nebo COP

6 – jednoduché k. roční spotřeba energie

jednokanálové a dvoukanálové klimatizace: spotřeba energie za 60 minut

7 – Hluk vnitřních jednotek, venkovních jednotek

8 – Číslo nařízení

9 – Mapa Evropy zobrazující tři orientační otopná období a odpovídající barvu

7 MĚŘENÍ SPOTŘEBY ENERGIE

Spotřeba energie má značný vliv na provoz klimatizačních zařízení v obchodních centrech a nese s sebou značné náklady. Důležitým parametrem jsou spotřeby energie jednotlivých prvků klimatizačního systému, jako jsou kompresory, ventilátory, čerpadla, zvlhčovače, ale i ohřívače a chladiče. Proto je nutné hledat možné způsoby a řešení pro její úsporu. Možné úspory energie se navrhují z naměřených dat v reálném provozu. Nejlépe z naměřených dat za několik sezón. Je tedy důležité provádět kvalitní měření současně se sběrem dat spotřebované energie na chlazení. U velkých klimatizačních zařízeních jako jsou v obchodních centrech nebo například také v administrativních budovách je měření spotřeb energie důležité k optimalizaci provozu. Měření spotřeb energie můžeme provádět trvalým instalováním měřících zařízení nebo jen dočasným instalováním. Ze zákona měření spotřeb energie není povinné, ale jsou povinné pravidelné kontroly klimatizačních zařízení podle vyhlášky 193/2013Sb. Tato vyhláška je základním podkladem pro vypracování kontrol klimatizačních systémů a 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. Kontrola klimatizačního systému zahrnuje následující:

- a) Hodnocení dokumentace a dokladů klimatizačního systému
- b) Vizuelní prohlídku a kontrolu provozuschopnosti přístupných zařízení klimatizačního systému
- c) Hodnocení údržby klimatizačního systému
- d) Hodnocení dimenzování klimatizačního systému v porovnání s požadavky na chlazení budovy
- e) Hodnocení účinnosti klimatizačního systému a
- f) Doporučení k ekonomicky proveditelnému zlepšení stávajícího stavu klimatizačního systému

Pro vyhodnocení spotřeby energie u klimatizačního zařízení a následné optimalizaci jeho provozu potřebujeme mít k dispozici provozní veličiny, pro konkrétní jednotky naměřené, jak již bylo zmíněno výše za několik sezón. Pro správný monitoring a měření spotřeb energie je důležité správné zvolení souboru čidel a následné nainstalování měřících míst. [33] [34]

7.1 Instalace měřících míst

Při projektování rozlišujeme dočasnou a trvalou instalaci měřících míst. Dočasná instalace slouží pro jednorázové měření (např. sezónní). Po skončení měření bude odstraněna a má například vyhodnotit, jestli se vyplatí instalace nového zařízení, rekonstrukce nebo demontáž. Trvalou instalaci využíváme tam, kde chceme do budoucna dosáhnout optimalizace chodu a úspor energie jako jsou například obchodní centra. Ovšem u některých instalací mohou být počáteční náklady měřících zařízení vysoké, například u starších zařízení, kde se tato investice nemusí vyplatit. [34]

7.2 Skupiny měřených dat

Měřené hodnoty a snímané signály můžeme rozdělit do následujících tří skupin.

7.2.1 Přímé signály poruch

Většinou se jedná o binární vstupy, které přímo hlásí poruchy technologie. Aktivní signál znamená poruchu. Většina těchto signálů je již dostupná v systému MAR (měření a regulace) integrovaném do řídicího systému budovy BMS (Building Management System). Jde například o signál z čidla protimrazové ochrany nebo diferenčního manostatu na filtru atd. K přímým signálům poruch také patří vybočení mimo pevné meze analogových hodnot, jedná se například o pokles tlaku freonu nebo vody v chladicím systému nebo v systému vytápění. Tyto signály mohou vznikat již už v BMS, protože aktivační podmínky jsou pevně dané. [34]

7.2.2 Kumulované hodnoty

Patří sem především naměřené spotřeby energie, provozní hodiny i další zajímavé údaje, jako jsou například četnosti spínání kompresorů. Jedná se o veličiny, u kterých se hodnoty v čase trvale zvyšují, a proto u nich má smysl počítat denní, týdenní, měsíční i roční přírůstky. Zdrojem těchto hodnot jsou převážně elektroměry, kalorimetry atd. Měřiče energie je dobré řešit samostatně a integrovat je do řídicího systému po sběrnici. [34]

7.2.3 Odvozené signály poruch

Jedná se o výsledky vyhodnocování řady naměřených i historických dat pokročilými statickými metodami detekce poruch. Důležité je těmto algoritmům poskytnout soubory relevantních dat, což představuje z hlediska měření a regulace okamžité měření i kumulované hodnoty. V budoucnu nás čeká díky zvyšujícímu se výpočetnímu výkonu a rostoucí záznamové kapacitě regulačních podstanic čím dál vyšší využívání těchto odvozených signálů poruch. [34]

7.3 Elektroměry

Elektroměr je elektrický měřicí přístroj, který měří množství odebrané elektrické energie. Postupem času se konstrukce elektroměrů měnila a zdokonalovala, aby bylo měření co nejpřesnější. Dříve se elektroměry označovali také jako elektrické hodiny. První elektroměr zkonstruoval T. A. Edison a byl galvanického typu.

Do roku 1998 se u nás v energetice k měření spotřeby elektřiny využívaly mechanické indukční elektroměry. Tyto elektroměry ale byli postupně nahrazovány statickými elektroměry. Nejčastěji používané statické elektroměry jsou buď s pulsním, nebo digitálním výstupem. U elektronických impulzních elektroměrů měření spotřeby nevychází z počtu otáček rotoru indukčního motorku, ale z počtu impulzů elektronického wattmetru a konstanta elektroměrů se udává v impulzech na 1 kWh. Elektronické impulzní elektroměry umožňují automatický odečet měřených veličin s využitím optického komunikačního rozhraní, bez možnosti chyby a ovlivnění výsledků odečítající osobou. Dále umožňují dálkový odečet měřených veličin pomocí různých typů komunikačních rozhraní, což umožňuje centralizovaný sběr dat, a to se využívá například v obchodních centrech. [35]

7.4 Průtokoměry

Průtokoměr je zařízení sloužící k měření objemového, hmotnostního a rychlostního průtoku. Měření průtoku tekutin patří mezi důležitou veličinu pro měření spotřeby energie klimatizačního zařízení. Mezi základní metody měření průtoku patří: [36]

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

7.4.1 Měření rozdílu tlaku před a za primárním prvkem průtokoměru

Na měření rozdílu tlaku před a za primárním prvkem průtokoměru je založena většina průmyslových průtokoměrů. Základní skupinou těchto průtokoměrů jsou škrťací orgány. Mezi škrťací orgány patří clona, dýza, Venturiho trubice, atd. Dále mezi průtokoměry založené na snímání rozdílu tlaku patří rychlostní sondy: Pitotova trubice, víceotvorová rychlostní sonda, Prandtlova trubice, kulová sonda, válcová sonda, kolenový a plováчковý průtokoměr, atd. Při proudění v potrubí tlakové poměry popisuje Bernoulliho rovnice. Ta vyjadřuje zákon zachování mechanické energie v tekutinách, podle kterého při stejných podmínkách tlak v tekutinách

klesá s nárůstem rychlosti proudění. K tomuto jevu dojde, pokud do potrubí, ve kterém proudí tekutina, vložíme překážku. Rychlost proudění tekutiny při průchodu překážkou roste při poklesu statického tlaku v tekutině. Rozdíl tlaků před a za překážkou je přímo úměrný druhé mocnině rychlosti proudění (závisí také na tvaru překážky) [36]

$$v = k * \sqrt{k * \frac{\Delta p}{\rho}} \quad (15)$$

v – rychlost proudění tekutiny [$m \cdot s^{-1}$]

k – konstanta určující vlastnosti primárního prvku průtokoměru [–]

Δp – diferenční tlak [Pa]

ρ – hustota tekutiny [$kg \cdot m^{-3}$]

7.4.2 Měření rychlosti proudění tekutiny

Objemový průtok stanovíme jako součin střední rychlosti proudění tekutiny a průřezu potrubí. Signál z výstupu průtokoměru je lineárně závislý na průtoku, oproti snímačům založených na tlakovém rozdílu, kde je závislost kvadratická. Do této skupiny patří turbínkové, vírové, elektromagnetické a ultrazvukové průtokoměry. [36]

7.4.3 Měření objemového průtoku

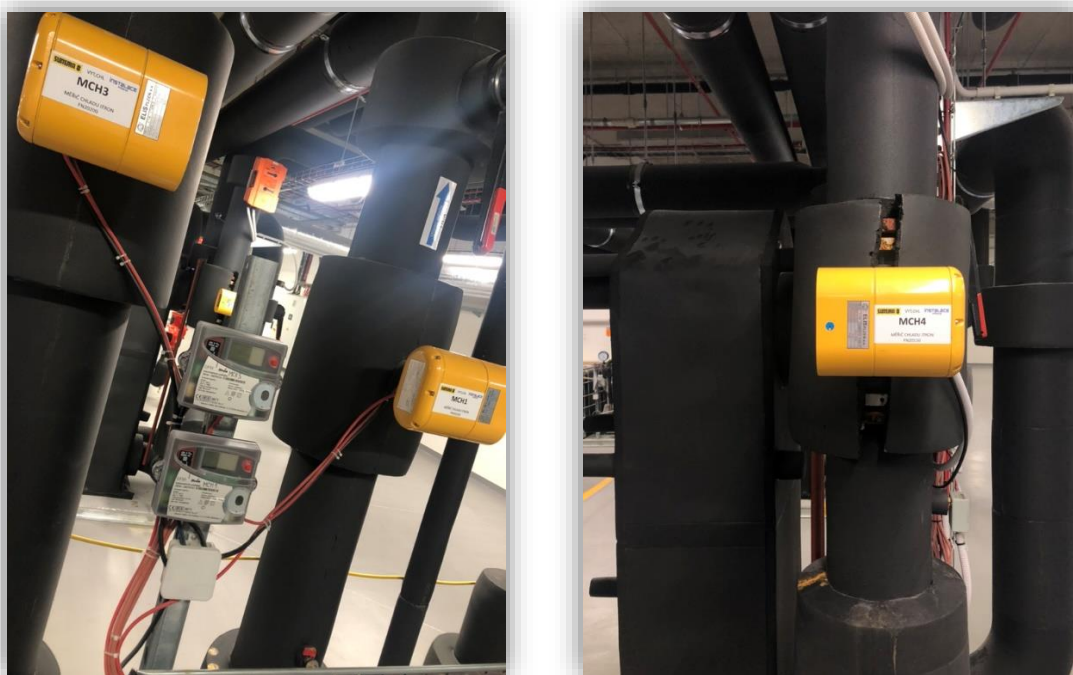
Tyto průtokoměry jsou založeny na přímém měření objemu tekutiny. Měření těmito průtokoměry může být spojitě či diskrétně. U spojitého měření získáme objemový průtok z nahromaděného množství (akumulace) tekutiny za určitý čas. U diskrétního měření se tekutina rozděluje do samostatných, přesně vymezených odměrných prostor se známým objemem, které se při proudění postupně naplňují a vyprazdňují. Měřítkem proteklého množství je zde počet měřících cyklů. Vynásobením počtu naplněných prostor, získáme objem tekutiny proteklou za určitý čas. Obvykle tyto průtokoměry ukazují celkový proteklý objem, ale mohou mít na výstupu i impulsy odpovídající počtu měřících cyklů. Patří sem například průtokoměr s kroužkovým pístem, oválové měřidlo, bubnové průtokoměry, atd. [36]

7.4.4 Měření hmotnostního průtoku

Hmotnostní průtok se nepřímo vypočte přepočtem z objemového průtoku. Pro měření hmotnostního průtoku přímo existuje jen málo metod. Mezi dvě základní patří Coriolisův průtokoměr a tepelný hmotnostní průtokoměr. [36]

7.5 Kalorimetry

Kalorimetr (měřič tepla) je technické zařízení sloužící pro měření tepla, chladu, tepelné kapacity, měrné tepelné kapacity a dalších kalorimetrických veličin. Teplo je zde distribuováno pomocí nosného média. Výpočet spotřeby tepla je založen na kalorimetrické rovnici. Kalorimetr se skládá z kalorimetrického počítadla, průtokoměru a teploměru, respektive teplotním čidlem nejčastěji pt_{100} . Kalorimetr měří průtok topné vody a teplotu topné vody na vstupu a na výstupu do vytápěného objektu. Kolik tepla topné medium předalo do měřené jednotky, lze přesně spočítat díky rozdílům teplot topného media na vstupu a výstupu a množství protečeného topného média. Měření pomocí kalorimetru je samo o sobě nejpřesnější metodou měření spotřeby tepla. Naměřená hodnota na kalorimetru, ale nezohledňuje prostupy tepla z okolních místností nebo ztráty tepla, které uniká do okolních nevytápěných místností skrz stěny. Kalorimetr je dle zákona o metrologii tzv. stanoveným měřidlem a vztahuje se na něj zákon o metrologii. Platnost ověření funkce kalorimetru je aktuálně 4 roky. Kalorimetry lze rozdělit na kompaktní měřiče tepla a chladu, a soupravy měřičů tepla a chladu. Kompaktní měřiče tepla a chladu s průtoky od 0,6 do 2,5 m³/h se využívají u bytových nebo rodinných domů. S průtoky vyššími nad 2,5 m³/h se využívají u administrativních budov a obchodních center. Soupravy měřičů tepla a chladu jsou využívány u průmyslových odvětví a výměňkových stanic.



Obr. 16 Zapojení měřičů tepla (chladu) ve strojovně D OC Chodov

8 OBCHODNÍ CENTRUM CHODOV

Obchodní centrum Chodov, které od září 2019 nese název Westfield Chodov je největší nákupní centrum nejen v Praze, ale i v celé České republice. Obchodní centrum Chodov bylo poprvé otevřeno v listopadu 2005. V roce 2017 byla otevřena nová přistavěná část a z původních přibližně 55 tisíc metrů čtverečních se centrum rozrostlo na více než 100 tisíc metrů čtverečních. V letech 2020 až 2022 má dojít k dalšímu rozšíření obchodního centra. Dnes obchodní centrum nabízí téměř 300 obchodů, multikino a restaurace. Vlastníkem centra je francouzská firma Unibail-Rodamco. Tato firma provozuje 90 nákupních center v Evropě a Spojených státech amerických. [38]



Obr. 17 Obchodní centrum Westfield Chodov [37]

8.1 Vnější podmínky

Zařízení vzt a klimatizace bylo navrženo pro následující parametry vnějšího prostředí.

Tab. 4 Parametry vnějšího prostředí [40]

	Zima	Léto
Tlak vzduchu	98 kPa	
Nadmořská výška	300 m.n.m.	
Teplota vzduchu	-12 °C (-15 °C pro VZT)	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)

8.2 Vnitřní parametry prostředí

Pro návrh zařízení byli použity hodnoty vnitřního prostředí dle následující tabulky.

Tab. 5 Parametry vnitřního prostředí [40]

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	26±2	neřízená	
Obchodní jednotky	20	20±2	26	26±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	24	24±2	25	25±2	neřízená	
Umývárny, sprchy	24	24±2	25	25±2	neřízená	
Kino	20	20±2	24	24±2	neřízená	

Poznámka:

*1) – pro plochy byla provedena pouze příprava, vlastní řešení si zajistil každý nájemce sám, tzn. že parametry prostředí si může mírně přizpůsobit specifickým potřebám, například včetně dovlhčování

*2) – parametry prostředí nejsou řízené, větrání je přirozené případně podtlakové dle příslušných norem

8.3 Stanovení potřeby chladícího výkonu

V technických zprávách chlazení pro obchodní centrum Chodov byli stanoveny spotřeby chladu pro obchodní jednotky.

Pro původní objekt A byla stanovena pro obchodní jednotky spotřeba chladu dle hodnoty potřeby chladu na 1 m² plochy obchodní jednotky ve výši 100 W/m². Tato definovaná hodnota byla navýšena o 15 % z požadavku investora na výkonovou rezervu. Na základě celkové plochy pronajimatelné obchodních jednotek a výše uvedené měrné potřeby chladícího výkonu byla stanovena potřeba chladícího výkonu na hodnotu $P_{\text{CHL}}^{\text{OJ}} = 4723 \text{ kW}$. Potřeba chladu pro vzt zařízení objektu A byla celkově stanovena na $P_{\text{CHL}}^{\text{VZT}} = 5030 \text{ kW}$.

Pro původní objekt A byla stanovena celková potřeba chladu na $P_{\text{CHL}}^{\text{CEL}} = 9753 \text{ kW}$. Z celkové potřeby chladu byla navržena spotřeba pro strojovnu východ $P_{\text{CHL}}^{\text{vých.}} = 4192 \text{ kW}$ a pro strojovnu západ $P_{\text{CHL}}^{\text{záp.}} = 5561 \text{ kW}$.

V nové části objektu D byly pro stanovení celkové potřeby chladu uvažovány investorem definované hodnoty měrné potřeby chladu na 1 m² plochy obchodní jednotky ve výši 80 W/m² pro dimenzování zdroje chladu, 100 W/m² pro dimenzování rozvodů chladu, 20 W/m² pro rezervu ve strojovně pro další chladící jednotky, 80 W/m² pro restaurace a 200 W/m² pro přípravu jídel. Na základě celkové plochy pronajimatelné obchodních jednotek a výše uvedené měrné potřeby chladícího výkonu byla stanovena potřeba chladícího výkonu na hodnotu $P_{\text{CHL}}^{\text{OJ}} = 2980 \text{ kW}$. Potřeba chladu pro multikino byla stanovena na 1500 kW (kina budou napojena na stávající objekt A strojovnu západ. Zdroj chladu ve strojovně západ vykazuje pro tento záměr potřebnou výkonovou rezervu). Potřeba chladu pro vzduchotechnické zařízení byla stanovena na $P_{\text{CHL}}^{\text{VZT}} = 1770 \text{ kW}$.

Pro novou část objektu D byla stanovena celková potřeba chladu a rezerva pro obchodní jednotky na $P_{\text{CHL}}^{\text{CEL}} = 4750 \text{ kW}$ a $P_{\text{CHL}}^{\text{REZERVA}} = 549 \text{ kW}$. [39] [23]

8.4 Zdroje chladu

Pro pokrytí potřeby chladu je v obchodním centru navrženo 10 vodních chladících jednotek. Z toho v původním objektu A ve strojovně západ a východ je 8 vodních chladících jednotek s kondenzátory chlazenými vodou, resp. nemrznoucí směsí, prostřednictvím otevřených, resp. uzavřených chladících věží. [23]

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

Zbylé 2 vodou chlazené chladicí jednotky jsou v nově přistavěném objektu D. Tyto vodou chlazené chladicí jednotky jsou napojené na venkovní suché chladiče, které jsou umístěny na střeše objektu (možno vidět na obr. 13) a jsou vybavené vodním sprchováním pro docílení vyšší účinnosti. Zdroje chladu objektu D pro VZT jsou propojeny se zdrojem chladu strojovny západ původního objektu A.

- Strojovna chlazení objekt D – 2 x chladicí jednotka

Ze strojoven chlazení jsou dále vedeny rozvody chladu pro různé druhy spotřeb chladu. Strojovna chlazení západ je dimenzována na případný výpadek chladicí jednotky Ahold. [39]

8.5 Technické řešení zdrojů chladu strojovna východ

Ve strojovně východ jsou navrženy celkem tři vodní chladicí jednotky Trane, dle výše uvedené spotřeby chladu, která je stanovena na $P_{\text{CHL}}^{\text{vých.}} = 4192 \text{ kW}$.

Jsou navrženy dvě chladicí jednotky TRANE RTHD E3 G3 G3 o chladícím výkonu 2 x 1417 kW propojené s uzavřenými, vodou zkrápěnými 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 $t_e = +32^\circ\text{C}$. Jednotka je vybavena šroubovým pomaluběžným kompresorem. Jako chladivo je použito ekologické chladivo R 134a.

Jako třetí chladicí jednotka je navržena jednotka RTHD E3 G3 G3 o chladícím 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. Jako chladivo je použito také ekologické chladivo R 134a. [23] [41]



Obr. 18 Oběhová čerpadla



Obr. 19 Chladicí věž DESCA REF-C-140



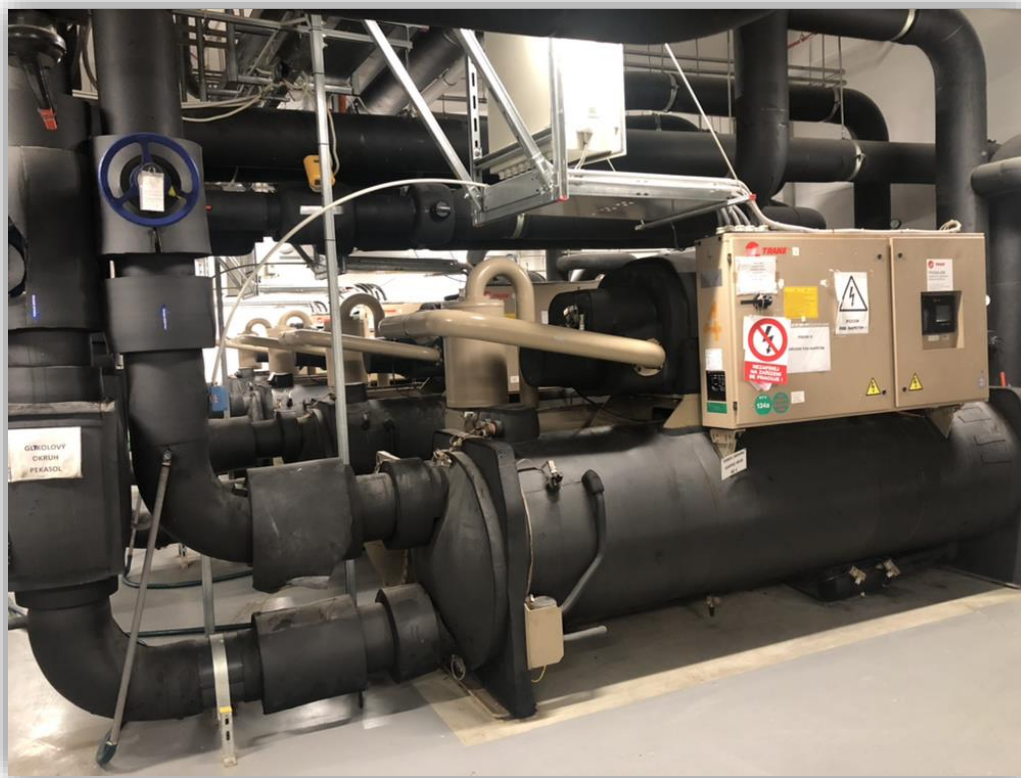
Obr. 20 Chladicí jednotky Trane (východ)

8.6 Technické řešení zdrojů chladu strojovna západ

Ve strojovně západ jsou navrženy celkem čtyři chladicí jednotky Trane, dle výše uvedené spotřeby chladu, která je stanovena na $P_{\text{CHL}}^{\text{vých.}} = 5561 \text{ kW}$.

Jsou navrženy dvě chladicí jednotky TRANE RTHD E3 G3 G3 o chladicím výkonu 2 x 1417 kW propojené s uzavřenými, vodou zkrápěnými 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 $t_e = +32^\circ\text{C}$. Jednotka je vybavena šroubovým pomaluběžným kompresorem. Jako chladivo je použito ekologické chladivo R 134a.

Zbylé dvě chladicí 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. Jako chladivo je použito také ekologické chladivo R 134a. [23] [41]



Obr. 21 Chladicí jednotky Trane (západ)

8.7 Technické řešení zdrojů chladu strojovna nového objektu D

Ve strojovně nového objektu D jsou navrženy dvě chladicí jednotky Trane, dle výše uvedené spotřeby chladu, která je stanovena na $P_{\text{CHL}}^{\text{CEL}} = 4750 \text{ kW}$.

Je navržena jednotka TRANE RTWD 270 HE (CHJ1) o chladícím výkonu 945 kW. Výpočtový teplotní spád byl volen 7/1 °C, nemrznoucím médiem je nemrznoucí kapalina na bázi etylenglykolu (30 % ETG + H₂O) 32/39 °C a venkovní teplotě $t_e = +32^\circ\text{C}$. Chladicí jednotka bude využívána současně jako zdroj strojně vyrobeného chladu a tepelné čerpadlo voda-voda v topném období. Chladicí jednotka je vybavena dvěma šroubovými kompresory s motory ovládanými frekvenčním měničem a dvěma samostatnými chladicími okruhy. Možnost práce chladicí jednotky s teplotami na kondenzátoru až 60 °C umožňuje její zimní využití jako tepelného čerpadla. Regulační výkonový rozsah 25-100 %. [39] [23]



Obr. 22 Chladicí jednotka TRANE CVGF800

Druhá jednotka je jednotka TRANE CVGF800 (CHJ3) o chladícím výkonu 2785 kW. Výpočtový teplotní spád byl volen 7/15 °C, nemrznoucím médiem je nemrznoucí kapalina na bázi etylenglykolu (30 % ETG + H₂O) 32/39 °C a venkovní teplotě $t_e = +32^\circ\text{C}$. Chladicí jednotka je vybavena jedním turbokompresorem s hnacím převodem a jedním chladícím okruhem. Regulační výkonový rozsah činí 13-100 %. Jako chladivo je použito ekologické chladivo R 134 a. Jednotka je používána pro výrobu chladu pouze v letním období. V případě potřeby lze zdroj chladu doplnit třetí chladicí jednotkou. Pro tento případ vznikla zrušením chladicí jednotky 2 ve strojovně prostorová rezerva.

Obě jednotky CHJ1 i CHJ3 jsou propojeny v sestavě se třemi suchými chladiči LU-VE EHL1X 6296 N 18VENT EC FANS sprchovanými vodou 4 bar o chladícím výkonu 1400 kW umístěnými na střeše objektu. Suché chladiče s vodním sprchováním můžeme vidět na obrázku číslo 13.

Celkový instalovaný chladicí výkon ve strojovně objekt D činí 3730 kW. Technické údaje obou chladicích jednotek a suchých chladičů jsou součástí přílohy č.3. [39] [23]



Obr. 23 Chladicí jednotka TRANE RTWD HE

9 VYHODNOCENÍ KALORIMETRŮ

V obchodním centru Chodov byl proveden monitoring výroby chladu za rok 2017, 2018 a 2019. Tedy od 1. 1. 2017 do 1. 12. 2017, od 1. 1. 2018 do 1. 12. 2018 a od 1. 1. 2019 do 1. 12. 2019. Data pro vyhodnocení kalorimetrů byla pro tyto roky zaznamenávána vždy první den v měsíci. Data jsem získal od firmy AB Facility a.s. v souborech excel, která má na starosti monitoring a správu v obchodním centru Chodov.

Data z kalorimetrů se odečítala ve všech strojovnách obchodního centra Chodov tzn. v původních strojovnách západ a východ, a ve strojovně objektu D. Celkem je ve strojovnách chlazení pro volné chlazení osazeno pět kalorimetrů. Dva kalorimetry jsou ve strojovně západ, dva jsou ve strojovně východ a zbylý jeden je ve strojovně objektu D. Kalorimetry ve strojovně západ a východ jsou osazeny na vodorovném potrubí mezi chladicí věží a deskovým výměníkem pro volné chlazení (freecooling). Ve strojovně západ a východ jsou v každé dvě chladicí věže a dva výměníky. U strojovny objektu D jsou kalorimetry osazeny na vodorovném potrubí mezi suchými chladiči a deskovým výměníkem pro volné chlazení (freecooling). Umístění kalorimetrů je z hlediska funkce systému správné. Každý kalorimetr se skládá z ultrazvukového průtokoměru dvou teploměrů v jímkách a vyhodnocovací jednotky CF51.

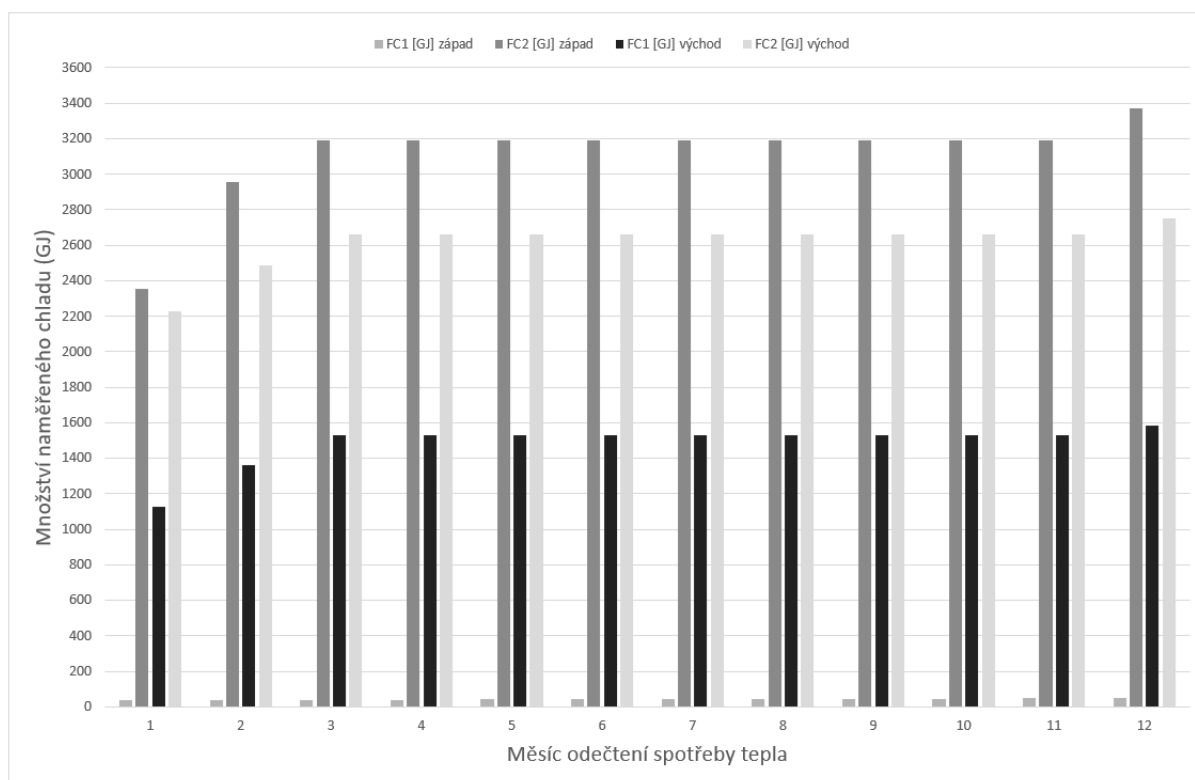
9.1 Zpracování dat

V následujících tabulkách č. 6, č. 7 a č. 8 jsou vidět naměřená data za rok 2017, 2018 a 2019 z kalorimetrů strojovny západ, východ a strojovny objektu D. Pod každou tabulkou s naměřenými daty jsou vytvořeny sloupcové grafy č. 1, č. 2 a č. 3. V těchto grafech je znázorněné množství naměřeného chladu na kalorimetrech FC1, FC2 a FC ve strojovnách západ, východ a v objektu D. Vynesené hodnoty v grafu jsou vždy k 1.dni daného měsíce. V roce 2017 ještě nebyla v provozu strojovna objektu D a naměřená data jsou jen z původní části strojovny západ a východ.

Zajímavý je rok 2018 graf číslo 2, kdy od 1.června je v provozu strojovna objektu D a je zde vidět její postupný náběh. První hodnota na kalorimetru byla naměřena tedy 1. června 2018 a to 295,6 GJ. Na konci roku 2019 byla hodnota na kalorimetru naměřena 6604 GJ.

Tab. 6 Množství naměřeného chladu 2017

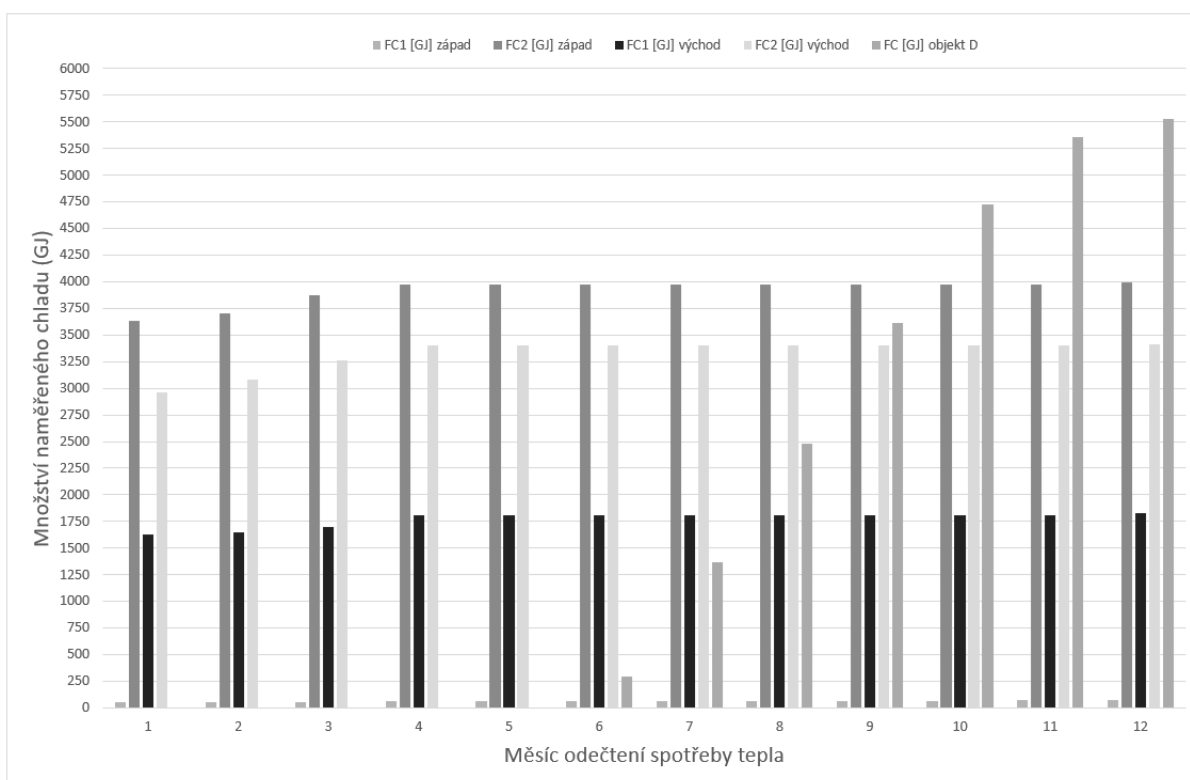
Odečet z měřičů tepla (kalorimetrů) od 1.1.2017 do 1.12.2017				
Datum	FC1 [GJ] západ	FC2 [GJ] západ	FC1 [GJ] východ	FC2 [GJ] východ
1.1.2017	36,171	2355,125	1127,2	2229,1
1.2.2017	38,6	2954	1362,85	2487,55
1.3.2017	38,7	3187,7	1529,2	2659,2
1.4.2017	39,65	3187,7	1529,7	2660,6
1.5.2017	41,7	3187,7	1529,8	2660,6
1.6.2017	42,9	3187,7	1530,5	2660,6
1.7.2017	43,7	3187,7	1532,1	2660,8
1.8.2017	44,4	3187,7	1532,1	2660,8
1.9.2017	45	3187,7	1532,2	2660,8
1.10.2017	46,5	3187,7	1532,2	2660,8
1.11.2017	48,3	3187,7	1532,2	2661,7
1.12.2017	49,6	3373,25	1585,75	2752,35



Graf 1 Průběh množství naměřeného chladu na kalorimetrech 2017

Tab. 7 Množství naměřeného chladu 2018

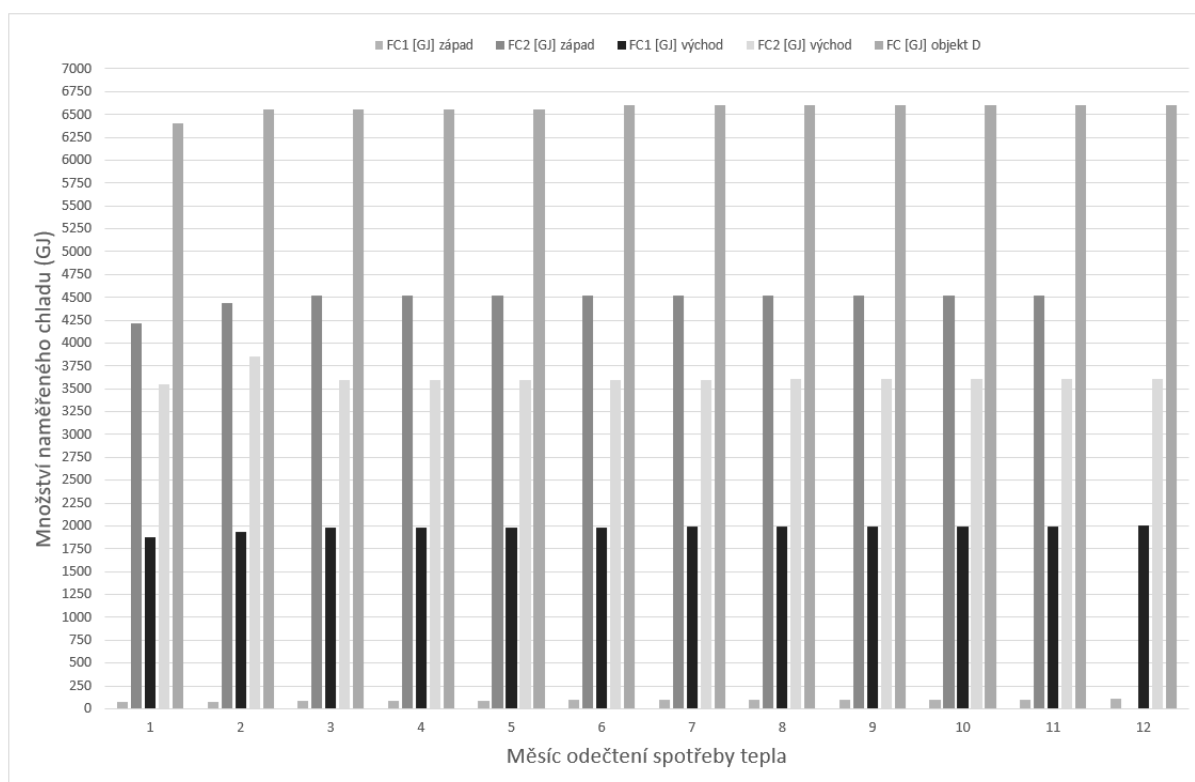
Odečet z měřičů tepla (kalorimetrů) od 1.1.2018 do 1.12.2018					
Datum	FC1 [GJ] západ	FC2 [GJ] západ	FC1 [GJ] východ	FC2 [GJ] východ	FC [GJ] objekt D
1.1.2018	50,9	3637,6	1623,8	2961,6	0
1.2.2018	56,2	3700,2	1648,1	3085,5	0
1.3.2018	57,4	3872,3	1698,6	3265	0
1.4.2018	61,3	3974,6	1811,2	3398,7	0
1.5.2018	62,8	3976,5	1811,2	3399	0
1.6.2018	63,7	3976,5	1811,2	3399,1	295,6
1.7.2018	64,7	3976,5	1811,2	3399,1	1364,1
1.8.2018	65,5	3976,5	1811,2	3399,2	2481,6
1.9.2018	66,8	3976,5	1811,2	3399,4	3618,1
1.10.2018	68,4	3976,5	1811,2	3399,5	4728,7
1.11.2018	70,5	3976,5	1811,2	3399,6	5353,1
1.12.2018	73,3	3998,9	1826,6	3415,9	5531,7



Graf 2 Průběh množství naměřeného chladu na kalorimetrech 2018

Tab. 8 Množství naměřeného chladu 2019

Odečet z měřičů tepla (kalorimetrů) od 1.1.2019 do 1.12.2019					
Datum	FC1 [GJ] západ	FC2 [GJ] západ	FC1 [GJ] východ	FC2 [GJ] východ	FC [GJ] objekt D
1.1.2019	77,4	4209,9	1878	3548,6	6408,3
1.2.2019	78,3	4440,3	1939,6	3856,9	6551,6
1.3.2019	84,65	4523,9	1980,5	3591,9	6551,6
1.4.2019	90,6	4524,4	1980,5	3592	6554,9
1.5.2019	91,2	4524,4	1981,25	3592,6	6554,9
1.6.2019	94,2	4524,4	1983,5	3592,8	6603,9
1.7.2019	95,5	4524,4	1989,7	3593,3	6603,9
1.8.2019	97,2	4524,4	1991,8	3603,8	6603,9
1.9.2019	98,2	4524,4	1992,2	3604,6	6603,9
1.10.2019	100,9	4524,4	1992,2	3604,9	6603,9
1.11.2019	103,85	4524,4	1992,2	3604,9	6603,9
1.12.2019	110,1	4533,8	2004,1	3611,5	6604



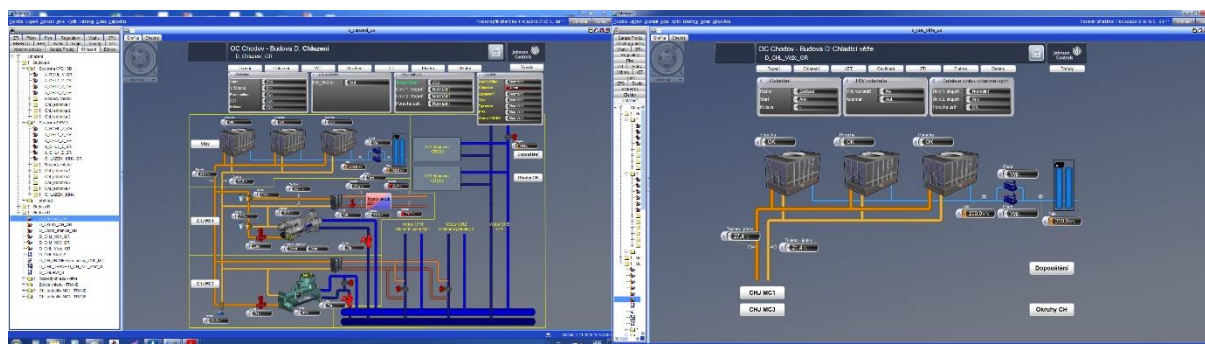
Graf 3 Průběh množství naměřeného chladu na kalorimetrech 2019

10 VYHODNOCENÍ OBDRŽENÝCH SPOTŘEB ENERGIE

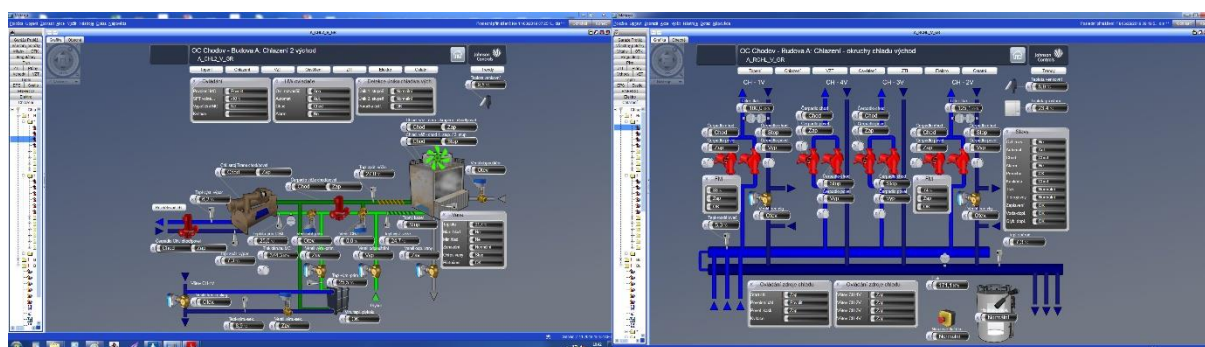
Na základě softwaru pro odečet dat spotřeb elektrické energie bylo možné provést podrobný monitoring a vyhodnocení dat obchodního centra Chodov. Monitoring spotřeb elektrické energie pro podrobnou analýzu byl proveden za rok 2017, 2018 a 2019. Monitoring byl proveden od 1.1. 2017 až do 31.12. 2019. Za toto dlouhé období bylo nasbíráno dostatečné množství dat k následnému vyhodnocení spotřeb elektrické energie a následnému návrhu k možným úsporám. Data z elektroměrů se zaznamenávali každý den do systému měření a regulace. Data byla vyčítána pomocí datové pumpy ze systému Johnson Control. Na obr. 24, obr. 25 a obr. 26 je vidět uživatelské rozhraní tohoto softwaru pro řízení a regulaci jednotlivých zařízení. Naměřená data elektrické energie za rok 2017, 2018 a 2019 jsem zpracoval a vyhodnotil v následujících kapitolách. Dále jsem zpracoval a vyhodnotil ve čtyřech zprávách spotřeby elektrické energie pro letní období v těchto letech. Pro podrobnější analýzu jsem také získal naměřené spotřeby elektrické energie za léto 2015, tedy od 1.6.2015 do 31.8.2015. Data z elektroměrů jsem obdržel od AB Facility a.s. v souborech excel. Data jsem získal pouze pro strojovnu západ a východ. Pro strojovnu v objektu D, tedy pro novou část obchodního centra jsem data neobdržel kvůli nemoci Covid-19 a proto spotřeby elektrické energie pro tuto strojovnu v objektu D nejsou vyhodnoceny.

10.1 Postup zpracování dat

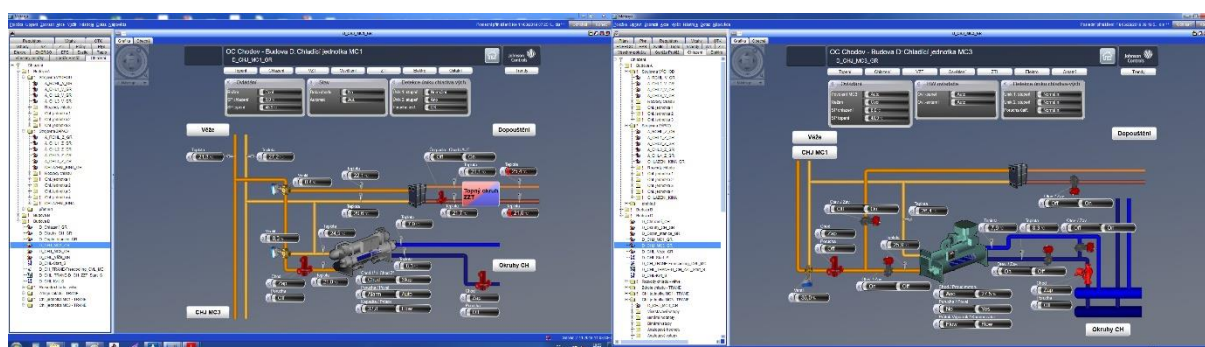
Jak již bylo řečeno výše, data z elektroměrů pro rok 2017, 2018 a 2019 jsem obdržel od AB Facility a.s. ve dvou souborech excel. V prvním souboru byla data zaznamenána v 24hodinových intervalech po dobu celého měřeného období a rozdělena dle příslušných zařízení. Data v tomto souboru byla zaznamenávána v jednotkách kW a pro další zpracování je bylo nutné převést na kWh. Jednotku kWh dostaneme vynásobením hodnoty v kW časovým intervalem v hodinách, což je 24. Důležité bylo, aby krok mezi jednotlivými odečty nebyl záporný. Proto bylo nutné všechny odečty zkontrolovat a záporné hodnoty manuálně opravit. Ve druhém souboru byla data, respektive celková spotřeba elektrické energie zaznamenána za jednotlivé měsíce a také rozdělena dle příslušných zařízení. Ve druhém souboru byly také naměřené hodnoty průměrných, maximálních a minimálních venkovních teplot, z čehož bylo následně možné vyhodnotit spotřeby elektrické energie v závislosti na venkovní teplotě. Data spotřeb elektrické energie jsem zpracoval do přehledných tabulek a grafů a vyhodnotil spotřeby elektrické energie za jednotlivá období, jak bude možné vidět v následujících kapitolách.



Obr. 24 Uživatelské rozhraní softwaru pro MAR (chlazení DEX + věže)



Obr. 25 Uživatelské rozhraní softwaru pro MAR (chlazení východ Trane 2 + okruhy)



Obr. 26 Uživatelské rozhraní softwaru pro MAR (Trane DEX + MC1 + MC3)

10.2 Vyhodnocení naměřených hodnot za první období (léto 2015)

Pro porovnání všech sledovaných období jsem vytvořil přehledné tabulky. V tabulkách jsou rozepsány spotřeby elektrické energie pro jednotlivá zařízení ve strojovně západ a východ.

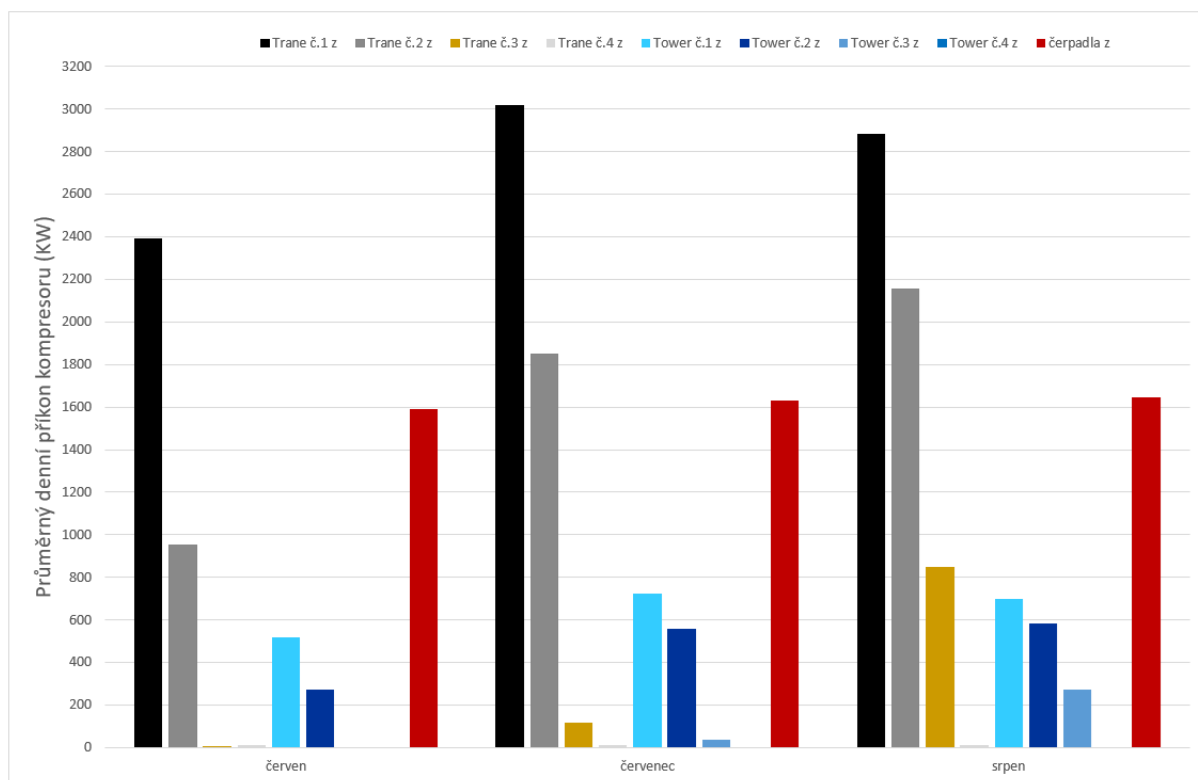
V prvním sledovaném letním období, které bylo sledováno od 1.6.2015 do 31.8.2015 byla naměřena celková spotřeba elektrické energie obou strojoven 861 MWh. Strojovna západ spotřebovala 546 MWh 63,45 % a strojovna východ spotřebovala 315 MWh 36,55 %.

Kompresory zdrojů chladu spotřebovaly 534 MWh 62 % celkové spotřeby, oběhová čerpadla a chladicí věže spotřebovaly 169 MWh 20 % celkové spotřeby a oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody 157 MWh 18 %.

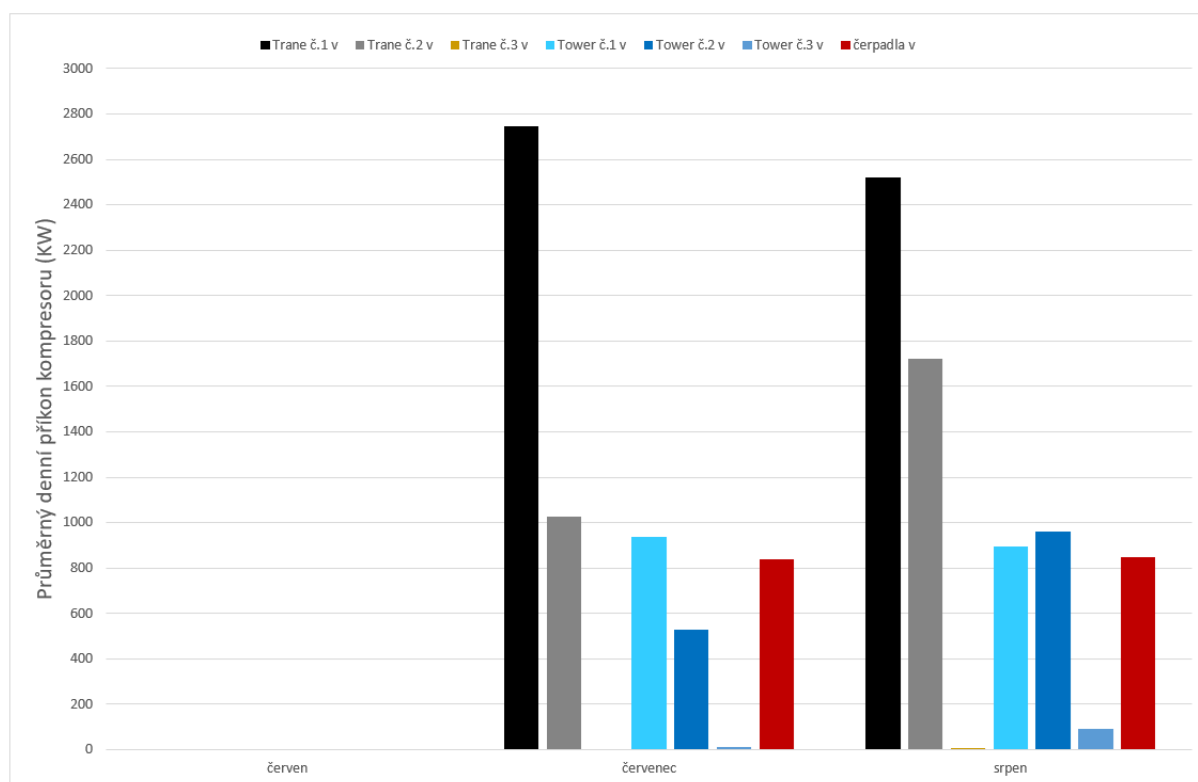
Maximální potřeba elektrické energie na chlazení byla v měsíci červnu 16 %, červenci 39 % a srpnu 45 %. V létě 2015 byla celková spotřeba elektrické energie oproti létu 2017 vyšší o 73 MWh. Jak je vidět z následujícího vyhodnocení nejnižší potřeba na chlazení byla v létě 2017 a nejvyšší potřeba na chlazení byla v létě 2018.

Tab. 9 Spotřeby elektrické energie za první období

Spotřeby chlazení ve sledovaném období od 1.6.2015 - 31.8.2015					
Měsíc	6	7	8	Celkem	
jednotky	kWh	kWh	kWh	kWh	%
Trane č.1 Z	57400	72400	69100	198 900	23,11%
Trane č.2 Z	22900	44400	51700	119 000	13,83%
Trane č.3 Z	200	2800	20300	23 300	2,71%
Trane č.4 Z	200	200	200	600	0,07%
Tower č.1 Z	12400	17300	16700	46 400	5,39%
Tower č.2 Z	6500	13300	14000	33 800	3,93%
Tower č.3 Z	0	800	6500	7 300	0,85%
Tower č.4 Z	0	0	0	0	0,00%
Čerpadla Z	38100	39100	39500	116 700	13,56%
Trane č.1 V	0	65900	60400	126 300	14,68%
Trane č.2 V	0	24600	41300	65 900	7,66%
Trane č.3 V	0	0	100	100	0,01%
Tower č.1 V	0	22460	21430	43 890	5,10%
Tower č.2 V	0	12600	23050	35 650	4,14%
Tower č.3 V	0	180	2120	2 300	0,27%
Čerpadla V	0	20080	20300	40 380	4,69%
Celkem západ				546 000	63,45%
Celkem východ				314 520	36,55%
Celkem obě strojovny				860 520	100%
Celkem červen				137700	16%
Celkem červenec				336 120	39%
Celkem srpen				386 700	45%
Celkem Trane				534 100	62%
Celkem Tower				169 340	20%
Celkem čerpadla				157 080	18%



Graf 4 Spotřeba el. energie za první období léto 2015 strojovny západ



Graf 5 Spotřeba el. energie za první období léto 2015 strojovny východ

10.3 Vyhodnocení naměřených hodnot za druhé období (léto 2017)

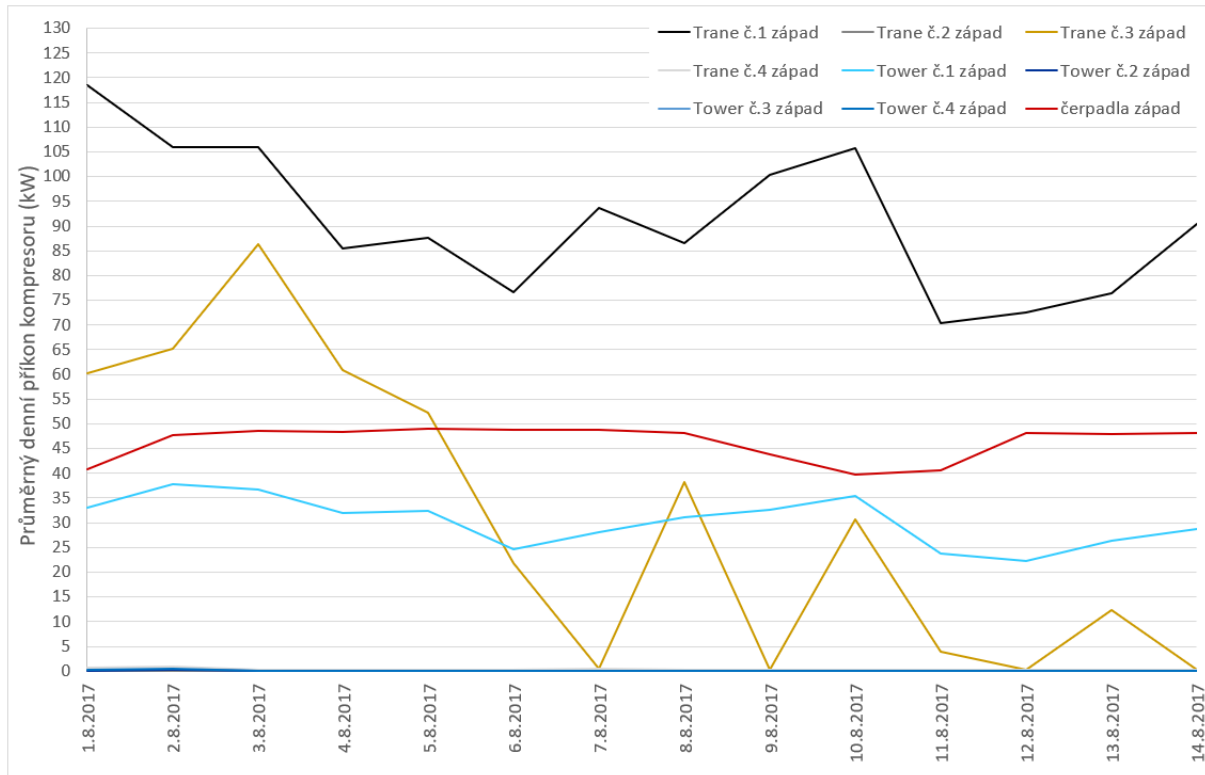
Druhé letní období bylo sledováno od 1.6.2017 do 31.8.2017, tedy měsíce červen, červenec a srpen. V tomto období byla naměřena celková spotřeba elektrické energie obou strojoven 788 MWh. Z toho 453 MWh 57,51 % spotřebovala strojovna západ a 335 MWh 42,49 % spotřebovala strojovna východ.

V následující tabulce číslo 10 jsou přehledně zpracovány spotřeby elektrické energie pro jednotlivá zařízení. Kompresory zdrojů chladu spotřebovaly 463 MWh 59 % celkové spotřeby, oběhová čerpadla a chladicí věže spotřebovaly 160 MWh 20 % celkové spotřeby a oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody 165 MWh 21 %.

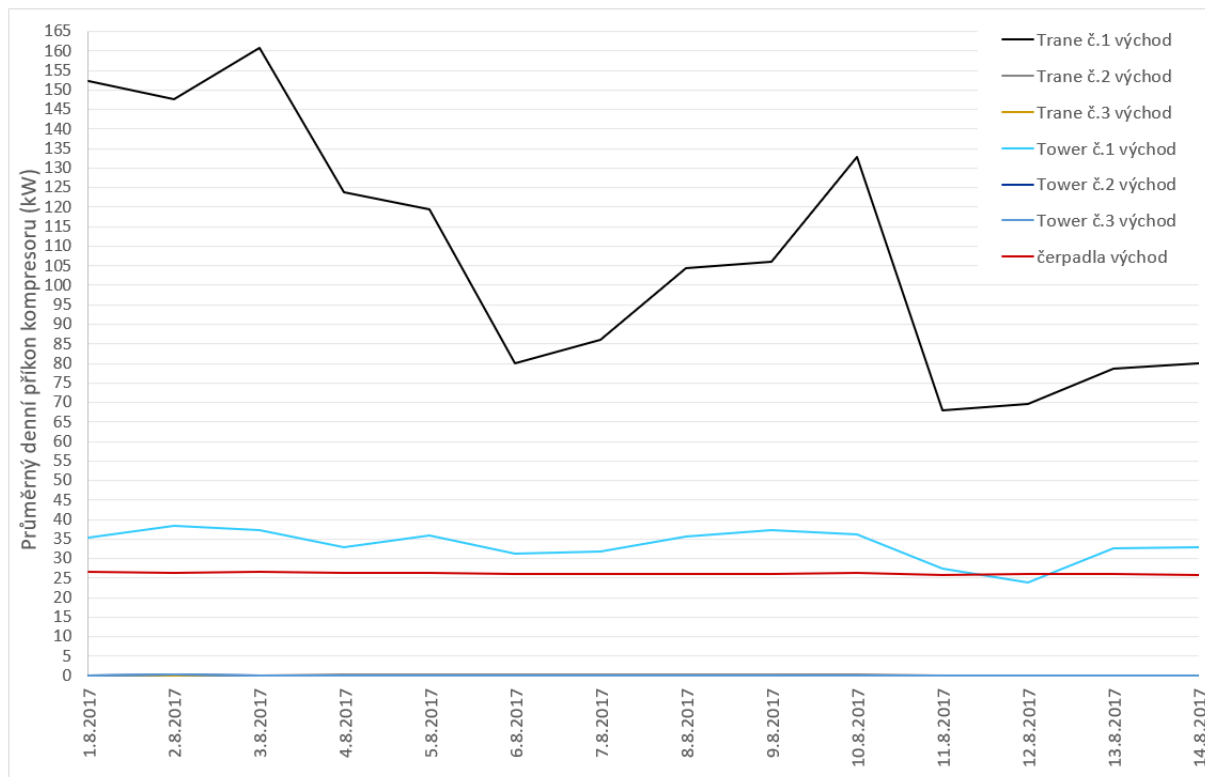
Maximální potřeba elektrické energie na chlazení byla v měsíci červnu 32 %, červenci 33 % a srpnu 34 %, což je patrné z tabulky. Z tabulky je také vidět, že v létě se využívají nejvíce jednotky Trane a volné chlazení tolik využíváno není. Celková spotřeba elektrické energie oproti létu 2015 byla nižší o 73 MWh.

Tab. 10 Spotřeby elektrické energie za druhé období

Spotřeby chlazení ve sledovaném období od 1.6.2017 - 31.8.2017					
Měsíc	6	7	8	Celkem	
jednotky	kWh	kWh	kWh	kWh	%
Trane č.1 Z	64348	66 963	66 374	197 685	25,08%
Trane č.2 Z	12	0	0	12	0,00%
Trane č.3 Z	17380	16 619	17 189	51 188	6,49%
Trane č.4 Z	2617	302	3 631	6 550	0,83%
Tower č.1 Z	19428	22 149	21 962	63 538	8,06%
Tower č.2 Z	11	8	19	37	0,00%
Tower č.3 Z	7943	7 613	8 412	23 967	3,04%
Tower č.4 Z	1295	32	1 475	2 802	0,36%
Čerpadla Z	35880	36 702	35 021	107 603	13,65%
Trane č.1 V	64496	69 381	73 392	207 269	26,29%
Trane č.2 V	156	150	136	442	0,06%
Trane č.3 V	57	0	4	61	0,01%
Tower č.1 V	20702	23 445	23 944	68 092	8,64%
Tower č.2 V	12	0	42	54	0,01%
Tower č.3 V	1247	0	63	1 310	0,17%
Čerpadla V	18871	19 512	19 320	57 703	7,32%
Celkem západ				453 381	57,51%
Celkem východ				334 931	42,49%
Celkem obě strojovny				788 312	100%
Celkem červen				254454	32%
Celkem červenec				262 876	33%
Celkem srpen				270 983	34%
Celkem Trane				463 207	59%
Celkem Tower				159 800	20%
Celkem čerpadla				165 306	21%



Graf 6 Spotřeba el. energie za druhé období léto 2017 strojovny západ



Graf 7 Spotřeba el. energie za druhé období léto 2017 strojovny východ

10.4 Vyhodnocení naměřených hodnot za třetí období (léto 2018)

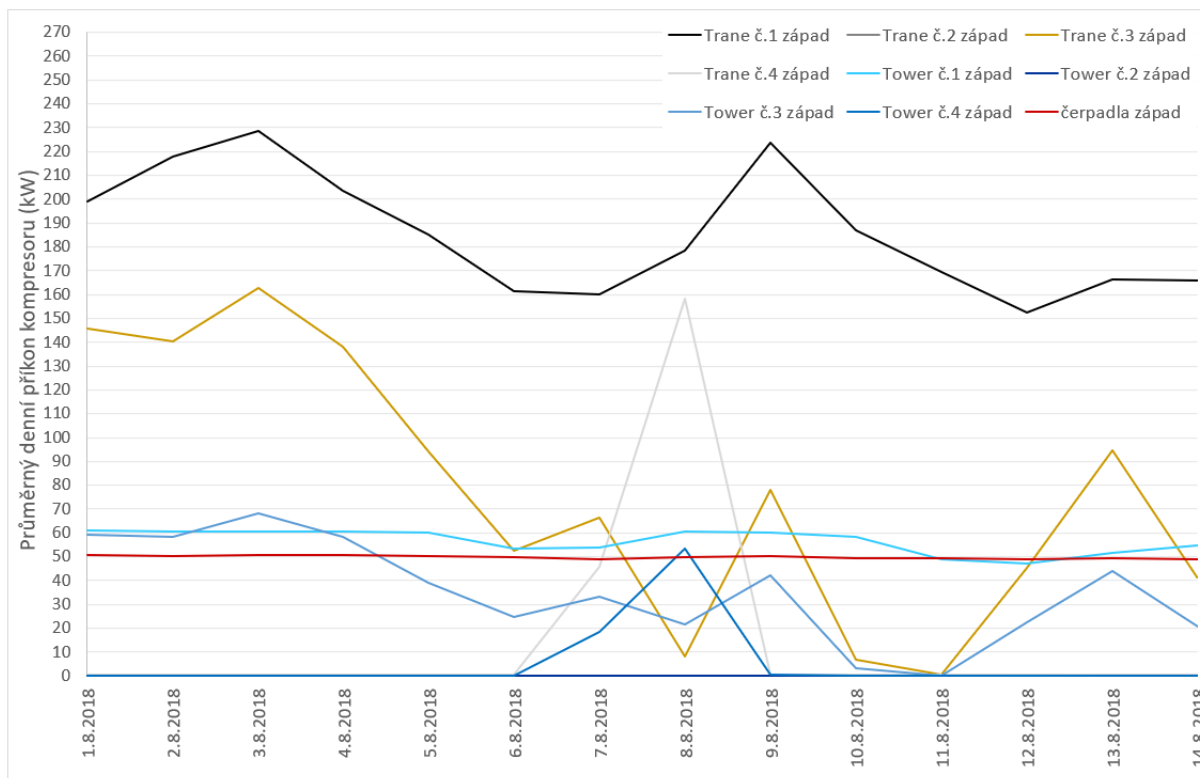
Ve třetím letním období, které bylo sledováno od 1.6.2018 do 31.8.2018 byla naměřena celková spotřeba elektrické energie obou strojoven 1167 MWh. Z celkové spotřeby potom 662 MWh 56,72 % spotřebovala strojovna západ a 505 MWh 43,28 % spotřebovala strojovna východ.

V následující tabulce číslo 11 jsou přehledně zpracovány spotřeby elektrické energie pro jednotlivá zařízení. Kompresory zdrojů chladu spotřebovaly 749 MWh 64 % celkové spotřeby, oběhová čerpadla a chladicí věže spotřebovaly 254 MWh 22 % celkové spotřeby a oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody 164 MWh 14 %.

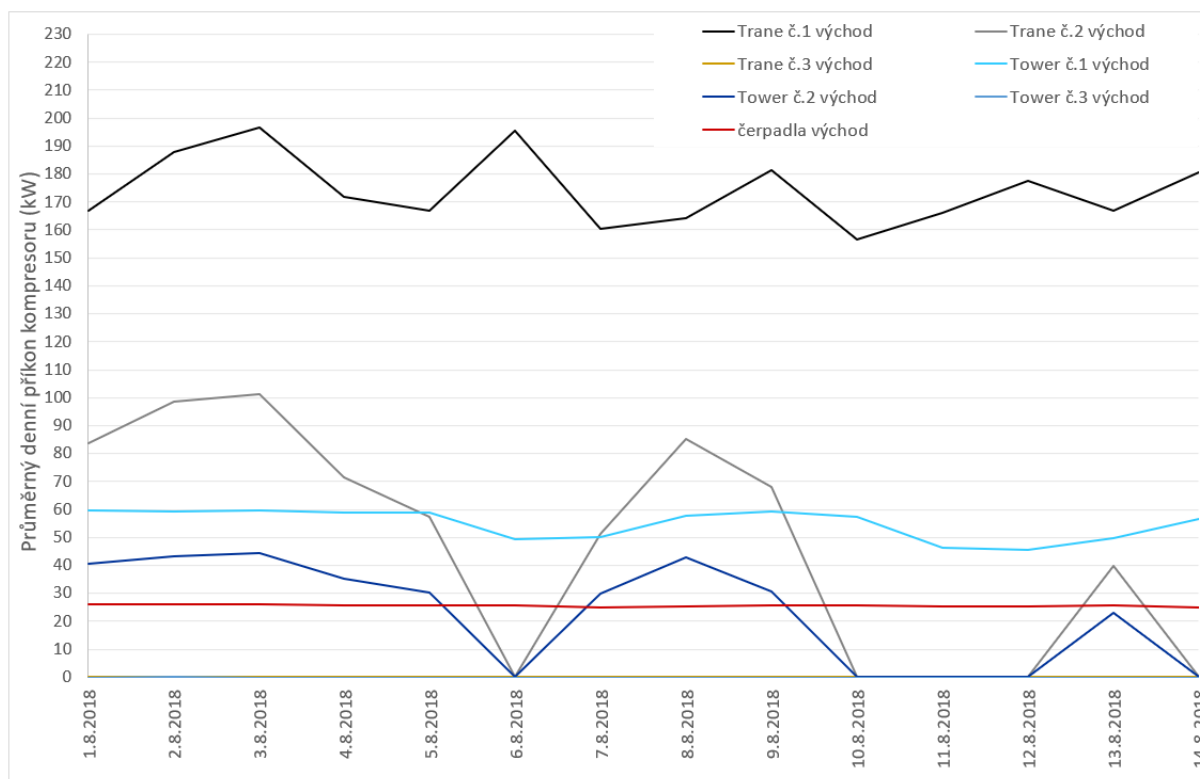
Maximální potřeba elektrické energie na chlazení byla v měsíci červnu 27 %, červenci 32 % a srpnu 41 %. Celková spotřeba elektrické energie byla v létě 2018 nejvyšší z těchto čtyř sledovaných období. Přesně oproti roku 2015 vyšší o 306 MWh, oproti roku 2017 vyšší o 379 MWh a oproti roku 2019 vyšší o 81 MWh.

Tab. 11 Spotřeby elektrické energie za třetí období

Spotřeby chlazení ve sledovaném období od 1.6.2018 - 31.8.2018					
Měsíc	6	7	8	Celkem	
jednotky	kWh	kWh	kWh	kWh	%
Trane č.1 Z	12261	107 616	126 367	246 244	21,10%
Trane č.2 Z	103112	38	18	103 168	8,84%
Trane č.3 Z	285	19 579	40 775	60 639	5,20%
Trane č.4 Z	281	432	6 262	6 975	0,60%
Tower č.1 Z	4013	34 782	39 133	77 927	6,68%
Tower č.2 Z	26320	0	0	26 320	2,26%
Tower č.3 Z	9	8 725	20 057	28 791	2,47%
Tower č.4 Z	427	99	3 070	3 596	0,31%
Čerpadla Z	35146	36 378	36 624	108 148	9,27%
Trane č.1 V	84004	74 496	115 662	274 162	23,50%
Trane č.2 V	90	32 187	25 097	57 374	4,92%
Trane č.3 V	53	6	0	59	0,01%
Tower č.1 V	26516	22 788	37 697	87 001	7,46%
Tower č.2 V	0	15 817	14 234	30 051	2,58%
Tower č.3 V	335	64	38	437	0,04%
Čerpadla V	18218	18 971	18 736	55 925	4,79%
Celkem západ				661 808	56,72%
Celkem východ				505 009	43,28%
Celkem obě strojovny				1 166 816	100%
Celkem červen				311069	27%
Celkem červenec				371 977	32%
Celkem srpen				483 770	41%
Celkem Trane				748 621	64%
Celkem Tower				254 122	22%
Celkem čerpadla				164 073	14%



Graf 8 Spotřeba el. energie za třetí období léto 2018 strojovny západ



Graf 9 Spotřeba el. energie za třetí období léto 2018 strojovny východ

10.5 Vyhodnocení naměřených hodnot za čtvrté období (léto 2019)

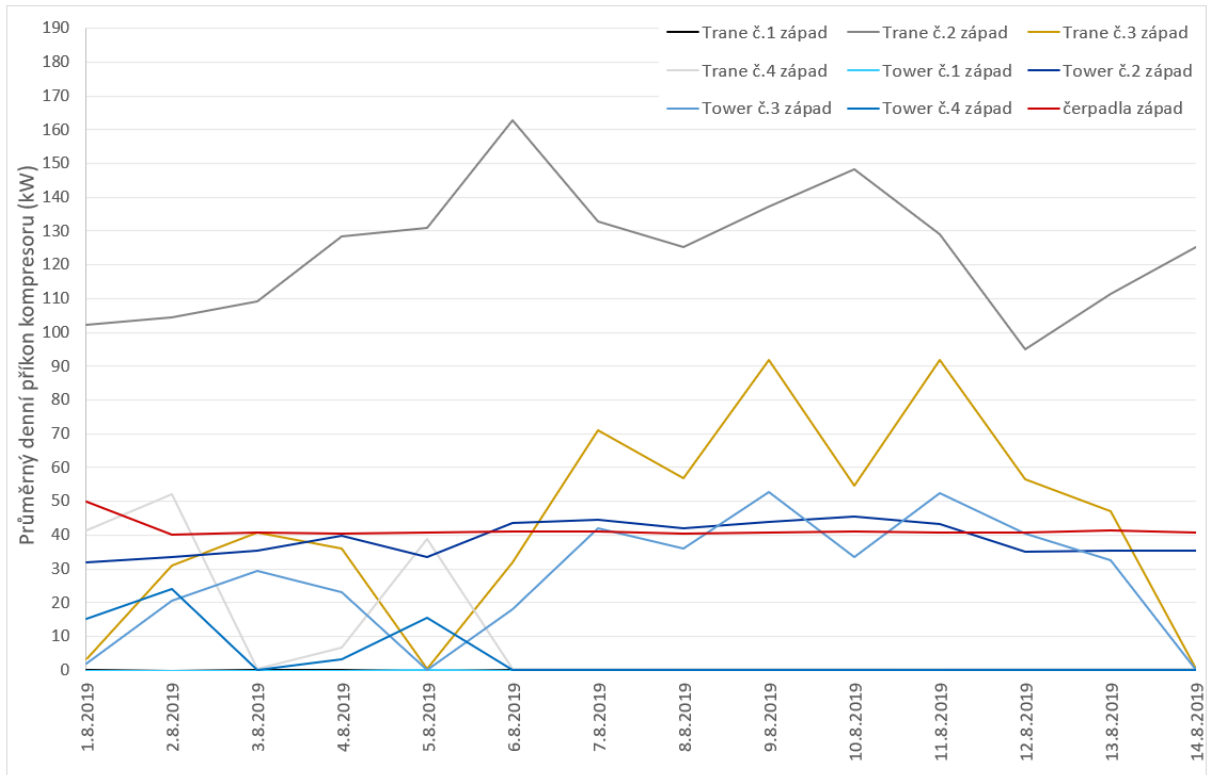
V posledním sledovaném období, tedy ve čtvrtém období od 1.6.2019 do 31.8.2019 byla naměřena celková spotřeba elektrické energie obou strojoven 1086 MWh. Z celkové spotřeby obou strojoven spotřebovala 699 MWh 64,43 % strojovna západ a 386 MWh 35,57 % strojovna východ.

V následující tabulce číslo 12 jsou přehledně zpracovány spotřeby elektrické energie pro jednotlivá zařízení. Kompresory zdrojů chladu spotřebovaly 660 MWh 61 % celkové spotřeby, oběhová čerpadla a chladicí věže spotřebovaly 273 MWh 25 % celkové spotřeby a oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody 153 MWh 14 %.

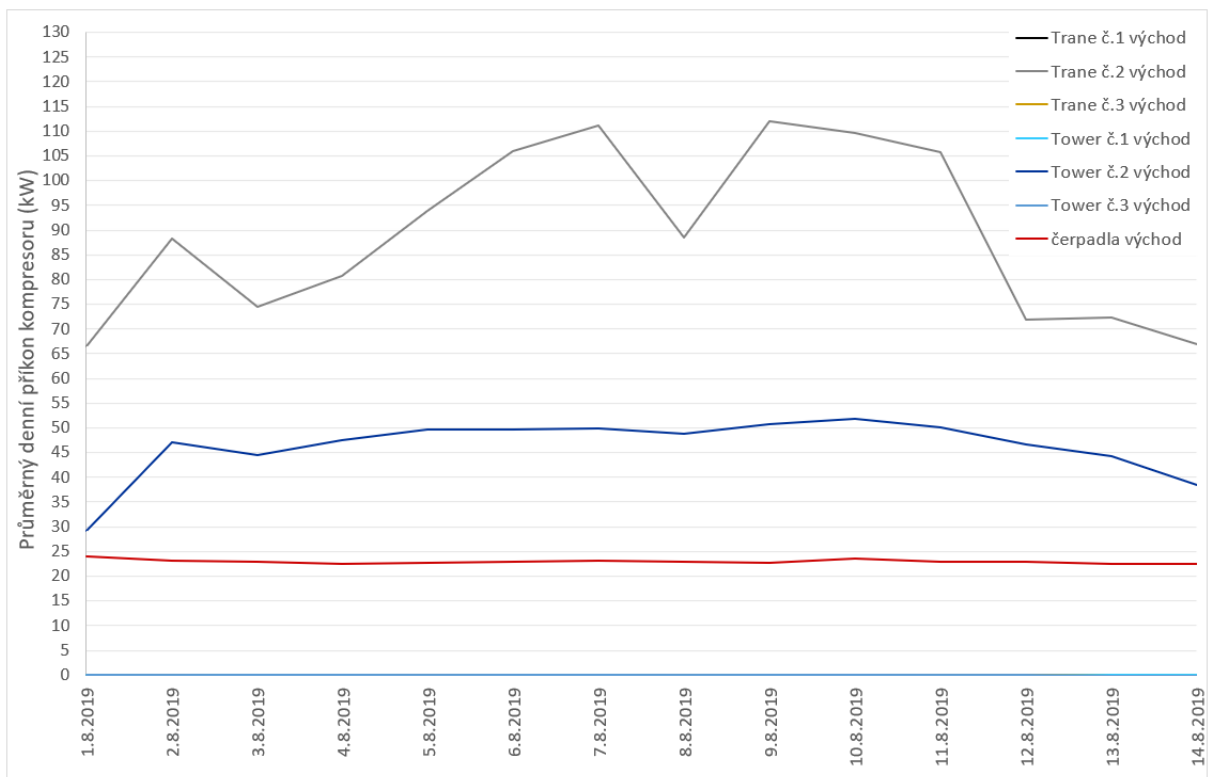
Maximální potřeba elektrické energie na chlazení byla v měsíci červnu 33 %, červenci 34 % a srpnu 33 %. Celková spotřeba elektrické energie byla oproti roku 2018 nižší o 81 MWh. Při porovnání s rokem 2017 byla celková spotřeba elektrické energie výrazně vyšší o 298 MWh, a oproti roku 2015 byla vyšší o 225 MWh.

Tab. 12 Spotřeby elektrické energie za čtvrté období

Spotřeby chlazení ve sledovaném období od 1.6.2019 - 31.8.2019					
Měsíc	6	7	8	Celkem	
jednotky	kWh	kWh	kWh	kWh	%
Trane č.1 Z	90044	15 704	19	105 767	9,74%
Trane č.2 Z	60072	86 706	100 015	246 793	22,73%
Trane č.3 Z	272	5 443	42 995	48 710	4,49%
Trane č.4 Z	274	33 206	3 586	37 066	3,41%
Tower č.1 Z	29325	5 160	2	34 487	3,18%
Tower č.2 Z	19922	27 206	30 505	77 634	7,15%
Tower č.3 Z	53	2 945	24 465	27 464	2,53%
Tower č.4 Z	28	15 575	2 698	18 301	1,69%
Čerpadla Z	35871	36 769	30 617	103 256	9,51%
Trane č.1 V	15264	59 205	6	74 475	6,86%
Trane č.2 V	47717	25 620	72 402	145 739	13,42%
Trane č.3 V	821	173	0	994	0,09%
Tower č.1 V	4623	21 366	6	25 995	2,39%
Tower č.2 V	21111	16 429	35 914	73 455	6,77%
Tower č.3 V	12264	1 895	1 303	15 462	1,42%
Čerpadla V	16451	16 602	17 049	50 102	4,61%
Celkem západ				699 477	64,43%
Celkem východ				386 221	35,57%
Celkem obě strojovny				1 085 698	100%
Celkem červen				354112	33%
Celkem červenec				370 004	34%
Celkem srpen				361 583	33%
Celkem Trane				659 544	61%
Celkem Tower				272 796	25%
Celkem čerpadla				153 358	14%



Graf 10 Spotřeba el. energie za čtvrté období léto 2019 strojovny západ

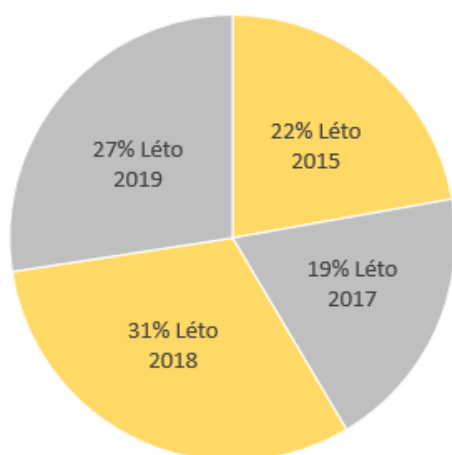


Graf 11 Spotřeba el. energie za čtvrté období léto 2019 strojovny východ

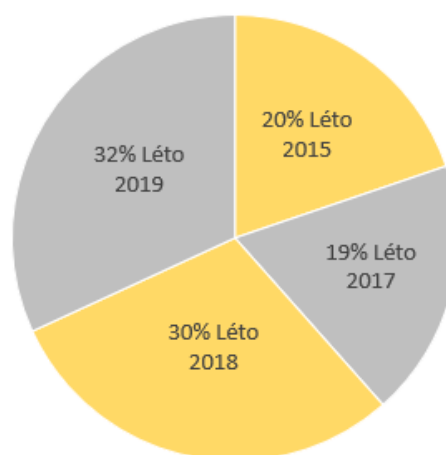
10.6 Porovnání vyhodnocených naměřených hodnot za všechny letní období (léto 2015, 2017, 2018 a 2019)

V následujících koláčových grafech je vidět přehledné porovnání vyhodnocených naměřených hodnot za všechny letní období, tedy za léto 2015, 2017, 2018 a 2019. V horním levém grafu je znázorněno porovnání spotřeb energie kompresorů zdrojů chladu jednotek Trane. V horním pravém grafu je vidět porovnání spotřeb energie oběhových čerpadel a chladících věží. Ve spodním levém grafu je porovnání spotřeb energie oběhových čerpadel sekundárního rozvodu chladné vody a v posledním koláčovém grafu je vidět celkové porovnání spotřeb energie v létě za jednotlivé roky.

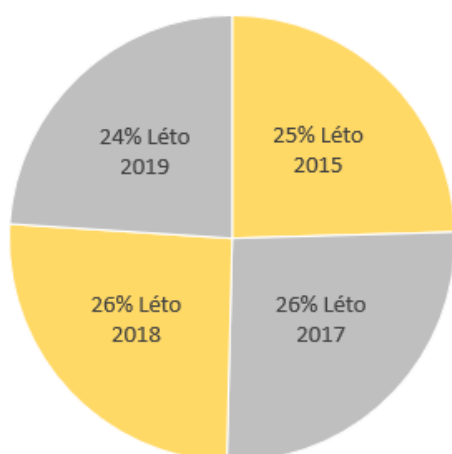
Porovnání vyhodnocených naměřených hodnot jednotek Trane léto 2015, 2017, 2018 a 2019



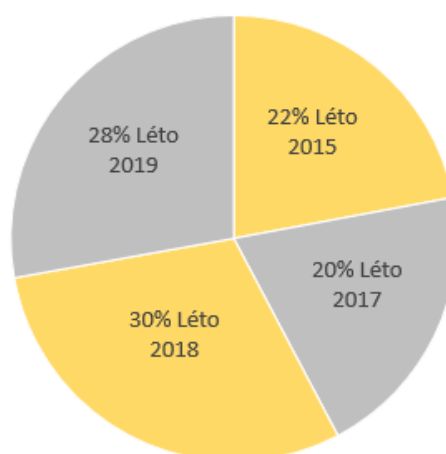
Porovnání vyhodnocených naměřených hodnot chladících věží léto 2015, 2017, 2018 a 2019



Porovnání vyhodnocených naměřených hodnot oběhových čerpadel léto 2015, 2017, 2018 a 2019



Porovnání celkových vyhodnocených naměřených hodnot léta 2015, 2017, 2018 a 2019



Graf 12 Porovnání vyhodnocených naměřených hodnot za všechny letní období (léto 2015, 2017, 2018 a 2019)

11 ANALÝZA DAT ZA ROK 2017

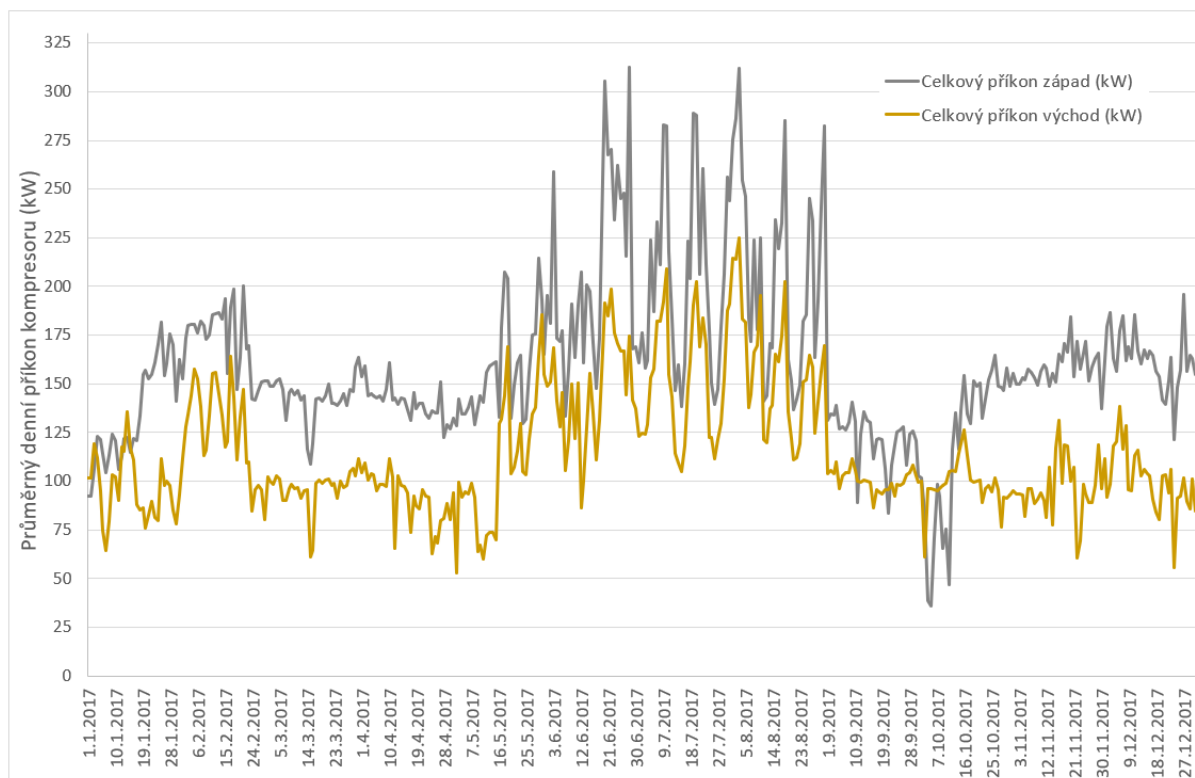
Naměřená data jsem zpracoval do grafů a vyhodnotil spotřeby elektrické energie za rok 2017 pro celkový příkon strojoven západ a východ, dále příkon kompresorů zdrojů chladu jednotek Trane, příkon oběhových čerpadel a chladících věží, příkon oběhových čerpadel sekundárního rozvodu chladné vody, dále jsem vyhodnotil průběh teplot a příkon obou strojoven a nakonec jsem vypočetl chladící faktory zdrojů chladu pro jednotlivé měsíce.

Data byla měřena po celý rok 2017 od 1. 1. 2017 do 31. 12. 2017. Celková spotřeba elektrické energie obou strojoven byla vyhodnocena na 2399,7 MWh. Z toho 1403,2 MWh spotřebovala strojovna západ a 996,5 MWh spotřebovala strojovna východ. Spotřeba elektrické energie strojovny západ je 58,5 % a spotřeba elektrické energie strojovny východ je 41,5 % z celkové spotřeby elektrické energie.

Kompresory zdrojů chladu jednotek Trane spotřebovaly celkem 41,8 %, oběhová čerpadla a chladící věže pro odvod kondenzačního tepla a přímé chlazení spotřebovaly 31,6 % a oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody 26,6 %.

Tab. 13 Celková spotřeba v procentech 2017

Zařízení	%
Kompresory zdrojů chladu jednotek Trane	41,8
Oběhová čerpadla a chladící věže	31,6
oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody	26,6

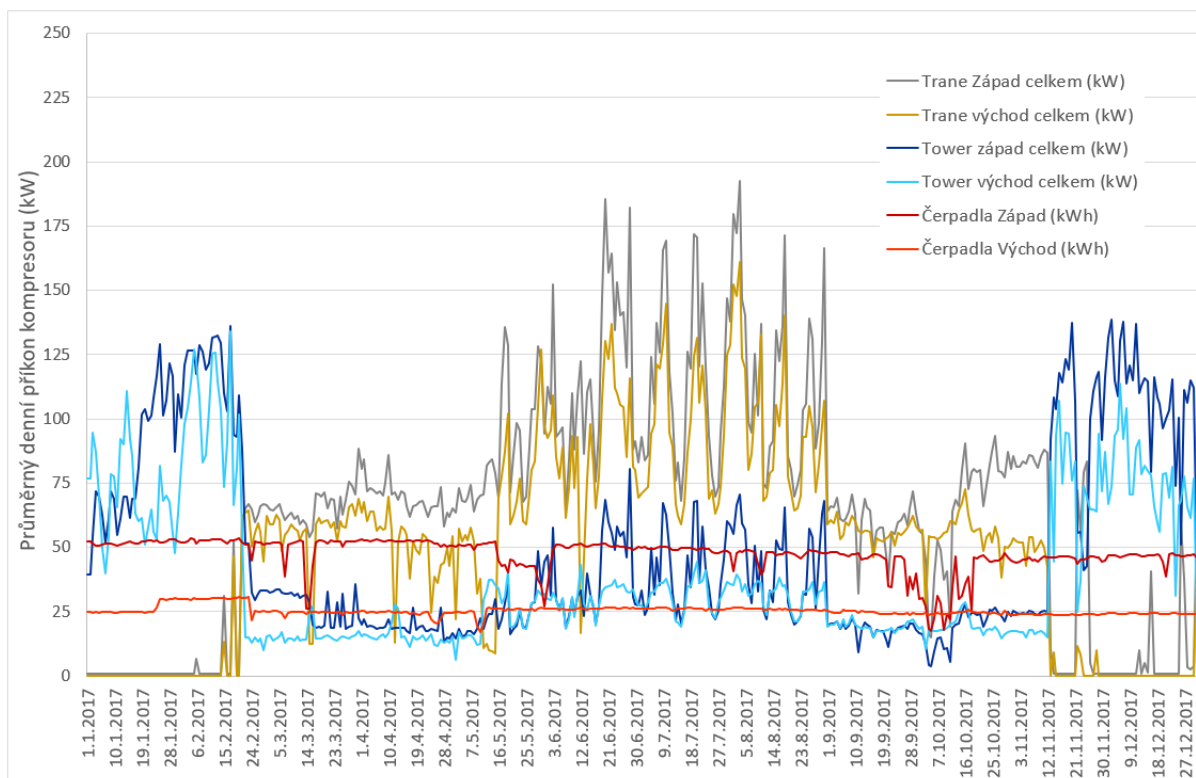


Graf 13 Celkový příkon západ a východ 2017

V grafu číslo 13 jsou zobrazeny spotřeby elektrické energie strojovny západ a východ v obchodním centru Chodov během celého roku 2017.

Nejvyšší hodnoty elektrických příkonů strojoven byli v měsících od poloviny května, v červnu, červenci a srpnu., tedy převážně v letních měsících. Maximálních denních hodnot dosahovala strojovna západ, a to konkrétně dne 28.6.2017 a to 312,7 kW, dále pak dne 3.8.2017 a to 311,9 kW. Maximální hodnoty strojovny západ dosahovali přes 300 kW. U strojovny východ byla maximální hodnota naměřena dne 3.8.2017 a to 224,9 kW, dále pak 1.8.2017 a to 214,3 kW. Strojovna východ výrazně menších spotřeb a z toho lze také říci, že strojovna západ měla větší podíl na výrobu chladu, než strojovna východ.

Maximální nárůst spotřeby elektrické energie byl tedy převážně v letních měsících, kdy je nevyšší nárůst venkovní denní teploty, a tudíž i nejvyšší potřeba na chlazení, které je závislé kromě rostoucí venkovní teplot také na tepelných ziscích. Při nižších venkovních teplotách je nejvíce využíván systém volného chlazení freecooling, který byl využit od začátku ledna do konce února a od poloviny listopadu do konce roku 2017. Kvůli nízkým teplotám v těchto měsících a využitím volného chlazení freecooling výrazně klesají spotřeby elektrické energie.



Graf 14 Příkon kompresorů zdrojů chladu jednotek Trane, příkon oběhová čerpadla a chladící věže, příkon oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody 2017

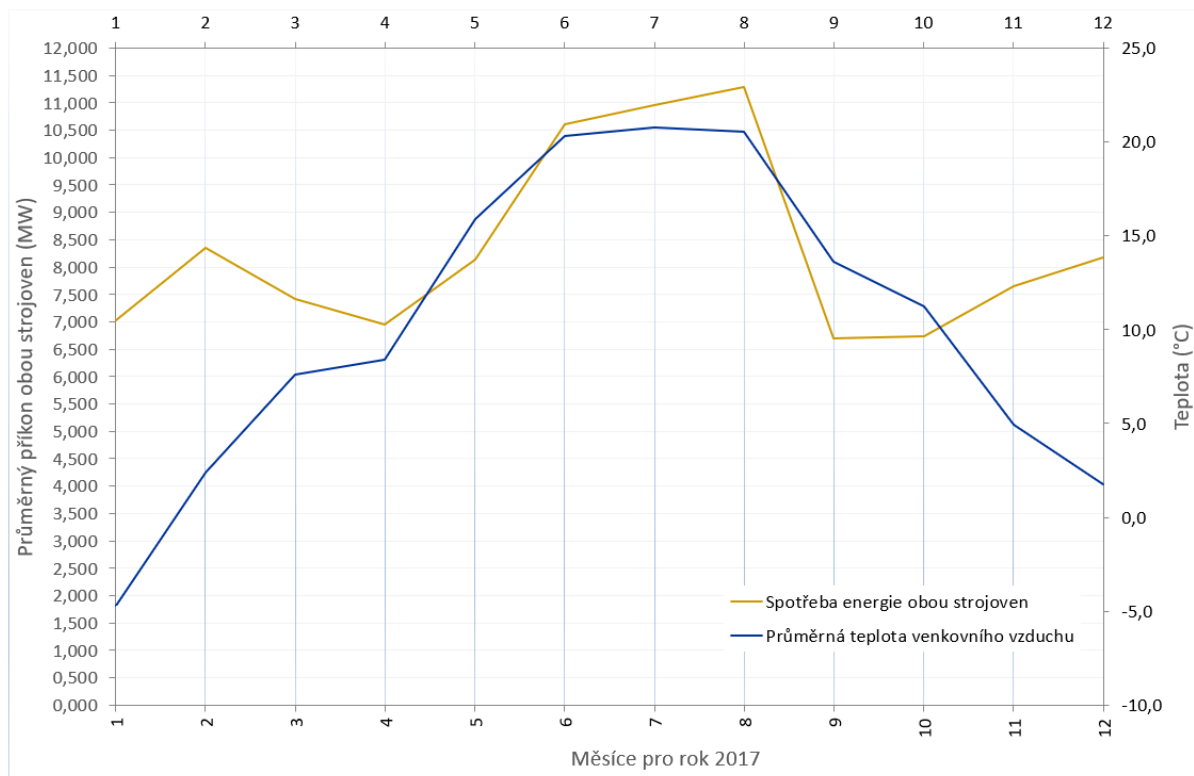
V grafu číslo 14 jsou zobrazeny spotřeby elektrické energie strojovny západ a východ. Tedy příkony kompresorů zdrojů chladu jednotek Trane, příkony oběhových čerpadel a chladících věží a příkony oběhových čerpadel sekundárního rozvodu chladné vody za rok 2017.

Vidíme zde, že v zimním období při nižších venkovních teplotách je využíváno volné chlazení freecooling a chladící jednotky Trane jsou téměř mimo provoz. Při zvyšování venkovních teplot dochází k přechodu na kompresorové chlazení jednotkami Trane, které v letních měsících dosahuje nejvyšších příkonů, nejvyšších spotřeb energie. Volné chlazení freecooling je v letních měsících využíváno minimálně.

Nejvyšší celkové příkony všech oběhových čerpadel a chladících věží strojovny západ a východ byli naměřeny tedy v zimním období. Nejvyšší denní příkon ve strojovně západ byl naměřen 3.12.2017 a to 138,7 kW. Ve strojovně východ dne 17.2.2017 a to 134,1 kW. Z grafu je dobře vidět využití volného chlazení freecooling a chladících jednotek Trane.

Když se podíváme na příkony oběhových čerpadel sekundárního rozvodu chladné vody, tak vidíme, že oběhová čerpadla jsou v provozu nepřetržitě celý rok. Příkony oběhových čerpadel se u strojovny západ pohybují okolo 50 kW a u strojovny východ okolo 25 kW.

11.1 Vyhodnocení průběhů teplot a příkonů obou strojoven



Graf 15 Průběh průměrných hodnot teplot venkovního vzduchu a příkonů obou strojoven chlazení za rok 2017

Graf číslo 15 nám znázorňuje vyhodnocení průběhu průměrného měsíčního příkonu obou strojoven a průměrné teploty venkovního vzduchu pro jednotlivé měsíce.

V tabulce číslo 15 jsou zobrazeny průměrné, maximální a minimální teploty pro jednotlivé měsíce. Nejvyšší teploty přes 30 °C byli naměřeny v letních měsících. Nejvyšší teplota byla naměřena v měsíci srpnu a to 36,3 °C, naopak nejnižší teplota byla naměřena v měsíci lednu a to -16,5 °C. Dále jsou v tabulce průměrné měsíční teploty pro jednotlivé podlaží a pasáže. Tato teplota se pohybovalo okolo 25 °C.

Jak je vidět z grafu, průměrný denní příkon v letním období je značně ovlivněn teplotou venkovního vzduchu a je přímo závislý na teplotě okolí.

Tab. 15 Průměrné měsíční teploty 2017

METEO		2017											
rok		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
měsíc		°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
jednotky													
Venkovní teploty													
Venkovní tepl. MIN	MIN	-16,5	-6,2	-3,2	-1,5	-0,2	9,2	10,3	8,6	5,2	0,5	-1,4	-5,2
Venkovní tepl. MAX	MAX	4,4	14,6	22,3	22,3	32,6	35,0	33,1	36,3	24,1	21,9	13,6	11,9
Venkovní tepl. AVE	AVE	-4,7	2,4	7,6	8,4	15,9	20,3	20,8	20,5	13,6	11,2	5,0	1,7
Vnitřní teploty													
pasáž 0.NP AVE	AVE	19,6	20,6	21,3	22,1	23,2	24,0	23,4	23,5	22,7	23,2	22,3	22,0
pasáž +1.NP AVE	AVE	24,9	25,2	25,4	25,7	26,8	26,9	26,2	26,2	24,4	25,0	23,8	25,2
pasáž 0.NP AVE	AVE	0,0	25,2	24,9	25,1	26,7	27,4	26,6	25,5	24,3	24,7	24,0	23,3
pasáž +1.NP AVE	AVE	0,0	25,8	25,3	25,3	26,6	27,1	27,0	27,0	25,1	25,6	25,4	24,6
materiálová pasáž 0.NP AVE	AVE	0,0	0,0	0,0	0,0	27,9	27,9	28,0	28,3	26,2	0,0	0,0	0,0
materiálová pasáž +1.NP AVE	AVE	0,0	25,2	24,4	24,9	26,7	27,2	27,2	27,5	25,3	24,7	23,7	23,1

11.2 Chladicí faktory zdrojů chladu

V následující tabulce jsou vypočteny chladicí faktory zdrojů chladu pro jednotlivé měsíce v roce 2017. Chladicí faktory jsou vypočteny pro strojovnu západ a strojovnu východ. Z naměřených hodnot z kalorimetrů byla vypočtena produkce chladu. Spotřeba el. energie je vyhodnocena v odstavci analýza dat za rok 2017. Protože docházelo k přepínání zdrojů jsou některé hodnoty příkonu zdroje nulové, a proto nelze stanovit chladicí faktor. V tabulce jsou místa znázorněna proškrtnutou buňkou. V následující tabulce je vidět, že vypočtené chladicí faktory dosahují nejvyšších hodnot pouze při součtu spotřeb elektrické energie kompresorového chlazení. Když přičteme ke kompresorovému chlazení spotřebu elektrické energie volného chlazení chladicí faktory pak dosahují nižších hodnot.

Tab. 16 Chladicí faktory za jednotlivé měsíce 2017

Leden 2017		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	105	83	222	133	543	0	0	0	0	543
Spotřeba el. Energie	kWh	0	5	279	288	572	0	0	1	1	573
Chladicí faktor	-	/	16,60	0,80	0,46	0,95	/	/	/	/	0,95
Spotřeba chladicích věží	kWh	3	2	17053	42847	59905	288	24593	25299	50180	110085
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	35	11,86	0,01	/	0,01	/	/	/	/	0,45
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh	/	/	/	/	38649	/	/	/	19400	58049
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-	/	/	/	/	0,01	/	/	/	/	0,33

Únor 2017		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	0	861	65220	0	66081	145	0	0	145	66226
Spotřeba el. Energie	kWh	3	150	14362	257	14772	12357	14	11	12382	27154
Chladicí faktor	-	/	5,74	4,54	/	4,47	0,01	/	/	0,01	2,44
Spotřeba chladicích věží	kWh	2	36	38212	27434	65684	2954	24360	25406	52720	118404
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	/	4,63	1,24	/	0,82	0,01	/	/	0,01	0,45
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh	/	/	/	/	35076	/	/	/	19566	54642
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-	/	/	/	/	0,57	/	/	/	/	0,33

Březen 2017		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	583	91511	125024	56	217174	449	222	11499	12170	229344
Spotřeba el. Energie	kWh	133	19502	29139	270	49044	40923	149	675	41747	90791
Chladicí faktor	-	4,38	4,69	4,29	0,21	4,43	0,01	1,49	17,04	0,29	2,53
Spotřeba chladicích věží	kWh	26	5256	14908	31	20221	10059	15	1519	11593	31814
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	3,67	3,70	2,84	0,19	3,14	0,01	1,35	5,24	0,17	1,87
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh	/	/	/	/	36942	/	/	/	18417	55359
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-	/	/	/	/	2,04	/	/	/	0,17	1,29

Duben 2017		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	23097	191842	7000	167	222106	110414	6028	7639	124081	346187
Spotřeba el. Energie	kWh	5471	42501	1862	273	50107	34469	1952	482	36903	87010
Chladicí faktor	-	4,22	4,51	3,76	0,61	4,43	3,20	3,09	15,85	3,36	3,98
Spotřeba chladicích věží	kWh	1345	11344	863	46	13598	9166	965	1085	11216	24814
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	3,39	3,56	2,57	0,52	3,49	2,53	2,07	4,87	3	3,10
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh	/	/	/	/	37663	/	/	/	17494	55157
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-	/	/	/	/	2,19	/	/	/	1,89	2,07

Květen 2017		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	234049	65748	39388	361	339546	197494	12889	40943	251326	590872
Spotřeba el. Energie	kWh	43204	12924	7466	281	63875	39740	2574	1108	43422	107297
Chladicí faktor	-	5,42	5,09	5,28	1,28	5,32	4,97	5,01	36,95	5,79	5,51
Spotřeba chladicích věží	kWh	10522	3541	3283	27	17373	12571	1188	4177	17936	35309
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	4,36	3,99	3,66	1,17	4,18	3,78	3,43	7,75	4	4,14
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh	/	/	/	/	34268	/	/	/	18638	52906
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-	/	/	/	/	2,94	/	/	/	3,14	3,02

Červen 2017		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	411433	333	73262	12250	497278	361129	222	16555	377906	875184
Spotřeba el. Energie	kWh	64348	12	17380	2617	84357	64496	156	57	64709	149066
Chladicí faktor	-	6,39	27,75	4,22	4,68	5,89	5,60	1,42	290,44	5,84	5,87
Spotřeba chladících věží	kWh	19428	11	1295	27	20761	20702	12	1247	21961	42722
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	4,91	14,48	3,92	4,63	4,73	4,24	1,32	12,70	4	4,56
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					35880				18871	54751
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					3,53				3,58	3,55

Červenec 2017		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	415530	361	74081	403	490375	373240	0	0	373240	863615
Spotřeba el. Energie	kWh	66963	0	16619	302	83884	69381	150	0	69531	153415
Chladicí faktor	-	6,21		4,46	1,33	5,85	5,38			5,37	5,63
Spotřeba chladících věží	kWh	22149	8	7613	32	29802	23445	0	0	23445	53247
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	4,66	45,13	3,06	1,21	4,31	4,02			4	4,18
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					36702				19512	56214
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					3,26				3,32	3,29

Srpen 2017		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	399517	417	72067	16125	488126	377337	0	333	377670	865796
Spotřeba el. Energie	kWh	66374	0	17189	3631	87194	73392	136	4	73532	160726
Chladicí faktor	-	6,02		4,19	4,44	5,60	5,14		83,25	5,14	5,39
Spotřeba chladících věží	kWh	21962	19	8412	1475	31868	23944	42	63	24049	55917
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	4,52	21,95	2,82	3,16	4,10	3,88		4,97	4	4
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					35021				19320	54341
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					3,17				3,23	3,20

Září 2017		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	217036	194	56	153	217439	148274	0	0	148274	365713
Spotřeba el. Energie	kWh	42521	38	273	274	43106	40604	104	0	40708	83814
Chladicí faktor	-	5,10	5,11	0,21	0,56	5,04	3,65			3,64	4,36
Spotřeba chladících věží	kWh	13151	4	23	25	13203	13867	1	0	13868	27071
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	3,90	4,62	0,19	0,51	3,86	2,72			3	3,30
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					32091				17768	49859
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					2,46				2,05	2,28

Říjen 2017		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	177620	53693	56	292	231661	151274	2944	0	154218	385879
Spotřeba el. Energie	kWh	33673	13584	283	303	47843	40189	782	0	40971	88814
Chladicí faktor	-	5,27	3,95	0,20	0,96	4,84	3,76	3,76		3,76	4,34
Spotřeba chladících věží	kWh	10142	3901	19	37	14099	13748	318	24	14090	28189
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	4,05	3,07	0,19	0,86	3,74	2,80	2,68		3	3,30
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					26532				18245	44777
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					2,62				2,10	2,39

Listopad 2017		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	250	72748	26027	917	99942	40929	611	6111	47651	147593
Spotřeba el. Energie	kWh	64	24113	7335	392	31904	14942	223	526	15691	47595
Chladicí faktor	-	3,91	3,02	3,55	2,34	3,13	2,74	2,74	11,62	3,04	3,10
Spotřeba chladících věží	kWh	30	7082	22768	19376	49256	5079	14607	16782	36468	85724
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	2,66	2,33	0,86	0,05	1,23	2,04	0,04	0,35	1	1,11
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					32872				17223	50095
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					0,88				0,69	0,80

Při vysokém podílu volného chlazení mohou vyhodnocené chladicí faktory zdrojů chladu dosahovat velmi vysokých hodnot. Když se podíváme na celkové chladicí faktory za měsíc leden a únor vidíme, že jsou velmi nízké. Hlavní faktor tohoto jevu je chyba měření kalorimetrů při nízkých teplotních rozdílech.

12 ANALÝZA DAT ZA ROK 2018

Obdobně jako pro rok 2017 jsem vyhodnotil a zpracoval do grafů naměřená data spotřeby elektrické energie pro rok 2018.

Data byla měřena po celý rok 2018 od 1. 1. 2018 do 31. 12. 2018. Celková spotřeba elektrické energie obou strojoven byla vyhodnocena na 2982,6 MWh. Z toho 1800,7 MWh spotřebovala strojovna západ a 1181,9 MWh spotřebovala strojovna východ. Spotřeba elektrické energie strojovny západ je 60,4 % a spotřeba elektrické energie strojovny východ je 39,6 % z celkové spotřeby elektrické energie.

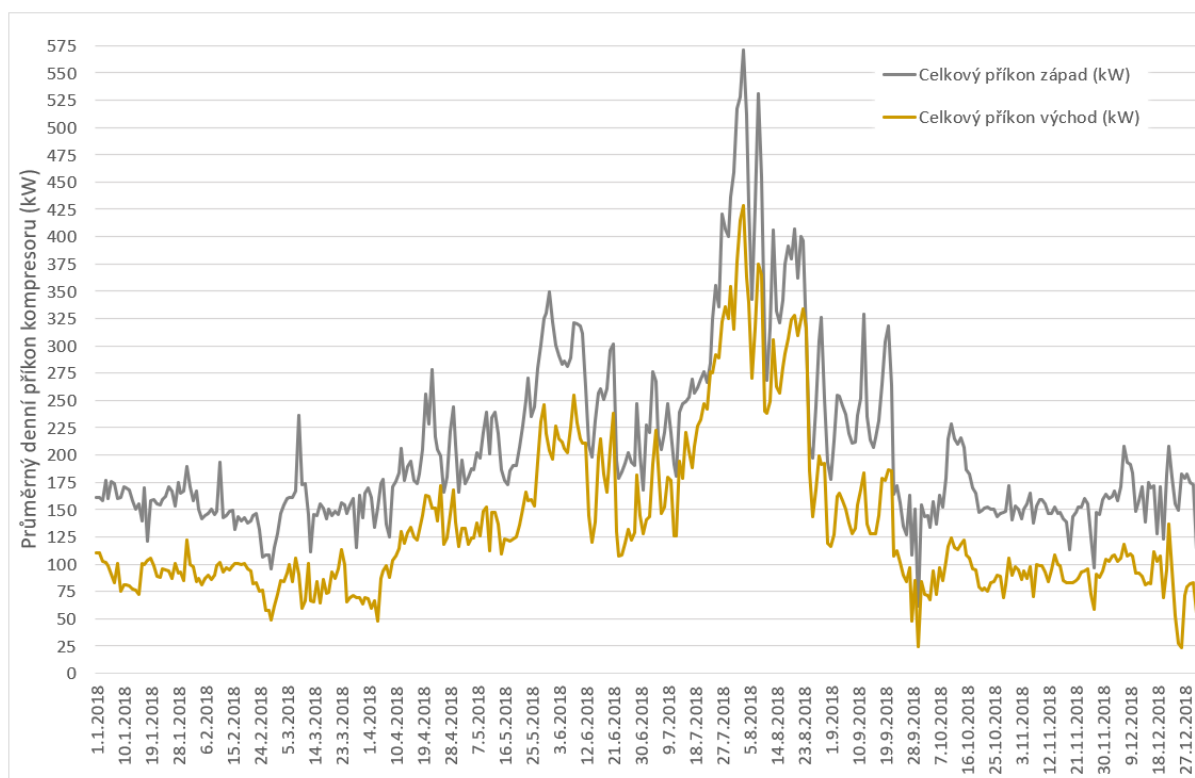
Kompresory zdrojů chladu jednotek Trane spotřebovaly celkem 49,6 %, oběhová čerpadla a chladicí věže pro odvod kondenzačního tepla a přímé chlazení spotřebovaly 29,2 % a oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody 21,1 %.

Tab. 17 Celková spotřeba v procentech 2018

Zařízení	%
Kompresory zdrojů chladu jednotek Trane	49,6
Oběhová čerpadla a chladicí věže	29,2
oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody	21,1

Tab. 18 Spotřeby elektrické energie chlazení 2018

Spotřeby chlazení		2018												Celkem	
rok		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	MWh	%
měsíc	jednotky	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh		
	Trane č. 1 Západ	0	1	863	66554	29155	12261	107616	126367	78672	66687	40016	13	528,2	17,7
	Trane č. 2 Západ	64	56	71	57	69269	103112	38	18	1225	56	7913	859	182,7	6,1
	Trane č. 3 Západ	28532	6374	16821	3612	282	285	19579	40775	2535	282	272	25534	144,9	4,9
	Trane č. 4 Západ	285	257	7671	4762	463	281	432	6262	6100	285	50	0	26,8	0,9
	Tower č. 1 západ	3	2	2	20244	10636	4013	34782	39133	24474	21135	12935	2	167,4	5,6
	Tower č. 2 západ	2	2	2	3	18895	26320	0	0	54	136	2446	252	48,1	1,6
	Tower č. 3 západ	36990	32405	29917	2487	1	9	8725	20057	1253	0	3904	40429	176,2	5,9
	Tower č. 4 západ	19971	24383	27417	5552	2349	427	99	3070	2662	25	3451	22103	111,5	3,7
	Čerpadla západ	34654	31916	30122	33132	35979	35146	36378	36624	34978	35147	34519	36254	414,8	13,9
	Trane č. 1 Východ	0	0	0	10999	33151	84004	74496	115662	54060	36603	15592	0	424,6	14,2
	Trane č. 2 Východ	13514	3351	114	33471	31304	90	32187	25097	2394	489	14455	12032	168,5	5,7
	Trane č. 3 Východ	0	0	3746	1110	16	53	6	0	0	0	0	0	4,9	0,2
	Tower č. 1 východ	10	10	10	3761	11375	26516	22788	37697	18795	13086	5016	7	139,1	4,7
	Tower č. 2 východ	21442	21532	13802	16328	15799	0	15817	14234	1203	495	9982	22162	152,8	5,1
	Tower č. 3 východ	14820	17803	23519	2831	93	335	64	38	0	2	2100	15011	76,6	2,6
	Čerpadla východ	17958	16219	18286	17912	18539	18218	18971	18736	17713	17873	17466	17574	215,5	7,2
														1800,7	60,4
														1181,9	39,6
														2982,6	100,0

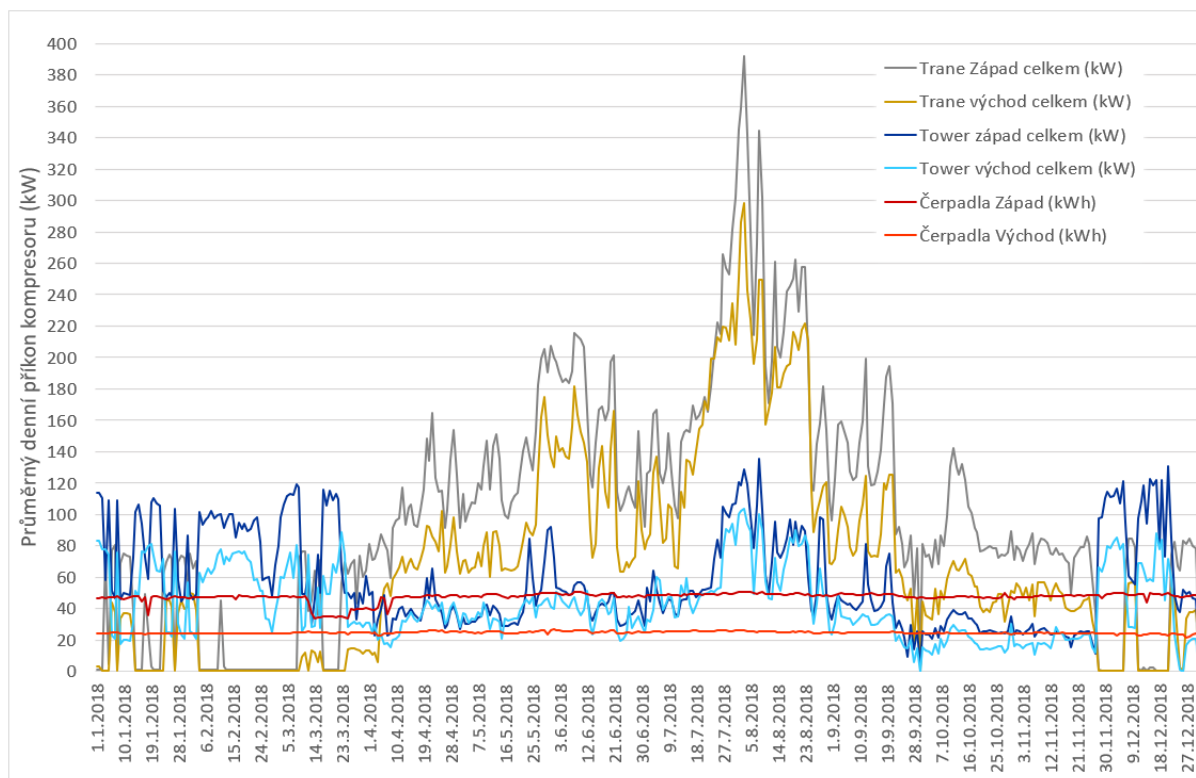


Graf 16 Celkový příkon západ a východ 2018

V grafu číslo 16 jsou stejně jako pro předchozí rok 2017 zobrazeny spotřeby elektrické energie strojovny západ a východ obchodního centra Chodov pro rok 2018. Když si zobrazíme graf číslo 13 vidíme krásné porovnání mezi rokem 2017 a 2018.

Nejvyšší hodnoty elektrických příkonů strojoven byli v měsících od poloviny května, červnu, červenci a srpnu. Maximální denní hodnoty, ale oproti roku 2017 dosahovali u strojovny západ přes 500 kW a u strojovny východ přes 350 kW. V roce 2017 dosahovali denní hodnoty strojovny západ jen přes 300 kW a strojovny východ jen přes 200 kW. Maximální denní hodnota strojovny západ byla naměřena dne 3.8.2018 a to 571,3 kW, dále dne 8.8.2018 a to 530,4 kW. U strojovny východ byla maximální hodnota naměřena také dne 3.8.2018 a to 428,0 kW, dále dne 1.8.2018 a to 377,0 kW. Z těchto naměřených hodnot lze říci, že v létě 2018 dosahovali denní teploty vyšších hodnot než v roce 2017 a tudíž byla větší potřeba výroby chladu, a tudíž i větší spotřeba elektrické energie.

V zimních měsících, tedy při nízkých venkovních teplotách bylo využíváno volné chlazení freecooling. Přesněji pokud venková teplota dosáhne +2 °C nebo nižší, jsou kompresory chladicího zařízení zcela vypnuty a chlazení probíhá téměř zdarma.



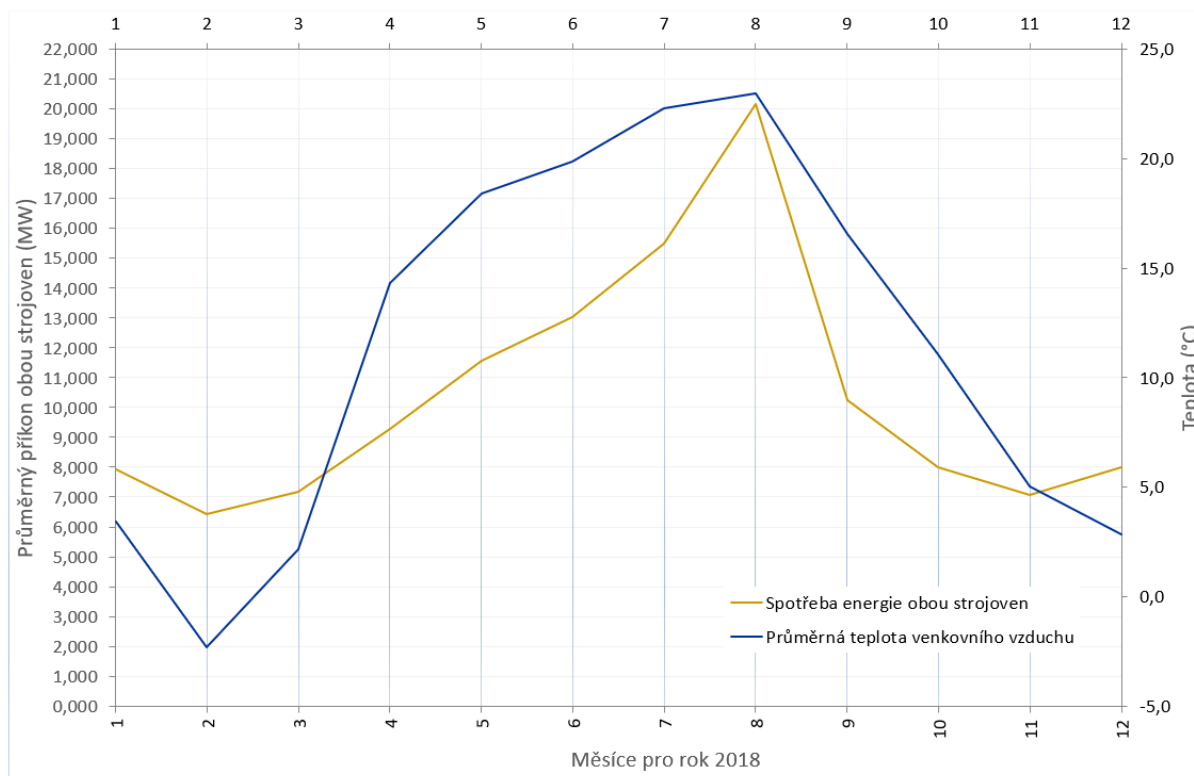
Graf 17 Příkon kompresorů zdrojů chladu jednotek Trane, příkon oběhová čerpadla a chladící věže, příkon oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody 2018

V grafu číslo 17 jsou zobrazeny příkony kompresorů zdrojů chladu jednotek Trane, příkony oběhových čerpadel a chladících věží a příkony oběhových čerpadel sekundárního rozvodu chladné vody za rok 2018. Při porovnání grafu 14 a grafu 17 vidíme porovnání spotřeb elektrické energie za rok 2017 a 2018.

Nejvyšší celkové příkony všech oběhových čerpadel a chladících věží strojovny západ a východ byli naměřeny, jak je vidět z grafu v zimním období, a v létě mezi přechodem měsíce července a srpna. Nejvyšší denní příkon byl naměřen ve strojovně západ dne 8.8.2018 a to 135,8 kW, což je způsobeno velkým výkyvem teploty. Dále byla naměřena dne 21.12.2018 hodnota 131,0 kW. Ve strojovně východ byl nejvyšší denní příkon naměřen dne 3.8.2018 a to 103,8 kW.

U jednotek Trane byli naměřeny nejvyšší příkony v letních měsících, a to nejvíce v měsíci srpnu. Konkrétně jednotky Trane ve strojovně západ zaznamenaly nejvyšší odběr elektrické energie dne 3.8.2018 a to 391,7 kW. Strojovna východ zaznamenala nejvyšší odběr ve stejný den jako strojovna západ a to 298,13 kW. Příkony oběhových čerpadel sekundárního rozvodu chladné vody stejně jako v roce 2017 běželi nepřetržitě celý rok. Příkony u strojovny západ se pohybovaly okolo 45 kW a u strojovny východ okolo 25 kW.

12.1 Vyhodnocení průběhů teplot a příkonů obou strojoven



Graf 18 Průběh průměrných hodnot teplot venkovního vzduchu a příkonu obou strojoven chlazení za rok 2018

Graf číslo 18 nám zobrazuje průběh průměrného měsíčního příkonu obou strojoven a průměrné teploty venkovního vzduchu za rok 2018. Na další straně v tabulce číslo 19 jsou zobrazeny průměrné, maximální a minimální teploty za jednotlivé měsíce v roce 2018.

Při porovnání grafu číslo 15 a 18 vidíme, že v roce 2018 průměrné venkovní teploty i průměrné příkony obou strojoven v letním období zejména v měsíci červenci a srpnu dosahovali vyšších hodnot. V měsíci červenci byla průměrná venkovní teplota vyšší o 1,5 °C a v měsíci srpnu o 2,5 °C. Nejvyšší průměrná teplota byla naměřena tedy v měsíci srpnu a to 23,0 °C a v měsíci červenci a to 22,3 °C. Nejvyšší maximální teplota byla také v měsíci srpnu a to 36,1 °C. V zimním období v měsíci lednu se průměrná teplota při srovnání s rokem 2017 výrazně liší. V roce 2017 byla -4,7 °C a v roce 2018 3,5 °C. Naopak v měsíci únoru se v roce 2017 oteplilo a průměrná venkovní teplota vyšplhala na 2,4 °C, tak v roce 2018 se ochladilo a teplota klesla na -2,3 °C. Těmito změnami teplot je značně ovlivněn průměrný denní příkon obou strojoven.

Tab. 19 Průměrné měsíční teploty 2018

METEO		2018											
rok		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
měsíc		°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
jednotky													
Venkovní teploty													
Venkovní tepl. MIN	MIN	-3,2	-14,8	-15,6	-0,1	7,0	9,4	8,1	9,2	1,3	1,7	-7,3	-5,8
Venkovní tepl. MAX	MAX	11,0	6,5	19,0	28,6	33,3	33,9	35,4	36,1	29,2	23,2	15,9	12,1
Venkovní tepl. AVE	AVE	3,5	-2,3	2,2	14,3	18,4	19,9	22,3	23,0	16,6	11,1	5,0	2,9
Vnitřní teploty													
pasáž 0.NP AVE	AVE	22,2	22,2	23,6	23,3	23,6	23,2	23,7	22,9	23,1	22,4	22,7	22,6
pasáž +1.NP AVE	AVE	25,7	24,5	25,3	26,0	25,8	25,1	25,7	25,4	24,3	23,4	23,8	24,1
pasáž 0.NP AVE	AVE	23,4	23,6	24,7	25,7	25,7	24,8	25,5	24,7	25,5	24,6	24,7	25,0
pasáž +1.NP AVE	AVE	24,5	24,6	25,8	25,9	25,8	24,6	25,6	25,1	25,0	24,5	25,8	25,2
materiálová pasáž 0.NP AVE	AVE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
materiálová pasáž +1.NP AVE	AVE	23,7	23,8	25,0	26,1	26,2	25,1	26,3	25,4	25,5	24,2	24,3	23,7

12.2 Chladicí faktory zdrojů chladu

V následující tabulce jsou vypočteny chladicí faktory zdrojů chladu pro jednotlivé měsíce v roce 2018. Chladicí faktory jsou vypočteny pro strojovnu západ a strojovnu východ. Z naměřených hodnot z kalorimetrů byla vypočtena produkce chladu. Spotřeba el. energie je vyhodnocena v odstavci analýza dat za rok 2018. Protože docházelo k přepínání zdrojů jsou některé hodnoty příkonu zdroje nulové, a proto nelze stanovit chladicí faktor. V tabulce jsou místa znázorněna proškrtnutou buňkou. V následující tabulce je vidět, že vypočtené chladicí faktory dosahují nejvyšších hodnot pouze při součtu spotřeb elektrické energie kompresorového chlazení. Když přičteme ke kompresorovému chlazení spotřebu elektrické energie volného chlazení chladicí faktory pak dosahují nižších hodnot.

Tab. 20 Chladicí faktory za jednotlivé měsíce 2018

Leden 2018		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	28	222	101497	222	101969	0	39943	0	39943	141912
Spotřeba el. Energie	kWh	0	63	28532	284	28879	0	13197	0	13197	42076
Chladicí faktor	-		3,52	3,56	0,78	3,53		3,03		3,03	3,37
Spotřeba chladících věží	kWh	2	2	37084	20037	57125	11	22342	15762	38115	95240
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	14,00	3,42	1,55		1,19		1,12		1	1,03
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					34654				17958	52612
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					0,85				0,58	0,75

Únor 2018		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	83	278	19916	278	20555	0	9694	0	9694	30249
Spotřeba el. Energie	kWh	1	56	6374	257	6688	0	3351	0	3351	10039
Chladicí faktor	-	83,00	4,96	3,12	1,08	3,07		2,89		2,89	3,01
Spotřeba chladících věží	kWh	2	2	32405	24383	56792	10	21532	17803	39345	96137
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	27,67	4,79	0,51		0,32		0,39		0,23	0,28
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					31916				16219	48135
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					0,22				0,16	0,20

Březen 2018		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	2778	194	56332	32194	91498	0	417	66637	67054	158552
Spotřeba el. Energie	kWh	863	71	16821	7671	25426	0	114	3746	3860	29286
Chladicí faktor	-	3,22	2,73	3,35	4,20	3,60		3,66	17,79	17,37	5,41
Spotřeba chladících věží	kWh	302	2	29917	27417	57638	10	13802	25519	39331	96969
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	2,38	2,66	1,21	0,92	1,10		0,03	2,28	2	1,26
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					30122				18286	48408
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					0,81				1,09	0,91

Duben 2018		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	349851	306	9805	21305	381267	41666	154218	20610	216494	597761
Spotřeba el. Energie	kWh	66554	57	3612	4762	74985	10999	33471	1110	45580	120565
Chladicí faktor	-	5,26	5,37	2,71	4,47	5,08	3,79	4,61	18,57	4,75	4,96
Spotřeba chladících věží	kWh	19876	3	2487	5552	27918	3761	16328	2831	22920	50838
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	4,05	5,10	1,61	2,07	3,71	2,82	3,10	5,23	3	3,49
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					33132				17912	51044
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					2,80				2,51	2,69

Květen 2018		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	152218	373295	28	917	526458	155607	139829	889	296325	822783
Spotřeba el. Energie	kWh	29155	69269	282	463	99169	33151	31304	16	64471	163640
Chladicí faktor	-	5,22	5,39	0,10	1,98	5,31	4,69	4,47	55,56	4,60	5,03
Spotřeba chladících věží	kWh	10636	18895	1	2349	31881	11375	15799	93	27267	59148
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	3,83	4,23	0,10	0,33	4,02	3,49	2,97	8,16	3	3,69
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					35979				18539	54518
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					3,15				2,69	2,97

Červen 2018		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	72248	540318	111	194	612871	361712	0	833	362545	975416
Spotřeba el. Energie	kWh	12261	103112	285	281	115939	84004	90	53	84147	200086
Chladicí faktor	-	5,89	5,24	0,39	0,69	5,29	4,31		15,72	4,31	4,87
Spotřeba chladících věží	kWh	4013	27657	9	427	32106	26516	0	335	26851	58957
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	4,44	4,13	0,38	0,27	4,14	3,27		2,15	3	3,77
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					35979				18539	54518
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					3,33				2,80	3,11

Červenec 2018		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	639093	167	92859	861	732980	292242	153829	306	446377	1179357
Spotřeba el. Energie	kWh	107616	38	19579	432	127665	74496	32187	6	106689	234354
Chladicí faktor	-	5,94	4,39	4,74	1,99	5,74	3,92		51,00	4,18	5,03
Spotřeba chladících věží	kWh	34782	0	8725	99	43606	22788	15817	64	38669	82275
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	4,49	4,39	3,28	1,62	4,28	3,00		4,37	3	3,72
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					36378				18971	55349
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					3,53				2,72	3,17

Srpen 2018		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	731563	83	167606	29888	929140	442321	731563	83	1173967	2103107
Spotřeba el. Energie	kWh	126367	18	40775	6262	173422	115662	25097	0	140759	314181
Chladicí faktor	-	5,79	4,61	4,11	4,77	5,36	3,82	29,15		8,34	6,69
Spotřeba chladících věží	kWh	39133	0	20057	3070	62260	37697	14234	38	51969	114229
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	4,42	4,61	2,76	3,20	3,94	2,88	18,60	2,18	6	4,91
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					36624				18736	55360
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					3,41				5,55	4,35

Září 2018		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	408211	4222	9972	30749	453154	221244	11305	0	232549	685703
Spotřeba el. Energie	kWh	78672	1225	2535	6100	88532	54060	2394	0	56454	144986
Chladicí faktor	-	5,19	3,45	3,93	5,04	5,12	4,09	4,72		4,12	4,73
Spotřeba chladících věží	kWh	24474	54	1253	2662	28443	18795	1203	0	19998	48441
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	3,96	3,30	2,63	3,51	3,87	3,04	3,14		3	3,55
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					34978				17713	52691
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					2,98				2,47	2,79

Říjen 2018		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	295992	194	28	556	296770	121497	1083	0	122580	419350
Spotřeba el. Energie	kWh	66687	56	282	285	67310	36603	489	0	37092	104402
Chladicí faktor	-	4,44	3,46	0,10	1,95	4,41	3,32	2,21		3,30	4,02
Spotřeba chladících věží	kWh	21135	136	0	25	21296	13086	495	2	13583	34879
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	3,37	1,01	0,10	1,79	3,35	2,45	1,10		2	3,01
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					35147				17713	52860
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					2,40				1,79	2,18

Listopad 2018		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	168231	31732	156	111	200230	43729	40616	0	84345	284575
Spotřeba el. Energie	kWh	40016	7913	272	50	48251	15592	14455	0	30047	78298
Chladicí faktor	-	4,20	4,01	0,57	2,22	4,15	2,80	2,81		2,81	3,63
Spotřeba chladících věží	kWh	12935	2446	3904	3451	22736	5016	9982	2100	17098	39834
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	3,18	3,06	0,04	0,03	2,82	2,12	1,66		2	2,41
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					34519				17466	51985
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					1,90				1,31	1,67

V měsíci lednu je zajímavá nulová produkce chladu ve strojovně východ u jednotky Trane č.3 při spotřebě elektrické energie chladících věží 15 762 kWh. To může být způsobeno špatným odečtem kalorimetrů. V měsíci květnu a červenci si můžeme všimnout velmi vysokého chladicího faktoru ve strojovně východ u jednotky Trane č.3, který v květnu dosahuje hodnoty 55,6 a v červenci 51,0.

13 ANALÝZA DAT ZA ROK 2019

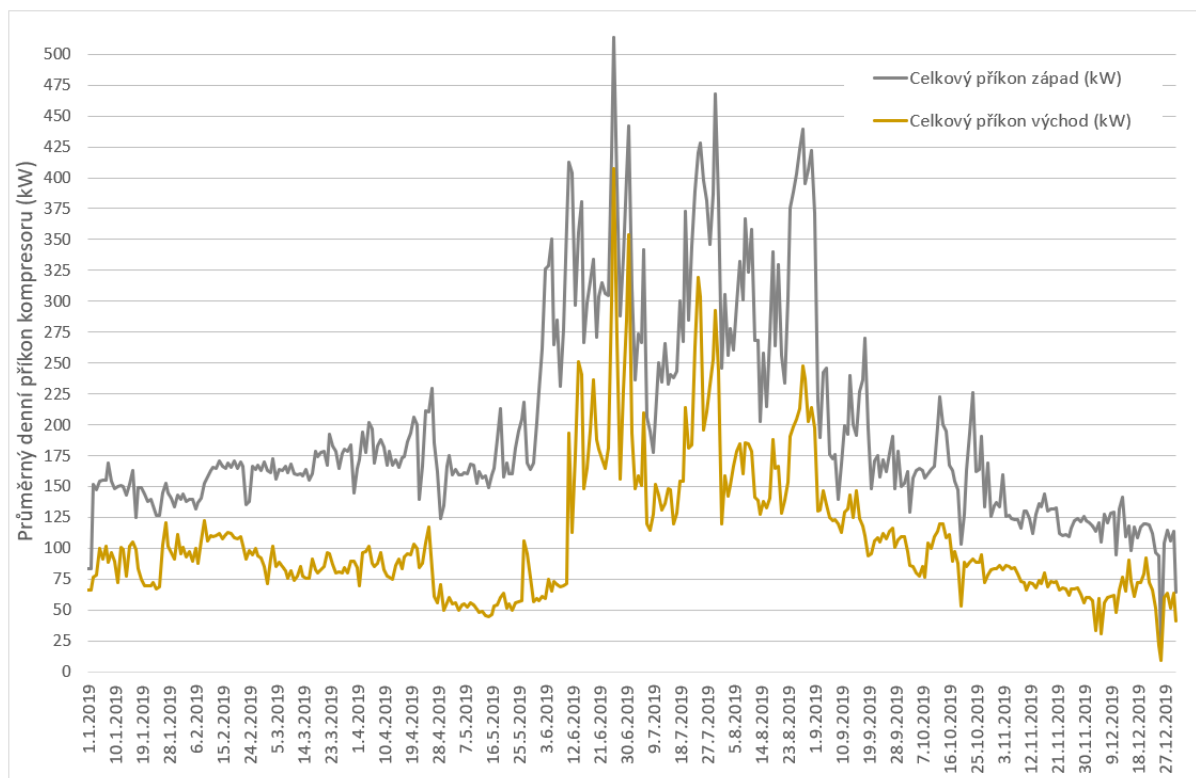
Stejně jako pro předešlé roky 2017 a 2018 jsem vyhodnotil a zpracoval do grafů naměřená data spotřeby elektrické energie pro rok 2019.

Data byla měřena po celý rok 2019 od 1. 1. 2019 do 31. 12. 2019. Celková spotřeba elektrické energie obou strojoven byla vyhodnocena na 2669,6 MWh. Z toho 1728,8 MWh spotřebovala strojovna západ a 940,8 MWh spotřebovala strojovna východ. Spotřeba elektrické energie strojovny západ je 64,8 % a spotřeba elektrické energie strojovny východ je 35,2 % z celkové spotřeby elektrické energie.

Kompresory zdrojů chladu jednotek Trane spotřebovaly celkem 48,7 %, oběhová čerpadla a chladicí věže pro odvod kondenzačního tepla a přímé chlazení spotřebovaly 29,4 % a oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody 21,9 %.

Tab. 21 Celková spotřeba v procentech 2019

Zařízení	%
Kompresory zdrojů chladu jednotek Trane	48,7
Oběhová čerpadla a chladicí věže	29,4
oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody	21,9

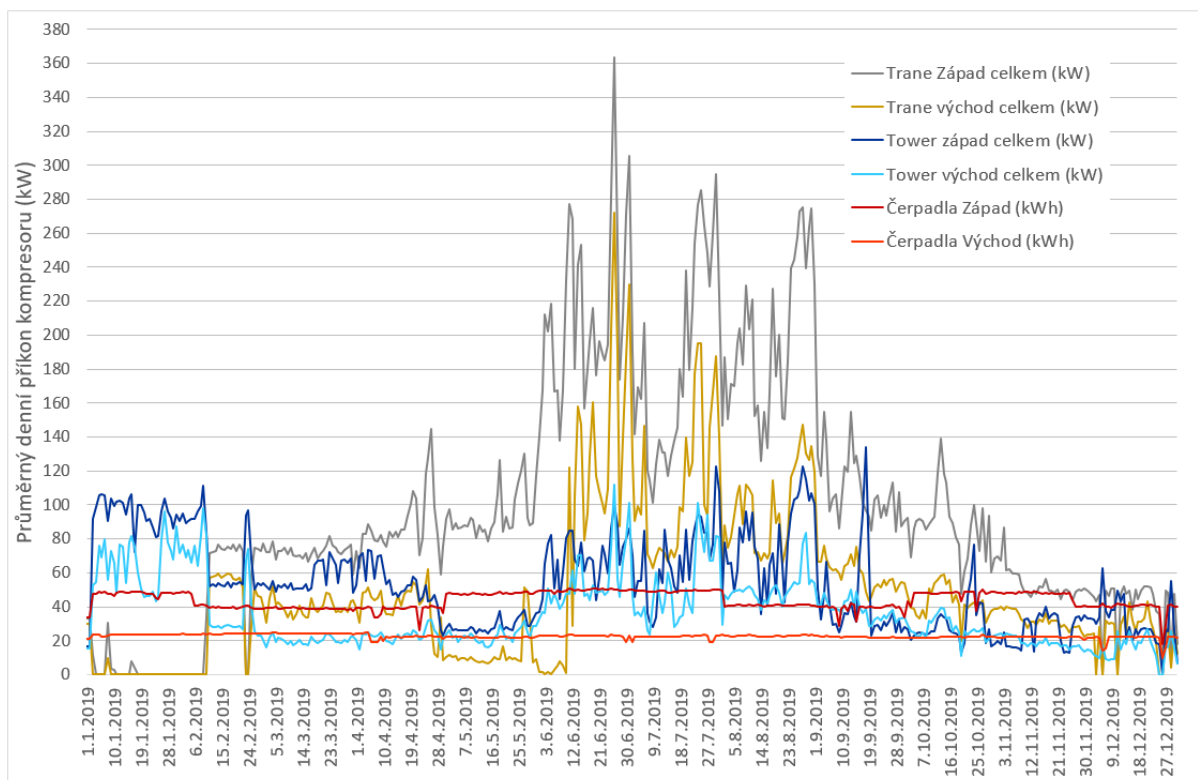


Graf 19 Celkový příkon západ a východ 2019

Totožně jako pro rok 2017 a 2018 jsou v grafu číslo 19 zobrazeny spotřeby elektrické energie obchodního centra Chodov pro strojovnu západ a východ za rok 2019. Při zobrazení grafu číslo 13 a grafu číslo 16 můžeme vidět porovnání spotřeb s tímto rokem.

Maximální hodnoty elektrických příkonů byli naměřeny opět v letních měsících a dosahovali hodnot u strojovny západ stejně jako v roce 2018 přes 500 kW. U strojovny východ dosahovaly maximální denní hodnoty přes 400 kW, což je více než v předešlých letech 2017 i 2018. Při porovnání celkového elektrického příkonu za letní období ve strojovně západ v letech 2017, 2018 a 2019, byla největší spotřeba elektrické energie v roce 2018 a naopak nejnižší v roce 2017. U strojovny východ je porovnání celkového elektrického příkonu obdobné jako u strojovny západ. Z toho můžeme říci, že nejvyšší potřeba pro výrobu chladu byla v roce 2018.

V roce 2019 byl nejvyšší denní příkon u strojovny západ naměřen dne 26.6.2019 a to 513,3 kW. Nejvyšší denní příkon u strojovny východ byl naměřen ve stejný den 26.6.2019 a to 407,5 kW. V tomto roce je zajímavé, že minimální denní příkony v druhé polovině prosince se přibližovaly k nulovým hodnotám, kdy byli vhodné venkovní teploty pro využití freecoolingu.



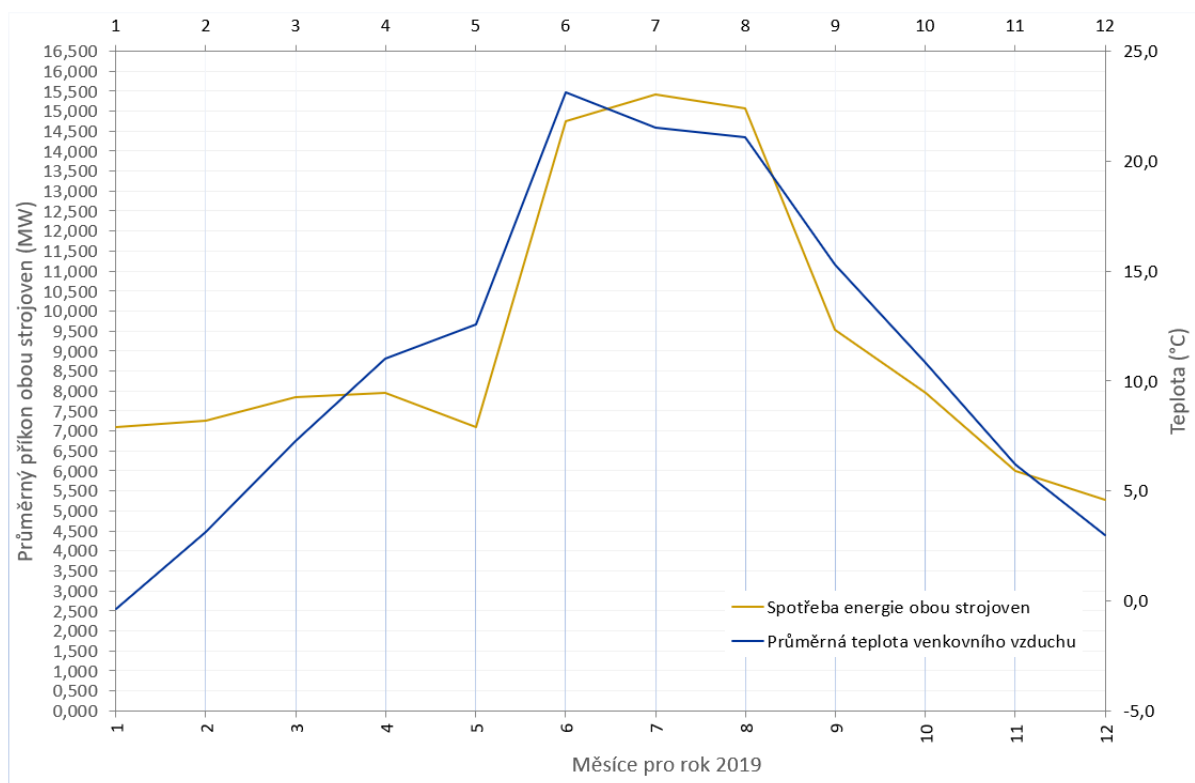
Graf 20 Příkon kompresorů zdrojů chladu jednotek Trane, příkon oběhová čerpadla a chladící věže, příkon oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody 2019

Jako pro rok 2017 a 2018 jsou v grafu číslo 20 zobrazeny příkony kompresorů zdrojů chladu jednotek Trane, příkony oběhových čerpadel a chladících věží a příkony oběhových čerpadel sekundárního rozvodu chladné vody za rok 2019. V grafu 14 a 17 jsou vidět spotřeby elektrické energie v roce 2017 a 2018. Oproti minulým letem, kdy nejvyšší celkové příkony všech oběhových čerpadel a chladících věží strojovny západ a východ byly zaznamenávány převážně v zimním období v měsíci lednu a únoru a ke konci roku v měsíci listopadu a prosinci, tak v roce 2019 byli nejvyšší celkové příkony zaznamenány v měsíci lednu a únoru a v období od konce července až do poloviny září. Ke konci roku, jak je vidět z grafu se denní hodnoty všech zařízení pohybovaly nízko, a to převážně pod 50 kW.

Nejvyšší denní příkon strojovny západ byl naměřen dne 18.9.2019 a to 134,0 kW. V zimním období byla nejvyšší hodnota naměřena dne 9.2.2019 a to 111,0 kW. U strojovny východ byla nejvyšší hodnota naměřena dne 26.6.2019 a to 112,1 kW. V Zimním období dne 9.2.2019 hodnota 98,3 kW.

Příkony oběhových čerpadel sekundárního rozvodu chladné vody se u strojovny západ pohybovaly mezi hodnotami 40 až 50 kW, u strojovny východ mezi hodnotami 20 až 25 kW.

13.1 Vyhodnocení průběhů teplot a příkonů obou strojoven



Graf 21 Průběh průměrných hodnot teplot venkovního vzduchu a příkonů obou strojoven chlazení za rok 2019

Pro poslední rok naměřených dat je v grafu číslo 21 vyhodnocen průběh průměrného měsíčního příkonu obou strojoven a průměrné teploty venkovního vzduchu pro jednotlivé měsíce za rok 2019. Při nahlédnutí do grafů číslo 15 a 18 můžeme vidět hezké porovnání průběhů za tyto tři roky. Nejvyšší průměrná teplota z těchto tří let byla naměřena v roce 2019 v měsíci červnu a to 23,1 °C. V červenci a srpnu byli nejvyšší průměrné teploty naměřeny v roce 2018. Maximální teplota v roce 2019 byla naměřena v červnu a to 37,1 °C, naopak nejnižší teplota byla naměřena v lednu a to -10,0 °C, průměrná teplota v tomto měsíci byla -0,4 °C. Z porovnání těchto průměrných teplot je jasné, že největší spotřeba elektrické energie v letním období byla z těchto tří let v roce 2018.

Tab. 23 Průměrné měsíční teploty 2019

METEO		2019											
rok		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
měsíc		°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
jednotky													
Venkovní teploty													
Venkovní tepl. MIN	MIN	-10,0	-8,1	-0,4	0,4	1,4	10,6	10,9	10,2	3,7	-4,1	-2,3	-4,2
Venkovní tepl. MAX	MAX	8,2	15,7	19,3	28,8	27,1	37,1	35,5	32,7	28,7	23,1	13,8	12,5
Venkovní tepl. AVE	AVE	-0,4	3,1	7,3	11,0	12,6	23,1	21,5	21,1	15,3	10,8	6,2	3,0
Vnitřní teploty													
pasáž 0.NP AVE	AVE	22,4	23,1	22,9	23,4	23,0	23,5	23,5	23,4	22,8	22,4	22,1	22,2
pasáž +1.NP AVE	AVE	23,2	24,3	24,3	25,5	25,2	27,1	26,0	26,4	25,0	24,5	24,1	24,1
pasáž 0.NP AVE	AVE	24,7	25,4	25,0	25,6	25,5	27,2	26,8	26,6	25,7	24,9	24,6	24,6
pasáž +1.NP AVE	AVE	24,7	25,0	25,1	26,0	25,5	26,3	26,1	26,4	25,4	25,0	24,6	24,8
materiálová pasáž 0.NP AVE	AVE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
materiálová pasáž +1.NP AVE	AVE	23,3	24,9	24,6	25,7	25,1	26,9	26,1	26,4	24,8	24,4	23,7	23,8

13.2 Chladicí faktory zdrojů chladu

V následující tabulce jsou vypočteny chladicí faktory zdrojů chladu pro jednotlivé měsíce v roce 2019. Chladicí faktory jsou vypočteny pro strojovnu západ a strojovnu východ. Z naměřených hodnot z kalorimetrů byla vypočtena produkce chladu. Spotřeba el. energie je vyhodnocena v odstavci analýza dat za rok 2019. Protože docházelo k přepínání zdrojů jsou některé hodnoty příkonu zdroje nulové, a proto nelze stanovit chladicí faktor. V tabulce jsou místa znázorněna proškrtnutou buňkou. V následující tabulce je vidět, že vypočtené chladicí faktory dosahují nejvyšších hodnot pouze při součtu spotřeb elektrické energie kompresorového chlazení. Když přičteme ke kompresorovému chlazení spotřebu elektrické energie volného chlazení chladicí faktory pak dosahují nižších hodnot.

Tab. 24 Chladicí faktory za jednotlivé měsíce 2019

Leden 2019		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	93	104	7933	83	8213	0	3294	0	3294	11507
Spotřeba el. Energie	kWh	0	18	3367	0	3385	0	13197	0	13197	16582
Chladicí faktor	-	-	5,78	2,36	-	2,43	-	0,25	-	0,25	0,69
Spotřeba chladících věží	kWh	2	2	38022	29595	67621	5	24137	21468	45610	113231
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	46,50	5,20	0,19	-	0,12	-	0,09	-	0,09	0,09
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh	-	-	-	-	35318	-	-	-	17481	52799
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-	-	-	-	0,08	-	-	-	-	0,04	0,06

Únor 2019		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	74	71	106287	67	106499	3	60777	0	60780	167279
Spotřeba el. Energie	kWh	0	31	28960	0	28991	0	20649	0	20649	49640
Chladicí faktor	-	-	2,29	3,67	-	3,67	-	2,94	-	2,94	3,37
Spotřeba chladících věží	kWh	2	2	38022	29595	67621	6	22427	10051	32484	100105
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	37,00	2,15	35075	12717	1,10	0,50	1,41	-	1	1,12
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh	-	-	-	-	27834	-	-	-	16184	44018
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-	-	-	-	0,86	-	-	-	-	0,88	0,86

Březen 2019		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	178	182	192074	192	192626	3	86063	0	86066	278692
Spotřeba el. Energie	kWh	0	26	53849	0	53875	0	29472	0	29472	83347
Chladicí faktor	-	-	7	3,57	-	3,58	-	2,92	-	2,92	3,34
Spotřeba chladících věží	kWh	2	2	39595	3010	42609	7	15001	0	15008	57617
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	89	6,50	2,06	-	2,00	0,43	1,94	-	2	1,98
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh	-	-	-	-	29029	-	-	-	18021	47050
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-	-	-	-	1,53	-	-	-	-	1,38	1,48

Duben 2019		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	3208	37807	210532	26783	278330	1733	89625	17132	108490	386820
Spotřeba el. Energie	kWh	586	6683	50046	5967	63282	710	27865	817	29392	92674
Chladicí faktor	-	5,47	5,66	4,21	4,49	4,40	2,44	3,22	20,97	3,69	4,17
Spotřeba chladících věží	kWh	139	1938	32119	3908	38104	237	14058	2281	16576	54680
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	4,42	4,39	2,56	2,71	2,75	1,83	2,14	5,53	2	2,63
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh	-	-	-	-	27730	-	-	-	16052	43782
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-	-	-	-	2,16	-	-	-	-	1,75	2,02

Květen 2019		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	119	312784	374	58	313335	589	8655	97183	106427	419762
Spotřeba el. Energie	kWh	26	69529	331	286	70172	137	3102	6201	9440	79612
Chladicí faktor	-	4,58	4,50	1,13	0,20	4,47	4,30	2,79	15,67	11,27	5,27
Spotřeba chladících věží	kWh	244	21162	18	27	21451	43	1652	15426	17121	38572
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	0,44	3,45	1,07	0,19	3,42	3,27	1,82	4,49	4	3,55
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh	-	-	-	-	35602	-	-	-	16453	52055
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-	-	-	-	2,46	-	-	-	-	2,47	2,47

Červen 2019		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	459412	322966	325	256	782959	66670	225560	138729	430959	1213918
Spotřeba el. Energie	kWh	90044	60072	272	274	150662	15264	47717	821	63802	214464
Chladicí faktor	-	5,10	5,38	1,19	0,93	5,20	4,37	4,73	168,98	6,75	5,66
Spotřeba chladících věží	kWh	29325	19992	53	28	49398	4623	21111	12264	37998	87396
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	3,85	4,03	1	0,85	3,91	3,35	3,28	10,60	4	4,02
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					35871				16451	52322
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					3,32				3,64	3,43

Červenec 2019		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	70297	429264	22519	149421	671501	59205	25620	173	84998	756499
Spotřeba el. Energie	kWh	15704	86706	5443	33206	141059	15264	47717	821	63802	204861
Chladicí faktor	-	4,48	4,95	4,14	4,50	4,76	3,88	0,54	0,21	1,33	3,69
Spotřeba chladících věží	kWh	5160	27206	2945	15575	50886	4623	16429	1895	22947	73833
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	3,37	3,77	2,68	3,06	3,50	2,98	0,40	0,06	1	2,71
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					36769				16602	53371
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					2,94				0,82	2,28

Srpen 2019		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	257	474683	183506	15077	673523	11	356950	14	356975	1030498
Spotřeba el. Energie	kWh	19	100015	42995	3586	146615	6	72402	0	72408	219023
Chladicí faktor	-	13,53	4,75	4,27	4,20	4,59	1,83	4,93		4,93	4,70
Spotřeba chladících věží	kWh	2	30505	24465	2698	57670	6	35914	1303	37223	94893
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	12,24	3,64	2,72	2,40	3,30	0,92	3,30	0,01	3	3,28
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					30617				17049	47666
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					2,87				2,82	2,85

Září 2019		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	272	329653	24830	749	355504	3	161219	0	161222	516726
Spotřeba el. Energie	kWh	61	74334	6669	421	81485	0	44017	0	44017	125502
Chladicí faktor	-	4,46	4,43	3,72	1,78	4,36		3,66		3,66	4,12
Spotřeba chladících věží	kWh	19	21602	8513	1375	31509	6	27655	2	27663	59172
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	3,40	3,44	1,64	0,42	3,15	0,50	2,25		2	2,80
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					28259				16602	44861
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					2,52				1,83	2,25

Říjen 2019		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	85	227626	40475	131	268317	31	111250	0	111281	379598
Spotřeba el. Energie	kWh	8	55665	9077	282	65032	12	32032	0	32044	97076
Chladicí faktor	-	10,63	4,09	4,46	0,46	4,13	2,58	3,47		3,47	3,91
Spotřeba chladících věží	kWh	2	15877	6077	24	21980	10	20141	0	20151	42131
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	8,50	3,18	2,67	0,43	3,08	1,41	2,13		2	2,73
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					34962				16492	51454
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					2,20				1,62	1,99

Listopad 2019		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	224	73322	77449	349	151344	3	74548	0	74551	225895
Spotřeba el. Energie	kWh	20	19192	19164	301	38677	0	23050	0	23050	61727
Chladicí faktor	-	11,20	3,82	4,04	1,16	3,91		3,23		3,23	3,66
Spotřeba chladících věží	kWh	4	5332	13168	42	18546	5	13786	0	13791	32337
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	9,33	2,99	2,40	1,02	2,64	0,60	2,02		2	2,40
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					33792				15944	49736
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					1,66				1,41	1,57

Chladicí faktory v měsíci lednu jsou velmi nízké. Jako v předešlých letech je hlavní faktor tohoto jevu způsoben chybou měření kalorimetrů při nízkých teplotních rozdílech. V měsíci červnu ve strojovně západ u jednotky Trane č.3 si můžeme všimnout poměrně nízké spotřeby elektrické energie a vysoké produkce chladu, což může být způsobeno nesprávným odečtem spotřeby elektrické energie.

14 CHLADÍCÍ FAKTORY ZDROJŮ CHLADU ZA ROK 2017/2018/2019

V následující tabulce jsou vypočteny chladicí faktory zdrojů chladu za celý rok 2017, 2018 a 2019. Chladicí faktory jsou vypočteny pro strojovnu západ, strojovnu východ a celkový chladicí faktor obou strojoven.

Tab. 25 Celkové chladicí faktory za rok 2017/2018/2019

2017		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	1879220	477791	482403	30857	2870271	1760685	22916	83080	1866681	4736952
Spotřeba el. Energie	kWh	322754	112829	112187	8888	556658	430493	6240	2864	439597	996255
Chladicí faktor	-	5,82	4,23	4,30	3,47	5,16	4,09	3,67	29,01	4,25	4,75
Spotřeba chladících věží	kWh	98760	31204	114449	91357	335770	288	24593	25299	50180	385950
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	4,46	3,32	2,13	0,31	3,22	4,09	0,74	2,95	3,81	3,43
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					381696				186037	567733
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					2,25				2,76	2,43

2018		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	2820296	951011	458310	117275	4346892	1680018	1282497	89358	3051873	7398765
Spotřeba el. Energie	kWh	528192	181878	119349	26847	856266	424567	156149	4931	585647	1441913
Chladicí faktor	-	5,34	5,23	3,84	4,37	5,08	3,96	8,21	18,12	5,21	5,13
Spotřeba chladících věží	kWh	167290	49197	135842	89472	441801	288	24593	25299	50180	491981
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	4,06	4,12	1,80	1,01	3,35	3,95	7,10	2,96	4,80	3,83
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					379428				179766	559194
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					2,59				3,74	2,97

2019		Strojovna západ				Celkem	Strojovna východ			Celkem	Celkem
		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3	Trane č.4		Trane č.1	Trane č.2	Trane č.3		
Produkce chladu	kWh	534219	2208462	866304	193166	3802151	128251	1203561	253231	1585043	5387194
Spotřeba el. Energie	kWh	106468	472271	220173	44323	843235	31393	361220	8660	401273	1244508
Chladicí faktor	-	5,02	4,68	3,93	4,36	4,51	4,09	3,33	29,24	3,95	4,33
Spotřeba chladících věží	kWh	34901	143620	202997	85877	467395	288	24593	25299	50180	517575
Chladicí faktor (vč. Věží)	-	3,78	3,59	2,05	1,48	2,90	4,05	3,12	7,46	3,51	3,06
Spotřeba oběhových čerpadel	kWh					355783				165310	521093
Chladicí faktor (vč. Čerpadel)	-					2,28				2,57	2,36

Chladicí faktor zdrojů chladu jednotek Trane vyšel pro rok 2017 pro strojovnu západ 5,16 a pro strojovnu východ 4,25, což je velice dobré a zdroje chladu jednotky Trane jsou velmi efektivní. Chladicí faktor jednotek Trane při přičtení spotřeb chladících věží se nám u strojovny západ snížil na 3,22 a u strojovny východ na 3,81. A chladicí faktor jednotek Trane vč. chladících věží a vč. čerpadel nám dále klesl u strojovny západ na 2,25 a u strojovny východ na 2,76. Chladicí faktor je nižší kvůli poměrně vysoké spotřebě el. energie sekundárních čerpadel, které jsou v provozu nepřetržitě celý rok. V roce 2018 a 2019 jsou chladicí faktory podobné jako v roce 2017 až na strojovnu východ v roce 2018, kdy byli poměrně vysoké.

Celkový chladicí faktor zdrojů chladu Trane vyšel pro rok 2017 pro obě strojovny 4,75. Chladicí faktor vč. chladících věží 3,43 a chladicí faktor vč. Čerpadel 2,43. Pro rok 2018 vyšel chladicí faktor zdrojů chladu jednotek Trane na 5,13, vč. chladících věží na 3,83 a vč. čerpadel na 2,97. A v posledním měřeném roce 2019 vyšel chladicí faktor zdrojů chladu jednotek Trane na 4,33, vč. chladících věží na 3,06 a vč. čerpadel na 2,36.

15 VYHODNOCENÍ SPOTŘEB VZT ZA ROK 2017/2018/2019

V následující kapitole jsou vyhodnoceny a náhledně zpracovány spotřeby elektrické energie do tabulek a koláčových grafů.

15.1 Vyhodnocení a souhrn spotřeb energie VZT za rok 2017

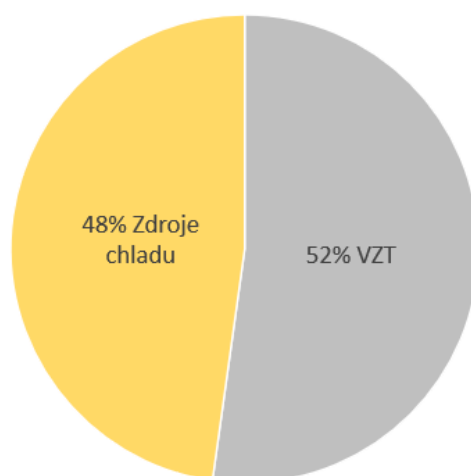
Celková spotřeba elektrické energie všech jednotek vzduchotechniky byla stanovena za rok 2017 na 2621,04 MWh. Největší spotřebu elektrické energie měla jednotka č.14 a to 320,66 MWh, 12,33 % z celkové spotřeby elektrické energie. Z tabulky je patrné, že nejvyšší spotřeby elektrické energie VZT byli v měsíci únoru a březnu.

Tab. 26 Spotřeby elektrické energie VZT 2017

VZT	měsíc	VZT č.1	VZT č.2	VZT č.3	VZT č.4	VZT č.5	VZT č.6	VZT č.7	VZT č.8	VZT č.9	VZT č.10	VZT č.11	VZT č.12	VZT č.13	VZT č.14	VZT č.15	Celkem [MWh]
zima 2017	12	26,94	16,27	9,34	3,63	6,66	13,61	15,38	7,06	11,65	15,37	12,42	12,40	1,73	24,00	16,38	192,84
	1	25,13	17,44	17,76	8,19	6,86	12,70	14,65	7,13	12,40	17,23	12,66	11,96	0,87	28,25	12,89	206,12
	2	22,47	15,95	14,67	128,69	4,03	13,50	11,63	8,46	11,47	15,55	11,44	12,79	0,76	22,86	21,60	315,87
	3	27,82	17,12	10,24	142,38	8,06	14,10	14,10	11,07	12,58	15,92	13,77	13,29	0,96	24,66	21,45	347,52
jaro 2017	4	26,31	16,26	9,13	5,16	6,41	13,37	14,76	10,65	12,20	13,08	13,18	11,96	1,33	24,50	20,03	198,33
	5	24,18	17,49	9,67	5,16	6,39	13,56	15,09	10,29	13,99	14,97	13,83	12,15	1,45	24,94	19,10	202,26
	6	18,55	16,76	9,49	4,80	6,15	12,84	14,45	10,87	14,96	17,61	11,46	11,98	1,51	24,19	17,95	193,57
léto 2017	7	18,45	17,23	7,52	4,78	6,41	14,12	14,98	10,33	15,37	17,61	10,74	12,03	1,56	24,77	17,14	193,04
	8	18,38	17,26	8,54	4,93	6,40	13,34	15,11	10,33	7,85	17,51	9,84	12,35	1,55	24,38	18,35	186,12
	9	17,04	16,93	9,99	4,78	6,21	13,11	14,91	10,49	11,80	15,18	10,87	11,79	1,46	23,54	18,33	186,43
podzim 2017	10	28,16	17,34	10,13	4,02	6,10	14,11	16,02	10,24	12,39	16,91	14,21	11,82	1,73	24,95	17,34	205,47
	11	28,49	16,46	7,48	4,14	6,21	13,57	15,38	6,46	11,65	16,04	14,10	12,81	1,69	24,44	14,55	193,47

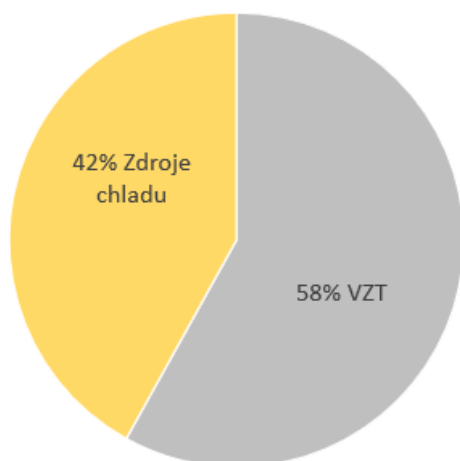
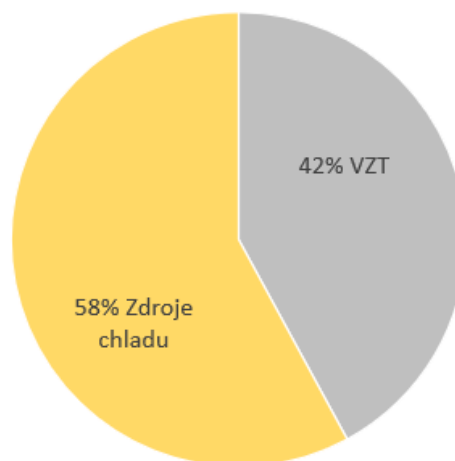
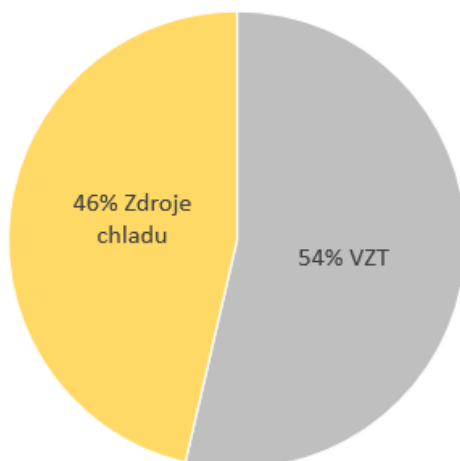
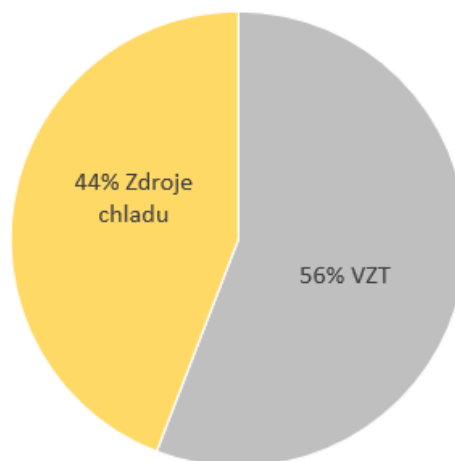
V následujícím grafu č. 22 je znázorněno porovnání celkové spotřeby elektrické energie vzduchotechniky a zdrojů chladu ve strojovně západ a východ. Vzduchotechnika spotřebovala 52 % z celkové spotřeby energie a zdroje chladu spotřebovali 48 % z celkové spotřeby energie.

Celková spotřeba energie VZT a zdrojů chladu za rok 2017 5020,7 MWh



Graf 22 Celkové porovnání spotřeb elektrické energie VZT a zdrojů chladu 2017

Pro přehledné porovnání spotřeb elektrické energie za jednotlivá roční období vzduchotechnických jednotek a zdrojů chladu jsou vytvořeny koláčové grafy. Z koláčových grafů je vidět, že nejvíce byli využívány zdroje chladu v létě a spotřebovali 58 % oproti vzduchotechnice, která spotřebovala 42 %. Na jaře vzduchotechnika spotřebovala 58 %, na podzim 54 % a v zimě 56 % z celkové spotřeby elektrické energie.

Celková spotřeba energie VZT a zdrojů chladu jaro
2017 1288,6 MWhCelková spotřeba energie VZT a zdrojů chladu léto
2017 1361,0 MWhCelková spotřeba energie VZT a zdrojů chladu podzim
2017 1091,3 MWhCelková spotřeba energie VZT a zdrojů chladu zima
2017 1279,8 MWh

Graf 23 Porovnání spotřeb elektrické energie za jaro, léto, podzim a zimu 2017

15.2 Vyhodnocení a souhrn spotřeb energie VZT za rok 2018

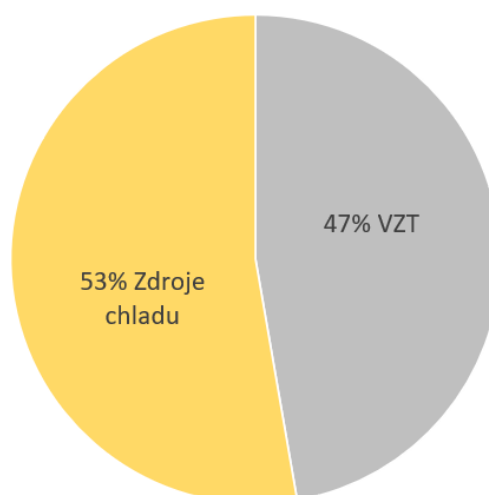
V roce 2018 byla celková spotřeba elektrické energie všech jednotek vzduchotechniky 2676,6 MWh. V tomto roce vykázala nejvyšší spotřebu elektrické energie vzduchotechnická jednotka č.1 a to 346,1 MWh, 12,9 % z celkové spotřeby elektrické energie všech vzduchotechnických jednotek. Z tabulky můžeme vidět, že nejvyšší spotřeby elektrické energie byli v měsíci srpnu, červenci a červnu. Naopak nejnižší spotřeby elektrické energie byli naměřeny v měsíci únoru a dubnu.

Tab. 27 Spotřeby elektrické energie VZT 2018

VZT	měsíc	VZT č.1	VZT č.2	VZT č.3	VZT č.4	VZT č.5	VZT č.6	VZT č.7	VZT č.8	VZT č.9	VZT č.10	VZT č.11	VZT č.12	VZT č.13	VZT č.14	VZT č.15	Celkem [MWh]
zima 2018	12	32,66	17,29	13,35	9,23	6,78	15,64	15,19	11,49	11,84	18,41	14,61	14,42	1,29	31,52	24,09	237,81
	1	26,38	15,46	7,80	4,93	6,18	13,64	15,26	11,15	11,53	14,98	12,02	13,13	1,73	26,90	20,34	201,43
	2	19,09	14,36	7,40	4,12	3,63	11,88	14,20	10,12	10,86	15,64	9,18	12,28	1,40	27,27	18,94	180,38
jaro 2018	3	24,66	20,47	13,96	6,49	6,79	15,16	15,33	11,09	14,39	22,24	14,15	15,16	1,77	31,31	22,62	235,59
	4	22,19	17,05	7,92	5,20	6,20	8,73	13,73	10,47	12,87	18,43	10,93	11,47	1,57	24,04	20,13	190,93
	5	25,95	17,33	9,36	5,56	6,55	16,89	15,32	12,76	16,19	20,00	10,39	11,87	1,67	24,17	21,16	215,15
léto 2018	6	32,13	16,70	12,48	8,91	6,01	19,94	13,03	13,38	12,11	22,12	13,18	12,29	2,40	28,08	25,28	238,05
	7	33,18	17,04	13,08	9,12	6,54	20,13	11,23	14,53	12,41	23,37	14,68	12,63	2,47	26,20	25,09	241,69
	8	32,94	16,83	13,09	9,07	6,53	19,75	20,90	15,12	16,30	22,93	14,12	12,53	2,51	30,51	29,41	262,52
podzim 2018	9	31,80	15,01	12,74	8,86	6,24	15,03	14,74	11,31	11,99	17,67	14,24	11,24	1,30	28,47	24,35	224,97
	10	32,88	17,38	11,72	9,04	6,44	14,96	15,15	11,86	12,46	18,56	14,74	10,77	0,36	26,99	25,30	228,60
	11	32,26	16,82	6,38	8,21	6,21	14,94	14,77	11,54	12,15	18,12	14,03	11,97	1,29	26,92	23,84	219,45

V koláčovém grafu č. 24 je znázorněno porovnání celkové spotřeby elektrické energie vzduchotechniky a zdrojů chladu ve strojovně západ a východ. Vzduchotechnika spotřebovala 47 % z celkové spotřeby energie a zdroje chladu spotřebovali 53 % z celkové spotřeby energie.

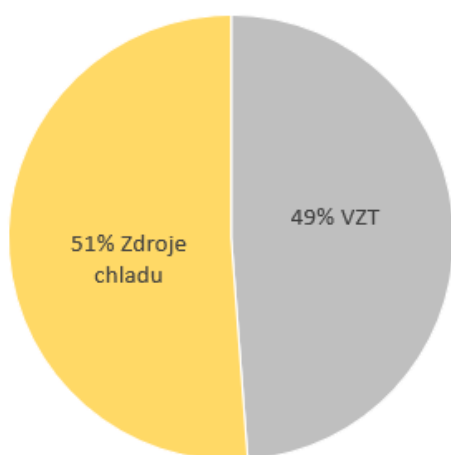
Celková spotřeba energie VZT a zdrojů chladu za rok 2018 5661,2 MWh



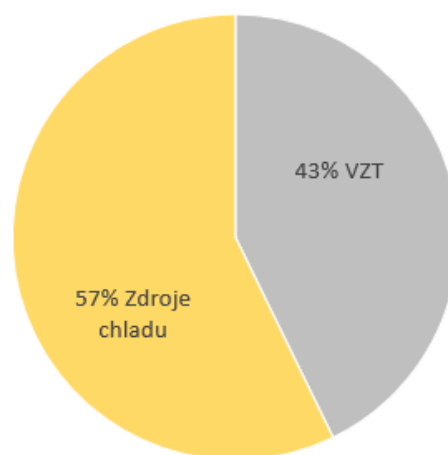
Graf 24 Celkové porovnání spotřeb elektrické energie VZT a zdrojů chladu 2018

V následujících koláčových grafech je znázorněno porovnání spotřeb elektrické energie za jednotlivá roční období vzduchotechnických jednotek a zdrojů chladu. Z koláčových grafů je vidět, že oproti roku 2017 kdy převažovali na jaře na podzim a v zimě spotřeby elektrické energie vzduchotechnických jednotek tak v roce 2018 převažovali spotřeby elektrické energie zdrojů chladu, a to na jaře v létě a na podzim. Zdroje chladu byli nejvíce využívány v létě a spotřebovali 57 % oproti vzduchotechnickým jednotkám, které spotřebovali 43 %. Na jaře vzduchotechnika spotřebovala 49 %, na podzim 46 % a v zimě 54 % z celkové spotřeby elektrické energie.

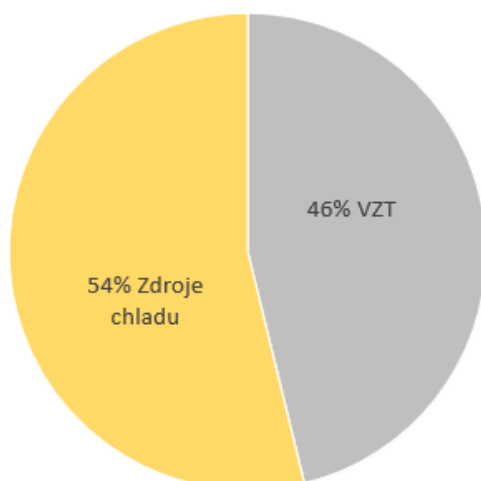
Celková spotřeba energie VZT a zdrojů chladu jaro
2018 1314,5 MWh



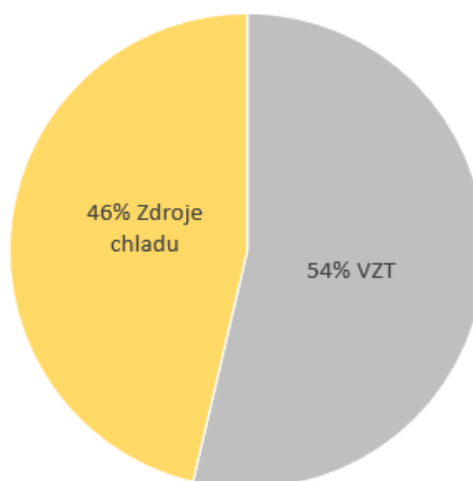
Celková spotřeba energie VZT a zdrojů chladu léto
2018 1735,1 MWh



Celková spotřeba energie VZT a zdrojů chladu podzim
2018 1457,2 MWh



Celková spotřeba energie VZT a zdrojů chladu zima
2018 1154,4 MWh



Graf 25 Porovnání spotřeb elektrické energie za jaro, léto, podzim a zimu 2018

15.3 Vyhodnocení a souhrn spotřeb energie VZT za rok 2019

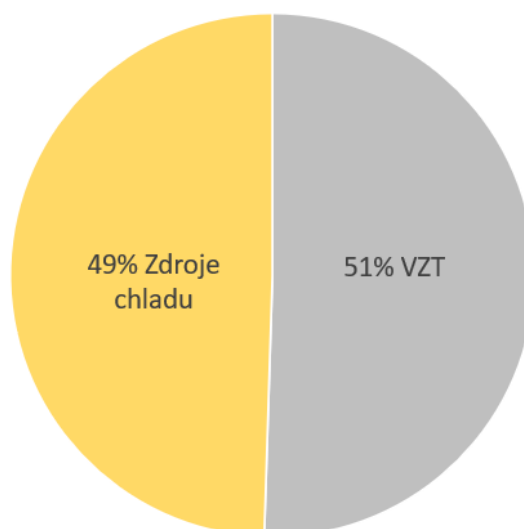
V posledním roce 2019, pro který jsem získal naměřené hodnoty byla celková spotřeba elektrické energie všech jednotek vzduchotechniky 2723,63 MWh. V tomto roce vykázala nejvyšší spotřebu elektrické energie vzduchotechnická jednotka č.1 a to 369,74 MWh, 13,6 % z celkové spotřeby elektrické energie všech vzduchotechnických jednotek. Naopak nejnižší spotřebu měla jednotka č. 13 a to pouhých 23,25 MWh. Z tabulky můžeme vidět, že nejvyšší spotřeby elektrické energie byli v měsíci červnu a červenci. Naopak nejnižší spotřeby elektrické energie byli naměřeny v měsíci únoru a dubnu.

Tab. 28 Spotřeby elektrické energie VZT 2019

VZT	měsíc	VZT č.1	VZT č.2	VZT č.3	VZT č.4	VZT č.5	VZT č.6	VZT č.7	VZT č.8	VZT č.9	VZT č.10	VZT č.11	VZT č.12	VZT č.13	VZT č.14	VZT č.15	Celkem [MWh]
zima 2019	12	30,86	15,64	11,16	0,23	7,99	15,03	14,41	11,43	11,09	18,22	16,83	13,04	1,94	28,32	23,76	219,93
	1	32,93	16,84	13,32	9,29	6,75	15,79	15,05	12,33	10,95	17,87	13,53	11,60	1,05	31,60	21,52	230,40
	2	30,10	16,43	12,10	8,50	6,12	14,47	13,91	11,22	9,98	16,94	12,85	11,14	1,31	28,42	21,03	214,52
jaro 2019	3	31,70	17,57	13,16	9,17	6,63	15,88	15,12	12,27	10,95	18,77	12,02	12,68	1,63	31,49	24,52	233,55
	4	26,52	16,30	12,10	8,47	6,02	14,69	14,26	11,65	10,46	18,76	12,36	11,78	1,58	29,82	23,75	218,50
	5	32,42	17,23	12,94	8,93	6,36	15,69	14,93	12,07	10,80	19,30	12,86	12,13	1,56	30,97	25,05	233,25
léto 2019	6	31,62	17,11	12,88	8,56	6,41	15,94	15,38	12,02	10,80	19,10	17,88	12,48	1,97	30,41	24,60	237,17
	7	31,18	16,82	13,03	7,82	6,32	15,69	15,29	11,79	10,39	19,26	18,25	12,81	2,48	31,08	24,81	237,01
	8	27,08	16,93	8,66	0,00	6,40	15,22	15,13	11,78	10,29	19,07	18,59	12,82	2,47	31,02	24,74	220,21
podzim 2019	9	31,72	16,28	9,53	0,00	6,23	15,17	14,43	11,37	10,82	18,29	17,71	12,55	2,46	29,77	23,90	220,22
	10	32,65	17,31	9,41	1,77	6,59	15,83	14,96	12,04	11,84	19,18	17,84	13,53	2,56	30,82	24,94	231,27
	11	30,94	16,10	10,65	6,65	6,41	15,28	14,44	11,60	11,31	18,62	17,23	13,12	2,23	28,88	24,12	227,60

V koláčovém grafu č. 26 je znázorněno porovnání celkové spotřeby elektrické energie vzduchotechniky a zdrojů chladu ve strojně západ a východ. Vzduchotechnika spotřebovala 51 % z celkové spotřeby energie a zdroje chladu spotřebovali 49 % z celkové spotřeby energie.

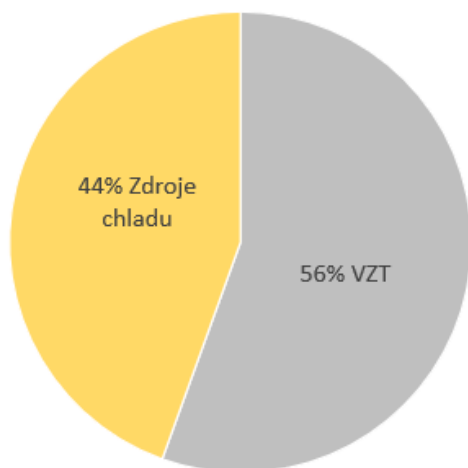
Celková spotřeba energie VZT a zdrojů chladu za rok 2019 5393,2 MWh



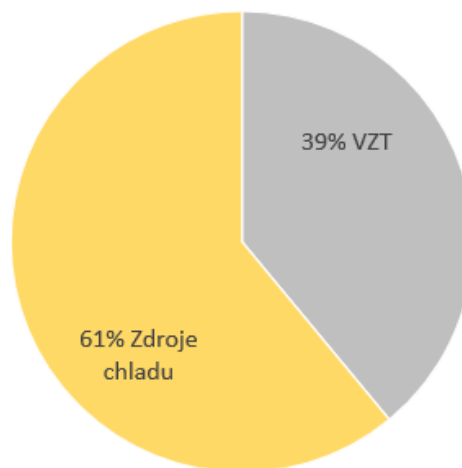
Graf 26 Celkové porovnání spotřeb elektrické energie VZT a zdrojů chladu 2019

V grafu číslo 27 je znázorněno stejně jako pro roky 2017 a 2018 porovnání spotřeb elektrické energie za jednotlivá roční období vzduchotechnických jednotek a zdrojů chladu. Spotřeby elektrické energie měly podobný průběh jako v roce 2017, kdy převažovali spotřeby elektrické energie vzduchotechniky na jaře, na podzim a v zimě. Nejvíce byli využíváni zdroje chladu v létě, kdy spotřebovali 61 % oproti vzduchotechnice, která spotřebovala 39 % z celkové spotřeby energie. Vzduchotechnické jednotky spotřebovaly nejvíce energie v zimě a to 59 %. Na jaře spotřebovali 56 % a na podzim 55 % z celkové spotřeby elektrické energie. Spotřeby el. energie, jak je vidět z tabulek č. 26, 27 a 28 jsou během celého měřeného období stabilní.

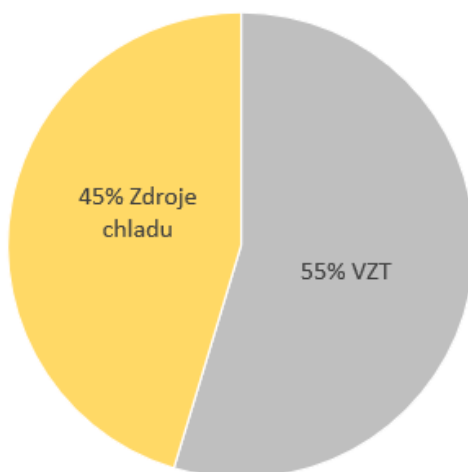
Celková spotřeba energie VZT a zdrojů chladu jaro
2019 1234,7 MWh



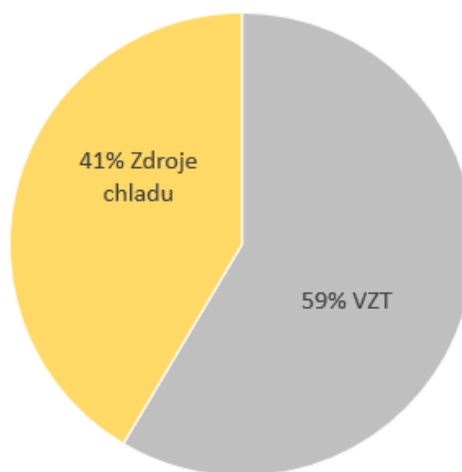
Celková spotřeba energie VZT a zdrojů chladu léto
2019 1780,1 MWh



Celková spotřeba energie VZT a zdrojů chladu podzim
2019 1242,5 MWh



Celková spotřeba energie VZT a zdrojů chladu zima
2019 1136,0 MWh



Graf 27 Porovnání spotřeb elektrické energie za jaro, léto, podzim a zimu 2019

15.4 Výpočet snížení spotřeby el. energie snížením průtoku ventilátorem

Klimatizace a vzduchotechnika patří svou spotřebou energie mezi hlavní zařízení v energetické bilanci budov. U vzduchotechnického zařízení má na spotřebu energie velký vliv pohon ventilátoru, který slouží pro dopravu vzduchu a zařízení sloužící pro úpravu vzduchu. Spotřeba energie ventilátoru roste s jeho příkonem a dobou provozu. Příkon ventilátoru vypočteme dle následujícího vztahu číslo 16.

Skutečná spotřeba se pak odvíjí od několika faktorů. Jedním z nich je regulace průtoku vzduchu na základě výskytu osob nebo kvality vzduchu, čímž se dá snížit spotřeba energie. Dalším aspektem je vzduchotěsnost potrubní sítě. Nedostatečná vzduchotěsnost způsobuje únik vzduchu, a to má za následek zvýšení nákladů. Jedním z nich je zvýšená spotřeba energie na dopravu vzduchu.

V této kapitole je proveden výpočet o kolik % se sníží spotřeba energie, pokud bychom snížili průtok dopravovaného vzduchu o 10 %. Jako příklad je uvedena vzduchotechnická jednotka č. 501 01, umístěna +3EX02 v OC Chodov.

Vztah pro výpočet příkonu ventilátoru [W]:

$$P = \frac{V * \Delta_p}{\eta} \quad (16)$$

V – průtok vzduchu [m^3/hod]

Δ_p – dopravní tlak [Pa]

η – celková účinnost ventilátoru [%]

$$\eta = \eta_v * \eta_m * \eta_p * \eta_{fm} \quad (17)$$

η_v – účinnost ventilátoru [%]

η_m – účinnost motoru [%]

η_p – účinnost převodů [%]

η_{fm} – příp. účinnost frekvenčního měniče [%]

VZT jednotka OC Chodov č. 501 01, umístění +3EX02

Průtok vzduchu ventilátorem $V = 14580 \text{ m}^3/\text{hod}$

Snížený průtok vzduchu ventilátorem o 10 % $V = 14580 - 10 \% = 13122 \text{ m}^3/\text{hod}$

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{2,6} = \left(\frac{13122}{14580}\right)^{2,6} = 0,76 = 76 \% \Rightarrow 24 \%$$

(Teoreticky by závislost měla být na třetí exponent, ale vzhledem ke snižování účinnosti ventilátoru a účinnosti regulace je exponent uvažován dle informace vedoucího mé diplomové práce 2,6)

⇒ Příkon ventilátoru nám při snížení průtoku vzduchu ventilátorem o 10 % klesl o 24 %. Tudiž spotřeba energie při snížení průtoku o 10 % se nám sníží o 24 %.

Jak již je řečeno výše spotřeba al. energie VZT a zdrojů chladu v roce 2017 byla naměřena 5020,7 MWh, v roce 2018 byla naměřena 5661,2 MWh a v roce 2019 byla naměřena 5393,2 MWh. Kdybychom snížili průtok vzduchu všemi ventilátory o 10 % snížila by se nám spotřeba el. energie přibližně o 24 %. V roce 2017 by se nám snížila o 629 MWh na 1992 MWh, v roce 2018 by se nám snížila o 642,4 MWh na 2034,2 MWh a v roce 2019 by se nám snížila o 653,7 MWh na 2070 MWh, což je velmi významné uspoření el. energie.

16 SOUHRN SPOTŘEB EL. ENERGIE ZDROJŮ CHLADU

Pro celkový souhrn a celkové porovnání spotřeb elektrické energie zdrojů chladu za celé měřené období, tedy za jednotlivé roky a roční období jsem vytvořil přehledné tabulky spotřeb elektrické energie strojovny západ a východ, a také pro lepší názornost koláčové grafy. V následujících tabulkách číslo 29 a 30 jsou zpracovány 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).

Tab. 29 Měsíční spotřeby elektrické energie strojovny západ

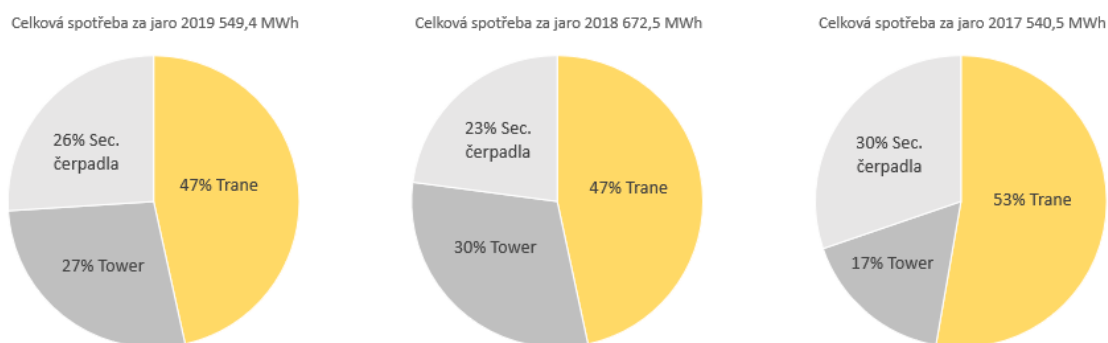
ZÁPAD	měsíc	Trane 1 [MWh]	Trane 2 [MWh]	Trane 3 [MWh]	Trane 4 [MWh]	Celkem Trane [MWh]	Tower 1 [MWh]	Tower 2 [MWh]	Tower 3 [MWh]	Tower 4 [MWh]	Celkem Tower [MWh]	Sekundární čerpadla [MWh]	Celkem [MWh]
	6	57,4	22,9	0,2	0,2	80,7	12,4	6,5	0	0	18,9	38,1	137,7
léto 2015	7	72,4	44,4	2,8	0,2	119,8	17,3	13,3	0,8	0	31,4	39,1	190,3
	8	69,1	51,7	20,3	0,2	141,3	16,7	14	6,5	0	37,2	39,5	218
zima 2017	1	0	5	0,279	0,288	5,567	0,003	0,002	17,053	42,847	59,905	38,7	104,172
	2	0,003	0,15	14,362	0,257	14,772	0,002	0,036	38,212	27,434	65,684	35,076	115,532
	3	0,133	19,502	29,139	0,27	49,044	0,026	5,256	14,908	0,031	20,221	36,942	106,207
jaro 2017	4	5,471	42,051	1,862	0,273	49,657	1,345	11,344	0,863	0,046	13,598	37,663	100,918
	5	43,204	12,924	7,466	0,281	63,875	10,522	3,541	3,283	0,027	17,373	34,268	115,516
	6	64,348	0,012	17,38	2,617	84,357	19,428	0,011	7,943	1,295	28,677	35,88	148,914
léto 2017	7	66,963	0	16,619	0,302	83,884	22,149	0,008	7,613	0,032	29,802	36,702	150,388
	8	66,374	0	17,189	3,631	87,194	21,962	0,019	8,412	1,175	31,568	35,021	153,783
	9	42,521	0,038	0,273	0,274	43,106	13,151	0,004	0,023	0,025	13,203	32,091	88,4
podzim 2017	10	33,673	13,584	0,283	0,303	47,843	10,142	3,901	0,019	0,037	14,099	26,532	88,474
	11	0,064	24,113	7,335	0,392	31,904	0,03	7,082	22,768	19,376	49,256	32,872	114,032
zima 2017	12	0	0,073	5,555	0,285	5,913	0,002	0,015	41,524	39,06	80,601	34,605	121,119
zima 2018	1	0	0,064	28,532	0,285	28,881	0,003	0,002	36,99	19,971	56,966	34,654	120,501
	2	0,001	0,056	6,374	0,257	6,688	0,002	0,002	32,405	24,383	56,792	31,916	95,396
	3	0,863	0,071	16,821	7,671	25,426	0,002	0,002	29,917	27,417	57,338	30,122	112,886
jaro 2018	4	66,554	0,057	3,612	4,762	74,985	20,244	0,003	2,487	5,552	28,286	33,132	136,403
	5	29,155	69,269	0,282	0,463	99,169	10,636	18,895	0,001	2,349	31,881	35,979	167,029
	6	12,261	103,112	0,285	0,281	115,939	4,013	26,32	0,009	0,427	30,769	35,146	181,854
léto 2018	7	107,616	0,038	19,579	0,432	127,665	34,782	0	8,725	0,099	43,606	36,378	207,649
	8	126,367	0,018	40,775	6,262	173,422	39,133	0	20,057	3,07	62,26	36,624	272,306
	9	78,672	1,225	2,535	6,1	88,532	24,474	0,054	1,253	2,662	28,443	34,978	151,953
podzim 2018	10	66,687	0,056	0,282	0,285	67,31	21,135	0,136	0	0,025	21,296	35,147	123,753
	11	40,016	7,913	0,272	0,05	48,251	12,935	2,446	3,904	3,451	22,736	34,519	105,506
zima 2018	12	0,013	0,859	25,534	0	26,406	0,002	0,252	40,429	22,103	62,786	36,254	125,446
zima 2019	1	0	0,018	3,367	0	3,385	0,002	0,002	38,022	29,595	67,621	35,318	106,324
	2	0	0,031	28,96	0	28,991	0,002	0,002	35,075	12,717	47,796	27,834	104,621
	3	0	0,026	53,849	0	53,875	0,002	0,002	39,595	3,01	42,609	29,029	125,513
jaro 2019	4	0,586	6,683	50,046	5,967	63,282	0,139	1,938	32,119	3,908	38,104	27,73	129,116
	5	0,026	69,529	0,331	0,286	70,172	0,244	21,162	0,018	0,027	21,451	35,602	127,225
	6	90,044	60,072	0,272	0,274	150,662	29,325	19,922	0,053	0,028	49,328	35,871	235,861
léto 2019	7	15,704	86,706	5,443	33,206	141,059	5,16	27,206	2,945	15,575	50,886	36,769	228,714
	8	0,019	100,015	42,995	3,586	146,615	0,002	30,505	24,465	2,698	57,67	30,617	234,902
	9	0,061	74,334	6,669	0,421	81,485	0,019	21,602	8,513	1,375	31,509	28,259	141,253
podzim 2019	10	0,008	55,665	9,077	0,282	65,032	0,002	15,877	6,077	0,024	21,98	34,962	121,974
	11	0,02	19,192	19,164	0,301	38,677	0,004	5,332	13,168	0,042	18,546	33,792	91,015
zima 2019	12	0,028	0,661	13,625	16,041	30,355	0,002	0,168	12,313	10,1	22,583	29,391	82,329

Tab. 30 Měsíční spotřeby elektrické energie strojevný východ

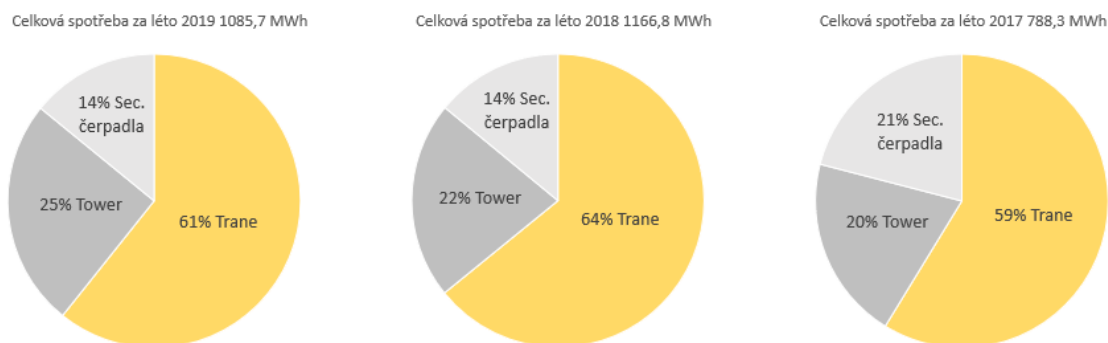
VÝCHOD	měsíc	Trane 1 [MWh]	Trane 2 [MWh]	Trane 3 [MWh]	Celkem Trane [MWh]	Tower 1 [MWh]	Tower 2 [MWh]	Tower 3 [MWh]	Celkem Tower [MWh]	Sekundární čerpadla [MWh]	Celkem [MWh]
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
léto 2015	7	65,9	24,6	0	90,5	22,46	12,6	0,18	35,24	20,08	145,82
	8	60,4	41,3	0,1	101,8	21,43	23,05	2,12	46,6	20,3	168,7
zima 2017	1	0	0	0,001	0,001	0,288	24,593	25,299	50,18	19,4	69,581
	2	12,357	0,014	0,011	12,382	2,954	24,36	25,406	52,72	19,566	84,668
	3	40,923	0,149	0,675	41,747	10,059	0,015	1,519	11,593	18,417	71,757
jaro 2017	4	34,469	1,952	0,482	36,903	9,166	0,965	1,084	11,215	17,494	65,612
	5	39,74	2,574	1,108	43,422	12,571	1,188	4,177	17,936	18,638	79,996
	6	64,496	0,156	0,057	64,709	20,702	0,012	1,247	21,961	18,871	105,541
léto 2017	7	69,381	0,15	0	69,531	23,445	0	0	23,445	19,512	112,488
	8	73,3392	0,136	0,004	73,4792	23,944	0,042	0,063	24,049	19,32	116,8482
	9	40,604	0,104	0	40,708	13,867	0,001	0	13,868	17,768	72,344
podzim 2017	10	40,189	0,782	0	40,971	13,748	0,318	0,024	14,09	18,245	73,306
	11	14,942	0,223	0,526	15,691	5,079	14,607	16,782	36,468	17,223	69,382
zima 2017	12	0	1,083	0	1,083	0,022	28,552	27,251	55,825	18,054	74,962
zima 2018	1	0	13,514	0	13,514	0,01	21,442	14,82	36,272	17,958	67,744
	2	0	3,351	0	3,351	0,01	21,532	17,803	39,345	16,219	58,915
	3	0	0,114	3,746	3,86	0,01	13,802	23,519	37,331	18,286	59,477
jaro 2018	4	10,999	33,471	1,11	45,58	3,761	16,328	2,831	22,92	17,912	86,412
	5	33,151	31,304	0,016	64,471	11,375	15,799	0,093	27,267	18,539	110,277
	6	84,004	0,09	0,053	84,147	26,516	0	0,335	26,851	18,218	129,216
léto 2018	7	74,496	32,187	0,006	106,689	22,788	15,817	0,064	38,669	18,971	164,329
	8	115,662	25,097	0	140,759	37,697	14,234	0,038	51,969	18,736	211,464
	9	54,06	2,394	0	56,454	18,795	1,203	0	19,998	17,713	94,165
podzim 2018	10	36,603	0,489	0	37,092	13,086	0,495	0,002	13,583	17,873	68,548
	11	15,592	14,455	0	30,047	5,016	9,982	2,1	17,098	17,466	64,611
zima 2018	12	0	12,032	0	12,032	0,007	22,162	15,011	37,18	17,574	66,786
zima 2019	1	0	1,101	0	1,101	0,005	24,137	21,468	45,61	17,481	64,192
	2	0	20,649	0	20,649	0,006	22,427	10,051	32,484	16,184	69,317
	3	0	29,472	0	29,472	0,007	15,001	0	15,008	18,021	62,501
jaro 2019	4	0,71	27,865	0,817	29,392	0,237	14,058	2,281	16,576	16,052	62,02
	5	0,137	3,102	6,201	9,44	0,043	1,652	15,426	17,121	16,453	43,014
	6	15,264	47,717	0,821	63,802	4,623	21,111	12,264	37,998	16,451	118,251
léto 2019	7	59,205	25,62	0,173	84,998	21,366	16,429	1,895	39,69	16,602	141,29
	8	0,006	72,402	0	72,408	0,006	35,914	1,303	37,223	17,049	126,68
	9	0	44,017	0	44,017	0,006	27,665	0,002	27,673	16,016	87,706
podzim 2019	10	0,012	32,062	0	32,074	0,01	20,141	0	20,151	16,492	68,717
	11	0	23,05	0	23,05	0,005	13,786	0	13,791	15,944	52,785
zima 2019	12	4,725	12,664	0	17,389	1,445	8,791	0,985	11,221	15,713	44,323

16.1 Porovnání spotřeb el. energie ročních období 2017/2018/2019

V následujících koláčových grafech jsou přehledně zpracovány spotřeby elektrické energie za všechna roční období, tedy za léto a zimu a dvě přechodová období jaro a podzim. Spotřeby elektrické energie jsou celkové, součet spotřeb strojovny západ a východ. Tyto spotřeby za jednotlivá roční období jsou porovnány za rok 2017, 2018 a 2019. V grafu číslo 28 vidíme porovnání spotřeb elektrické energie za jaro 2017, 2018 a 2019. V grafu číslo 29 pak za léto 2017, 2018 a 2019. V tomto grafu vidíme, že v létě je nejvíce využíváno strojní chlazení, které bylo nejvíce využito v roce 2018 a spotřebovalo 64 % z celkové spotřeby, oproti systému freecooling, který spotřeboval jen 22 %. V létě 2019 pak spotřebovalo strojní chlazení 61 % a v létě 2017 59 % z celkové spotřeby. V přechodovém období (jaro), vidíme, že bylo také využívání nejvíce strojní chlazení, a to kvůli vyšším venkovním teplotám. Jednotky Trane spotřebovaly na jaře 2019 a 2018 47 % a na jaře 2017 53 % z celkové spotřeby.

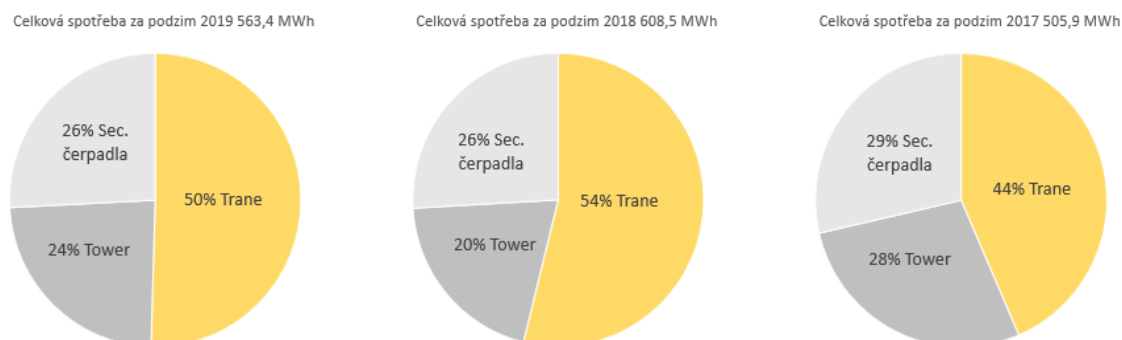


Graf 28 Porovnání spotřeb elektrické energie za jaro 2017/2018/2019

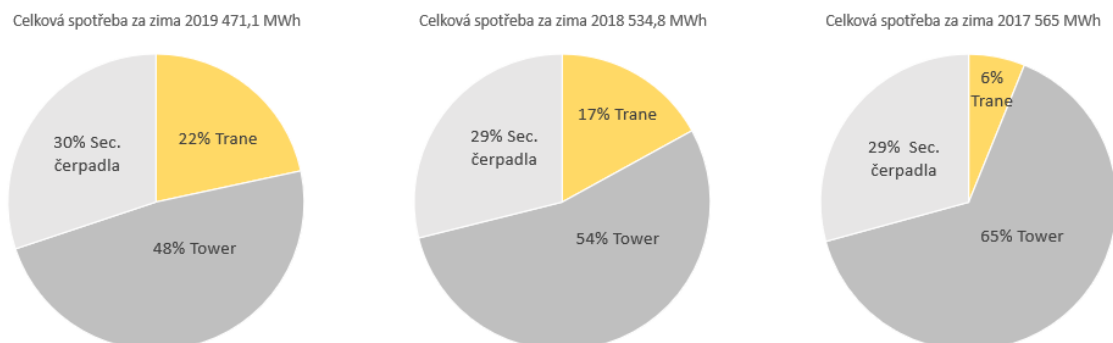


Graf 29 Porovnání spotřeb elektrické energie za léto 2017/2018/2019

V koláčovém grafu číslo 30 vidíme porovnání spotřeb elektrické energie za podzim 2017, 2018 a 2019 a v koláčovém grafu číslo 31 za zimu 2017, 2018 a 2019. Když se podíváme na graf celkových spotřeb elektrické energie za zimu 2017, 2018 a 2019 a porovnáme jej s celkovými spotřebami elektrické energie za léto 2017, 2018 a 2019, tak je zde krásně vidět, že v zimním období se nejvíce využívá systém freecooling a v letním období naopak strojní chlazení. Systém freecooling spotřeboval nejvíce elektrické energie v zimě 2017, a to 65 % z celkové spotřeby. V zimě 2018 spotřeboval 54 % a v zimě 2019 48 % z celkové spotřeby. Naopak strojní chlazení spotřebovalo v zimě 2017 pouhých 6 % z celkové spotřeby elektrické energie. V zimě 2018 pak strojní chlazení spotřebovalo 17 % a v zimě 2019 22 %. Z tohoto lze říci, že v roce 2017 byli z těchto tří let nejlepší podmínky pro využití systému freecooling. Tedy průměrné teploty venkovního vzduchu dosahovali v zimě 2017 nejnižších hodnot. V přechodovém období (podzim), jak je vidět z grafu, bylo využíváno nejvíce strojní chlazení. Jednotky Trane spotřebovaly na podzim 2019 50 %, na podzim 2018 54 % a na podzim v roce 2017 44 % z celkové spotřeby.



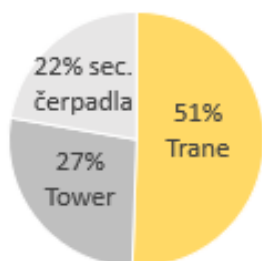
Graf 30 Porovnání spotřeb elektrické energie za podzim 2017/2018/2019



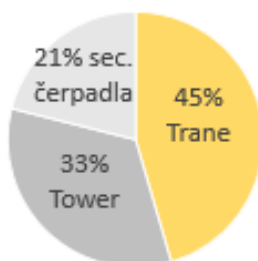
Graf 31 Porovnání spotřeb elektrické energie za zimu 2017/2018/2019

16.2 Porovnání spotřeby el. energie a el. příkonu obou strojoven

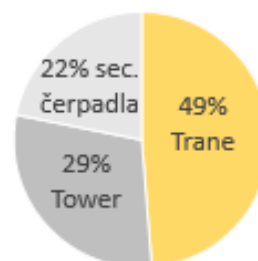
Celková spotřeba strojovny západ 2019 1728,8 MWh



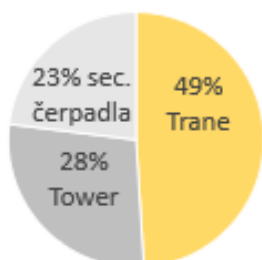
Celková spotřeba strojovny východ 2019 940,8 MWh



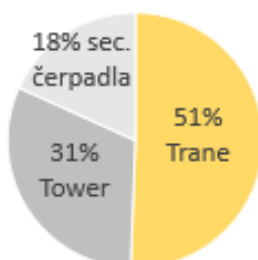
Celková spotřeba obou strojoven 2019 2669,6 MWh



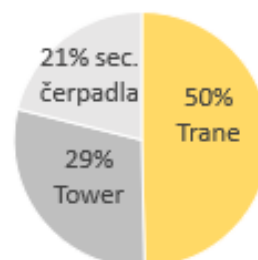
Celková spotřeba strojovny západ 2018 1800,7 MWh



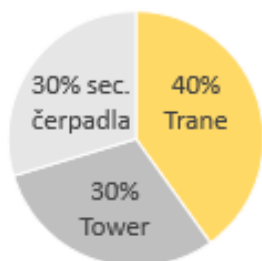
Celková spotřeba strojovny východ 2018 1181,9 MWh



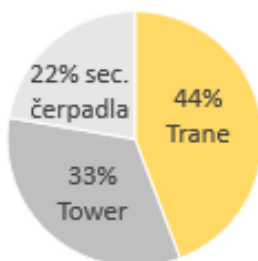
Celková spotřeba obou strojoven 2018 2982,6 MWh



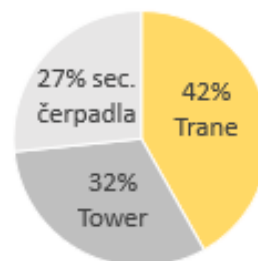
Celková spotřeba strojovny západ 2017 1403,2 MWh



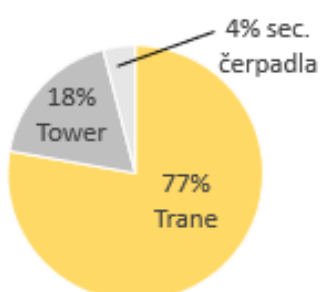
Celková spotřeba strojovny východ 2017 1996,5 MWh



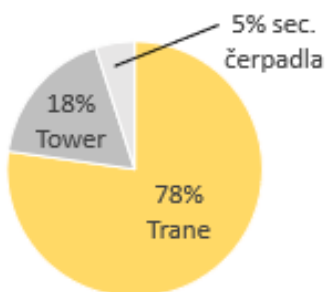
Celková spotřeba obou strojoven 2017 2399,7 MWh



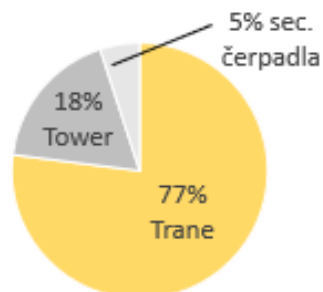
Celkový příkon strojovny západ 1228,8 kW



Celkový příkon strojovny východ 923,3 kW



Celkový příkon obou strojoven 2152,1 kW



Graf 32 Porovnání spotřeb elektrické energie a příkonů strojovny západ a východ za rok 2017/2018/2019

V koláčových grafech (graf 32) jsou znázorněna zajímavá porovnání mezi spotřebou elektrické energie a elektrického příkonu strojovny západ, strojovny východ a obou strojoven za celé měřené období, tedy za rok 2017, 2018 a 2019.

Z těchto grafů můžeme vidět, že návrhový příkon oběhových čerpadel sekundárního rozvodu chladné vody je zastoupen pouze cca 5 % z celkového příkonu obou strojoven. V reálném provozu, jak můžeme vidět, je spotřeba elektrické energie daleko vyšší o 21-30 %. Vyšší spotřeba elektrické energie oproti příkonu obou strojoven je dána především, tím, že jsou čerpadla v provozu nepřetržitě 24 hodin denně. Tudíž vypínáním těchto čerpadel v době, kdy je centrum zavřené je možné značně ušetřit velké množství elektrické energie.

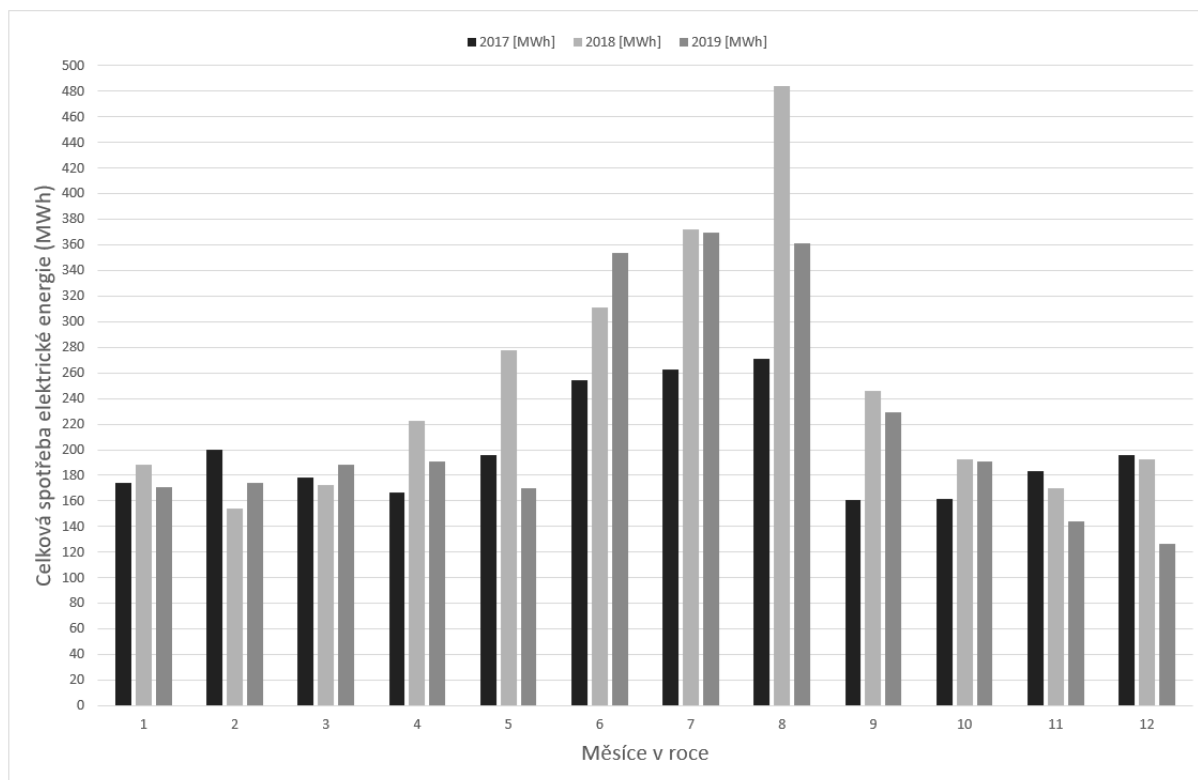
Spotřeba elektrické energie jednotek Trane byla ve strojovně západ v roce 2019 51 %, v roce 2018 49 % a v roce 2017 jen 40 %. Oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody spotřebovala v roce 2019 22 %, v roce 2018 23 % a v roce 2017 30 %. Spotřeba elektrické energie chladících věží Tower byla procentuálně přibližně stejná a pohybovala se mezi 27 až 30 %.

Spotřeba elektrické energie byla u strojovny východ procentuálně přibližně stejná jako u strojovny západ. Jednotky Trane ve strojovně východ spotřebovaly v roce 2019 45 %, v roce 2018 51 % a v roce 2017 44 %. Oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody spotřebovala v roce 2019 21 %, v roce 2018 18 % a v roce 2017 22 %. Spotřeba elektrické energie chladících věží Tower byla v rozmezí 31 až 33 %.

Celková spotřeba elektrické energie obou strojoven jednotek Trane byla v roce 2019 49 %, v roce 2018 50 % a v roce 2017 byla nejnižší a to 42 %. V roce 2019 a 2018 byla nižší spotřeba elektrické energie chladících věží Tower a oběhových čerpadel sekundárního rozvodu chladné vody oproti roku 2017. U chladících věží Tower byla nižší o 3 % a u oběhových čerpadel sekundárního rozvodu chladné vody o 6 až 7 %.

16.3 Porovnání spotřeby el. energie roku 2017/2018/2019

V předposledním grafu číslo 33 jsou znázorněna přehledná porovnání celkových spotřeb elektrické energie obou strojoven za jednotlivé měsíce roku 2017, 2018 a 2019. Nejvyšší spotřeba dosahovala 483,77 MWh a to v srpnu 2018. Z grafu vidíme, že v létě 2017 kvůli nižším venkovním teplotám byli výrazně nižší spotřeby el. energie než v létě 2018 a 2019. Dále vidíme, že spotřeba el. energie během celého roku mimo letní měsíce je poměrně stabilní.



Graf 33 Celkové spotřeby elektrické energie za rok 2017/2018/2019

Tab. 31 Celkové spotřeby elektrické energie za rok 2017/2018/2019

	2017 [MWh]	2018 [MWh]	2019 [MWh]
leden	173,75	188,25	170,52
únor	200,20	154,31	173,94
březen	177,96	172,36	188,01
duben	166,53	222,82	191,14
květen	195,51	277,31	170,24
červen	254,46	311,07	354,11
červenec	262,88	371,98	370,00
srpen	270,63	483,77	361,58
září	160,74	246,12	228,96
říjen	161,78	192,30	190,69
listopad	183,41	170,12	143,80
prosinec	196,08	192,23	126,65

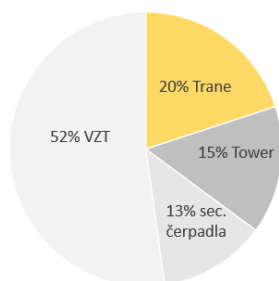
16.4 Porovnání spotřeby el. energie zdrojů chladu a VZT 2017/2018/2019

V posledním grafu číslo 34 můžeme vidět celkové porovnání spotřeb el. energie zdrojů chladu a vzduchotechniky. Zdroje chladu jsou v grafech pro lepší názornost rozděleny na jednotky Trane, oběhová čerpadla chladících věží a oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody. Stejně jako v kapitole 15 vyhodnocení spotřeb energie VZT za rok 2017, 2018 a 2019, tak i zde vidíme celkové spotřeby el. energie zdrojů chladu a VZT. V roce 2017 byla celková spotřeba el. energie 5020,7 MWh, v roce 2018 5661,2 MWh, což je výrazně vyšší než v roce 2017. A v posledním měřeném roce 2019 byla spotřeba el. energie 5393,2 MWh. Spotřeba vzduchotechniky se každý rok pohybuje okolo 50 % a spotřeba zdrojů chladu taky okolo 50 %. V roce 2017 spotřebovala vzduchotechnika 52 %, v roce 2018 47 % a v roce 2019 51 %. Oběhová čerpadla chladících věží spotřebovala každý rok procentuálně stejně a to 15 % z celkové spotřeby. Stejně tak i oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody vykazují každý rok procentuálně stejnou spotřebu a to 11 %, kromě roku 2017 kdy byla spotřeba 13 %. Jednotky Trane spotřebovaly v roce 2017 20 %, v roce 2018 26 % a v roce 2019 24 %.

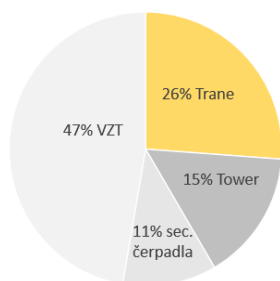
Jak již je řečeno výše spotřeba el. energie zdrojů chladu a VZT byla v roce 2019 naměřena 5393,2 MWh. Kdybychom omezili provoz čerpadel sekundárního rozvodu chladné vody, které jsou v provozu 24 hodin denně na 12 hodin denně, snížila by se výrazně spotřeba el. energie o 291,9 MWh. Což je snížení spotřeby el. energie o 5,41 % z celkové spotřeby.

V roce 2018 byla celková spotřeba el. energie zdrojů chladu a VZT 5661,2 MWh omezením hodin provozu čerpadel by se nám spotřeba snížila o 315,15 MWh, což je snížení celkové spotřeby o 5,57 %. V roce 2017 by se spotřeba snížila o 319,4 MWh, což je snížení celkové spotřeby o 6,36 %.

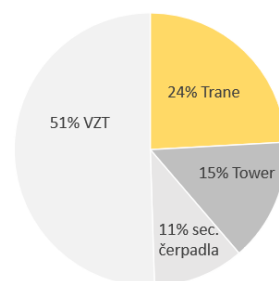
Celková spotřeba zdrojů chladu a VZT 2017 5020,7 MWh



Celková spotřeba zdrojů chladu a VZT 2018 5661,2 MWh



Celková spotřeba zdrojů chladu a VZT 2019 5393,2 MWh



Graf 34 Celkové porovnání spotřeb elektrické energie zdrojů chladu (jednotky Trane, oběhová čerpadla chladících věží, oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody) a VZT za rok 2017/2018/2019.

17 ZÁVĚR

V diplomové práci jsem se zabýval analýzou a vyhodnocením spotřeb energie obchodního centra Chodov a návrhem možných opatření pro snížení spotřeb energie. Všechna naměřená data jsem získal od AB Facility a.s.

Spotřeba energie každým rokem celosvětově roste, a tudíž je důležité hledat možné způsoby pomocí různých systémů a optimalizací provozu, jak co nejvíce energie uspořit. Obchodní centrum Chodov má za cíl do roku 2030 snížit spotřebu energie o 30 %.

V první části práce jsem se zabýval historií klimatizace, životním prostředím a pohodě vnitřního prostředí, větracím zařízení a klimatizací, využívanými druhy chladiva, zdroji chladu, chladicími faktory zdrojů chladu a měřením spotřeby energie.

Ve druhé části práce jsem zpracoval identifikaci a popis obchodního centra Chodov, strojoven chlazení v původní části obchodního centra Chodov západ a východ a strojovny nového objektu D. Pro popis a identifikace jsem využil technické zprávy ventilace a chlazení obchodního centra Chodov a prohlídku zázemí a strojoven obchodního centra Chodov.

Ve třetí části jsem provedl kontrolu a vyhodnocení měřičů tepla (kalorimetrů), analýzu a vyhodnocení spotřeb el. energie zdrojů chladu, kterou jsem zpracoval pro čtyři letní období 2015, 2017, 2018, 2019 a v dalších kapitolách pro celé roky 2017, 2018 a 2019. Každá z kapitol 11 až 13 obsahuje vyhodnocení naměřených dat, výpočet chladících faktorů a grafické znázornění průběhu průměrných venkovních teplot vzduchu a příkonů obou strojoven chlazení. V kapitole 14 je celkový výpočet chladících faktorů za tyto roky 2017, 2018 a 2019. V kapitole 15 pak vyhodnocení spotřeb el. energie VZT za rok 2017, 2018 a 2019, kde je dále proveden výpočet snížení spotřeby el. energie, když snížím průtok vzduchu ventilátory o 10 %. V poslední kapitole 16 je souhrn spotřeb el. energie zdrojů chladu, porovnání spotřeb el. energie ročních období 2017, 2018 a 2019, porovnání spotřeby el. energie a el. příkonu obou strojoven a porovnání spotřeby el. energie zdrojů chladu a VZT za rok 2017, 2018 a 2019.

V kapitole 10 jsem zpracoval, jak již bylo řečeno výše vyhodnocení pro čtyři letní období červen, červenec a srpen 2015, 2017, 2018 a 2019. Pro každé období je zpracována přehledná tabulka spotřeb el. energie a graf průběhu spotřeby el. energie pro 14ti denní úsek od 1.8. až 14.8 pro každý sledovaný rok. Ve sledovaném roce 2015 byla naměřena celková spotřeba el. energie obou strojoven 861 MWh. Nejvíce byly využívány jednotky Trane č.1 západ, Trane č.2 západ a Trane č.1 východ. Při nízkých venkovních teplotách byl využíván

i systém freecooling nejvíce Tower č.1 západ a Tower č.2 východ. Oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody jsou v provozu nepřetržitě po celý rok. V roce 2017 byla naměřena celková spotřeba el. energie 788 MWh. Nejvíce byl využíván Trane č.1 západ a Trane č.1 východ. Zajímavé je, že oproti roku 2015 kdy byl hodně využíván i Trane č.2 západ, tak v roce 2017 byl téměř mimo provoz. Dále byl využíván systém freecooling Tower č.1 západ a Tower č.1 východ a sekundární čerpadla. V roce 2018 byla celková spotřeba el. energie 1167 MWh. Nejvíce byly v provozu opět jednotky Trane č.1 západ a východ, jednotka Trane č.2 západ byla v provozu v červnu a pak téměř mimo provoz. U systému freecooling běžel stejně jako v předešlých letech Tower č.1 západ a Tower č.1 východ. V roce 2019 byla celková spotřeba el. energie 1086 MWh. Oproti předchozím rokům byly nejvíce využívány jednotky Trane č.2 západ a Trane č.2 východ. Jednotky Trane č.1 západ a Trane č.1 východ byly využívány méně. Tento střídavý provoz je z důvodu šetření jednotek Trane. Nejvyšší potřeba na chlazení byla z těchto čtyř sledovaných letních období v roce 2018 a to 1167 MWh. V roce 2019 byla o 81 MWh nižší, v roce 2015 byla nižší o 306 MWh a v roce 2017, kde byla potřeba na chlazení nejnižší o 379 MWh. Jak je vidět, mezi roky 2018, 2019 a roky 2015 a 2017 je velký nárůst spotřeby el. energie. V létě 2018 a 2019 byli výrazně vyšší průměrné venkovní teploty, jak můžeme vidět v tabulkách číslo 15, 19, 23 a tudíž byla i vyšší potřeba na chlazení. V letních měsících je nejvíce využíváno strojní chlazení, systém freecooling minimálně.

V kapitole 11 až 13 jsem provedl analýzu spotřeb energie pro zdroje chladu za rok 2017, 2018 a 2019. Celková spotřeba el. energie obou strojoven v roce 2017 byla 2399,7 MWh, v roce 2018 byla 2982,6 MWh a v roce 2019 byla 2669,6 MWh. Z naměřených a vyhodnocených dat za rok 2017, lze říci, že systém freecooling byl nejvíce využíván v zimním období od poloviny listopadu do začátku března. V roce 2018 pak od konce listopadu do konce března a kvůli příznivým venkovním teplotám i na přelomu července a srpna. V roce 2019 bylo využití systému freecooling odlišné od předchozích let, nejvíce byl využíván od ledna do začátku března a od konce července do poloviny září. V letních měsících je systém freecooling využíván pouze za příznivých venkovních teplot, jinak běží strojní chlazení. Pokud je v zimních měsících výkon nedostačující, tak se voda dochlazuje pomocí strojního chlazení. Strojní chlazení je naopak nejvíce využíváno v letních měsících. Z těchto sledovaných tří let bylo nejvíce využíváno od poloviny května do začátku září. V přechodovém období bývá v provozu pouze jedna jednotka Trane. V době ranního náběhu pracuje jednotka na plný výkon a po zbytek dne pouze na částečný výkon. Zdroj chladu, příslušná chladicí věž a primární čerpadla mají stejný provoz. Sekundární čerpadla rozvodu chladné vody jsou v provozu nepřetržitě po celý rok.

V kapitole 11 až 13 jsem dále zpracoval výpočet chladících faktorů za jednotlivé měsíce a v kapitole 14 výpočet celkových chladících faktorů za všechny tři roky 2017, 2018 a 2019. Nejlépe vychází chladící faktor pouze jednotek Trane pro rok 2017 v měsíci červnu 5,87. Při započítání příkonů na odvod kondenzačního tepla a oběhových čerpadel vychází pak souhrnný chladící faktor 3,55. V roce 2018 nejlépe vychází chladící faktor pouze jednotek Trane v měsíci srpnu 6,69 a souhrnný chladící faktor 4,35. V roce 2019 nejlépe vychází chladící faktor pouze jednotek Trane stejně jako v roce 2017 v měsíci červnu 5,66 a souhrnný chladící faktor 3,43. Velice zajímavé je, že chladící faktory vycházejí v zimních měsících, kdy je nejvíce využíván systém freecooling velice nízké, oproti letním měsícům, kdy jsou nejvyšší a nejvíce je využíváno strojní chlazení. Celkový chladící faktor zdrojů chladu Trane vyšel pro rok 2017 pro obě strojovny 4,75. Chladící faktor vč. chladících věží 3,43 a chladící faktor vč. Čerpadel 2,43. Pro rok 2018 vyšel chladící faktor zdrojů chladu jednotek Trane na 5,13, vč. chladících věží na 3,83 a vč. čerpadel na 2,97. A v posledním měřeném roce 2019 vyšel chladící faktor zdrojů chladu jednotek Trane na 4,33, vč. chladících věží na 3,06 a vč. čerpadel na 2,36. Chladící faktory pouze jednotek Trane vycházejí velice dobré, jednotky Trane jsou velmi efektivní. Souhrnné chladící faktory vycházejí nižší kvůli poměrně vysoké spotřebě el. energie sekundárních čerpadel, které jsou v provozu nepřetržitě.

V další kapitole číslo 15 jsem vyhodnotil spotřeby el. energie VZT a porovnal se spotřebou el. energie zdrojů chladu. V roce 2017 byla celková spotřeba el. energie 5020,7 MWh z toho 52 % spotřebovala vzduchotechnika a 48 % zdroje chladu. V roce 2018 byla celková spotřeba el. energie 5661,2 MWh z toho 47 % spotřebovala vzduchotechnika a 53 % zdroje chladu. V posledním roce 2019 byla celková spotřeba el. energie 5393,2 MWh z toho 51 % spotřebovala vzduchotechnika a 49 % zdroje chladu. Dále jsem provedl výpočet snížení spotřeby el. energie VZT jednotky OC Chodov č. 501 01, když snížím průtok vzduchu ventilátorem o 10 %. Příkon ventilátoru klesl o 24 %, tudíž spotřeba el. energie při snížení průtoku o 10 % by se nám snížila o 24 %.

V poslední kapitole 16 jsem zpracoval přehledný souhrn spotřeb el. energie zdrojů chladu, porovnání spotřeb el. energie ročních období 2017, 2018 a 2019, porovnání spotřeby el. energie a el. příkonu obou strojoven a porovnání spotřeby el. energie zdrojů chladu a VZT za rok 2017, 2018 a 2019. Data spotřeb el. energie za tyto roky jsem shrnul do přehledné tabulky a pomocí koláčových grafů jsem porovnal spotřeby el. energie za všechny roční období jaro, léto, podzim a zimu 2017, 2018 a 2019 obou strojoven. Z koláčových grafů je na první pohled vidět, kdy je nejvíce využíváno strojní chlazení a kdy volné chlazení freecooling. V létě 2017

jednotky Trane spotřebovaly 59 % z celkové spotřeby zdrojů chladu 788,3 MWh. V létě 2018 64 % z celkové spotřeby 1166,8 MWh a v létě 2019 61 % z celkové spotřeby 1085,7 MWh. Naopak v zimě 2017 kdy byla celková spotřeba zdrojů chladu 565 MWh spotřebovalo volné chlazení freecooling 65 %. V roce 2018 pak 54 % z celkové spotřeby 534,8 MWh a v roce 2019 48 % z celkové spotřeby 471,1 MWh. V přechodovém období je také nejvíce využíváno strojní chlazení a to okolo 50 % z celkové spotřeby. Při porovnání spotřeb el. energie léta a zimy, lze říci, že v létě jsou téměř dvojnásobné spotřeby el. energie oproti zimě.

Dále jsem v kapitole 16 zpracoval zajímavé porovnání mezi skutečnou spotřebou el. energie a příkonem strojevny západ a východ a porovnání skutečné celkové spotřeby el. energie a příkonem obou strojev. Příkon oběhových čerpadel sekundárního rozvodu chladné vody je v celkových příkonech obou strojev zastoupen 5 %, ale ve spotřebě el. energie je to daleko více. V roce 2017 byla spotřeba 27 %, v roce 2018 byla spotřeba 21 % a v roce 2019 byla spotřeba 22 % z celkové spotřeby el. energie. Vypínáním těchto čerpadel mimo otevírací dobu by bylo možné ušetřit značné množství energie.

V roce 2019 byla spotřeba el. energie zdrojů chladu a VZT 5393,2 MWh. Kdybychom omezili provoz čerpadel sekundárního rozvodu chladné vody, které jsou v provozu 24 hodin denně na 12 hodin denně, snížila by se výrazně spotřeba el. energie o 291,9 MWh. Což by bylo snížení spotřeby el. energie o 5,72 % z celkové spotřeby.

V roce 2018 byla celková spotřeba el. energie zdrojů chladu a VZT 5661,2 MWh omezením hodin provozu čerpadel by se nám spotřeba snížila o 315,15 MWh, což je snížení celkové spotřeby o 5,57 %. V roce 2017 by se spotřeba snížila o 319,4 MWh, což je snížení celkové spotřeby o 6,36 %.

Z výše analyzovaných dat můžeme říci, že kdybychom snížili celkovou spotřebu el. energie zdrojů chladu a VZT snížením hodin provozu čerpadel sekundárního rozvodu chladné vody z 24 hodin na 12 hodin a snížením průtoku vzduchu ventilátory vzduchotechnických jednotek o 10 %, klesla by nám celková spotřeba el. energie pro rok 2019 z 5393,2 MWh na 4447,6 MWh, což je snížení celkové spotřeby el. energie o 17,5 %. V roce 2018 by celková spotřeba el. energie klesla z 5661,2 MWh na 4701,7 MWh, což je snížení celkové spotřeby el. energie o 17 %. A v posledním měřeném roce 2017 by celková spotřeba el. energie klesla z 5020,7 MWh na 4072,3 MWh, což je snížení celkové spotřeby el. energie o 19 %.

Jak již bylo řečeno, obchodní centrum Chodov má za cíl do roku 2030 snížit spotřebu energie o 30 %. Další možné šetření je optimalizací freecooling systému nebo regulováním

otáček ventilátoru u VZT podle kvality vzduchu. Další možností by byla instalace solárních panelů na střechu obchodního centra. Dále by bylo možné uspořit el. energii změnou požadované teploty vnitřního prostředí obchodního centra, nebo také snížením hodin provozu zdrojů chladu a vzduchotechnického zařízení.

Seznam použité literatury

- [1] **DRKAL, František.** K vývoji klimatizace (I). *Tzbinfo* [online]. ČVUT v Praze, Fakulta strojní-Ústav techniky prostředí, 6.6.2005 [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/2547-k-vyvoji-klimatizace-i>
- [2] *HISTORIE KLIMATIZACE: blueteam* [online]. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <http://www.blueteam.cz/klimatizace-a-chlazení/historie-klimatizace.html>
- [3] *HISTORIE KLIMATIZACE: TopRklima* [online]. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <http://www.topr-klima.cz/historie-klimatizace/>
- [4] **JANOTKOVÁ, Eva.** *TECHNIKA PROSTŘEDÍ*. Brno: Vysoké učení technické v Brně-Fakulta strojního inženýrství, 2010.
- [5] **ZMRHAL, Vladimír a František DRKAL.** *Větrání*. Praha: nakladatelství ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-05181-8.
- [6] **NOVÝ, Richard.** *Technika prostředí*. Praha: nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03492-5.
- [7] **RUBINOVÍ, Olga a Aleš.** Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka. *Tzbinfo* [online]. 22.8.2005 [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/2650-vnitri-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka>
- [8] **ZMRHAL, Vladimír.** Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15 665/Z1. *Tzbinfo* [online]. 30.1.2012 [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/8239-pozadavky-na-vetrani-obytnych-budov-dle-csn-en-15-665-z1>
- [9] **DRKAL, František, Miloš LAIN, Jan SCHWARZER a Vladimír ZMRHAL.** *Vzduchotechnika*. Praha: nakladatelství ČVUT, 2009.
- [10] **ZMRHAL, Vladimír a Jiří PETLACH.** *Systemy větrání obytných budov* [online]. 17.10.2011 [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-rodinnych-domu/7937-systemy-vetrani-obytnych-budov>
- [11] *Rovnotlaké větrání: Atrea.cz* [online]. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/rovnotlake-vetrani>
- [12] **KABELE, Karel.** Teplovzdušné vytápění obytných budov. *Tzbinfo* [online]. 3.8.2001 [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teplvzduzne-vytapani/620-teplvzduzne-vytapani-obytnych-budov>
- [13] *Teplovzdušné vytápění: Atrea.cz* [online]. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/teplvzduzne-vytapani-vetrani-a-chlazení>
- [14] **CHRVÁT, Pavel, Miroslav JÍCHA, Willem de Gids a Peter VELD.** Hybridní větrací systémy pro obytné budovy. *Větrání*. 2005, s. 118-120.
- [15] **DRKAL, František, Miloš LAIN, Jan SCHWARZER a Vladimír ZMRHAL.** *Klimatizace a průmyslová zduchotechnika*. Praha: nakladatelství ČVUT, 2009.

- [16] **HIRŠ, Jiří, Gunter GEBAUER a Olga RUBINOVÁ.** *TZB-Vzduchotechnika: klimatizace*. Modul BT02-08. Brno: Vysoké učení technické v Brně-Fakulta stavební, 2005.
- [17] **DRKAL, František, Miloš LAIN a Vladimír ZMRHAL.** *Klimatizace*. Praha: nakladatelství ČVUT, 2017. ISBN 978-80-01-05652-3.
- [18] **LAIN, Miloš.** Inspekce klimatizačních zařízení-II část. *Tzbinfo* [online]. 19.2.2007 [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/3897-inspekce-klimatizacnich-zarizeni-ii-cast>
- [19] **ZMRHAL, Vladimír.** Sálavé chladicí systémy (I). *Tzbinfo* [online]. 1.5.2006 [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/3251-salave-chladici-systemy-i>
- [20] **KRAINER, Robert a Jiří DURDA.** Chladiva používání v tepelných čerpadlech. *Tzbinfo* [online]. 4.5.2015 [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/12647-chladiva-pouzivana-v-tepelnych-cerpadlech>
- [21] *Základní chladiva užívaná v současné době v klimatizacích (R410-A, R407c, R32): achs.cz* [online]. 2018 [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://achs.cz/rady-klimatizace/zakladni-chladiva-uzivana-v-soucasne-dobe-v-klimatizacich-r410-a-r407c-r32/>
- [22] **LAIN, Miloš a Roman VAVŘIČKA.** *Kontrola klimatizačních systémů. Kontrola kotlů a rozvodů tepelné energie*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, Novotného lávka 5, Praha 1, 2014. ISBN 978-80-02-02576-4.
- [23] **KUNC, Martin.** *Provoz klimatizace obchodního centra*. Praha, 2018. Bakalářská práce. ČVUT v Praze-Fakulta strojní-Ústav techniky prostředí. Vedoucí práce Miloš Lain.
- [24] **BAROŇ, Roman.** *Principy chlazení, chladicí zařízení v průmyslu: Bakalářská práce*. Zlín: Univerzita Tomáše Bati, 2012.
- [25] *Článek z ASHRAE 2012 Handbook-HVAC Systems and Equipment (SI)*. Ashrae. Kapitola 38 Compressory, 2015.
- [26] **DAVID, Petr.** Kompresory pro tepelná čerpadla. *Tzbinfo* [online]. 26.11.2015 [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13498-kompresory-pro-tepelna-cerpadla>
- [27] **POLÁK, Petr.** Klimatizace budov adiabatickým chlazením. *Tzbinfo* [online]. 6.2.2012 [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/8261-klimatizace-budov-adiabatickym-chlazenim>
- [28] Otevřené chladicí věže. *Chladicí veže*. [Online] Sokra s.r.o. [cit. 2020-07-02] <http://www.chladiciveze.com/veze2013/box1.php>.
- [29] Uzavřené chladicí věže. *Chladicí veže*. [Online] Sokra s.r.o. [cit. 2020-07-02] <http://www.chladiciveze.com/veze2013/box2.php>.
- [30] *Suché chladiče: chladiciveze.com* [online]. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <http://www.chladiciveze.com/veze2013/box5.php>

- [31] **LAIN, Miloš.** Celkové chladicí faktory klimatizačních systémů a jejich zlepšování. *Tzbinfo* [online]. 9.7.2012 [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/8797-celkove-chladici-faktory-klimatizacnich-systemu-a-jejich-zlepsovani>
- [32] **STAŠA, Michal.** Výber úsporné klimatizace. *Uspornespotrebice.cz* [online]. [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <http://www.uspornespotrebice.cz/private/article/vyber-usporne-klimatizace>
- [33] **LAIN, Miloš.** Kontroly klimatizačních zařízení. *Tzbinfo* [online]. 17.9.2012 [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-vetrani-klimatizace/9048-kontroly-klimatizacnich-zarizeni>
- [34] **VIDIM, Jan.** Sběr dat pro vyhodnocení spotřeb energie klimatizačních jednotek. *Asb-portal* [online]. 21.5.2010 [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/vetrani-a-klimatizace/sber-dat-pro-vyhodnocovani-spotreb-energie-klimatizacnich-jednotek>
- [35] *Elektroměry historie a současnost: PRE* [online]. Praha: Studio FTG, 2009 [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.premereni.cz/Files/dulezite-informace/ke-stazeni/tiskoviny-ke-stazeni/elektromery-historie-a-soucasnost/>
- [36] **Soňa Orliková.** Měření průtoku tekutin-principy průtokoměrů. *Tzbinfo* [online]. Ústav automatizace, měření a kybernetiky VUT Brno, 4.2.2008 [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/teorie-voda-kanalizace/4624-mereni-prutoku-tekutin-principy-prutokomeru>
- [37] *Westfield Chodov: prague.eu* [online]. Praha [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://www.prague.eu/cs/objekt/mista/3232/westfield-chodov>
- [38] *Nákupní centrum Westfield Chodov: cz.westfield.com* [online]. Praha [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <https://cz.westfield.com/chodov/centre>
- [39] *Technická zpráva-chlazení-OC Chodov.* Praha : Helika a.s.
- [40] *Technická zpráva-ventilace-OC Chodov.* Praha : Helika a.s.
- [41] **KARNAS, Daniel.** *Spotřeba energie pro chlazení obchodního centra.* Praha, 2016. Bakalářská práce. ČVUT v Praze-Fakulta strojní-Ústav techniky prostředí. Vedoucí práce Miloš Lain.

Seznam obrázků

- Obr. 1 Dr. W. H. Carrier u chladicího systému
- Obr. 2 schéma kombinovaného systému
- Obr. 3 schéma chladicího stropu
- Obr. 4 Systém split
- Obr. 5 Systém multisplit
- Obr. 6 Systém VRF
- Obr. 7 Systém VRF-R
- Obr. 8 Technologické schéma kompresorového chlazení
- Obr. 9 Schéma kompresorového chladivového oběhu v p-h diagramu
- Obr. 10 Spirálový kompresor
- Obr. 11 Dvojitý rotační kompresor
- Obr. 12 Otevřená chladicí věž (vlevo) a uzavřená chladicí věž (vpravo)
- Obr. 13 Suché chladiče (střecha OC Chodov)
- Obr. 14 Schéma energetických toků v klimatizačním systému
- Obr. 15 Energetický štítek klimatizačních jednotek
- Obr. 16 Zapojení měřičů tepla (chladu) ve strojovně D OC Chodov
- Obr. 17 Obchodní centrum Westfield Chodov
- Obr. 18 Oběhová čerpadla
- Obr. 19 Chladicí věž DESCARF-C-140
- Obr. 20 Chladicí jednotky Trane (východ)
- Obr. 21 Chladicí jednotky Trane (západ)
- Obr. 22 Chladicí jednotka TRANE CVGF800
- Obr. 23 Chladicí jednotka TRANE RTWD HE
- Obr. 24 Uživatelské rozhraní softwaru pro MAR (chlazení DEX + věže)
- Obr. 25 Uživatelské rozhraní softwaru pro MAR (chlazení východ Trane 2 + okruhy)
- Obr. 26 Uživatelské rozhraní softwaru pro MAR (Trane DEX + MC1 + MC3)

Seznam grafů

- Graf 1 Průběh množství naměřeného chladu na kalorimetrech 2017
- Graf 2 Průběh množství naměřeného chladu na kalorimetrech 2018
- Graf 3 Průběh množství naměřeného chladu na kalorimetrech 2019
- Graf 4 Spotřeba el. energie za první období léto 2015 strojovny západ
- Graf 5 Spotřeba el. energie za první období léto 2015 strojovny východ
- Graf 6 Spotřeba el. energie za druhé období léto 2017 strojovny západ
- Graf 7 Spotřeba el. energie za druhé období léto 2017 strojovny východ
- Graf 8 Spotřeba el. energie za třetí období léto 2018 strojovny západ
- Graf 9 Spotřeba el. energie za třetí období léto 2018 strojovny východ
- Graf 10 Spotřeba el. energie za čtvrté období léto 2019 strojovny západ
- Graf 11 Spotřeba el. energie za čtvrté období léto 2019 strojovny východ
- Graf 12 Porovnání vyhodnocených naměřených hodnot za všechny letní období (léto 2015, 2017, 2018 a 2019)
- Graf 13 Celkový příkon západ a východ 2017
- Graf 14 Příkon kompresorů zdrojů chladu jednotek Trane, příkon oběhová čerpadla a chladicí věže, příkon oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody 2017
- Graf 15 Průběh průměrných hodnot teplot venkovního vzduchu a příkonů obou strojoven chlazení za rok 2017
- Graf 16 Celkový příkon západ a východ 2018
- Graf 17 Příkon kompresorů zdrojů chladu jednotek Trane, příkon oběhová čerpadla a chladicí věže, příkon oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody 2018
- Graf 18 Průběh průměrných hodnot teplot venkovního vzduchu a příkonu obou strojoven chlazení za rok 2018
- Graf 19 Celkový příkon západ a východ 2019
- Graf 20 Příkon kompresorů zdrojů chladu jednotek Trane, příkon oběhová čerpadla a chladicí věže, příkon oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody 2019
- Graf 21 Průběh průměrných hodnot teplot venkovního vzduchu a příkonů obou strojoven chlazení za rok 2019
- Graf 22 Celkové porovnání spotřeb elektrické energie VZT a zdrojů chladu 2017
- Graf 23 Porovnání spotřeb elektrické energie za jaro, léto, podzim a zimu 2017

Graf 24 Celkové porovnání spotřeb elektrické energie VZT a zdrojů chladu 2018

Graf 25 Porovnání spotřeb elektrické energie za jaro, léto, podzim a zimu 2018

Graf 26 Celkové porovnání spotřeb elektrické energie VZT a zdrojů chladu 2019

Graf 27 Porovnání spotřeb elektrické energie za jaro, léto, podzim a zimu 2019

Graf 28 Porovnání spotřeb elektrické energie za jaro 2017/2018/2019

Graf 29 Porovnání spotřeb elektrické energie za léto 2017/2018/2019

Graf 30 Porovnání spotřeb elektrické energie za podzim 2017/2018/2019

Graf 31 Porovnání spotřeb elektrické energie za zimu 2017/2018/2019

Graf 32 Porovnání spotřeb elektrické energie a příkonů strojovny západ a východ za rok 2017/2018/2019

Graf 33 Celkové spotřeby elektrické energie za rok 2017/2018/2019

Graf 34 Celkové porovnání spotřeb elektrické energie zdrojů chladu (jednotky Trane, oběhová čerpadla chladících věží, oběhová čerpadla sekundárního rozvodu chladné vody) a VZT za rok 2017/2018/2019.

Seznam tabulek

Tab. 1 Požadavky na větrání obytných budov dle ČSN EN 15665/Z1

Tab. 2 Přehled chladiv pro klimatizační zařízení

Tab. 3 Parametry pro vyhodnocení ESEER

Tab. 4 Parametry vnějšího prostředí

Tab. 5 Parametry vnitřního prostředí

Tab. 6 Množství naměřeného chladu 2017

Tab. 7 Množství naměřeného chladu 2018

Tab. 8 Množství naměřeného chladu 2019

Tab. 9 Spotřeby elektrické energie za první období

Tab. 10 Spotřeby elektrické energie za druhé období

Tab. 11 Spotřeby elektrické energie za třetí období

Tab. 12 Spotřeby elektrické energie za čtvrté období

Tab. 13 Celková spotřeba v procentech 2017

Tab. 14 Spotřeby elektrické energie chlazení 2017

Tab. 15 Průměrné měsíční teploty 2017

Tab. 16 Chladicí faktory za jednotlivé měsíce 2017

Tab. 17 Celková spotřeba v procentech 2018

Tab. 18 Spotřeby elektrické energie chlazení 2018

Tab. 19 Průměrné měsíční teploty 2018

Tab. 20 Chladicí faktory za jednotlivé měsíce 2018

Tab. 21 Celková spotřeba v procentech 2019

Tab. 22 Spotřeby elektrické energie chlazení 2019

Tab. 23 Průměrné měsíční teploty 2019

Tab. 24 Chladicí faktory za jednotlivé měsíce 2019

Tab. 25 Celkové chladicí faktory za rok 2017/2018/2019

Tab. 26 Spotřeby elektrické energie VZT 2017

Tab. 27 Spotřeby elektrické energie VZT 2018

Tab. 28 Spotřeby elektrické energie VZT 2019

Tab. 29 Měsíční spotřeby elektrické energie strojovny západ

Tab. 30 Měsíční spotřeby elektrické energie strojovny východ

Tab. 31 Celkové spotřeby elektrické energie za rok 2017/2018/2019

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 $t_e=32$ °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 $t_e=32$ °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 $t_e=32$ °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 $t_e=32$ °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

Příloha č. 3

Technická data TRANE RTWD 270 HE (30 % glykol + H₂O):

Vodní chladicí jednotka CHJ1, 2 šroub. Kompresory (2 chl. Okruhy), R134a 2x82 kg vodou (ETG 30 %) chlazený kondenzátor, v zimě ve funkci TČ pro ohřev vratné topné vody (systém ZZT), Letní provoz (jen CHJ): $P_{\text{CHL}} = 945,1 \text{ kW}$ při 7/15 °C a 32/39 °C, $P_{\text{EL}} = 223,3 \text{ kW}$, $I_{\text{max}} = I_{\text{start}} = 421 \text{ A}$, Zimní provoz (CHJ + TČ): $P_{\text{CHL}}/P_{\text{TOP}} = 748/1042 \text{ kW}$ při 7/15 °C a 51/57 °C, $P_{\text{EL}} = 293,9 \text{ kW}$, hmotnost 4550/4800 kg, 3490 x 1341 x 2004 mm.

Technická data TRANE CVGF 800 (30 % glykol + H₂O):

Vodní chladicí jednotka CHJ3, s turbokompresorem, $P_{\text{CHL}} = 2785 \text{ kW}$ při 7/15 °C a 32/39 °C, chladivo R134a, 556 kg, vodou (ETG 30 %) chlazený kondenzátor, $P_{\text{EL,PŘ}} = 504,2 \text{ kW}$, $I_{\text{max}} = I_{\text{start}} = 852/1228 \text{ A}$, hmotnost 14800/17200 kg

Technická data suchý chladič LU-VE EHL1X 6296 N 18VENT EC FANS

Suchý chladič sprchovaný vodou 4 bar, $P_{\text{CHL}} = 1400 \text{ kW}$ při 39/32 °C, $t_e = 35 \text{ °C}/35 \text{ \% rH}$, náplň (ETG 30 %, spotřeba H₂O 2960 l/h, 400 V, $P_{\text{EL,PŘ}} = 11,7 \text{ kW}$, $I/I_{\text{MAX}} = 17,5/43,2 \text{ A}$, $P_{\text{akust.}} = 85 \text{ dB(A)} + 2 \text{ dB(A)}$ zkrápění, 13,43 x 2,39 x 2,5 m, hmotnost 4000 kg, (3400 kg Fe + 560 kg H₂O), vč. Vlastní regulace a výkonu a ovládání sprchovacího systému, vč. Ovládání el. ventilů sprchování