

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA STROJNÍ  
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**PROVOZ KLIMATIZACE NÁKUPNÍHO  
CENTRA**

DIPLOMOVÁ PRÁCE



# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Koudelka** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **467288**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávací katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**  
Studijní program: **Inteligentní budovy**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Provoz klimatizace nákupního centra**

Název diplomové práce anglicky:

**Operation of Air Conditioning System in a Shopping Centre**

Pokyny pro vypracování:

Zabývejte se provozem klimatizačního systému a zdrojů chladu zadaného obchodního centra. Zajistěte sběr dat a jejich analýzu, navrhněte opatření pro snížení spotřeby energie.

Seznam doporučené literatury:

1) 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:

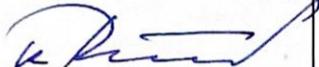
Datum zadání diplomové práce: **20.03.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **14.06.2023**

Platnost zadání diplomové práce:

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

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

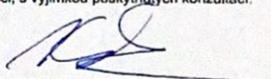
  
doc. Ing. Miroslav Španiel, CSc.  
podpis děkana(ky)

## 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.

20.3.2023

Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

## **Souhrn**

Tato diplomová práce se zaměřuje na analýzu provozu klimatizace v obchodním centru Westfield Chodov s cílem navrhnout možnosti úspor energie. Práce je rozdělena do několika částí, které pokrývají význam úpravy vzduchu v obchodních centrech, problémy související s klimatizací a důležitost optimalizace provozu pro snížení spotřeby energií. Dále jsou podrobně popsány různé typy klimatizačních systémů, jejich klasifikace a zdroje chladu používané v těchto systémech. Práce se také zabývá systémem freecooling a jeho výhodami. V rámci analýzy je popsán systém chlazení v obchodním centru Westfield Chodov, včetně vnějších a vnitřních parametrů. Bylo provedeno měření dat za období 2019-2022 pomocí elektroměrů, teplotních senzorů a kalorimetrů, které poskytly komplexní a detailní informace o provozu a energetické spotřebě obchodního centra. Během analýzy byly identifikovány faktory, které ovlivnily naměřená data, včetně nepřesností z elektroměrů, dopadu pandemie Covid-19 na provoz a občasných výpadků měřících zařízení. V rámci práce byly diskutovány návrhy na úsporu energie a zlepšení provozu klimatizace v obchodním centru Westfield Chodov.

## **Summary**

This thesis focuses on the analysis of the air conditioning operation in the Westfield Chodov shopping centre with the aim of proposing energy saving options. The thesis is divided into several parts covering the importance of air conditioning in shopping centres, problems related to air conditioning and the importance of optimising the operation to reduce energy consumption. Furthermore, the different types of air conditioning systems, their classification and the sources of refrigeration used in these systems are described in detail. The paper also discusses the freecooling system and its advantages. The analysis describes the cooling system in the Westfield Chodov shopping centre including external and internal parameters. Measurement of data for the period 2019-2022 was carried out using electricity meters, temperature sensors and calorimeters, which provided comprehensive and detailed information on the operation and energy consumption of the shopping centre. During the analysis, factors that affected the measured data were identified, including inaccuracies from the meters, the impact of the Covid-19 pandemic on operations, and intermittent meter failures. Suggestions for saving energy and improving the operation of air conditioning in the Westfield Chodov shopping centre were discussed.

## **Prohlášení**

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

V Praze dne: .....

.....

Podpis

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Miloši Lainovi, Ph.D. za vedení diplomové práce a za odbornou pomoc při její tvorbě.

## Obsah

1. Úvod.....	9
1.1. Význam klimatizace v nákupním centru .....	9
1.2. Popis problému v oblasti provozu klimatizace a vysvětlení důležitosti optimalizace provozu pro snížení spotřeby energie.....	9
2. Klimatizace budov .....	11
2.1. Klimatizační systémy .....	11
2.2. Třídění klimatizačních systémů [2], [4] .....	12
2.2.1. Vzduchové systémy.....	12
2.2.2. Vodní systémy s ventilátorovými konvektory (fan-coil) .....	13
2.2.3. Chladicí stropy.....	13
2.2.4. Chladivové systémy .....	13
2.3. Popis zdrojů chladu používaných v klimatizaci .....	14
2.3.1. Kompresorové chlazení .....	14
2.3.2. Turbokompresory .....	16
2.3.3. Rotační objemové kompresory.....	16
2.3.4. Chladicí věže .....	16
2.4. Freecooling.....	18
2.4.1. Vzduchem chlazený kondenzátor - v chladivovém oběhu .....	18
2.4.2. Vzduchem chlazený kondenzátor - mimo chladivový oběh .....	20
2.5. Vysvětlení základních parametrů, které ovlivňují provoz klimatizace .....	23
2.6. Chladicí faktory .....	24
2.6.1. EER [2] .....	24
2.6.2. ESEER.....	25
2.6.3. SEER.....	25
3. Obchodní centrum Westfield Chodov .....	26
3.1. Vnější podmínky.....	27
3.2. Vnitřní parametry prostředí.....	27
3.3. Bilance potřeby chladicího výkonu .....	28
3.4. Stanovení potřeby chladicího výkonu – strojovna Východ a Západ.....	28
3.5. Stanovení potřeby chladicího výkonu – strojovna objekt D.....	28
3.6. Zdroje chladu – strojovna Východ a Západ.....	29
3.6.1. Technické řešení strojovny východ.....	29
3.6.2. Popis funkce strojovny východ .....	30
3.6.3. Technické řešení strojovny západ.....	32
3.6.4. Popis funkce strojovny západ .....	32

3.7.	Zdroje chladu – strojovna objekt D [21] .....	35
4.	Analýza naměřených dat .....	37
4.1.	Úvod do analýzy naměřených dat .....	37
4.2.	Vnitřní teploty .....	37
4.3.	Venkovní teploty .....	39
4.4.	Faktory ovlivňující data v období 2019-2022 .....	40
4.4.1.	Nepřesnost naměřených dat .....	40
4.4.2.	Pandemie Covid-19 .....	40
4.4.3.	Občasné výpadky měřících zařízení .....	41
4.5.	Srovnání dat z elektroměrů a kalorimetrů strojovny Západ 2019-2022 .....	42
4.6.	Srovnání dat z elektroměrů a kalorimetrů strojovny Východ 2019-2022 .....	44
4.7.	Srovnání dat z elektroměrů a kalorimetrů strojovny D 2019-2022 .....	47
4.8.	Závislost spotřeby energie na venkovní průměrné teplotě .....	50
4.9.	Chladicí faktory .....	52
4.9.1.	Strojovna Západ .....	52
4.9.2.	Strojovna Východ .....	54
4.9.3.	Strojovna D .....	56
5.	Návrhy na úspory .....	57
5.1.	Freecooling .....	57
5.2.	Oběhová čerpadla ve strojovně Západ a Východ .....	60
5.3.	Optimalizace chodu strojovny D .....	62
6.	Závěr .....	63
7.	Zdroje .....	65
8.	Seznam obrázků .....	67
9.	Seznam tabulek .....	69

## Seznam značek

Značení	Jednotka	Název
$EER$	[-]	Chladicí faktor chladícího zařízení
$ESEER$	[-]	Evropský sezónní chladicí faktor chladícího zařízení
$SEER$	[-]	Sezónní chladicí faktor chladícího zařízení
$COP$	[-]	Chladicí faktor (Coefficient of Performance)
$Q_N$	[W]	Chladicí výkon chladícího zařízení
$P_N$	[W]	Elektrický příkon chladícího zařízení
$COP_C$	[-]	Chladicí faktor Carnotova oběhu (Coefficient of Performance Carnot)
$T_O$	[K]	Termodynamická vypařovací teplota
$T_K$	[K]	Termodynamická kondenzační teplota
$COP_R$	[-]	Skutečný chladicí faktor
$\eta_R$	[-]	Účinnost skutečného systému
$COP_1$	[-]	Celkový chladicí faktor reálného oběhu
$EER_1$	[-]	Celkový chladicí faktor reálného oběhu
$COP'_1$	[-]	Celkový chladicí faktor reálného oběhu se vzduchem chlazeným kondenzátorem
$\eta_C$	[-]	Účinnost kompresoru
$\eta_E$	[-]	Účinnost pohonu kompresoru
$P_1$	[W]	Elektrický příkon chladícího zařízení
$P_2$	[W]	Elektrický příkon ventilátorů
$EER'_1$	[-]	Celkový chladicí faktor reálného oběhu se vzduchem chlazeným kondenzátorem
$Q_C$	[W]	Referenční potřeba chlazení
$P_C$	[W]	Potřeba elektrické energie na chlazení
$P_{CHL}^{OJ}$	[W]	Chladicí výkon obchodních jednotek
$P_{CHL}^{VZT}$	[W]	Chladicí výkon pro vzduchotechniku
$P_{CHL}^{CEL}$	[W]	Celkový chladicí výkon
$P_{CHL}^{VÝCH}$	[W]	Chladicí výkon strojovny Východ
$P_{CHL}^{ZÁP}$	[W]	Chladicí výkon strojovny Západ
$t_e$	[°C]	Venkovní teplota

# 1. Úvod

Tato práce se zaměřuje na problematiku provozu klimatizace v nákupním centru. V dnešní době jsou nákupní centra neodmyslitelnou součástí našeho každodenního života, a jejich správný provoz a klimatizace hrají klíčovou roli pro pohodlí a spokojenost zákazníků. Cílem této práce je analyzovat a zhodnotit provozní aspekty klimatizace v nákupním centru s ohledem na efektivitu, energetickou náročnost, udržitelnost a komfort pro uživatele. Práce se zaměřuje na identifikaci možných problémů a nedostatků v provozu klimatizace, navrhne vhodná opatření pro jejich eliminaci a představí doporučení pro optimalizaci provozu klimatizace v rámci nákupního centra. Výsledky této práce by měly přispět ke zlepšení kvality provozu klimatizace v nákupních centrech a sloužit jako užitečný nástroj pro jejich správce a provozovatele.

## 1.1. Význam klimatizace v nákupním centru

Klimatizace má zásadní význam pro pohodlí návštěvníků nákupního centra. Její přítomnost a správné fungování vytvářejí příjemné a komfortní prostředí, které zvyšuje celkovou spokojenost a prodlužuje dobu, kterou lidé tráví v centru.

Prvním důležitým aspektem je regulace teploty. Během horkých letních dní poskytuje klimatizace úlevu od vysokých venkovních teplot a umožňuje udržovat vnitřní prostor v příjemném a chladném stavu.

Dalším důležitým faktorem je regulace vlhkosti. Klimatizace umožňuje úpravu vlhkosti vzduchu v nákupním centru. Příliš vysoká vlhkost může vést k pocení, nepříjemnému lepkavému pocitu a obtížím při dýchání. Díky klimatizaci se vzduch upravuje na ideální podmínky.

Klimatizace také přispívá k čistotě vzduchu v nákupním centru. Systémy klimatizace jsou vybaveny filtry, které zachycují prach, pyl, alergeny a další nečistoty. Tím se minimalizuje množství znečištění v ovzduší, což přináší výhody pro alergiky a osoby s respiračními problémy. Čistý vzduch podporuje zdraví a pohodu návštěvníků a umožňuje jim strávit více času v centru bez negativních účinků na jejich zdraví. [1], [2]

## 1.2. Popis problému v oblasti provozu klimatizace a vysvětlení důležitosti optimalizace provozu pro snížení spotřeby energie

V oblasti provozu klimatizace se vyskytuje mnoho problémů. Je to dáno velkým množstvím vstupů a proměnných. Výsledné řešení těchto problémů má vliv na konečnou spotřebu energie, celkové náklady na provoz a životní prostředí. Mezi základní problémy patří:

- Nadměrná spotřeba energie: Klimatizace v nákupních centrech bývá často dimenzována pro extrémní zátěže, což může vést k nadměrné spotřebě energie. Neefektivní provoz, špatné nastavení parametrů a nedostatečná údržba mohou způsobovat neefektivní využití energie a zbytečné náklady.
- Nepřiměřené nastavení teploty: Některá nákupní centra udržují příliš nízkou teplotu, což je často nekomfortní pro zákazníky a zbytečně je tak zvyšována spotřeba energie. Nastavení optimální teploty v souladu s předpisy a potřebami návštěvníků je klíčové pro dosažení komfortního prostředí a úspor energie.

- Neefektivní nakládání s chladem: Nedostatečné plánování a rozložení chladu v nákupním centru může vést k nerovnoměrnému chlazení a zbytečným energetickým ztrátám. Například otevřené vchody, neizolované nebo špatně izolované oblasti mohou umožnit únik chladu.
- Nedostatečná údržba a čistota: Nedostatečná údržba klimatizačních systémů a nečistota filtrů mohou snižovat jejich výkon a efektivitu. Zanesené filtry a špatně fungující zařízení zvyšují energetickou náročnost systémů a mohou vést k poruchám. [1]

Jako nástroj prevence těchto problémů lze využít sběr a analýzu dat. Proces sběru dat zahrnuje instalaci senzorů a měřicích zařízení v klimatizačním systému a dalších souvisejících systémech. Tyto senzory monitorují různé parametry, jako jsou teplota, vlhkost, výkon zařízení, spotřeba energie a další relevantní faktory. Sběr dat je prováděn systematicky a pravidelně, aby poskytoval aktuální informace o provozu klimatizace. Sbíraná data by byla následně analyzována pomocí specializovaných softwarových nástrojů a technik analýzy dat. Toto řešení přináší možnost získat informace o provozních trendech a možných problémech v systému. Analýza může identifikovat oblasti s nadměrnou spotřebou energie, nedostatečnou efektivitou nebo potenciálními poruchami. To umožňuje provést včasnou intervenci, aby se předešlo závažnějším poruchám nebo ztrátám energie. Následně je zapotřebí kontinuální monitorování a optimalizace systému.

## 2. Klimatizace budov

Klimatizace budov je proces úpravy vnitřních podmínek budovy regulací teploty, vlhkosti a kvality vzduchu, aby se vytvořilo příjemné a zdravé prostředí pro obyvatele nebo uživatele budovy. Má významný vliv na pohodlí, produktivitu a zdraví lidí v budovách, a to jak ve veřejných, tak v soukromých prostorách.

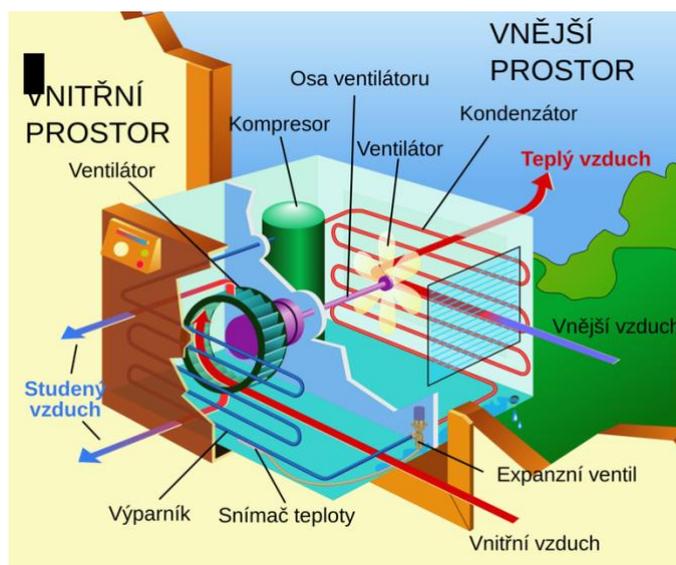
Klimatizaci dělíme na komfortní a technologickou. Klimatizace komfortní je zaměřena na úpravu ovzduší v obytných a pobytových prostorách s ohledem na hygienu a pohodlí pro lidi. Patří sem klimatizace v bytových jednotkách, shromažďovacích prostorech (divadla, kina, hotely, administrativní budovy) a dalších místech, kde se nacházejí lidé. Cílem je zajištění příjemného vnitřního prostředí, regulace teploty, vlhkosti a čistoty vzduchu.

Klimatizace technologická se zaměřuje na úpravu ovzduší z hlediska technologických procesů a požadavků. Může se jednat o prostorovou klimatizaci, která je prováděna v budovách a místnostech s přítomností osob, jako jsou čisté prostory pro elektroniku, farmacie, přesnou strojírenskou výrobu atd. Dále existuje procesní klimatizace, která se uplatňuje uvnitř technologických linek nebo zařízení, kde nejsou přítomny osoby. Cílem je zajištění optimálních podmínek pro fungování technologických procesů, ochrana zařízení a udržení požadovaných parametrů prostředí. [2]

### 2.1. Klimatizační systémy

Klimatizační systémy jsou zařízení, která slouží k regulaci teploty, vlhkosti a čistoty vzduchu v uzavřeném prostoru. Základní funkcí klimatizačních systémů je chlazení vzduchu, které je dosaženo odstraňováním tepla z místnosti a jeho přenosu ven. To je obvykle dosaženo pomocí chladicího média, které cirkuluje systémem a absorbuje teplo z místnosti a odvádí je ven.

Kromě chlazení mohou klimatizační systémy také provádět ohřev vzduchu v chladnějším počasí a regulovat vlhkost v prostoru. Některé pokročilejší systémy jsou vybaveny také funkcemi ventilace a filtrace vzduchu, které zlepšují kvalitu vzduchu v místnosti tím, že odstraňují nečistoty, prach, pyl a další alergeny. [2]



Obrázek 1 Typická klimatizační jednotka [3]

## 2.2. Třídění klimatizačních systémů [2], [4]

Třídění klimatizačních systémů se provádí dvojitým způsobem. Prvním způsobem je třídění podle tekutiny, která přenáší chlad a teplo po budově. Existují tedy tři hlavní typy systémů:

- vzduchové,
- vodní,
- kombinované (voda/vzduch - chladičové).

Druhým způsobem třídění je podle počtu zón, ve kterých klimatizační systém upravuje prostředí a dochází k individuálním změnám tepelné a vlhkostní zátěže.

- Jednozónové,
- vícezónové.

Mezi typické skupiny klimatizačních systémů patří:

- Vzduchové systémy:
  - o Jednozónové vzduchové systémy s konstantním průtokem vzduchu.
  - o Vícezónové vzduchové systémy s proměnným průtokem vzduchu.
  - o Vícezónové vzduchové systémy s konstantním průtokem vzduchu.
- Vodní systémy:
  - o Vícezónové systémy s ventilátorovými konvektory (různé rozvody vody a vzduchu).
- Systémy s chladicími/otopnými plochami (např. stropy).
- Kombinované systémy vzduch-voda:
- Indukční systémy s indukčními (parapetními) jednotkami.
- Indukční systémy s chladicími trámci.
- Chladičové systémy:
  - o Jednozónové systémy (split) s konstantním průtokem chladiče.
  - o Vícezónové systémy (multisplit) s konstantním průtokem chladiče.
  - o Vícezónové systémy (multisplit) s proměnným průtokem chladiče.

Klimatizační systémy přenášejí teplo a chlad po budově vzduchem, vodou nebo chladičem. Každý distribuční systém je zakončen koncovými prvky v klimatizovaném prostoru, které předávají tepelnou energii do ovzduší. Vzduchové systémy mají vyústky nebo anemostaty, vodní systémy mají ventilátorové konvektory nebo chladicí panely, a kombinované systémy vzduch-voda mají indukční parapetní jednotky nebo chladicí trámce. Chladičové systémy mají chladičové ventilátorové konvektory jako koncové prvky.

### 2.2.1. Vzduchové systémy

Přenašečem tepla v klimatizačních zařízeních využívajících vzduchový systém, je samozřejmě vzduch. Jeho upravování se odehrává mimo klimatizovanou místnost a vzduch je tak vedený vzduchovody. Vzduchové klimatizační systémy jsou tedy zařízení, která slouží k regulaci teploty, vlhkosti a čistoty vzduchu v různých prostorách. V porovnání s vodou však má menší tepelnou kapacitu, a tak je ho nutné větší množství. [5]

### **2.2.2. Vodní systémy s ventilátorovými konvektory (fan-coil)**

Vodní systémy s ventilátorovými konvektory, známé také jako fan-coil jednotky, jsou typem klimatizačního systému, který využívá vodu jako médium pro přenos tepla mezi vnitřní jednotkou (fan-coil) a chladicím nebo vytápěcím zdrojem. Systém je složen z venkovního vzduchového klimatizačního zařízení, které upravuje vzduch a přivádí ho do klimatizovaných místností prostřednictvím vnitřních klimatizačních jednotek. Teplota přiváděného vzduchu je přizpůsobena teplotě vnitřního vzduchu v místnostech. Odvod vzduchu probíhá přímo z klimatizovaných místností nebo je přetlakem veden do chodeb, kde je odsáván. Vnitřní klimatizační jednotky, nazývané ventilátorové konvektory, slouží k individuální tepelné úpravě vnitřního vzduchu v místnostech. Jednotky obsahují filtry, ventilátor a výměník pro ohřev a chlazení vzduchu. Regulace tepelného výkonu se provádí pomocí průtoku teplé nebo chladné vody, která je napojena na výměník. Ventilátory konvektorů mají možnost provozu různých otáček. To umožňuje další regulaci tepelného výkonu změnou průtoku vzduchu, která přináší vyšší flexibilitu a efektivitu systému. Vodní systémy s ventilátorovými konvektory jsou často používány v komerčních budovách, jako jsou kancelářské budovy, hotely, nemocnice a obchodní centra. Tento typ klimatizace umožňuje individuální regulaci teploty v jednotlivých místnostech a nabízí flexibilitu v chlazení a vytápění prostorů.[2]

### **2.2.3. Chladicí stropy**

Klimatizace prostorů pomocí chladicích stropů je alternativou k tradičním systémům s distribucí vzduchu a nabízí efektivní způsob dosažení tepelného komfortu v administrativních budovách a společenských prostorech. Tento systém využívá vysokoteplotní chlazení, kde se relativně vysoká teplota chladicí vody využívá k účinnému chlazení prostoru. Díky chladicímu účinku radiace je možné udržovat vyšší teplotu vzduchu, což přispívá k úsporám energie. Chladicí panely, které jsou umístěny v podhledech místností nebo ve stropní konstrukci, odvádějí tepelnou zátěž prostoru. Vzduchotechnické zařízení se soustřeďuje především na odvod tepla vázaného ve vodní páře a minimální dávku čerstvého vzduchu. Pokud chladicí kapacita stropu není dostatečná pro odvod veškeré tepelné zátěže, doporučuje se doplnit chlazení do přiváděného větracího vzduchu. Tímto způsobem se dosahuje optimálního tepelného komfortu při efektivním využití energie.

### **2.2.4. Chladivové systémy**

Hlavní součásti chladivových klimatizačních systémů zahrnují venkovní jednotku, umístěnou na střeše budovy nebo na venkovní stěně, která obsahuje kompresorové chladicí zařízení, výměník tepla mezi chladivem a venkovním vzduchem a ventilátor pro proudění venkovního vzduchu. Vnitřní jednotky jsou umístěny v místnostech a obsahují filtr pro oběhový vzduch, ventilátor pro oběhový vzduch a výměník tepla mezi chladivem a vnitřním vzduchem. Vnitřní jednotky mají obvykle dvouotáčkový ventilátor a mohou být vybaveny také přívodem čerstvého venkovního vzduchu. Venkovní a vnitřní jednotky jsou propojeny chladivovým potrubím s oddělenými trubkami pro plynné a kapalné chladivo. Chladivový systém může sloužit pouze k chlazení v letním období nebo také k ohřevu v zimě, kdy kompresorové chladicí zařízení pracuje jako tepelné čerpadlo. Při chlazení se chladivo vypařuje ve vnitřních jednotkách a tím se ochlazuje proudící vzduch. Ve venkovní jednotce funguje výměník tepla jako kondenzátor. Při ohřevu se směr průtoku chladiva mění, takže vnitřní jednotky fungují jako kondenzátory a vzduch se

ohřívá teplem uvolňovaným při kondenzaci chladiva. U vícezónových systémů se čerstvý venkovní vzduch přivádí pomocí vzduchového jednonálového systému, podobně jako u vodních systémů s ventilátorovými konvektory. [2]

### 2.3. Popis zdrojů chladu používaných v klimatizaci

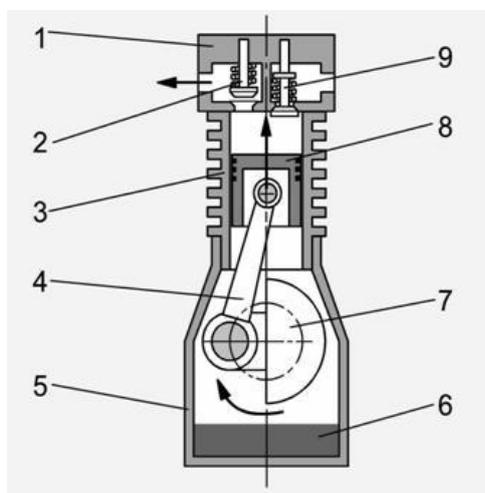
Existuje několik způsobů, jak získat chlad pro klimatizační zařízení, přičemž nejčastěji používanou metodou je kompresorový oběh chladiva. Při tomto způsobu se chladivo v cyklu střídavě stlačuje a expanduje, čímž se dosahuje chladícího efektu. Tento proces využívá kompresor, kondenzátor, výparník a expanzní ventil, které společně umožňují cirkulaci chladiva a přenos tepla z interiéru do vnějšího prostředí. Při vyšších výkonech mohou být použity také absorpční zařízení, která využívají termického čerpadla k odstranění tepla a zajištění chladu. Ostatní alternativní metody, jako je termoelektrické chlazení a využití chladu z okolního prostředí, jsou méně běžné a obvykle se uplatňují ve specifických situacích.

#### 2.3.1. Kompresorové chlazení

Zdroje chladu v klimatizačních zařízeních se také dělí na základě použitého kompresoru. Existují různé typy kompresorů, které se vybírají podle velikosti zařízení a regulace průtoku chladiva. Pro menší zařízení bez regulace průtoku chladiva se často používají **pístové kompresory**. Ty jsou jednoduché a spolehlivé, ale mají omezenou kapacitu. Pro menší zdroje s proměnným průtokem chladiva se často používají **spirálové (scroll) kompresory**. Tyto kompresory jsou účinnější a umožňují vyšší výkony než pístové kompresory. Pro zdroje větších výkonů se obvykle používají **šroubové kompresory**. Tyto kompresory jsou schopné pracovat s vyššími výkony a mají lepší regulaci průtoku chladiva. Existují také další typy kompresorů, jako jsou **turbokompresory, rotační objemové a další**, avšak tyto se používají spíše výjimečně. [4], [6]

#### Pístové kompresory

Pístové kompresory jsou jednoduché a spolehlivé kompresory používané v menších klimatizačních zařízeních. Pracují na principu pístu a válce, který stlačuje chladivo a zvyšuje jeho tlak. Tyto kompresory jsou ideální pro aplikace bez potřeby regulace průtoku chladiva, jako jsou domácnosti, kanceláře nebo malé obchody. [4], [6]



Obrázek 2 Schéma pístového kompresoru. 1-Kryt, 2-Výtlačný ventil, 3-Válec, 4-Ojnice, 5-Kliková skříň, 6-Olejová náplň, 7-Setrvačnický, 8-Píst, 9-Sací ventil [7]

### Spirálové kompresory

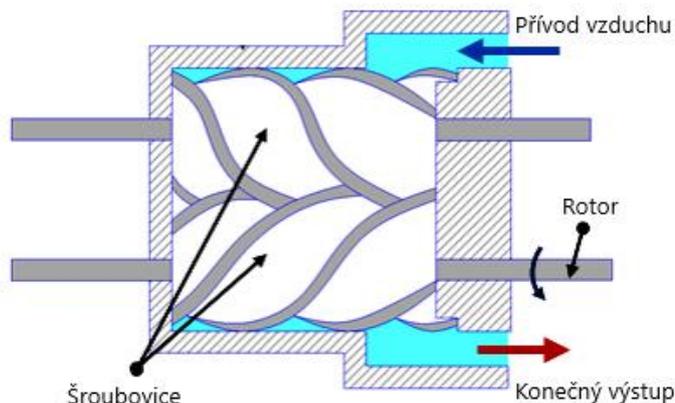
Spirálové kompresory, také nazývané scroll kompresory, jsou široce používané v klimatizačních systémech s proměnným průtokem chladiva. Jejich konstrukce sestává z rotační a stacionární spirály, které vytvářejí stlačovací a výstupní kapsy pro chladivo. Spirálové kompresory nabízejí výhody jako vysokou účinnost, nižší hluk a vibrace, a schopnost regulovat průtok chladiva, což zajišťuje efektivní řízení výkonu. Jsou často využívány v domácnostech, obchodech a průmyslových prostorách pro jejich spolehlivost a výkonnost. [6]



Obrázek 3 Princip spirálového kompresoru [8]

### Šroubové kompresory

Šroubové kompresory jsou využívány pro klimatizační systémy s většími výkony. Pracují na principu otáčejících se šroubů, které stlačují chladivo a zvyšují jeho tlak. Tyto kompresory nabízejí vysokou kapacitu, efektivitu a spolehlivost, a jsou často používány v průmyslových, komerčních a velkých rezidenčních aplikacích. [4], [6]



Obrázek 4 Schéma šroubového kompresoru [9]

### 2.3.2. Turbokompresory

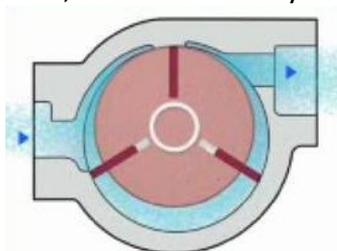
Turbokompresory jsou alternativou k šroubovým kompresorům pro zdroje chladu s velkým výkonem. Principem turbokompresoru je dodání kinetické energie plynu do pohyblivého lopatkového kola, která se poté v nepohyblivém lopatkovém kole přeměňuje na tlakovou energii. Existují různé typy turbokompresorů:

- Axiální turbokompresory: Proudění plynu probíhá převážně ve směru osy rotace kompresoru. Tento typ se často používá v leteckých motorech a v některých aplikacích chladicích systémů.
- Radiální turbokompresory: Proudění plynu probíhá radiálně od středu kompresoru směrem ven. Radiální turbokompresory jsou běžně používány v malých chladicích systémech, například v domácích klimatizačních jednotkách.
- Diagonální turbokompresory: Tento typ kombinuje vlastnosti axiálního a radiálního turbokompresoru. Diagonální turbokompresory se využívají v některých průmyslových aplikacích.

Turbokompresory mají široké využití v chladicí technice a slouží jako hlavní zdroj stlačeného chladiva pro chladicí cyklus. Pracují s dalšími součástmi, jako jsou výparníky, kondenzátory a expanzní ventily, aby vytvořily uzavřený chladicí systém. Díky své efektivitě a schopnosti dosáhnout vysokých tlaků jsou preferovaným řešením pro různé aplikace od domácích klimatizací po průmyslové chladicí systémy. Je důležité pravidelně provádět údržbu a kontrolu, aby se zajišťovala optimální výkonnost a dlouhá životnost turbokompresorů v chladicí technice. [6], [4]

### 2.3.3. Rotační objemové kompresory

Rotačně objemové kompresory v chladicí technice jsou využívány pro efektivní stlačování chladiva díky jejich rotačnímu mechanismu. Jsou široce využívány jako hlavní zdroj stlačeného chladiva v chladicích cyklech, které zahrnují výparníky, kondenzátory a expanzní ventily. Tyto kompresory jsou kompaktní, tiché a nabízejí vyšší účinnost, což je dělá ideálními pro domácí klimatizace, komerční chladicí systémy a průmyslové aplikace. Pro zachování optimálního výkonu je nutné pravidelně provádět údržbu a servis, zahrnující kontrolu mazání, těsnění a obecný stav kompresoru. [6]



Obrázek 5 Schéma rotačního objemového kompresoru [7]

### 2.3.4. Chladicí věže

Chladicí věže se převážně využívají pro chlazení vodou chlazených systémů, a to pomocí adiabatického chlazení. Tento proces zahrnuje rozstříkávání vody do vzduchu, která se následně odpařuje. Ochlazovací efekt je omezen nasycením vzduchu, které odpovídá teplotě mokrého teploměru. Vzhledem k teplému a suchému klimatu v České republice je adiabatické chlazení velmi efektivní. Okruh kondenzační vody je oddělený od okruhu chladicí vody a slouží k odvodu tepla z chladicího cyklu. [2], [4]

### Chladicí věž otevřená

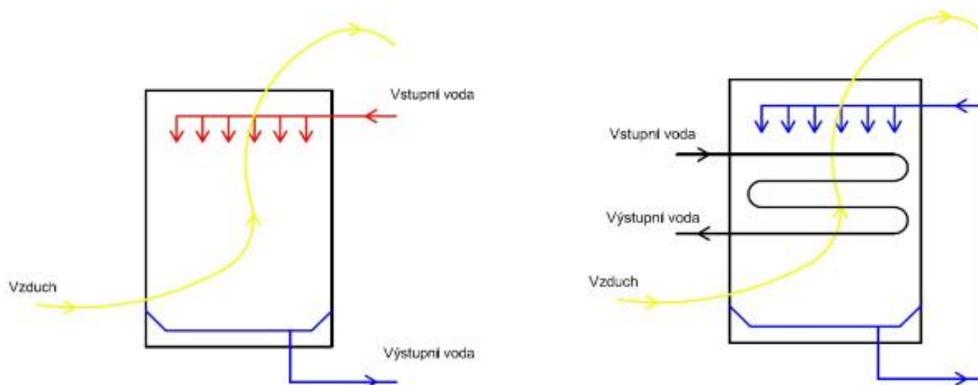
Otevřená chladicí věž umožňuje přímý kontakt chladicí vody s okolní atmosférou. Chladicí voda je rozprašována ve vrchní části věže a poté stéká přes výplň do vany. Proud vzduchu protékající věží ochlazuje chladicí vodu na požadovanou teplotu. Nasycená chladicí voda je pak čerpadlem odsávána z vany a distribuována do chladicího systému. Chladicí věže mohou mít různá provedení, včetně plastových, pozinkovaných kovových nebo nerezových opláštění, a mohou být vybaveny axiálními nebo radiálními ventilátory. [10]



Obrázek 6 Otevřená chladicí věž [10]

### Chladicí věž uzavřená

Uzavřená chladicí věž funguje na principu uzavřeného chladicího okruhu, kde nedochází ke styku chladicí vody s okolní atmosférou. Chladicí voda cirkuluje skrz trubkový výměník umístěný v chladicí věži. Voda z vany chladicí věže je rozprašována na tento výměník a následně proudí přes něj. Stejně jako u otevřené chladicí věže, proudí vzduch přes rozprašovací systém a výměník, přičemž množství vzduchu je regulováno podle požadované teploty chladicí vody. Tím se dosahuje ochlazování chladicí vody bez jejího přímého kontaktu s okolním prostředím. [11]



Obrázek 7 Rozdíl mezi otevřenou (vlevo) a uzavřenou (vpravo) chladicí věží [4]

## 2.4. Freecooling

Freecooling, také nazývaný volné chlazení, je systém využívající nízké venkovní teploty k poskytování chladu bez nutnosti energeticky náročného chlazení během chladnějších období. Jeho hlavním cílem je minimalizovat provoz kompresorů pro chlazení, které spotřebovávají mnohem více energie než ventilátory používané v systémech freecooling. Při této metodě jsou v provozu pouze ventilátory, které nasávají vzduch přes výměník tepla obsahující kapalinu, která předává své teplo do vzduchu. Když teplota venkovního vzduchu klesne pod nastavenou hodnotu, veškerá nebo část chlazené vody přestane protékat běžícím chladicím zařízením a místo toho prochází systémem chlazení pomocí venkovního vzduchu, čímž se šetří energie. Freecooling je zejména výhodný pro situace, kdy je potřeba chladit budovy po celý rok, a to v prostorově rozsáhlých objektech, jako jsou obchodní centra, datová centra, průmyslové budovy, obráběcí stroje, laserové aplikace atd.

Při dostatečně nízké venkovní teplotě, například +10 °C nebo nižší, v závislosti na návrhu chlazení, jsou chladicí kompresory zcela vypnuty. To výrazně snižuje zatížení systému a spotřebu energie a zároveň prodlužuje životnost chladicí jednotky.

Pro maximální využití freecoolingu je také vhodné, když je teplota chladicí vody vyšší, než je běžně obvyklé. Běžná teplota chladicí kapaliny bývá např. 6/12 °C, pro freecooling je vhodnější vyšší teplota – např. 14/18 °C. Teplota chladicí vody je velice důležitý údaj, protože pokud budeme používat teplotní spád 6/12 °C, pak 100% výkon jednotky pro freecooling navrhujeme na teplotu venkovního vzduchu +4 °C. Teplota nižší než +4 °C je 3 040 hodin ročně (údaj je brán z Referenčního klimatického roku pro Prahu Ruzyni). Pokud použijeme teplotní spád 14/18 °C, pak je možné navrhovat freecooling na 100 % výkon už od teploty +12 °C, což představuje možnost provozovat freecooling cca 5 687 hodin ročně. To je o 87 % déle než u první varianty. [12], [4]

### Základní dělení systému freecooling:

- Vzduchem chlazený kondenzátor - v chladivovém oběhu
  - o Přímý freecooling chladivem
  - o Freecooling s thermosyphonem
- Vzduchem chlazený kondenzátor - mimo chladivový oběh
  - o Freecooling vestavěný do jednotky
  - o Oddělený freecooling
- Freecooling s vodou chlazeným kondenzátorem
  - o Freecooling s odděleným výměníkem

#### 2.4.1. Vzduchem chlazený kondenzátor - v chladivovém oběhu

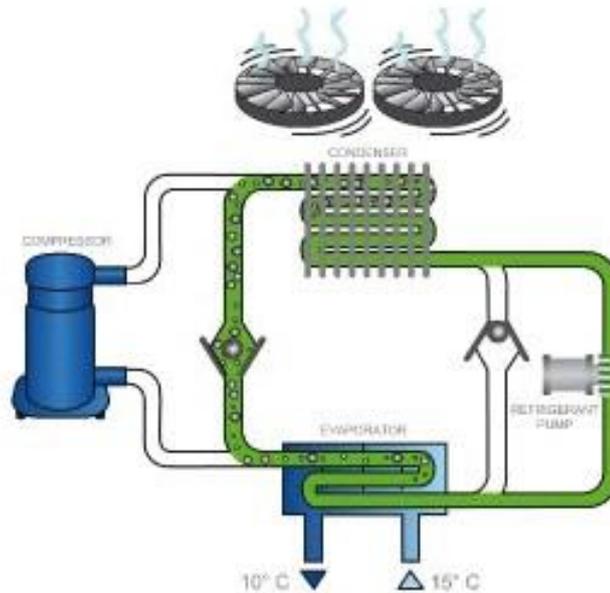
Vzduchem chlazené kondenzátory jsou součástí chladicího systému a slouží k odvodu tepla z chladiva pomocí proudění vzduchu. Jsou jednodušší a levnější na instalaci než vodou chlazené kondenzátory, ale jsou závislé na okolních klimatických podmínkách a náchylné na znečištění vzduchem. [4]

#### Přímý freecooling s čerpadlem

V chladicím okruhu je přítomný bypass a čerpadlo chladiva. Při použití freecoolingu se čerpadlo chladiva zapíná a bypass se otevírá, čímž se aktivuje freecooling.

Toto zařízení má výhodu v tom, že má stejné rozměry a hmotnost jako běžné jednotky a je snadno regulovatelné. Nevýhodou je nižší výkon, větší počet součástí v chladicím

okruhu, vyšší objem chladiva (o 20 %) a neschopnost provozovat strojní chlazení a freecooling současně. [12]



Obrázek 8 Přímý freecooling s čerpadlem [12]

### Freecooling s thermosyphonem

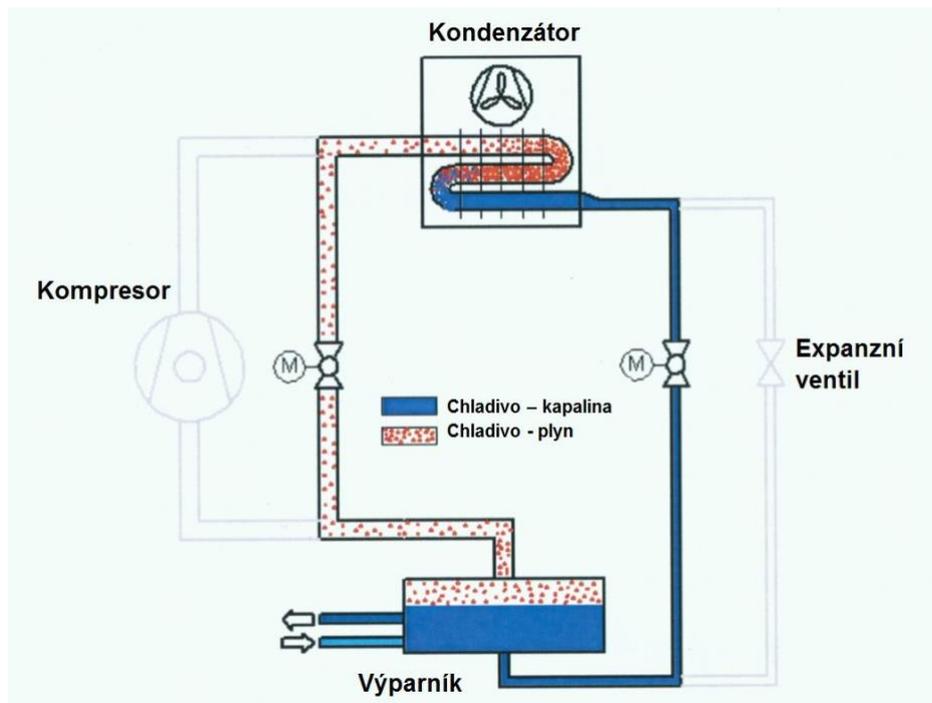
Thermosyphon je metoda využívající přirozenou cirkulaci chladiva a vzduchem chlazených kondenzátorů v chladicích jednotkách, jako jsou kompaktní jednotky nebo "split" jednotky, pro provoz volného chlazení.

Pro implementaci tohoto principu je chladicí jednotka vybavena potrubím, které umožňuje obejít kompresor, a potrubím s druhým expanzním ventilem.

V režimu freecooling se kompresor vypne, standardní expanzní ventil se uzavře a reguluje se expanzní ventil pro freecooling. Díky proudění chladiva výparníkem dochází k jeho odpařování, což zvyšuje tlak chladiva ve výparníku, a chladivo samovolně proudí do místa s nižším tlakem - kondenzátoru, kde je kondenzováno díky proudění okolního chladného vzduchu. Poté je chladivo přiváděno zpět do výparníku přes expanzní ventil. Výhodou pro freecooling pomocí thermosyphonu je, že není potřeba instalovat samostatné chladiče nebo budovat nový chladicí okruh. Tato metoda dosahuje vysoké účinnosti díky absenci čerpací práce, kterou by vyžadovalo čerpání média do freecoolingového chladiče. Není zde potřeba používat nemrznoucí směsi.

Jednou z nevýhod této metody je nemožnost částečného freecoolingu, což znamená předchlazení chlazeného média pomocí atmosférického chladiče a následné dosažení požadované teploty pomocí kompresorového chlazení. Tato nevýhoda však může být eliminována rozdělením okruhu chladiva na dva samostatné a nezávislé okruhy, z nichž jeden může pracovat v režimu thermosyphonového freecoolingu a druhý s kompresorem. Výparník na straně chlazeného média zůstává nedělen.

Thermosyphonový freecooling může být také dodatečně instalován na stávající chladicí jednotky, přičemž pravděpodobně bude vyžadovat úpravu řízení kondenzátoru. [13], [4]



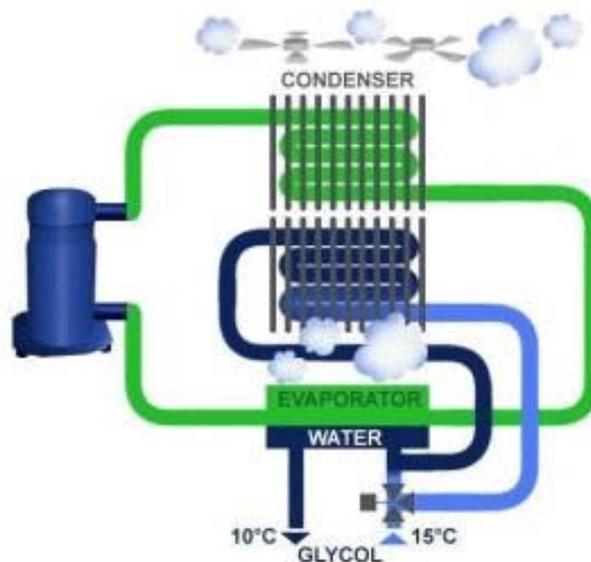
Obrázek 9 Freecooling s thermosyphonem [13]

#### 2.4.2. Vzduchem chlazený kondenzátor - mimo chladivový oběh

##### Freecooling vestavěný do jednotky

Toto zapojení, které zahrnuje nainstalování freecoolingového výměníku před kondenzátor, je populární a jednoduchý způsob implementace. Použity jsou stejné ventilátory jako pro kompresorové chlazení. Tím je ušetřena zabraná plocha výměníkem. I když má toto zapojení mnoho výhod, nevýhody převažují nad výhodami. Mezi nevýhody patří zvýšená tlaková ztráta vzduchu ve výměnících, což znamená vyšší potřebný příkon ventilátorů. Tím se zvyšuje plošné zatížení a největší nevýhodou je regulace chodu motorů ventilátorů.

Chod motorů ventilátorů je řízen potřebami chladicího okruhu (kompresoru) pro strojní chlazení. Strojní chlazení vyžaduje při nízkých teplotách menší průtok vzduchu přes vzduchový výměník (kondenzátor), a proto se jednotlivé ventilátory vypínají podle potřeby (v závislosti na teplotě chladiva). Na druhou stranu freecooling, který využívá přímého chlazení kapaliny venkovním vzduchem, potřebuje, aby všechny ventilátory byly v provozu na maximálním výkonu, aby byl dosažen co největší výkon freecoolingu. Tyto požadavky jsou vzájemně protichůdné. Protože priorita musí vždy být dána požadavku na strojní (kompresorové) chlazení, samotný freecooling při souběžném chlazení nedosahuje vysokého výkonu kvůli malému průtoku vzduchu a je tedy málo efektivní. [12]

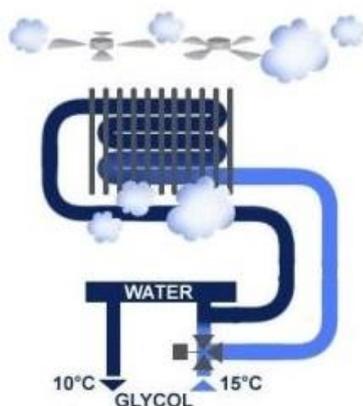


Obrázek 10 Freecooling vestavěný do jednotky [12]

### Oddělený freecooling

Strojní (kompresorové) chlazení a freecooling jsou odděleny ve dvou samostatných jednotkách, které mají stejný design a po instalaci za sebou vypadají jako jedna jednotka. Jsou propojeny pouze komunikačním kabelem a rozvody ochlazované kapaliny. Chlazená kapalina nejprve vstupuje do jednotky freecoolingu, kde se předchladí nebo ochladí v závislosti na okolních podmínkách, a poté pokračuje do strojního chlazení, kde je případně dochlazena na požadovanou teplotu.

Nevýhodami tohoto systému jsou vyšší hmotnost a větší rozměry celého zařízení. Výhodou je možnost doplnění freecoolingu ke stávající jednotce a vynikající regulace chodu ventilátorů. Oproti vestavěnému freecoolingu jsou ventilátory řízeny podle potřeb freecoolingové části a za vhodných podmínek je freecooling využíván na maximální výkon bez omezení. To zajišťuje maximální efektivitu při souběžném chlazení a vysoké úspory energie. [12]



Obrázek 12 Oddělený freecooling



Obrázek 11 Kompresorové chlazení a freecooling v jedné jednotce

## Freecooling s vodou chlazeným kondenzátorem

Vodou chlazené kondenzátory jsou výměníky, které fungují na principu chladivo - voda. Existují dva hlavní způsoby chlazení kondenzátorů: vodou chlazený kondenzátor s odděleným výměníkem a vodou chlazený kondenzátor s chladicí věží.

U vodou chlazeného kondenzátoru s odděleným výměníkem je kondenzační teplo odváděno pomocí vody prostřednictvím samostatného výměníku. Tento systém umožňuje účinné odvádění tepla a umístění výměníku mimo jednotku.

U vodou chlazeného kondenzátoru s chladicí věží je kondenzační teplo odváděno pomocí vody, která cirkuluje skrze chladicí věž. Chladicí věž může být buď standardní chladicí věž nebo může být nahrazena hlubinnou či povrchovou vodou, což umožňuje využití přírodních zdrojů vody k odvodu tepla.

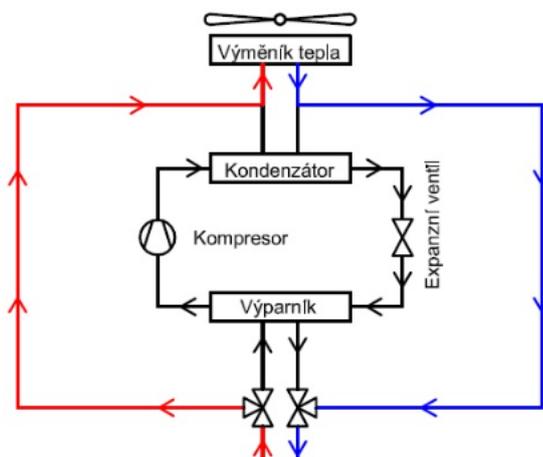
Freecooling s vodou chlazeným kondenzátorem může být zapojen buď přímo nebo nepřímě. U přímého systému je kondenzátorem procházející voda přímo využita k chlazení. U nepřímého systému je mezi okruh chladicí vody a věžovou vodou (nebo kondenzátorem) umístěn deskový výměník, který odděluje obě cirkulující média. Tento nepřímý systém má poněkud nižší energetickou efektivitu, ale umožňuje použití i v zimních obdobích a snižuje potřebu chladiva.

Celkově lze říct, že vodou chlazené kondenzátory nabízejí efektivní způsob odvodu tepla a umožňují využití různých variant chlazení v závislosti na konkrétních potřebách a možnostech instalace. [4]

## Freecooling s odděleným výměníkem

Je systém, kde vracející se chladicí voda je přivedena přímo do oběhu kompresorového chlazení nebo do režimu volného chlazení pomocí trojcestného ventilu. Tento systém tedy funguje jako přímý systém, kde není vložen deskový výměník mezi okruhem chladicí vody a okruhem chladiva.

Jednou z nevýhod tohoto systému je skutečnost, že nelze použít freecooling a kompresorové chlazení současně. To znamená, že v době, kdy je aktivován režim volného chlazení a chladicí voda je přiváděna do oběhu volného chlazení, není možné provozovat kompresorové chlazení. Tato omezení mohou mít vliv na energetickou účinnost a flexibilitu systému. Celkově lze říct, že tento přímý systém bez deskového výměníku má své omezení a nevýhody ve srovnání s jinými konfiguracemi, které umožňují současný provoz freecoolingu a kompresorového chlazení. [4]



Obrázek 13 Freecooling s odděleným výměníkem [4]

## **2.5. Vysvětlení základních parametrů, které ovlivňují provoz klimatizace**

Existuje několik základních parametrů, které ovlivňují provoz klimatizace. Tyto parametry zahrnují:

### **Teplota**

Je jedním z nejdůležitějších parametrů ovlivňujících provoz klimatizace. Klimatizační systém je navržen tak, aby udržoval příjemnou teplotu v prostoru, a to buď chlazením vzduchu v horkých dnech nebo vytápěním vzduchu v chladných dnech.

### **Vlhkost**

Vlhkost vzduchu má také vliv na provoz klimatizace. Při vysoké vlhkosti může klimatizační systém provádět dehumidifikaci, tj. odstraňovat nadměrnou vlhkost z prostoru. Naopak při nízké vlhkosti může systém provádět zvlhčování vzduchu.

### **Kvalita vzduchu**

Klimatizace může také ovlivňovat kvalitu vzduchu v prostoru. Moderní klimatizační systémy jsou vybaveny filtry, které zachytávají nečistoty, prach, pyl nebo alergenů, a tím zlepšují kvalitu vzduchu v místnosti.

### **Velikost a rozložení prostoru**

Velikost a rozložení prostoru, který má být klimatizován, jsou také důležité faktory. Správná dimenze klimatizačního systému musí být zvolena na základě velikosti místnosti, počtu osob v ní a dalších faktorů.

### **Izolace budovy**

Izolace budovy a kvalita okenních a dveřních otvorů mohou také ovlivnit provoz klimatizace. Dobrá izolace pomáhá udržovat teplotu v místnosti a minimalizovat tepelné ztráty, což zase snižuje energetickou náročnost provozu klimatizace.

### **Externí prostředí**

Klimatizace může být ovlivněna i externími faktory, jako je venkovní teplota, sluneční záření nebo vlhkost vzduchu. Například v horkých letních dnech může vyšší teplota venkovního vzduchu znamenat vyšší zátěž pro klimatizační systém.

Tyto parametry spolu s dalšími faktory jsou brány v úvahu při návrhu, instalaci a provozu klimatizačního systému, aby bylo dosaženo optimálního komfortu a energetické efektivity. [14]

## 2.6. Chladicí faktory

Chladicí faktory zdrojů chladu jsou klíčovými ukazateli účinnosti chladicích soustav s kompresorovým oběhem. Tyto faktory vyjadřují poměr chladicího výkonu jednotky k množství spotřebované elektrické energie nezbytné pro dosažení daného výkonu. Vyšší hodnoty těchto faktorů indikují vyšší energetickou účinnost jednotky.

V České republice je spotřeba energie na klimatizaci budov stále neznámým faktorem. Měření spotřeby energie pro chlazení není zákonem povinné a taková měření jsou spíše výjimkou. Metodiky výpočtu, které se používají k energetickému hodnocení budov, jsou často zjednodušené a nezohledňují všechny faktory chování klimatizačního systému. Často se opomíjí energie potřebná pro pohon čerpadel a ventilátorů. V této kapitole se budeme dále zabývat následujícími faktory:

- EER - Chladicí faktor chladicího zařízení
- ESEER - Evropský sezónní chladicí faktor zařízení
- SEER - Sezónní chladicí faktor

Tyto faktory slouží k posouzení energetické účinnosti a výkonnosti klimatizačních zařízení a systémů. Při optimalizaci provozu klimatizace v nákupním centru je důležité vzít v úvahu tyto faktory a hledat způsoby, jak zvýšit jejich hodnoty a tím snížit energetickou spotřebu a náklady. [15], [16]

### 2.6.1. EER [2]

Chladicí faktor zdroje chladu s kompresorovým parním oběhem je definován jako poměr chladicího výkonu  $Q_N$  k elektrickému příkonu zdroje  $P_N$ . V minulosti se v češtině pro tuto definici výkonového koeficientu používala zkratka COP (Coefficient of Performance), která je stále používána pro zdroje tepla. Nicméně, pro zdroje chladu je nyní definován nový termín EER (Energy Efficiency Ratio). Toto nové označení slouží k rozlišení mezi zdroji chladu a zdroji tepla.

V některé zahraniční literatuře (USA), je EER udáván v jednotkách Btu/W. Pro konverzi takto vyjádřeného EER na bezrozměrnou hodnotu běžnou v EU se používá koeficient 3,413.

$$COP = \frac{Q_N}{P_N} = EER (-) \quad (1)$$

V oblasti chladicí techniky se pro studium základních principů kompresorového oběhu a pro porovnávání chladicích systémů často používá ideální levotočivý Carnotův oběh. Carnotův oběh je ideální teoretický oběh, který v praxi není dosažitelný, ale slouží jako referenční bod pro porovnávání účinnosti chladicích zařízení.

Chladicí faktor pro Carnotův oběh, označovaný jako  $COP_c$  (Coefficient of Performance Carnot), je definován jako poměr termodynamické teploty vypařovací  $T_0$  k rozdílu teploty kondenzační  $T_k$  a teploty vypařovací  $T_0$ . Tento chladicí faktor je pro dané teploty a pro Carnotův oběh nejvyšší možný a je nezávislý na druhu chladiva použitého v chladicím systému.

Ve skutečnosti se skutečné chladicí oběhy od teoretického Carnotova oběhu liší kvůli nevratnostem v procesech. Skutečné chladicí systémy mají neefektivnosti a energetické ztráty způsobené různými faktory, jako jsou tepelné ztráty, mechanické ztráty

a neideální charakteristiky kompresorů a výparníků. Pro porovnání skutečných chladicích systémů s Carnotovým oběhem se používá účinnost oběhu  $\eta_R$ . Skutečný chladicí faktor  $COP_R$  se liší od Carnotova chladicího faktoru.

$$COP_C = \frac{T_O}{T_K - T_O} \quad (2)$$

$$COP_R = COP_C \cdot \eta_R = \frac{T_O}{T_K - T_O} \cdot \eta_R \quad (3)$$

Celkový chladicí faktor reálného oběhu, označovaný jako  $COP_1$ , je definován jako poměr tepla odvedeného na výparníku k elektrickému příkonu kompresoru a zahrnuje také účinnost kompresoru  $\eta_C$  a jeho pohonu  $\eta_E$ .

$$COP_1 = COP_R \cdot \eta_C \cdot \eta_E = \frac{Q_N}{P_1} = EER_1 \quad (4)$$

Pro zdroje chladu se vzduchem chlazeným kondenzátorem je nutné připočítat elektrický příkon ventilátorů P2 pro odvod kondenzačního tepla viz vztah:

$$COP'_1 = \frac{Q_N}{P_1 + P_2} = EER'_1 \quad (5)$$

### 2.6.2. ESEER

Faktor ESEER (European Seasonal Energy Efficiency Ratio) je používán k vyhodnocení účinnosti zdroje chladu při částečném zatížení, na rozdíl od celkového chladicího faktoru EER, který zohledňuje účinnost zdroje chladu pouze při plné zátěži.

Tento faktor umožňuje komplexnější hodnocení zdroje chladu. Při provozu zařízení s plynulou regulací výkonu může být faktor ESEER výrazně vyšší než EER. Je stanoven kombinací provozních podmínek zdroje chladu, které jsou určeny certifikačním programem Eurovent. [16], [17]

### 2.6.3. SEER

Chladicím faktorem daného období SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) se rozumí celkový chladicí faktor jednotky, který je reprezentativní pro celé chladicí období. SEER je vypočítán jako podíl referenční potřeby chlazení  $Q_c$  a roční potřeby elektrické energie na chlazení  $P_c$ .

Referenční potřeba chlazení  $Q_c$  je vyjádřena jako součin návrhového chladicího zatížení a ekvivalentního počtu hodin v aktivním režimu. Ekvivalentní počet hodin v aktivním režimu pro chlazení je předpokládaný počet hodin, při kterém jednotka splňuje návrhové chladicí zatížení tak, aby byla dodržena roční referenční potřeba chlazení.

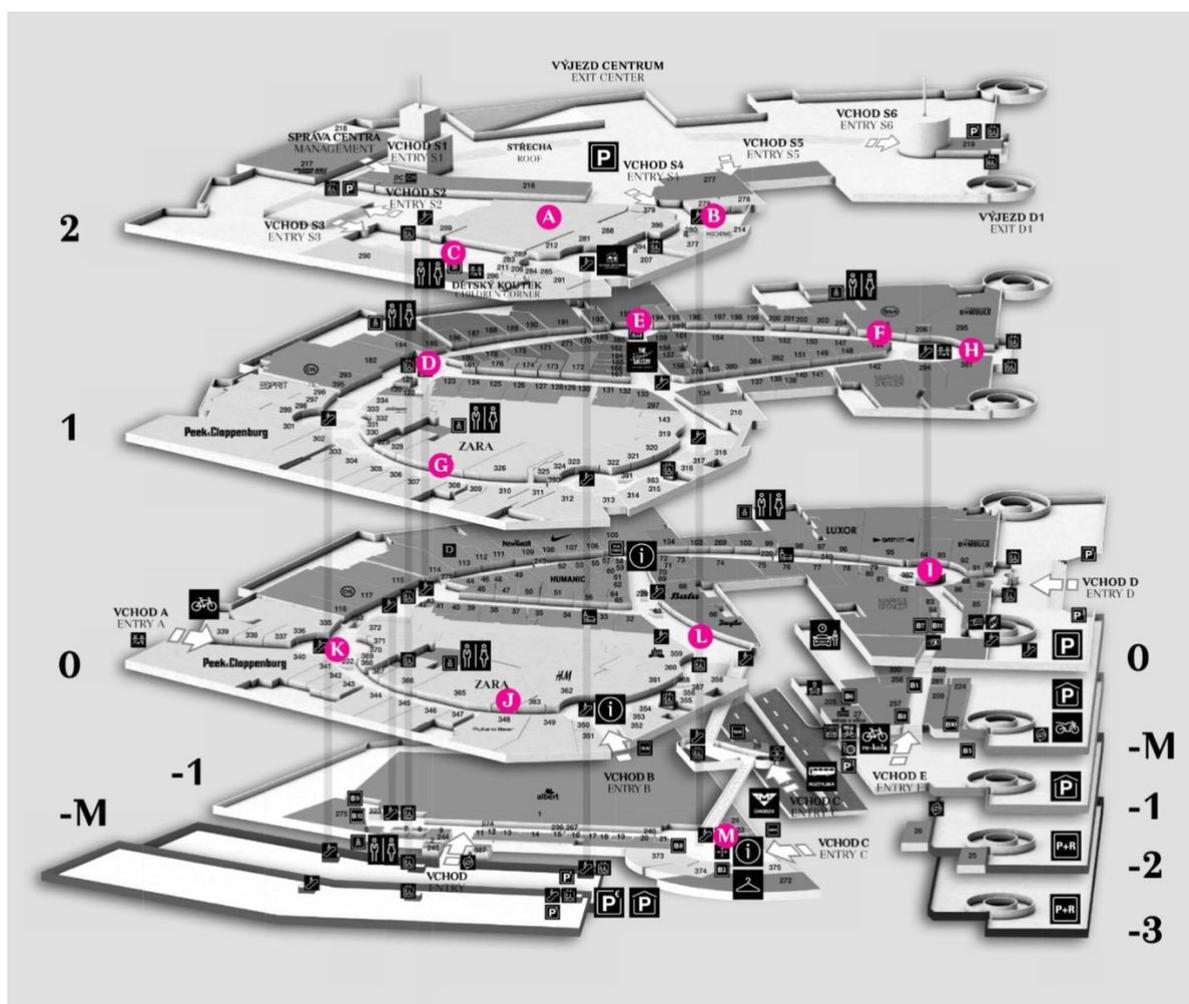
Program Eurovent poskytuje hodnocení výrobků dobrovolně, avšak Evropská komise připravila hodnocení zdrojů chladu dle SEER. SEER udává hodnoty účinnosti při částečném zatížení obdobně jako faktor ESEER. Nicméně existují rozdíly ve váhových koeficientech a způsobu stanovení dílčích chladicích faktorů. Proto není možné přímo porovnávat SEER a ESEER mezi sebou. [4], [6]

### 3. Obchodní centrum Westfield Chodov

Westfield Chodov je jedním z největších obchodních center v České republice a nachází se v městské části Prahy 11 na Chodově. Centrum je oblíbeným cílem pro nakupování, zábavu a stravování. Centrum bylo postaveno v roce 2005. V říjnu 2017 bylo po dvou a půl leté rekonstrukci rozšířeno o budovu D. Aktuální celková plocha centra je 102 266 m<sup>2</sup> a nabízí více než 300 obchodních jednotek. Pro parkování je k dispozici velké parkoviště s dostatkem míst pro návštěvníky.

Vlastníkem Westfield Chodov je francouzská firma Unibail-Rodamco-Westfield. Za projektovou dokumentaci a návrhové parametry této stavby byla zodpovědná společnost HELIKA a.s., která působila jako generální projektant.

Během modernizace prošlo centrum certifikací BREEAM, která je celosvětově uznávanou prestižní certifikací pro "zelené budovy". Tímto certifikátem se potvrzuje, že při výstavbě a provozu centra byly dodrženy vysoké standardy udržitelnosti a environmentální odpovědnosti. [18]



Obrázek 14 Plánek obchodního centra Westfield Chodov [19]

V celém objektu zajišťují výrobu a distribuci chladu celkem 3 strojovny: Strojovna Východ, Západ a novější strojovna pro objekt D. V následujících kapitolách se práce věnuje metodám stanovení potřebného chladu a popisu jednotlivých strojoven.

### 3.1. Vnější podmínky

Parametry vnějšího prostředí jsou v následující tabulce.

Tabulka 1 Parametry vnějšího prostředí [20]

	Zima	Léto
Tlak vzduchu	98 kPa	
Nadmořská výška	300 m. n. m.	
Teplota vzduchu	-12 °C (-15 °C pro vzduchotechniku)	32 °C
Entalpie vzduchu	50 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)

### 3.2. Vnitřní parametry prostředí

V následující tabulce jsou uvedeny parametry vnitřního prostředí součící k návrhu zařízení.

Tabulka 2 Parametry vnitřního prostředí [20]

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

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. [20]

### 3.3. Bilance potřeby chladícího výkonu

Potřeby chladu pro:

- tepelná zátěž pronajímatelných obchodních jednotek
- chlazení větracího vzduchu ve VZT jednotkách [20], [21]

### 3.4. Stanovení potřeby chladícího výkonu – strojovna Východ a Západ

Pro stanovení celkové potřeby chladu pro obchodní jednotky byla v technické zprávě udána potřeba chladu na 1 m<sup>2</sup> plochy obchodní jednotky. Tato hodnota je 100 W/m<sup>2</sup>. Vypočtená hodnota byla následně zvětšena o 15 % pro zajištění výkonové rezervy udané investorem.

V závislosti na velikosti pronajímatelné plochy obchodních jednotek a požadavku investora byla stanovena celková potřeba chladícího výkonu pro obchodní jednotky na  $P_{CHL}^{OJ} = 4723 \text{ kW}$ .

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

Celková potřeba chladu byla stanovena na  $P_{CHL}^{CEL} = 9753 \text{ kW}$ .

Celková potřeba chladu byla dále rozdělena do strojoven Západ a Východ

- Spotřeba pro strojovnu Východ:  $P_{CHL}^{VÝCH} = 4192 \text{ kW}$
- Spotřeba pro strojovnu Západ:  $P_{CHL}^{ZÁP} = 5561 \text{ kW}$  [20]

### 3.5. Stanovení potřeby chladícího výkonu – strojovna objekt D

Pro stanovení celkové potřeby chladu pro obchodní jednotky byla investorem definovaná hodnota měrné potřeby chladu na 1 m<sup>2</sup> plochy obchodní jednotky:

Tabulka 3 Požadavky na potřebu chladu - objekt D [21]

Obchodní jednotky	80 W/m <sup>2</sup>	Pro dimenzování zdroje chladu
	100 W/m <sup>2</sup>	Pro dimenzování rozvodů chladu
	20 W/m <sup>2</sup>	Rezerva ve strojovně pro další CHJ
Restaurace	80 W/m <sup>2</sup>	
Příprava jídel	200 W/m <sup>2</sup>	

V závislosti na velikosti pronajímatelné plochy obchodních jednotek a požadavku investora byla stanovena celková potřeba chladícího výkonu pro obchodní jednotky na  $P_{CHL}^{OJ} = 2980 \text{ kW}$ .

Potřeba chladu pro vzduchotechnické zařízení byla celkově stanovena na

$$P_{CHL}^{VZT} = 1770 \text{ kW}.$$

Celková potřeba chladu byla stanovena na  $P_{CHL}^{CEL} = 4750 \text{ kW}$ .

Dále byl z této hodnoty vypočten přípojný chladicí výkon pro návrh zdroje chladu:

$$P_{CHL}^{PRIP} = 0,7 \times P_{CHL}^{OJ} + 0,95 \times P_{CHL}^{VZT} = 0,7 \times 2980 + 0,95 \times 1770 = \mathbf{3770 \text{ kW}} \text{ [4] (6)}$$

### 3.6. Zdroje chladu – strojovna Východ a Západ

V obchodním centru Chodov je celkem 8 vodních chladicích jednotek, které mají kondenzátory chlazené vodou nebo nemrznoucí směsí. Tyto jednotky jsou chlazeny buď otevřenými nebo uzavřenými chladicími věžemi. Pro umístění těchto chladicích jednotek jsou vyhrazeny dvě strojovny:

**Strojovna východ:** 3 chladicí jednotky

**Strojovna západ:** 4 chladicí jednotky a také samostatná jednotka pro Ahold.

Z těchto strojoven jsou následně vedeny chladicí rozvody do nákupního centra. Strojovna chlazení západ je dimenzována tak, aby byla schopna zvládnout výpadek chladicí jednotky určené pro Ahold. [4]

#### 3.6.1. Technické řešení strojovny východ

Pro strojovnu východ s celkovou spotřebou chladu 4192 kW byly navrženy tři vodní chladicí jednotky:

2x TRANE RTHD E3 G3 G3 s chladicím výkonem 2 x 1417 kW

1x TRANE RTHD E3 G3 G3 s chladicím výkonem 1470 kW

Celkový výkon strojovny je tedy 4304 kW.

První dvě jednotky jsou propojeny s uzavřenými chladicími věžemi DECSA REF-C-140, které jsou zkrápěny vodou. Teplotní spád byl zvolen 6/12 °C pro chladicí vodu, 29/35 °C pro kondenzátorovou nemrznoucí směs (30 % etylenglykol) a venkovní teplota je předpokládána  $t_e = 32 \text{ °C}$ .

Třetí jednotka je spojena s otevřenou vodní chladicí věží DECSA TMR-225. Teplotní spád pro chladicí vodu na výparníku činí 6/12 °C, pro kondenzátorovou vodu je to 25,8/31,8 °C a předpokládaná venkovní teplota je opět  $t_e = 32 \text{ °C}$ .

Všechny chladicí jednotky jsou vybaveny šroubovými pomaluběžnými kompresory a používají ekologické chladivo R 134a. [22]

Chladicí jednotky umístěné ve strojovně východ jsou provozovány společně s dalším technologickým zařízením. Pro zajištění stability a minimalizaci přenosu vibrací byly tyto jednotky vybaveny pružinovými izolátory chvění ve svých umístěních. Kromě toho disponují vlastním regulačním systémem, který umožňuje plynulou regulaci chladicího výkonu v závislosti na požadovaném výkonu celého systému. Spouštění jednotek je možné provádět manuálně nebo automaticky pomocí řídicího systému MaR.

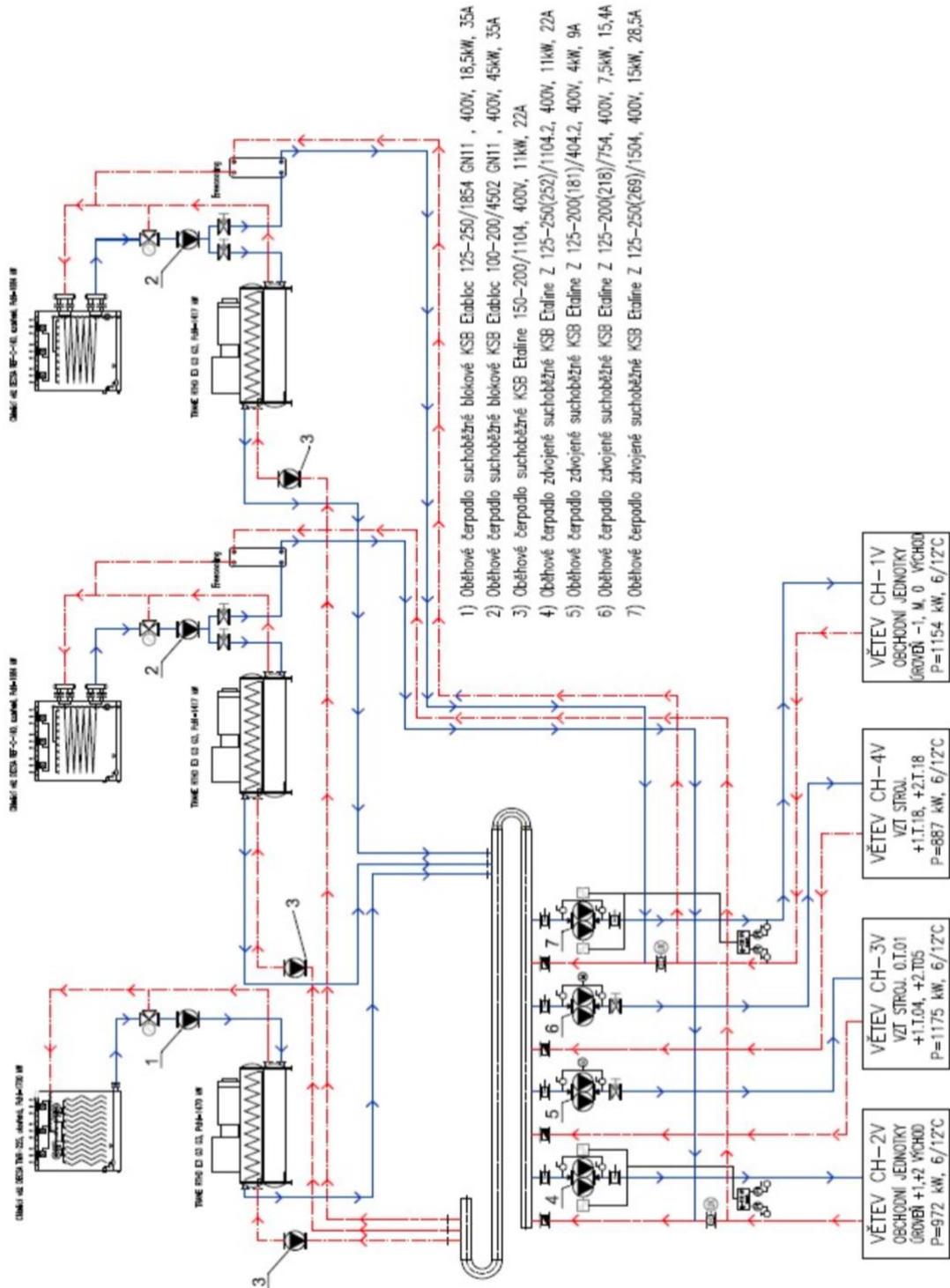
### 3.6.2. Popis funkce strojovny východ

Na následujícím obrázku je schéma strojovny Východ, kde je znázorněno celkové zapojení chladicího systému a rozvody chladu. Je patrné, že chladicí jednotky, které jsou propojeny s uzavřenými chladicími věžemi, mohou fungovat buď pomocí kompresorového chlazení nebo využitím systému volného chlazení (freecooling), ale tyto dva chladicí systémy nelze provozovat současně. V případě nedostatečného výkonu systému volného chlazení bude chladicí voda dodatečně ochlazována ve zbývající chladicí jednotce, která bude odpojena od otevřené chladicí věže pomocí třícestného ventilu.

V případě spuštění kompresorového chlazení je vracející se chladicí voda rozváděna do všech chladicích jednotek. Spínání těchto jednotek je závislé na aktuální potřebě chladu, což znamená, že mohou být v provozu všechny jednotky nebo jen některé z nich. Chladicí jednotky jsou sériově propojeny s chladicími věžemi DESCA. Pro odstavení nebo přerušování provozu chladicích věží slouží trojcestný ventil, který umožňuje návrat vody nebo etylenglykolu zpět do jednotek TRANE.

V zimních měsících mohou být v provozu pouze chladicí jednotky 2 a 3, které jsou vybaveny uzavřenými chladicími věžemi a v jejich okruhu obíhá nemrznoucí směs. Pokud teplota klesne na vhodnou úroveň, je možné využít chlazení pomocí systému freecooling. Dva deskové skládané výměníky jsou připojeny na straně zpátečky chladicí vody pro obchodní jednotky a na druhé straně do dvou věžových okruhů, a tím zajišťují volné chlazení.

V případě, že venkovní teplota poklesne natolik, že dokáže vychladit věžovou nemrznoucí směs pod teplotu vratné chladicí vody z rozvodů pro obchodní jednotky (cca 12 °C), systém automaticky přepne do režimu freecooling. To se stane uzavřením elektronické motorické klapky na zpátečce pro obchodní jednotky, čímž je vratná voda přivedena přes deskové výměníky freecoolingu. Na výtlaku věžových čerpadel se uzavřením první motorické klapky zamezí průtoku věžového média přes kondenzátor chladicí jednotky, zatímco otevřením druhé motorické klapky se umožní průtok věžové směsi přes deskový výměník freecoolingu. [22]



Obrázek 15 Schéma strojovny Východ [22]

### 3.6.3. Technické řešení strojovny západ

Pro strojovnu Západ s celkovou spotřebou chladu 5561 kW byly navrženy čtyři vodní chladicí jednotky:

2x TRANE RTHD E3 G3 G3 s chladícím výkonem 2 x 1417 kW

2x TRANE RTHD E3 G3 G3 s chladícím výkonem 1470 kW

Celkový výkon strojovny je tedy 5574 kW

První dvě jednotky jsou propojeny s uzavřenými chladicími věžemi DECSA REF-C-140, které jsou zkrápěny vodou. Teplotní spád byl zvolen 6/12 °C pro chladicí vodu, 29/35 °C pro kondenzátorovou nemrznoucí směs (30 % etylenglykol) a venkovní teplota je předpokládána  $t_e = 32$  °C.

Zbývající jednotky jsou spojeny s otevřenou vodní chladicí věží DECSA TMR-225. Teplotní spád pro chladicí vodu na výparníku činí 6/12 °C, pro kondenzátorovou vodu je to 25,8/31,8 °C a předpokládaná venkovní teplota je opět  $t_e = 32$  °C.

Všechny chladicí jednotky jsou vybaveny šroubovými pomaluběžnými kompresory a používají ekologické chladivo R 134a.

Chladicí jednotky umístěné ve strojovně Západ jsou provozovány společně s dalším technologickým zařízením. Pro zajištění stability a minimalizaci přenosu vibrací byly tyto jednotky vybaveny pružinovými izolátory chvění ve svých umístěních. Kromě toho disponují vlastním regulačním systémem, který umožňuje plynulou regulaci chladicího výkonu v závislosti na požadovaném výkonu celého systému. Spouštění jednotek je možné provádět manuálně nebo automaticky pomocí řídicího systému MaR. [22]

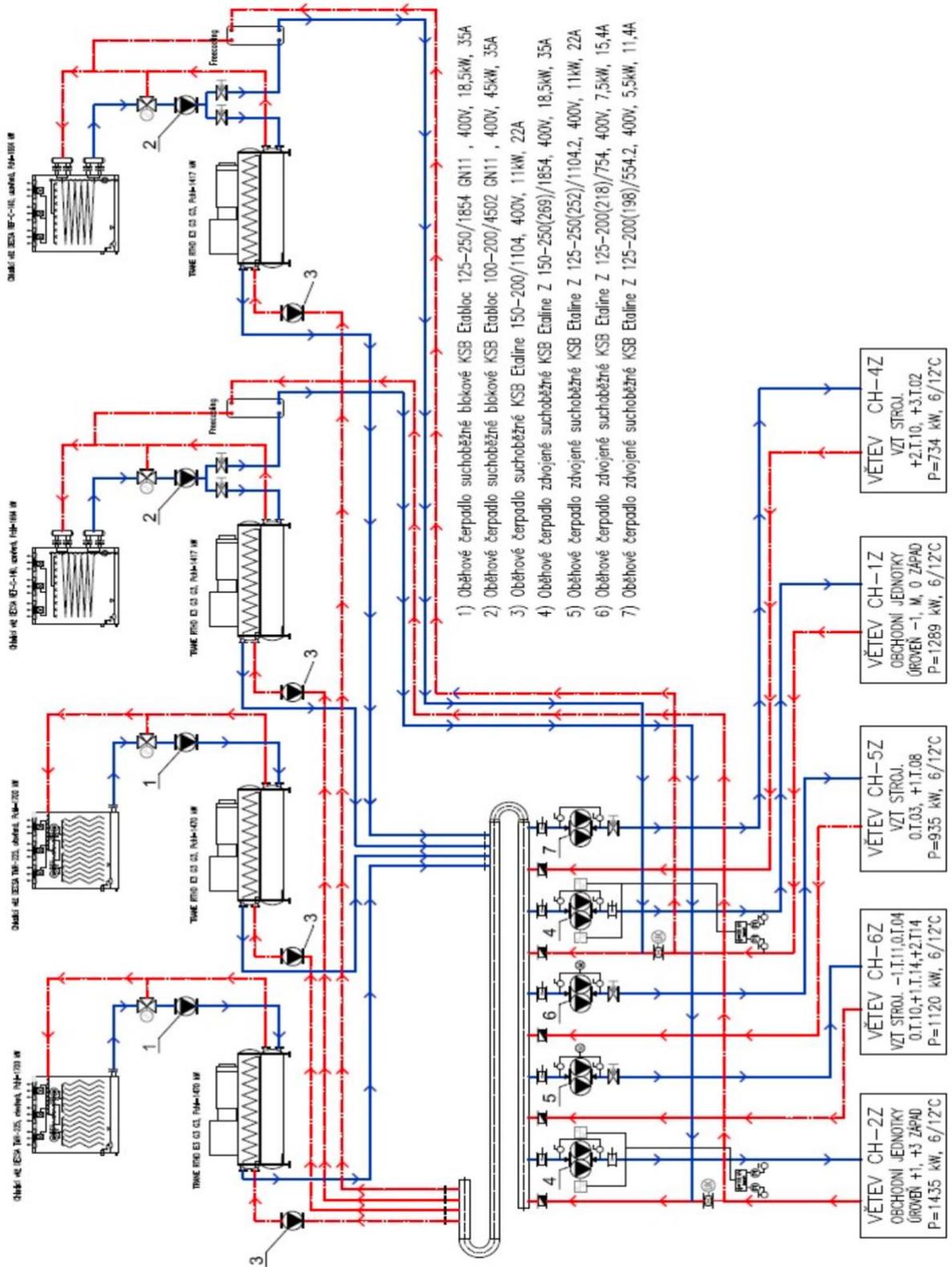
### 3.6.4. Popis funkce strojovny západ

Na následujícím obrázku je schéma strojovny Západ, kde je znázorněno celkové zapojení chladicího systému a rozvody chladu. Je zřejmé, že chladicí jednotky připojené k uzavřeným chladicími věžím mohou pracovat buď pomocí kompresorového chlazení nebo využít systém volného chlazení, ale nelze provozovat oba chladicí systémy současně. V případě nedostatečného výkonu volného chlazení, se dochlazuje chladicí voda strojně ve zbývajících dvou chladicích jednotkách, které jsou odpojeny od otevřené chladicí věže pomocí třicestného ventilu.

Pokud je spuštěno kompresorové chlazení, vracejí se voda je rozváděna do všech čtyř chladicích jednotek. Spínání těchto jednotek je závislé na aktuální potřebě chladu, což znamená, že mohou být v provozu všechny jednotky nebo jen některé z nich. Chladicí jednotky jsou sériově propojeny s chladicími věžemi DESCA.

Pro odstavení nebo přerušení provozu chladicích věží slouží trojcestný ventil, který umožňuje návrat vody nebo etylenglykolu zpět do chladicích jednotek. V zimních měsících mohou být v provozu pouze chladicí jednotky 3 a 4, které jsou vybaveny uzavřenými chladicími věžemi a v jejich okruhu obíhá nemrznoucí směs. Pokud teplota klesne na vhodnou úroveň, je možné využít chlazení pomocí systému freecooling. Dva deskové skládané výměníky jsou připojeny na straně zpátečky chladicí vody pro obchodní jednotky a na druhé straně do věžových okruhů, kde obíhá nemrznoucí směs. Tyto výměníky zajišťují volné chlazení. Pokud venkovní teplota poklesne natolik, že se věžová nemrznoucí směs dokáže ochladit pod teplotu vratné chladicí vody z rozvodů pro obchodní jednotky (cca 12 °C), systém automaticky přepne do režimu freecooling. K tomu dojde uzavřením elektronické motorické klapky na zpátečce pro obchodní jednotky, čímž se vratná voda přivede přes deskové výměníky freecoolingu, kde se

přirozeně ochlazuje pomocí věžové nemrznoucí směsi. Tímto způsobem se odebrává tepelná zátěž z nákupního centra. Na výtlaku věžových čerpadel se uzavřením první motorické klapky zamezí průtoku věžového média přes kondenzátor chladicí jednotky, zatímco otevřením druhé motorické klapky se umožní průtok věžové směsi přes deskový výměník freecoolingu. [22]



Obrázek 16 Schéma strojovny Západ [22]

V následujících tabulkách jsou uvedeny podrobnější specifikace jednotek TRANE a chladících věží:

Tabulka 4 Parametry Trane jednotek [22]

Chladicí jednotky TRANE		
	CHJ TRANE RTHD E3 G3 G3	
Médium	30% glykol	voda
Chladicí výkon	1417 kW (při 6/12, 32/26 °C a te = 32 °C)	1470,4 kW (při 6/12, 32/26 °C a te = 32 °C)
COP	5,74	6,48
Průtok chl. vody výparníkem	56 l/s	58 l/s
Tlaková ztráta výparníku	40 kPa	43 kPa
Průtok vody kondenzátorem	73 l/s	67 l/s
Tlaková ztráta kondenzátoru	32 kPa	26 kPa
El. příkon kompresoru	246,9 kW	227 kW
Startovací proud	750 A	
Max. provozní proud	490 A	
Provozní hmotnost	9882 kg	
Rozměry	1 x š x v = 3886 x 1780 x 2032 mm	

Tabulka 5 Parametry chladících věží [22]

Chladicí věže		
	CHV DECSA REF-C-140	CHV DECSA TMR-225
Chladicí médium	Pecasol	Voda
Chladicí výkon	1664 kW (při 6/12, 35/29 °C a te = 32 °C)	1697 kW (při 6/12, 31,8/25,8 °C a te = 32 °C)
Průtok média věží	72,8 l/s	67 l/s
Tlaková ztráta výměníku věže	204 kPa	-
Tlaková ztráta trysek	-	60 kPa
El příkon 2-ot. ventilátoru	45/11 kW	
El příkon vytápění vany věže	6 kW	
El. příkon zkrápěcího čerpadla	4 kW	
Provozní hmotnost	2100 kg	840 kg
Rozměry	1 x š x v = 5480 x 3880 x 5160 mm	

### 3.7. Zdroje chladu – strojovna objekt D [21]

Zdroj chladu je tvořen dvěma chladicími jednotkami od společnosti TRANE (CHJ1 a CHJ3). Pro efektivní odvod přebytečného kondenzačního tepla byly na střechu instalovány tři suché chladiče typu V-coil se systémem skrápění, který zlepšuje jejich chladicí výkon. Počet aktivních ventilátorů je určen v závislosti na teplotě nemrznoucí kapaliny, která se vrací zpět do chladících jednotek. Suché chladiče obsahují EC motory s proměnlivými otáčkami, které jsou regulovány frekvenčním měničem. V zimním období je možné využít tyto suché chladiče pro volné chlazení (freecooling). Skrápěcí systém je spuštěn při dosažení okolní teploty +22 °C a je regulován ve třech úrovních. Voda používaná ve skrápěcím systému je podrobena chemické úpravě. Výkon suchých chladičů je dimenzován pro současný letní provoz CHJ1 a CHJ3. CHJ1 může být použito současně jako zdroj chladu při potřebě chlazení a tepelné čerpadlo (TČ) v topném období, zatímco CHJ3 je využívána pouze pro výrobu chladu. V případě potřeby lze do strojovny D doplnit třetí chladicí jednotku (CHJ2), pro kterou je připravena prostorová rezerva ve strojovně. Stejně tak je navržena rezerva na střeše pro případné doplnění čtvrtého suchého chladiče odpovídajícího CHJ2.

Instalovaný výkon zdroje chladu činí:

$$\text{Celkový instalovaný výkon: } P_{CHL}^{CEL} = 3730 \text{ kW}$$

$$\text{Výkon CHJ1: } P_{CHL}^{CHJ1} = 967 \text{ kW}$$

$$\text{Výkon CHJ3: } P_{CHL}^{CHJ3} = 2785 \text{ kW}$$

CHJ1 je vybavena dvěma šroubovými kompresory, jejichž motory jsou ovládány frekvenčním měničem. Jednotka disponuje dvěma samostatnými chladicími okruhy. Je schopna pracovat s teplotami kondenzátoru až 60 °C, což umožňuje její využití také jako tepelné čerpadlo voda-voda během topného období. Regulační rozsah výkonu CHJ1 je od 25 do 100 %. V kondenzátorovém okruhu CHJ1 je také připojen výměník ZZT.

CHJ3 je vybavena jedním turbokompresorem s hnacím převodem a disponuje jedním chladicím okruhem. Regulační rozsah výkonu CHJ3 je od 13 do 100 %. Tato jednotka je speciálně navržena pouze pro výrobu chladu a je vybavena systémem freecooling, který je možné využít v přechodových obdobích, jako je jaro nebo podzim, při venkovní teplotě  $\leq 10$  °C.

Oba zdroje chladu využívají chladivo R134a. Pro distribuci chladu v obchodním centru byla použita chemicky upravená voda jako chladicí médium. Pro kondenzátorový okruh byla zvolena směs vody a 30 % etylen-glykolu, která není náchylná k zamrznání. Pro zajištění oběhu těchto médií jsou použita oběhová čerpadla s frekvenčními měniči.

Zdroje chladu jsou umístěné ve strojovně CHL +2TC01 na 3. podlaží budovy D. Nainstalovány jsou na rovné betonové podlaze s těžkou plovoucí podlahou a jsou vybaveny izolátory proti chvění. Spouštění jednotek je možné provádět ručně nebo automaticky pomocí řídicího systému. Jednotky jsou navrženy pro paralelní provoz, což umožňuje jejich nezávislý nebo současný provoz v automatickém režimu. Spouštění jednotek je řízeno v závislosti na aktuální potřebě chladu pro budovu. Celková regulace zdroje chladu je zajištěna pomocí řídicího systému MaR, který je propojen s řídicím systémem objektu (MaR BMS).

Zdroje chladu (CHJ) jsou odděleny od potrubí a stavebních konstrukcí, aby se minimalizoval hluk spojený s chlazením a vytápěním. Potrubí je pružně uloženo a zavěšeno a je odděleno a utěsněno v průchodech konstrukcemi. [21]



## **4. Analýza naměřených dat**

Tato kapitola představuje klíčovou část této diplomové práce, která se zaměřuje na provoz klimatizace v nákupním centru. Cílem této analýzy je získat důkladné poznatky a porozumění chování systému klimatizace prostřednictvím naměřených dat z elektroměrů, kalorimetrů a teplotních senzorů. Tyto získané údaje poskytují neocenitelné informace o energetické náročnosti, tepelných ztrátách a efektivitě chlazení v různých částech nákupního centra. Díky analýze naměřených dat budeme schopni identifikovat případné nedostatky, optimalizovat provozní parametry a navrhnout opatření pro zlepšení energetické účinnosti a komfortu v prostředí nákupního centra. Tato kapitola je proto klíčovým krokem k objektivnímu a důkladnému hodnocení provozu klimatizace a poskytuje důležitý základ pro následující části diplomové práce.

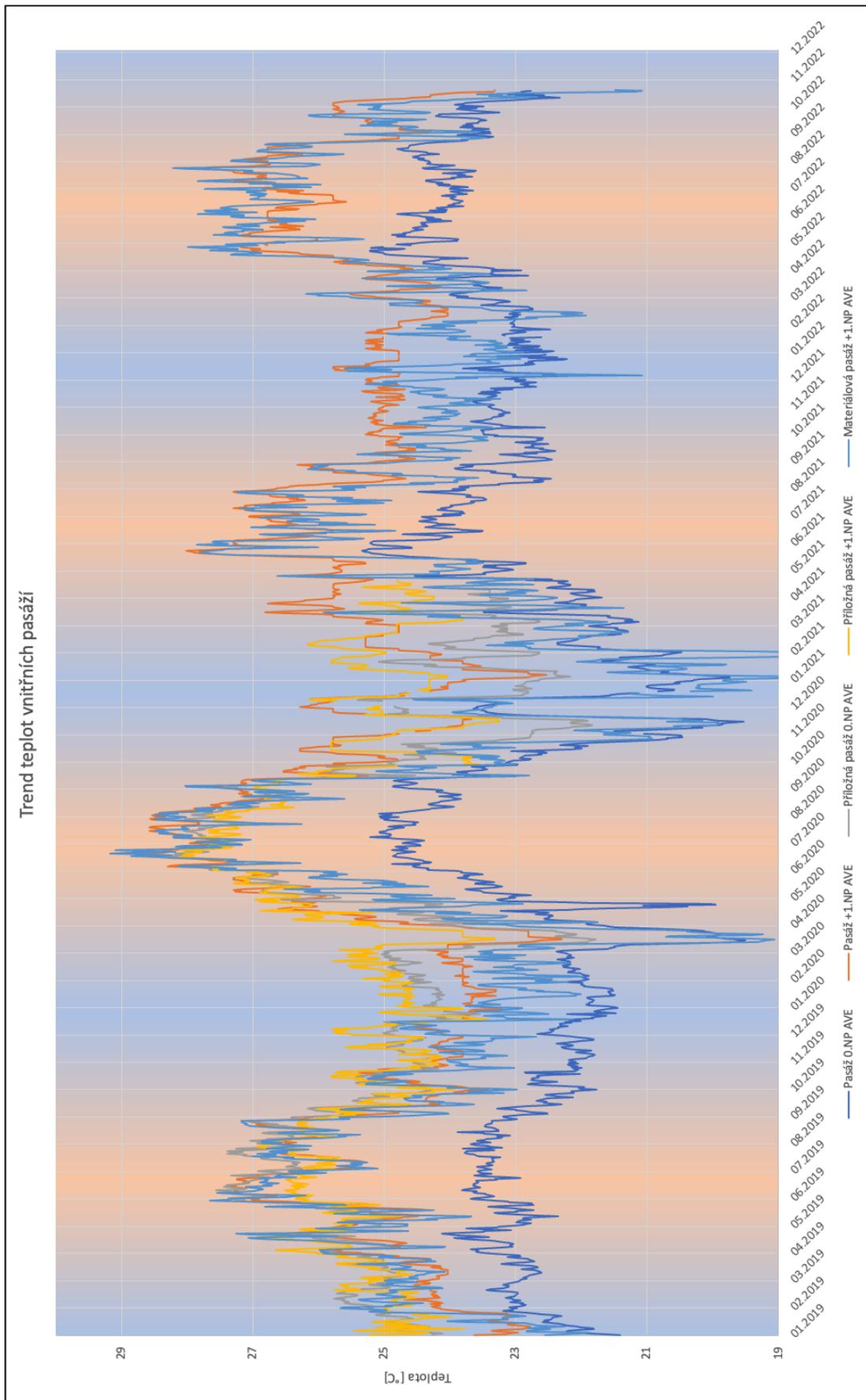
### **4.1. Úvod do analýzy naměřených dat**

Cílem této analýzy je provést detailní vyhodnocení naměřených dat, identifikovat klíčové oblasti a faktory ovlivňující provoz klimatizace a navrhnout možná zlepšení z hlediska energetické efektivity a komfortu prostředí. Analýza naměřených dat je důležitým nástrojem pro zhodnocení provozních parametrů a poskytne užitečné informace pro budoucí rozhodování v oblasti provozu klimatizačního systému.

Očekávanými výstupy této analýzy jsou konkrétní číselné hodnoty a závěry, které pomohou provozovatelům a správcům nákupního centra porozumět aktuálnímu stavu provozu klimatizace, identifikovat případné nedostatky a navrhnout efektivní opatření pro zvýšení energetické účinnosti a komfortu prostředí.

### **4.2. Vnitřní teploty**

Z denních dat, které jsou měřeny od 1.1.2019 - 31.12.2022 byly vytvořeny přehledové, srovnávací grafy. Na následujícím obrázku je graf průměrných vnitřních teplot jednotlivých pasáží za všechny 4 roky. V grafu jsou znázorněny oblasti zimy a léta. Zima je oblast s modrým pozadím, léto s oranžovým. Z tohoto grafu vyplývá jasný trend, kdy teplota ve všech vnitřních prostorech kolísá v průběhu roku. Ve všech čtyřech letech začala teplota stoupat od 1. - 2. měsíce a klesat začala v 6. - 7. měsíci. Data a grafy byly zpracovány v programu Excel.

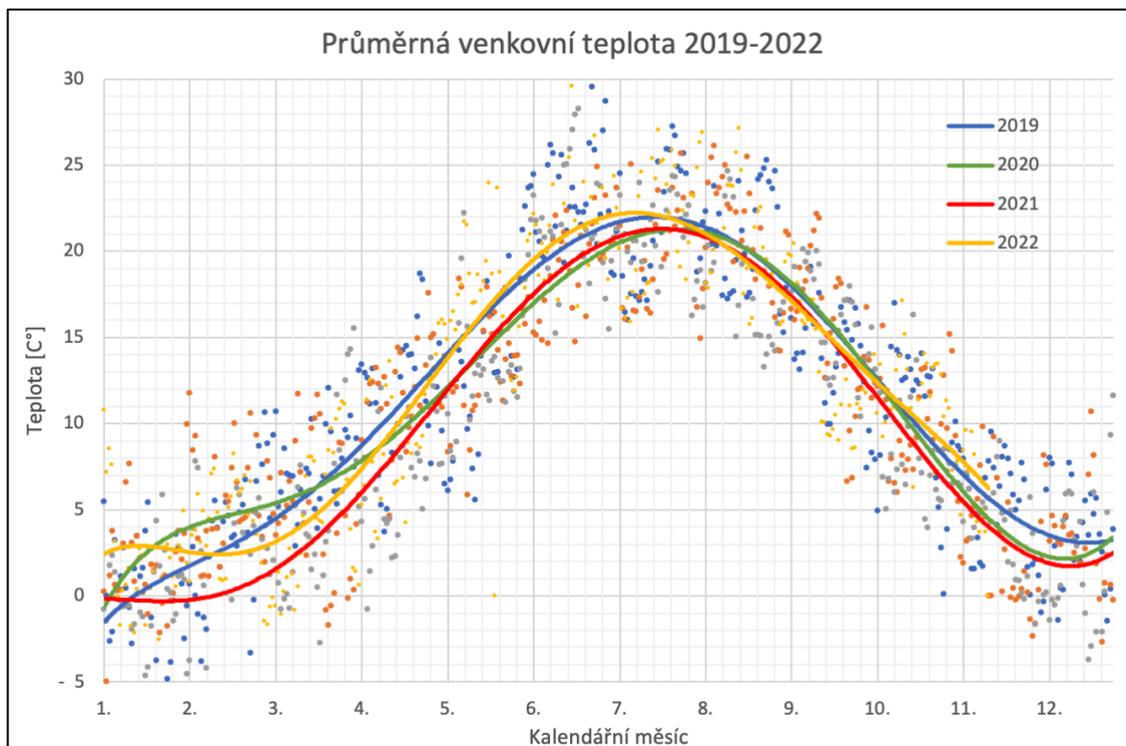


Obrázek 18 Graf průměrných teplot vnitřních prostorů

### 4.3. Venkovní teploty

V systému MaR byly naměřeny denní hodnoty venkovní teploty v období od 1.1.2019 - 31.12.2022. Systém každý den zapsal 3 hodnoty: minimální a maximální a průměrnou hodnotu teploty aktuálního dne.

V následujícím grafu jsou vyznačeny průměrné denní hodnoty za každý rok. Dále jsou data proloženy spojnicemi trendu za každý rok. Z grafu je patrné, že nejteplejší byl rok 2022 (žlutý).



Obrázek 19 Průměrné venkovní teploty 2019-2022

V následující tabulce jsou vypočteny průměry hodnot minimálních, maximálních a průměrných z denních dat za celý rok. Hodnoty jsou uvedeny ve °C. Z těchto hodnot je patrné, že rok 2022 byl nejteplejší a rok 2021 byl nejchladnější.

Tabulka 6 Porovnání venkovních teplot v jednotlivých letech

2019			2020			2021			2022		
MIN	MAX	AVG	MIN	MAX	AVG	MIN	MAX	AVG	MIN	MAX	AVG
6,95	16,01	11,27	6,63	15,52	10,88	5,72	14,42	9,80	7,74	17,23	12,30

## **4.4. Faktory ovlivňující data v období 2019-2022**

### **4.4.1. Nepřesnost naměřených dat**

K dispozici ze systému Mar byly kompletní denní hodnoty stavů podružných elektroměrů jednotlivých jednotek, chladících věží a čerpadel. Dále byl k dispozici soubor s denními daty hlavních elektroměrů celých strojoven. Po kontrole dat bylo zjištěno, že data z jednotlivých podružných elektroměrů strojovny Východ nesedí s daty elektroměru celé strojovny. V celkovém elektroměru je připočtena také spotřeba chladícího zařízení pro obchod s potravinami, který má chlazení vyřešeno samostatně. Veškerá analýza dat strojovny Východ byla tedy prováděna čistě z denních dat jednotlivých podružných elektroměrů chladících jednotek, chladících věží a čerpadel.

### **4.4.2. Pandemie Covid-19**

Tato práce se zabývá analýzou provozu klimatizačního systému v obchodním centru v období od roku 2019 do roku 2022. Tato čtyřletá doba měření dat zahrnovala období, ve kterém svět postihla pandemie Covid-19. Je třeba poznamenat, že pandemie měla významný dopad na provoz obchodního centra a tím i na naměřená data. Omezení a opatření zavedená kvůli pandemii, včetně omezení provozních hodin, počtu zákazníků a používání klimatizačního systému, způsobila změny ve spotřebě energie a měla vliv na potřeby chladu a tepla v obchodním centru. Tyto faktory byly zohledněny a diskutovány v analýze dat v rámci diplomové práce.

V České republice byla během pandemie Covid-19 v různých obdobích zavedena opatření ovlivňující provoz obchodních center. Zde je přehled některých významných omezení, která se týkala provozu obchodních center v České republice:

- Březen 2020: Na začátku pandemie byla v České republice vyhlášena nouzová situace a následně byla nařízena karanténa, která zahrnovala uzavření většiny obchodů, s výjimkou potravinových obchodů, lékáren a některých dalších nezbytných služeb.
- Květen 2020: S postupným uvolňováním opatření se obchodní centra mohla otevřít, avšak s omezením počtu zákazníků a dodržováním hygienických opatření.
- Říjen 2020: V reakci na zhoršující se epidemiologickou situaci byla vyhlášena nouzová situace a opětovně byla uzavřena většina obchodů včetně obchodních center. Potravinové obchody, lékárny a další nezbytné služby však nadále zůstaly otevřené.
- Prosinec 2020 a leden 2021: V této době byla v České republice zavedena tvrdá opatření včetně zákazu prodeje zboží mimo potravinové obchody, lékárny a další nezbytné služby.
- Květen 2021: S poklesem počtu nakažených a postupným uvolňováním opatření byla opět umožněna provozování většiny obchodů, včetně obchodních center.[23]

Z naměřených dat lze vyčíst, že provozu obchodního centra se nejvíce dotklo nařízení v prosinci 2020, které trvalo do května 2021. V této době byly takřka vypnuty všechny tři strojovny. Tento stav lze vidět na následujících grafech spotřeb elektrické energie jednotlivých strojoven.

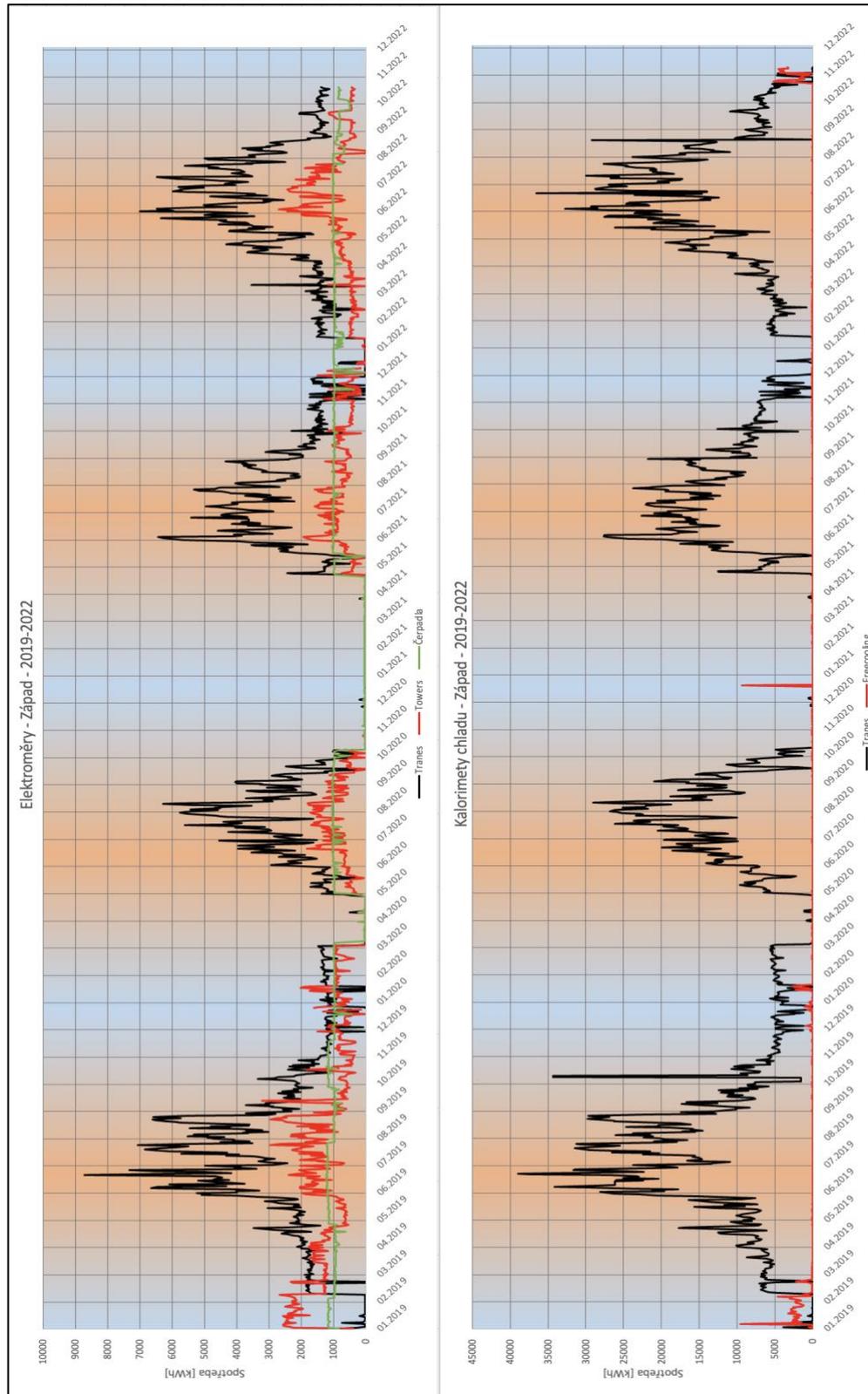
V ostatních situacích obchodní centrum nebylo úplně uzavřeno, a proto strojovny běžely. Z grafů je ale patrné, že spotřeba se v letech 2020, 2021, 2022 zmenšila oproti roku 2019, kdy pandemie začínala. První aspekt snížení celkové spotřeby je omezení provozu z důvodu nařízení vlády. Druhý aspekt je potřeba nákupního centra snížit náklady na provoz.

#### **4.4.3. Občasné výpadky měřících zařízení**

Z dat a následných grafů je patrné, že některé měřící zařízení měly občasné výpadky. Nekonzistentní data a jednotlivé odchylky byly odstraněny a nebyly použity k další analýze. Například období od 1.1.2020 - 31.3.2020 nejsou konzistentní data z hlavního elektroměru strojovny Východ. Proto byla tato data vyloučena.

#### 4.5. Srovnání dat z elektroměrů a kalorimetrů strojovny Západ 2019-2022

Na následujících dvou grafech (Obrázek 20) je celkové srovnání spotřeb elektrické energie a spotřeb chladu za roky 2019-2022 ve strojovně Západ.



Obrázek 20 Spotřeby elektrické energie a chladu za období 2019-2022, Západ

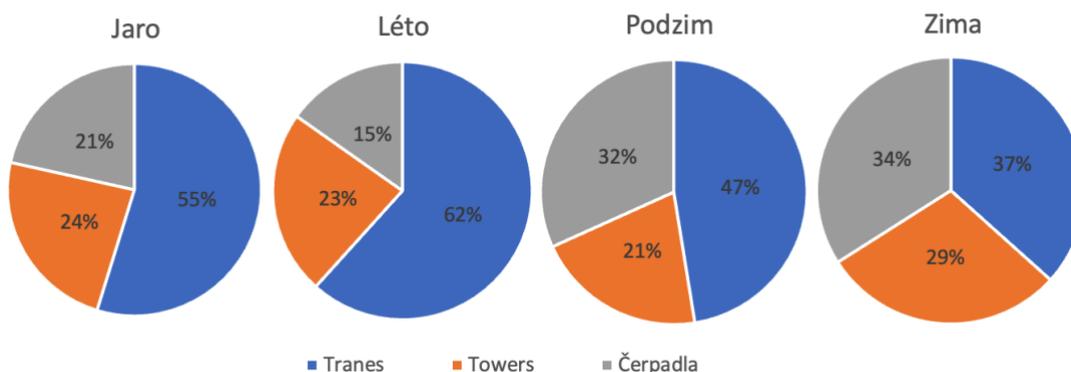
Graf elektrické spotřeby je vytvořen z denních dat elektroměrů jednotlivých zařízení ve strojovně (jednotky Trane, chladicí věže, čerpadla). Druhý graf je tvořen z denních dat kalorimetrů (kalorimetry pro jednotlivé jednotky Trane, kalorimetry pro freecooling).

Na prvním grafu je spotřeba elektrické energie Trane jednotek, chladících věží a čerpadel. Z grafu je patrné, že největší spotřeba byla vyprodukována Trane jednotkami. Jsou zde dva výpadky, které byly s největší pravděpodobností způsobeny opatřeními vlády při pandemií Covid-19. Oběhová čerpadla běžela až na dva již zmíněné výpadky neustále celý rok.

Na druhém grafu je znázorněna spotřeba chladu naměřená kalorimetry. Je zde uvedena spotřeba chladu Trane jednotek a spotřeba, kdy strojovna běžela v režimu freecooling. Z grafu je patrné, že za měřené období v režimu freecooling téměř nefungovala.

Na obou grafech bylo použito dvoubarevné pozadí. Modrá barva znázorňuje zimní období a oranžová letní období. Potřeby chladu jsou převážně v oranžových oblastech.

V následujících výšečových grafech je vyznačen poměr spotřebované elektrické energie jednotkami Trane, chladícími věžemi a čerpadly v roce 2019. Tento rok nejvíce vystihuje klasický provoz v nákupním centru, protože následující roky jsou ovlivněny pandemií Covid-19. Je vidět, že v přechodném a letním období nejvíce energie spotřebovaly jednotky Trane. Spotřeba čerpadel je nejvyšší v zimě a následuje podzim.



Obrázek 21 Porovnání spotřeb elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, strojovna Západ, 2019

Pro přehlednost výšečových grafů je zde uvedena tabulka hodnot jednotlivých spotřeb a celkový součet za určité období:

Tabulka 7 Spotřeby elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, Západ, 2019

2019	[MWh]	Tranes	Towers	Čerpadla	Celkem
	Jaro	247,83	107,43	97,37	<b>452,63</b>
	Léto	406,06	152,62	100,01	<b>658,69</b>
	Podzim	143,27	62,66	95,91	<b>301,85</b>
	Zima	89,42	71,34	82,97	<b>243,74</b>

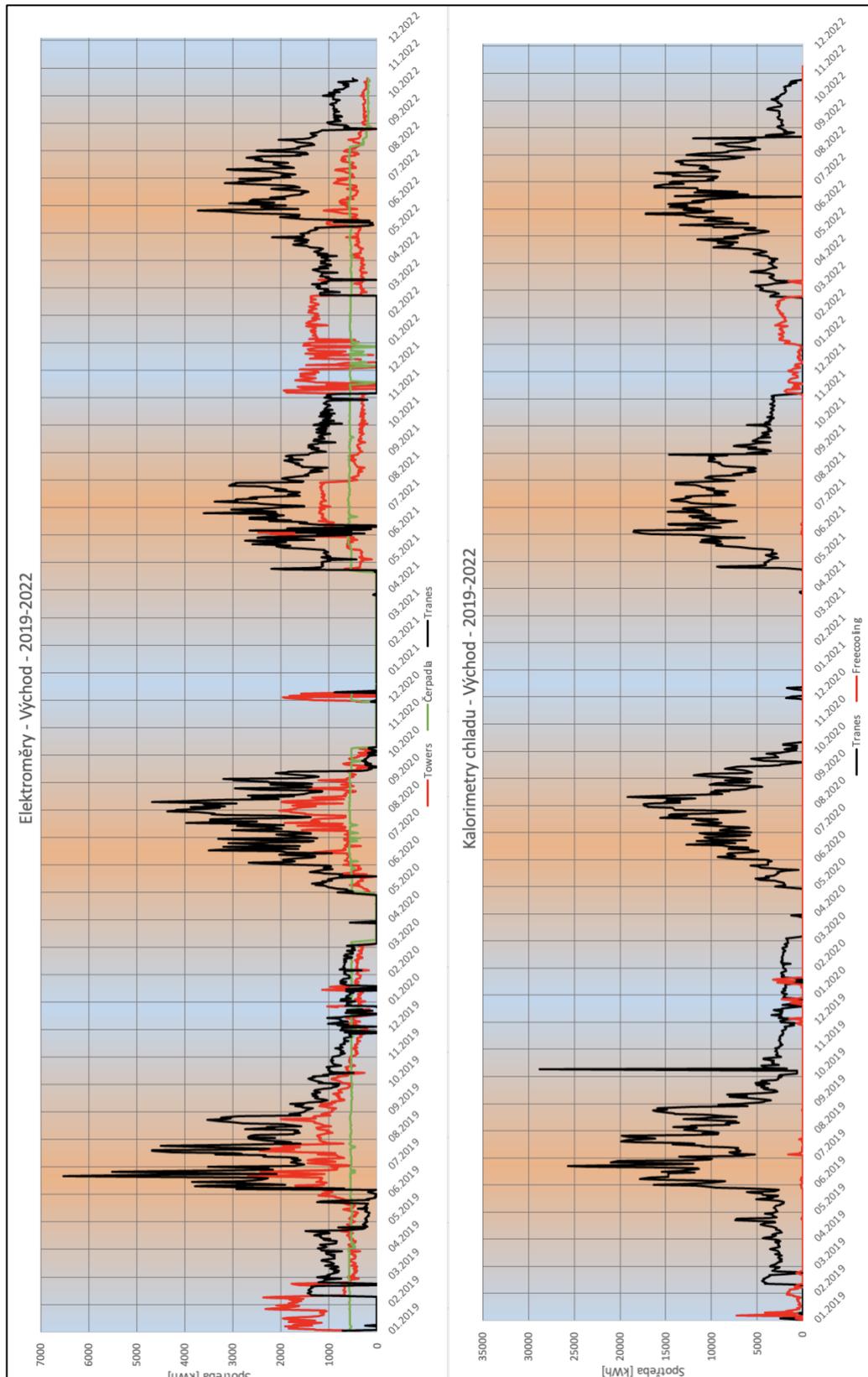
V následující tabulce jsou celkové spotřeby elektrické energie za jednotlivé roky strojovny Západ.

Tabulka 8 Spotřeby elektrické energie v jednotlivých letech-Západ

Strojovna Západ	2019	2020	2021	2022
Spotřeba elektrické energie [MWh]	1726,3	927,4	949,2	1250,8

#### 4.6. Srovnání dat z elektroměrů a kalorimetrů strojovny Východ 2019-2022

Na následujících dvou grafech (Obrázek 22) je celkové srovnání spotřeb elektrické energie a spotřeb chladu za roky 2019-2022 ve strojovně Východ.



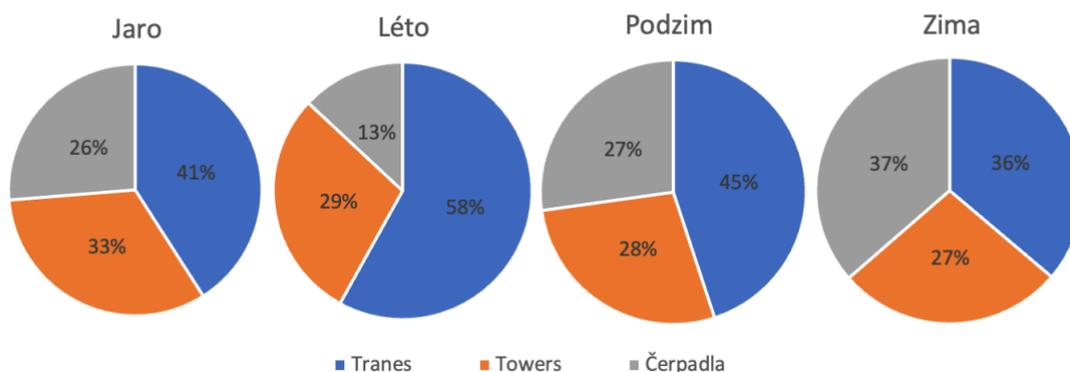
Obrázek 22 Spotřeby elektrické energie a chladu za období 2019-2022, Východ

Graf elektrické spotřeby je vytvořen z denních dat elektroměrů jednotlivých zařízení ve strojovně (jednotky Trane, chladicí věže, čerpadla). Druhý graf je tvořen z denních dat kalorimetrů (kalorimetry pro jednotlivé jednotky Trane, kalorimetry pro freecooling). Na prvním grafu je spotřeba elektrické energie Trane jednotek, chladících věží a čerpadel. Z grafu je patrné, že největší spotřeba byla vyprodukována Trane jednotkami. Jako v případě strojovny Západ jsou zde dva výpadky, které byly s největší pravděpodobností způsobeny pandemií Covid-19. Oběhová čerpadla běžela až na dva již zmíněné výpadky neustále celý rok.

Na druhém grafu je znázorněna spotřeba chladu naměřená kalorimetry. Je zde uvedena spotřeba chladu Trane jednotek a spotřeba, kdy strojovna běžela v režimu freecooling. Strojovna Východ běžela v režimu freecooling od 11. měsíce v roce 2021 do poloviny 3. měsíce v roce 2022. Provoz v režimu freecooling se také projevil na grafu spotřeby elektrické energie, kdy v tomto období byla největší spotřeba tvořena chladícími věžemi. Jednotky Trane jsou v tomto režimu zcela vypnuty.

Na obou grafech bylo použito dvoubarevné pozadí. Modrá barva znázorňuje zimní období a oranžová letní období. Potřeby chladu jsou převážně v oranžových oblastech.

V následujících výšečových grafech je vyznačen poměr spotřebované elektrické energie jednotkami Trane, chladícími věžemi a čerpadly v roce 2019. Rok 2019 nejvíce vystihuje klasický provoz v nákupním centru, protože následující roky jsou ovlivněny pandemií Covid-19. Je vidět, že v létě a na podzim nejvíce energie spotřebovaly jednotky Trane. Spotřeba čerpadel je nejvyšší v zimě.



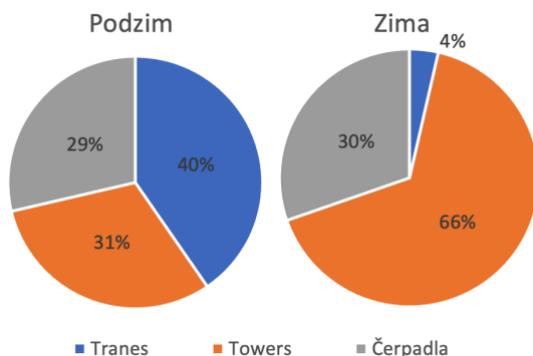
Obrázek 23 Porovnání spotřeb elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, strojovna Východ, 2019

Pro přehlednost výšečových grafů je zde uvedena tabulka hodnot jednotlivých spotřeb a celkový součet za určité období:

Tabulka 9 Spotřeby elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, Východ, 2019

2019/2020	[MWh]	Tranes	Towers	Čerpadla	Celkem
	Jaro	77,75	62,14	49,90	<b>189,79</b>
Léto	226,92	113,20	50,87	<b>390,99</b>	
Podzim	77,57	47,98	46,96	<b>172,50</b>	
Zima	44,90	33,93	45,13	<b>123,96</b>	

Dále byly vytvořeny výšečové grafy znázorňující období (podzim, zima 2021/2022), kdy ve byl strojovně aktivní režim freecooling. Celková spotřeba strojovny v zimě 2019/2020 byla 123,96 MWh. V zimě v roce 2022 strojovna spotřebovala 147,87 MWh.



Obrázek 24 Porovnání spotřeb elektrické energie, podzim-zima, strojovna Východ, 2022

Pro přehlednost výšečových grafů je zde uvedena tabulka hodnot jednotlivých spotřeb a celkový součet za určité období:

Tabulka 10 Spotřeby elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, Východ, 2022

2021/2022	[MWh]	Tranes	Towers	Čerpadla	Celkem
Podzim		69,1	52,7	48,9	170,7
Zima		5,3	97,7	44,9	147,9

V následující tabulce jsou celkové spotřeby elektrické energie za jednotlivé roky strojovny Východ.

Tabulka 11 Spotřeby elektrické energie v jednotlivých letech-Východ

Strojovna Východ	2019	2020	2021	2022
Spotřeba elektrické energie [MWh]	940,2	619,8	604,3	689,3

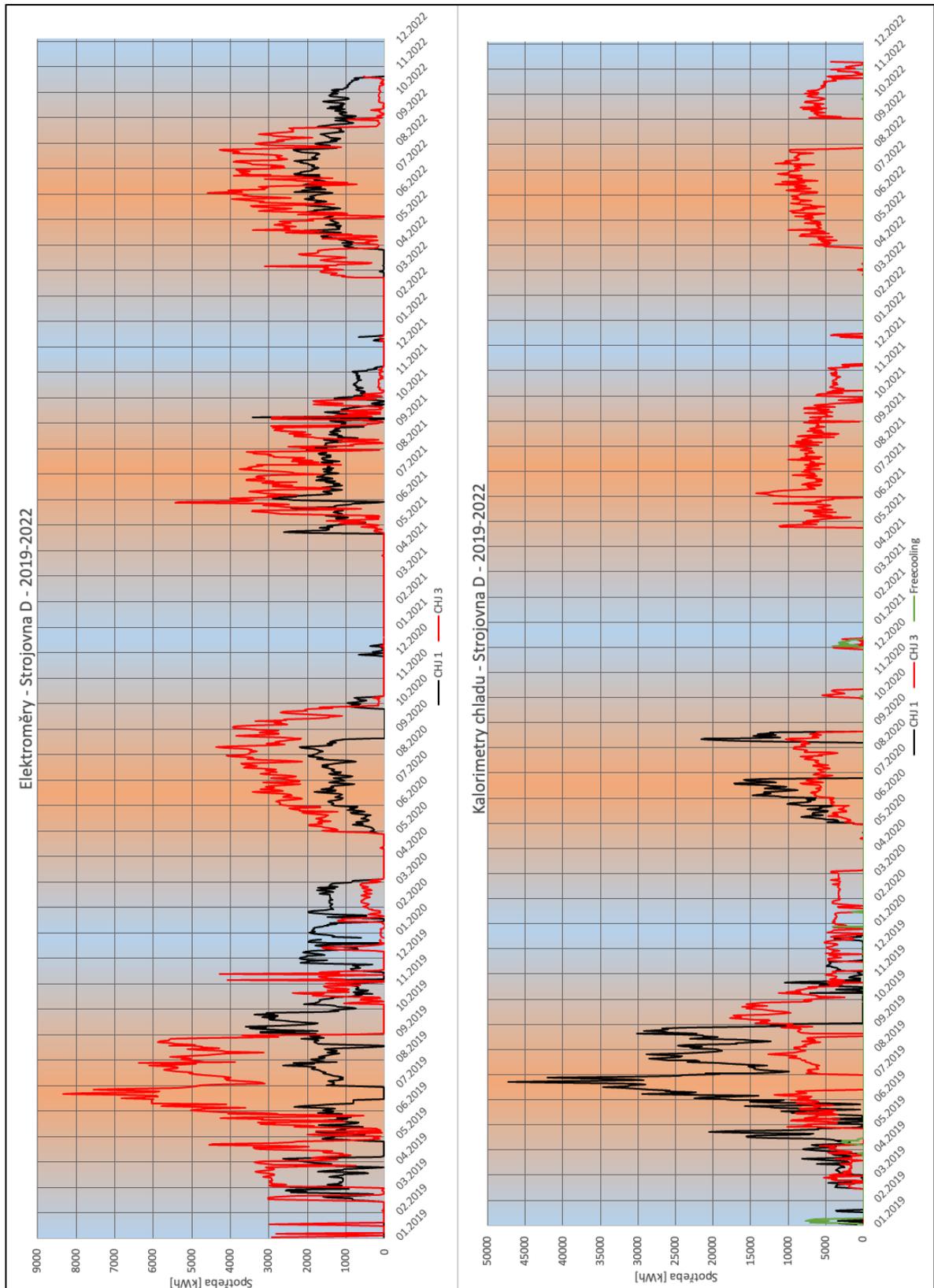
Data z tabulky byly vyneseny do grafu.



Obrázek 25 Porovnání jednotlivých let - Východ

#### 4.7. Srovnání dat z elektroměrů a kalorimetrů strojovny D 2019-2022

Na následujících dvou grafech (Obrázek 26) je celkové srovnání spotřeb elektrické energie a spotřeb chladu za roky 2019-2022 ve strojovně D.



Obrázek 26 Spotřeby elektrické energie a chladu za období 2019-2022, Strojovna D

Graf elektrické spotřeby je vytvořen z denních dat elektroměrů jednotlivých zařízení ve strojovně (CHJ 1, CHJ 3). Druhý graf je tvořen z denních dat kalorimetrů (kalorimetry pro jednotlivé jednotky CHJ 1 a CHJ 3, kalorimetr pro freecooling).

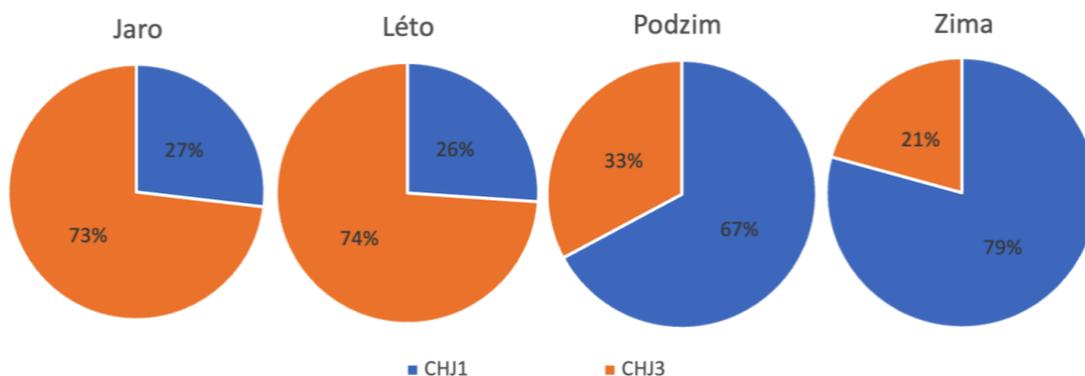
Na prvním grafu je spotřeba elektrické energie chladících jednotek CHJ 1 a CHJ 3. Z grafu je patrné, že vyšší spotřeba byla produkována chladicí jednotkou CHJ 3. Graf znázorňuje změnu nastavení regulace strojovny v jednotlivých letech. Od roku 2019 do roku 2020 byla upřednostňována jednotka CHJ 3. Od roku 2021 došlo ke změně regulace, která vedla k vyrovnanějšímu provozu chladících jednotek. Jako v případě obou strojoven Východ a Západ je zde výpadek (prosinec 2020 - duben 2021), který je spojen s pandemií Covid-19.

Na druhém grafu je znázorněna spotřeba chladu naměřená kalorimetry. Je zde uvedena spotřeba chladu chladících jednotek CHJ 1 a CHJ3 a spotřeba, kdy strojovna běžela v režimu freecooling. Zdá se, že v období od začátku roku 2021 do konce roku 2022 nefungovalo měření kalorimetru CHJ 1. Z tohoto důvodu nejsou data v grafu vynesena. V měřeném úseku Strojovna D v režimu freecooling takřka neběžela.

Na obou grafech bylo použito dvoubarevné pozadí. Modrá barva znázorňuje zimní období a oranžová letní období. Potřeby chladu jsou převážně v oranžových oblastech.

V následujících výšečových grafech je vyznačen poměr spotřebované elektrické energie chladícími jednotkami v roce 2019. Rok 2019 nejvíce vystihuje klasický provoz v nákupním centru, protože následující roky jsou ovlivněny pandemií Covid-19.

Z grafů je patrné, že došlo k prohození priority použití jednotky. Od jara do léta byla více v provozu chladicí jednotka CHJ 3. V následujícím období byla naopak chladicí jednotka CHJ 1 více v provozu. Je to pravděpodobně způsobeno nedostatečným výkonem CHJ 1.



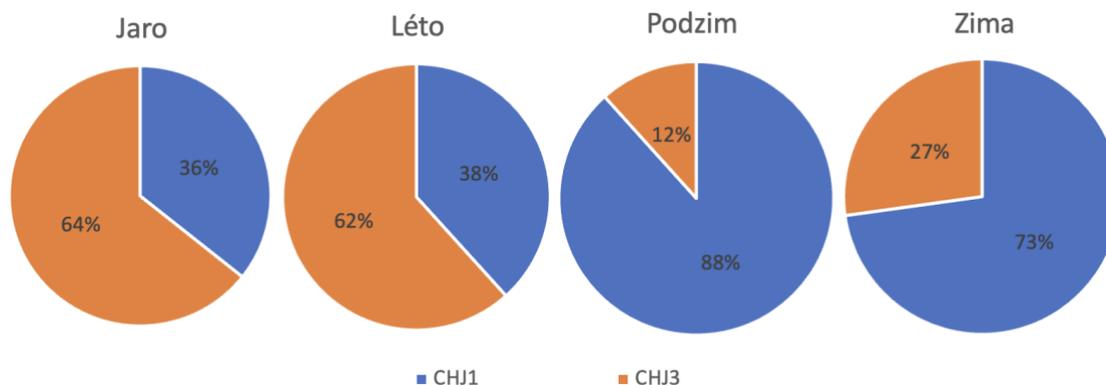
Obrázek 27 Porovnání spotřeb elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, strojovna D, 2019

Pro přehlednost výšečových grafů je zde uvedena tabulka hodnot jednotlivých spotřeb a celkový součet za určité období:

Tabulka 12 Spotřeby elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, Strojovna D, 2019

2019/2020	[MWh]	CHJ1	CHJ3	Celkem
	Jaro	90,39	246,16	<b>336,55</b>
	Léto	137,54	390,12	<b>527,66</b>
	Podzim	111,46	54,58	<b>166,04</b>
	Zima	109,38	28,58	<b>137,96</b>

Pro porovnání jsou zde uvedeny výšečové grafy jednotlivých ročních období roku 2022. Oproti roku 2019 je do provozu více zapojována jednotka CHJ1. V roce 2022 je celková úspora strojovny 37,6 %.



Obrázek 28 Porovnání spotřeb elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, strojovna D, 2022

Pro přehlednost výšečových grafů je zde uvedena tabulka hodnot jednotlivých spotřeb a celkový součet za určité období:

Tabulka 13 Spotřeby elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, Strojovna D, 2022

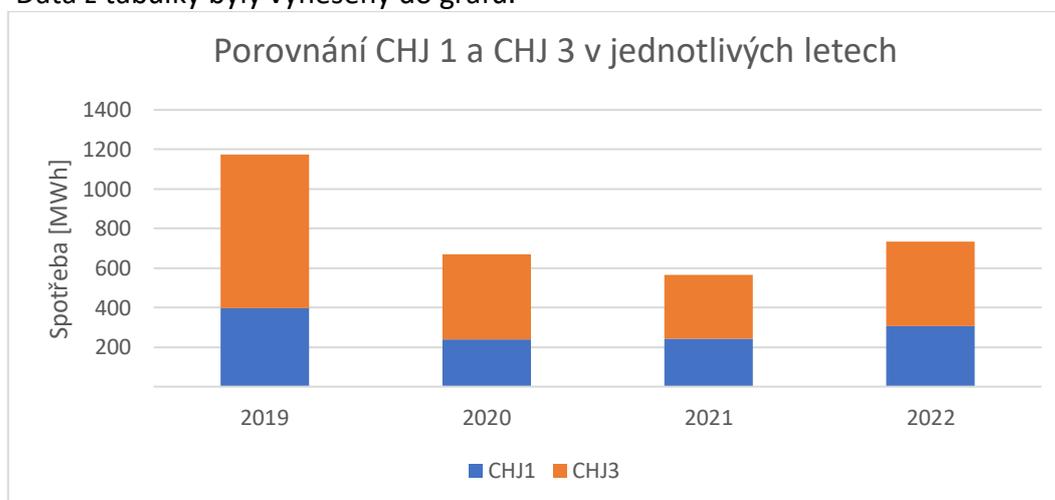
2022	[MWh]	CHJ1	CHJ3	Celkem
	Jaro	87,35	157,33	<b>244,68</b>
Léto	157,24	253,05	<b>410,29</b>	
Podzim	57,93	7,63	<b>65,56</b>	
Zima	66,29	24,77	<b>91,07</b>	

V následující tabulce jsou celkové spotřeby elektrické energie za jednotlivé roky strojovny D.

Tabulka 14 Spotřeby elektrické energie v jednotlivých letech-Strojovna D

Strojovna D	2019	2020	2021	2022
Spotřeba elektrické energie [MWh]	1173,9	670,9	566,9	732,1

Data z tabulky byly vyneseny do grafu.

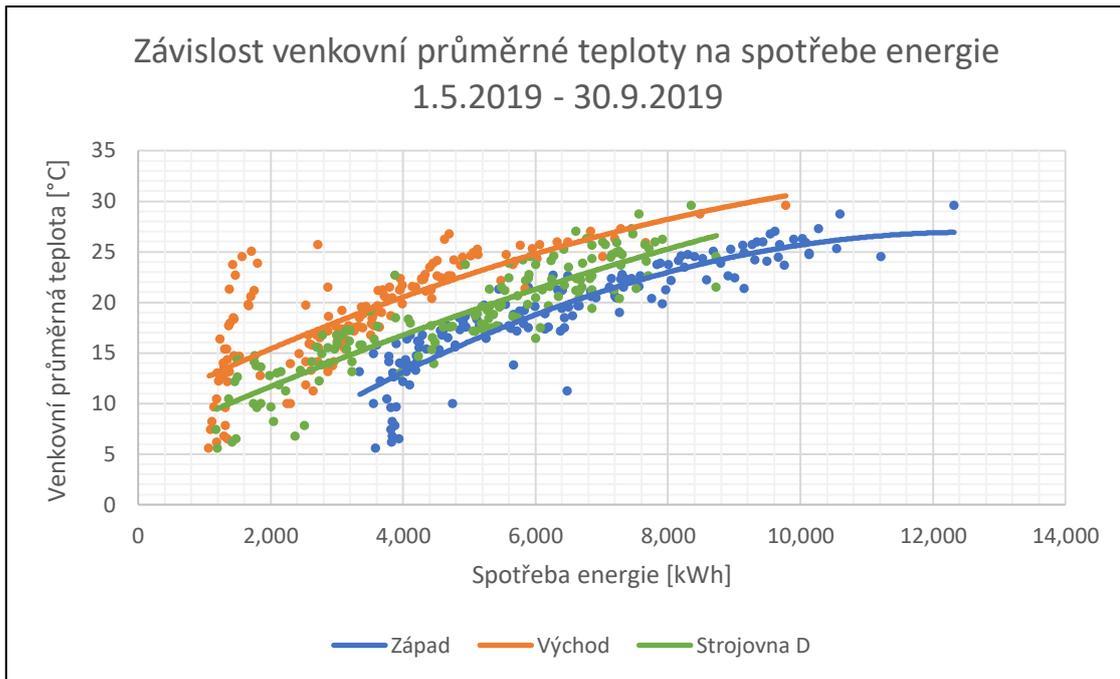


Obrázek 29 Porovnání CHJ 1 a CHJ3 v jednotlivých letech

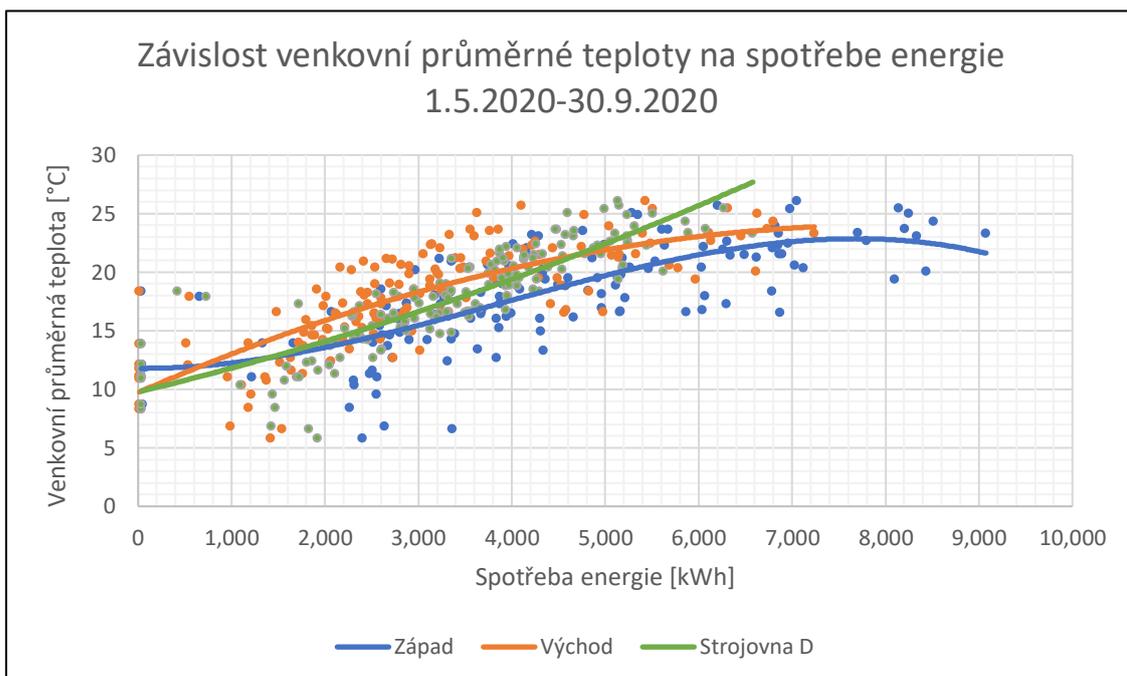
#### 4.8. Závislost spotřeby energie na venkovní průměrné teplotě

V této kapitole jsem se zabýval závislostí mezi spotřebou elektrické energie strojoven a venkovní průměrnou teplotou. Data byly zpracovány za celé 4 roky. Po analýze dat bylo vybráno období od 1.5. - 30.9. k dalšímu zpracování. V zimním období data nevycházela do závislostí, protože jsou ovlivněny například spouštěním režimu freecooling.

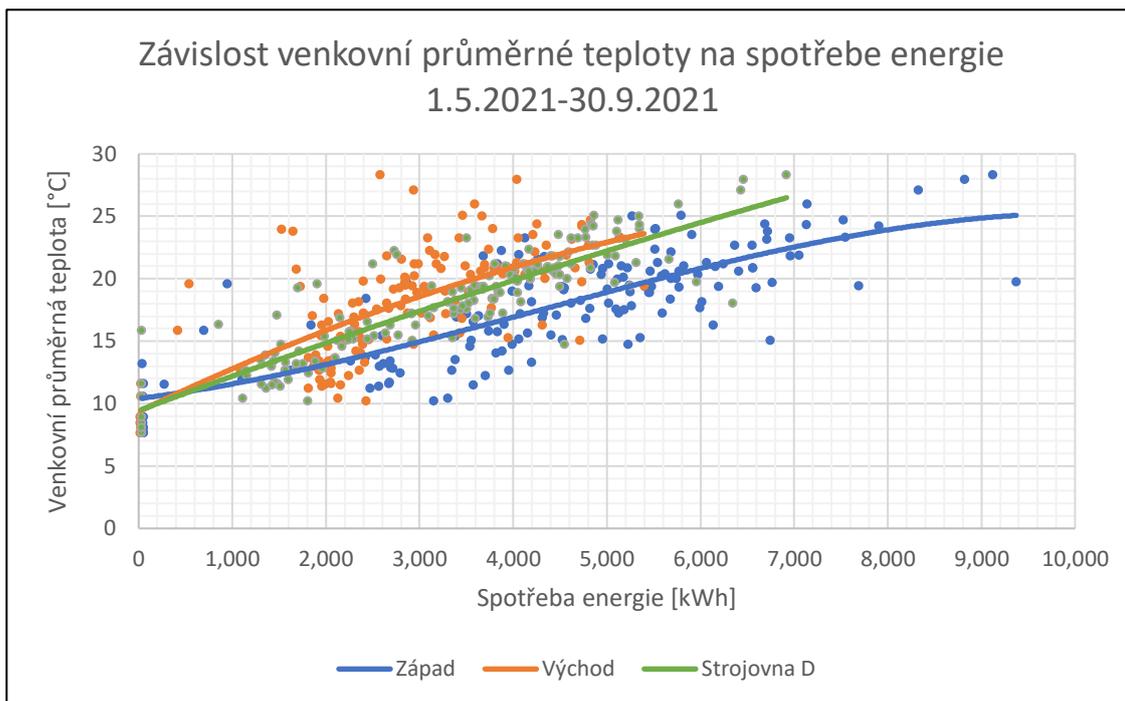
Dále byly vytvořeny grafy z dat ze zvoleného období za každý rok. Jak je vidět na následujících čtyřech grafech, s rostoucí venkovní teplotou se zvyšuje spotřeba elektrické energie všech 3 strojoven. Vyplývá z toho tedy závislost spotřebované elektrické energie na venkovní průměrné teplotě.



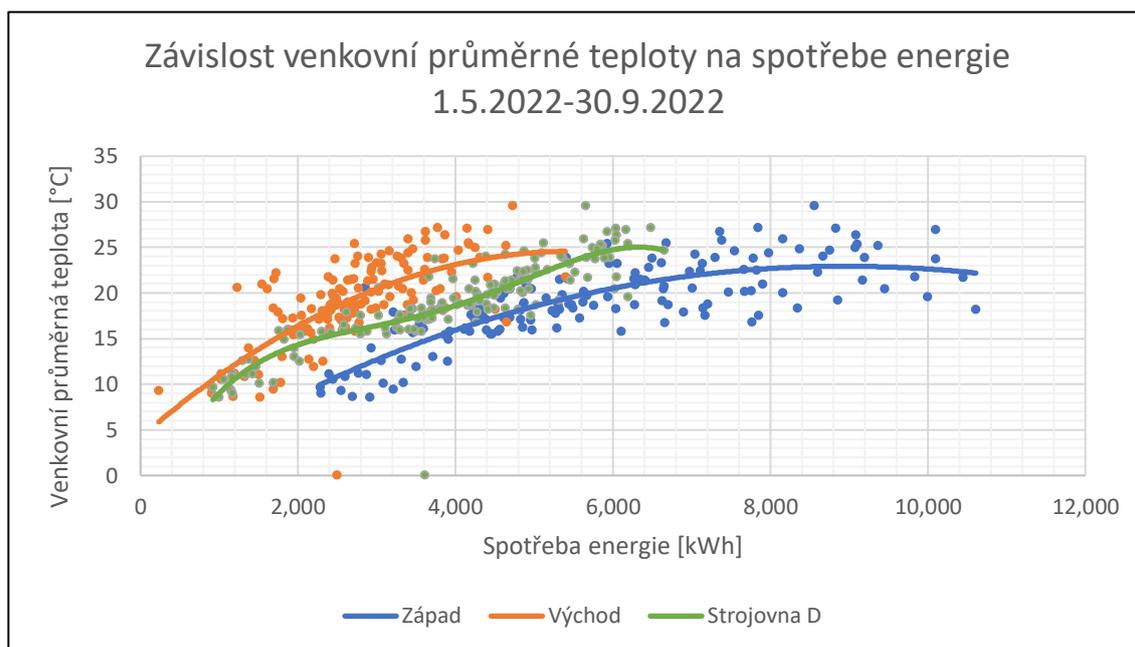
Obrázek 30 Závislost venkovní průměrné teploty na spotřebě energie - teplé období 2019



Obrázek 31 Závislost venkovní průměrné teploty na spotřebě energie - teplé období 2020



*Obrázek 32 Závislost venkovní průměrné teploty na spotřebě energie - teplé období 2021*

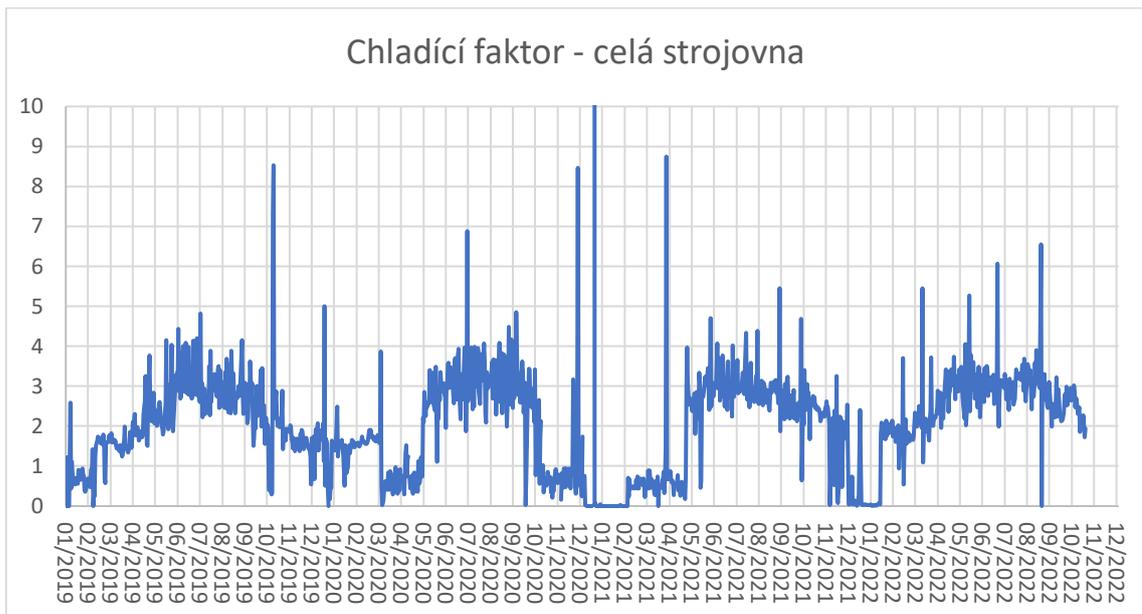


*Obrázek 33 Závislost venkovní průměrné teploty na spotřebě energie - teplé období 2022*

## 4.9. Chladící faktory

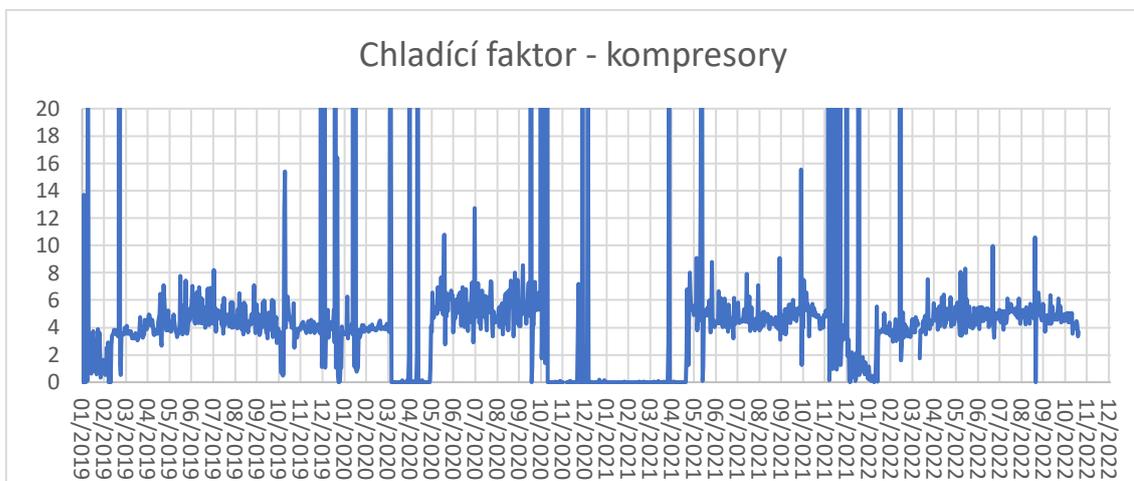
### 4.9.1. Strojovna Západ

Na následujícím grafu byl vykreslen průběh celkového chladícího faktoru strojovny Západ v čase za naměřené období 2019-2022. Tento chladící faktor je vypočten ze součtu spotřeb elektrické energie chladících jednotek, chodících věží a kompresorů a spotřeby chladu celé strojovny. Průměrná hodnota chladícího faktoru za měřené období je 2,13. Jsou zde odchylky od průměrné hodnoty, které mohou být způsobeny spuštěním režimu freecooling, testováním jednotek nebo jde o chybná data. V letních obdobích se chladící faktor celé strojovny pohybuje mezi 3 - 4.



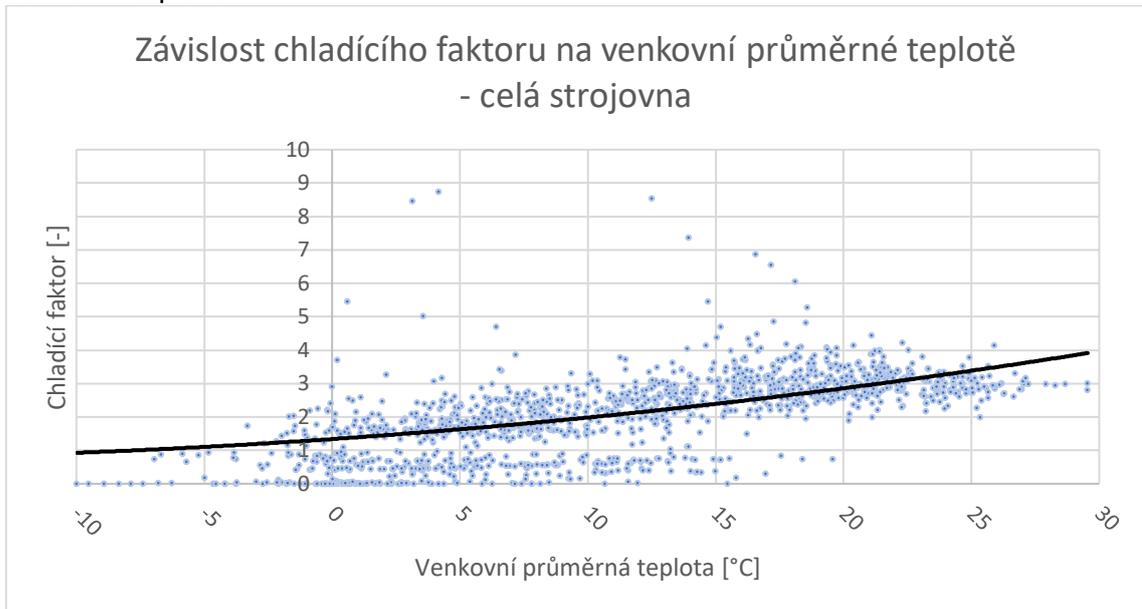
Obrázek 34 Průběh chladícího faktoru strojovny Západ v čase

Následující graf prezentuje průběh chladícího faktoru pouze chladících jednotek strojovny Západ. Průměrná hodnota chladícího faktoru za měřené období 2019-2022 je 5,9.

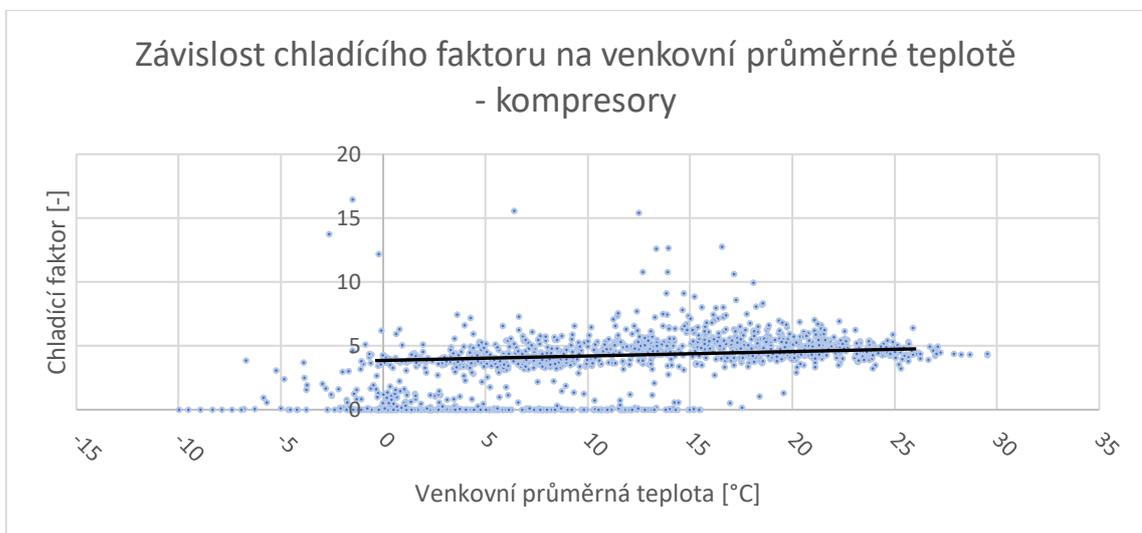


Obrázek 35 Průběh chladícího faktoru kompresorů strojovny Západ v čase

Dále byly zpracovány závislosti chladicího faktoru na průměrné venkovní teplotě. Pro celou strojovnu Zápád je trend chladicího faktoru mírně rostoucí se zvyšující se venkovní teplotou.

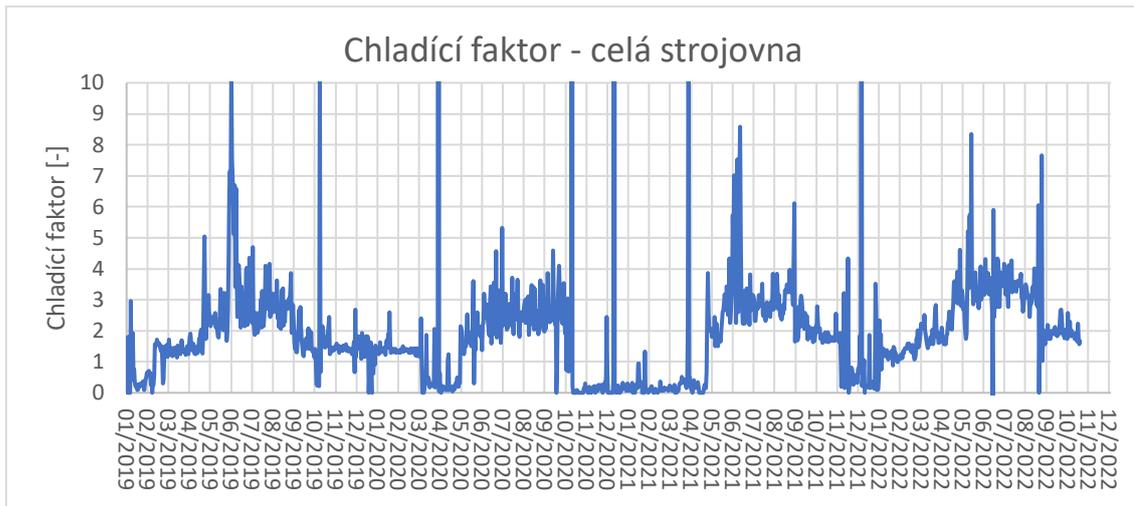


Na dalším grafu je znázorněna závislost chladicího faktoru chladících jednotek strojovny Zápád na venkovní průměrné teplotě. Trend chladicího faktoru je takřka lineární, mírně rostoucí v oblasti venkovní teploty 0 – 25 °C. Pohybuje se v hodnotách 3,5 - 5.



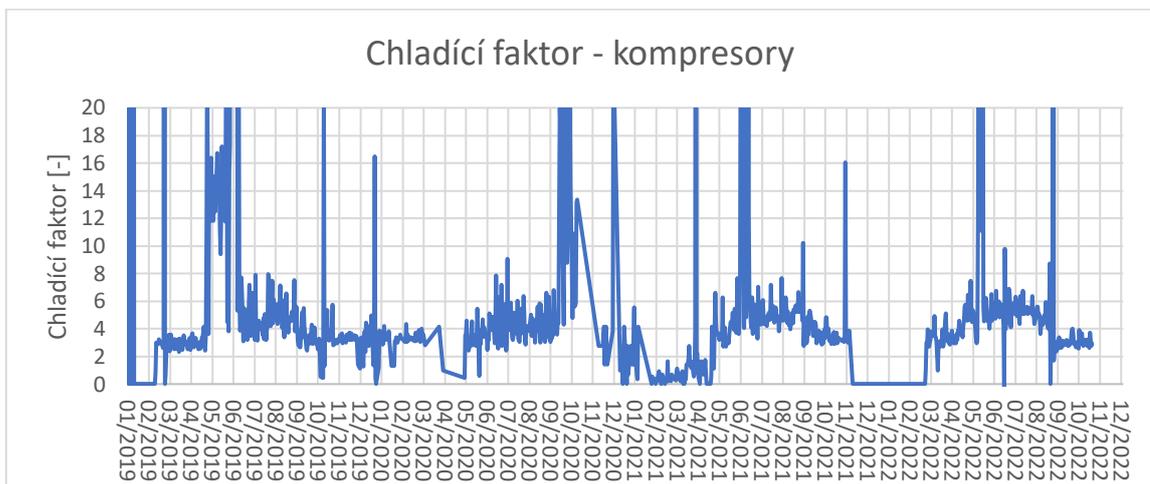
#### 4.9.2. Strojovna Východ

Na následujícím grafu byl vykreslen průběh celkového chladicího faktoru strojovny Východ v čase za naměřené období 2019-2022. Tento chladicí faktor je vypočten ze součtu spotřeb elektrické energie chladících jednotek, chodících věží a kompresorů a spotřeby chladu celé strojovny. Průměrná hodnota chladicího faktoru za měřené období je 2,08. Jsou zde odchylky od průměrné hodnoty, které mohou být způsobeny spuštěním režimu freecooling nebo testováním jednotek. V letních obdobích se chladicí faktor celé strojovny pohybuje mezi 2 - 3.



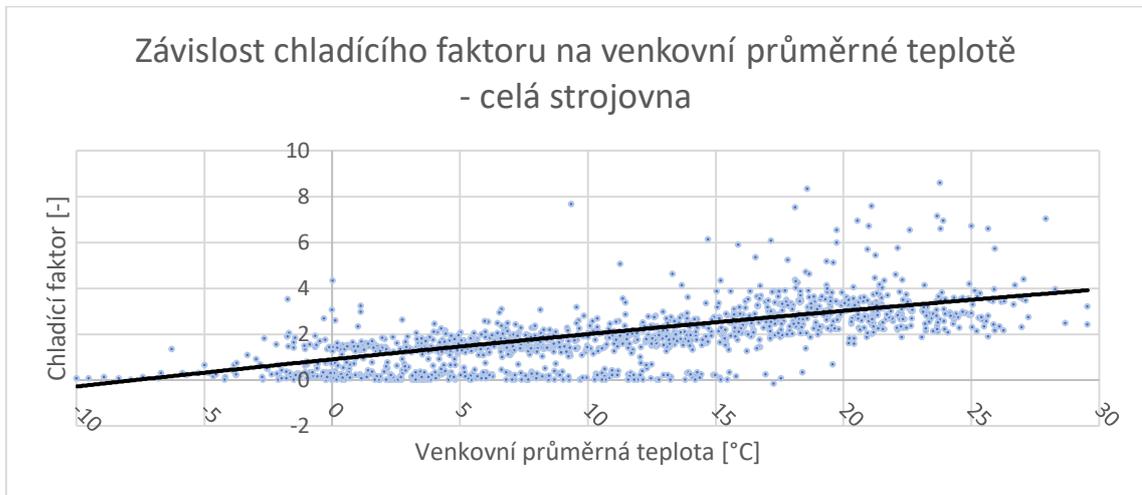
Obrázek 38 Průběh chladicího faktoru strojovny Východ v čase

Následující graf prezentuje průběh chladicího faktoru chladících jednotek strojovny Západ. Průměrná hodnota chladicího faktoru za měřené období 2019-2022 je 4,7.



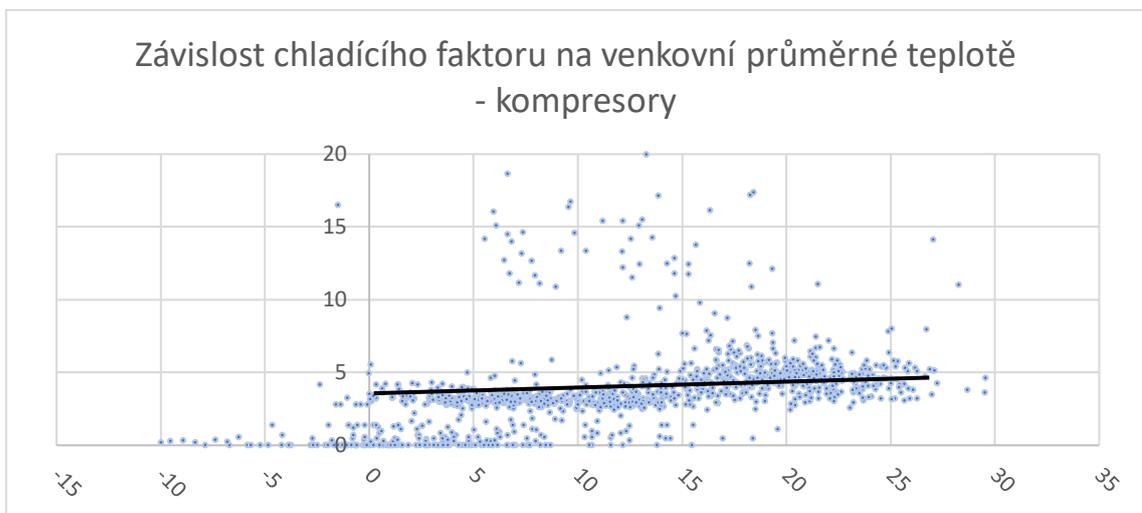
Obrázek 39 Průběh chladicího faktoru kompresorů strojovny Východ v čase

Dále byly zpracovány závislosti chladicího faktoru na průměrné venkovní teplotě. Pro celou strojovnu Východ je trend chladicího faktoru mírně rostoucí se zvyšující se venkovní teplotou.



Obrázek 40 Závislost chladicího faktoru na venkovní průměrné teplotě, Východ

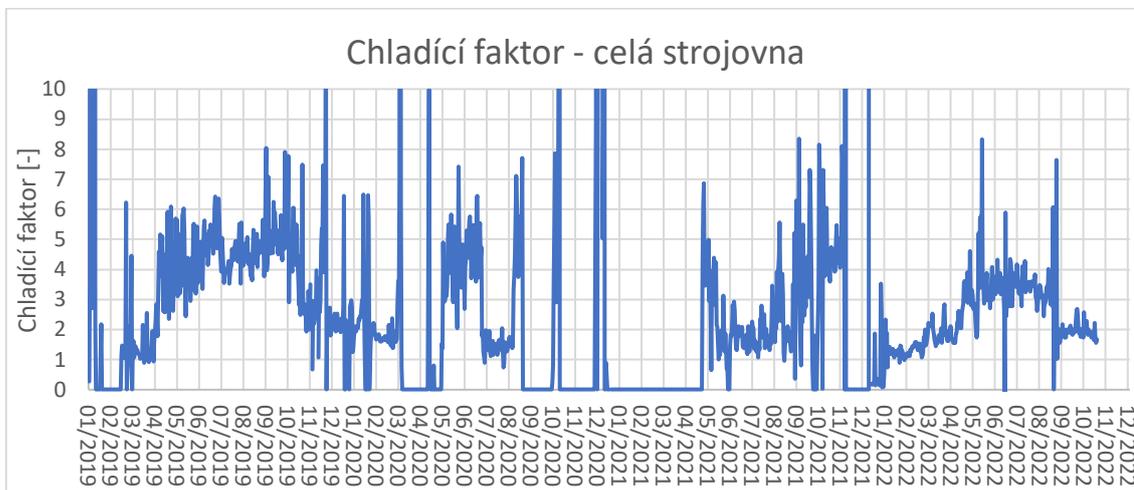
Na dalším grafu je znázorněna závislost chladicího faktoru chladících jednotek strojovny Východ na venkovní průměrné teplotě. Trend chladicího faktoru je až na několik výchylek mírně rostoucí v oblasti od 0 do 25 °C. Pohybuje se mezi 3,5 - 4,5.



Obrázek 41 Závislost chladicího faktoru na venkovní průměrné teplotě - kompresory, Východ

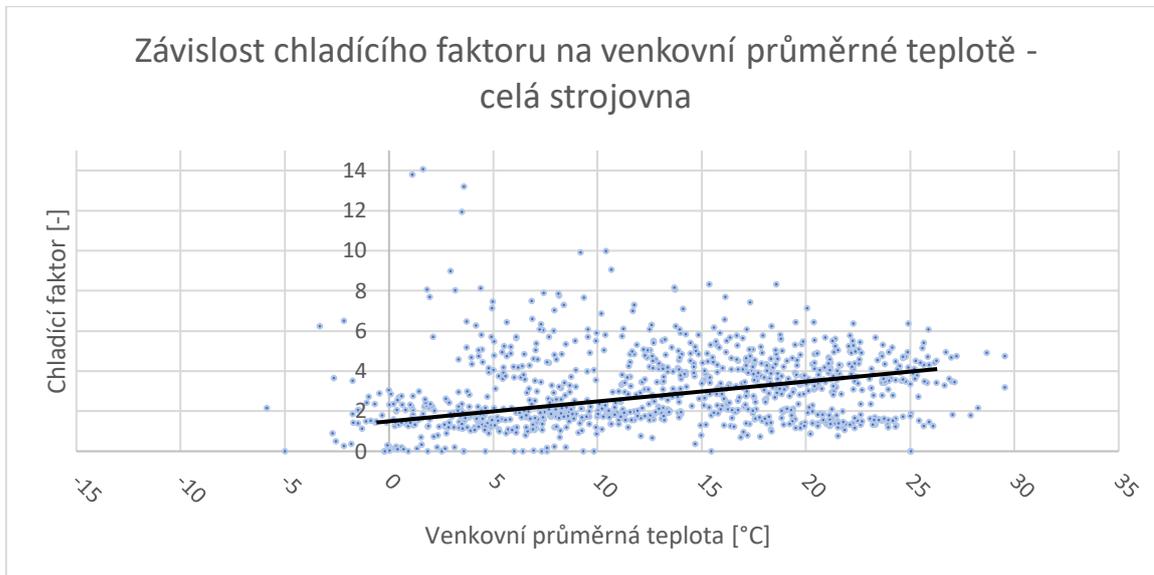
### 4.9.3. Strojovna D

Na následujícím grafu byl vykreslen průběh celkového chladicího faktoru strojovny D v čase za naměřené období 2019-2022. Průměrná hodnota chladicího faktoru za měřené období je 3,21. Jsou zde odchylky od průměrné hodnoty, které mohou být způsobeny spuštěním režimu freecooling, testováním jednotek nebo chybnými daty.



Obrázek 42 Průběh chladicího faktoru strojovny D v čase

Další graf reprezentuje závislost chladicího faktoru chladících jednotek strojovny D na venkovní průměrné teplotě. Trend chladicího faktoru je rostoucí v oblasti od 0 do 25 °C.



## 5. Návrhy na úspory

### 5.1. Freecooling

Freecooling je efektivní a ekonomicky výhodný způsob chlazení, který využívá přirozené venkovní chladné prostředí ke snižování teploty ve vnitřním prostoru bez nutnosti použití chladicích zařízení s kompresorem. V provozu klimatizačního zařízení v obchodním centru má využití freecoolingu několik výhod.

Jako hlavní výhoda je energetická úspora. Freecooling umožňuje využívat chladného venkovního vzduchu ke klimatizaci vnitřního prostoru, což snižuje potřebu provozu kompresorového chlazení. Kompresorové chlazení je energeticky náročné, zatímco freecooling využívá přirozeného chladu. Freecooling představuje udržitelnější a šetrnější volbu, která minimalizuje negativní dopady na životní prostředí.

V grafech na následující straně je vyneseno používání režimu freecooling v jednotlivých strojovnách za měřené období. Data jsou brána z denních odečtů kalorimetrů pro freecooling strojoven. Modře vybarvené pozadí označuje dobu, kdy venkovní průměrná teplota dosahuje nižších hodnot, než je potřebná hranice pro použití režimu freecooling. Toto období bylo vysledováno z naměřených venkovních teplot, kdy teplota byla pod potřebnou hranicí k freecoolingu.

Z grafů je patrné, že ani jedna ze strojoven nevyužívá celou dobu možného provozu tohoto režimu.

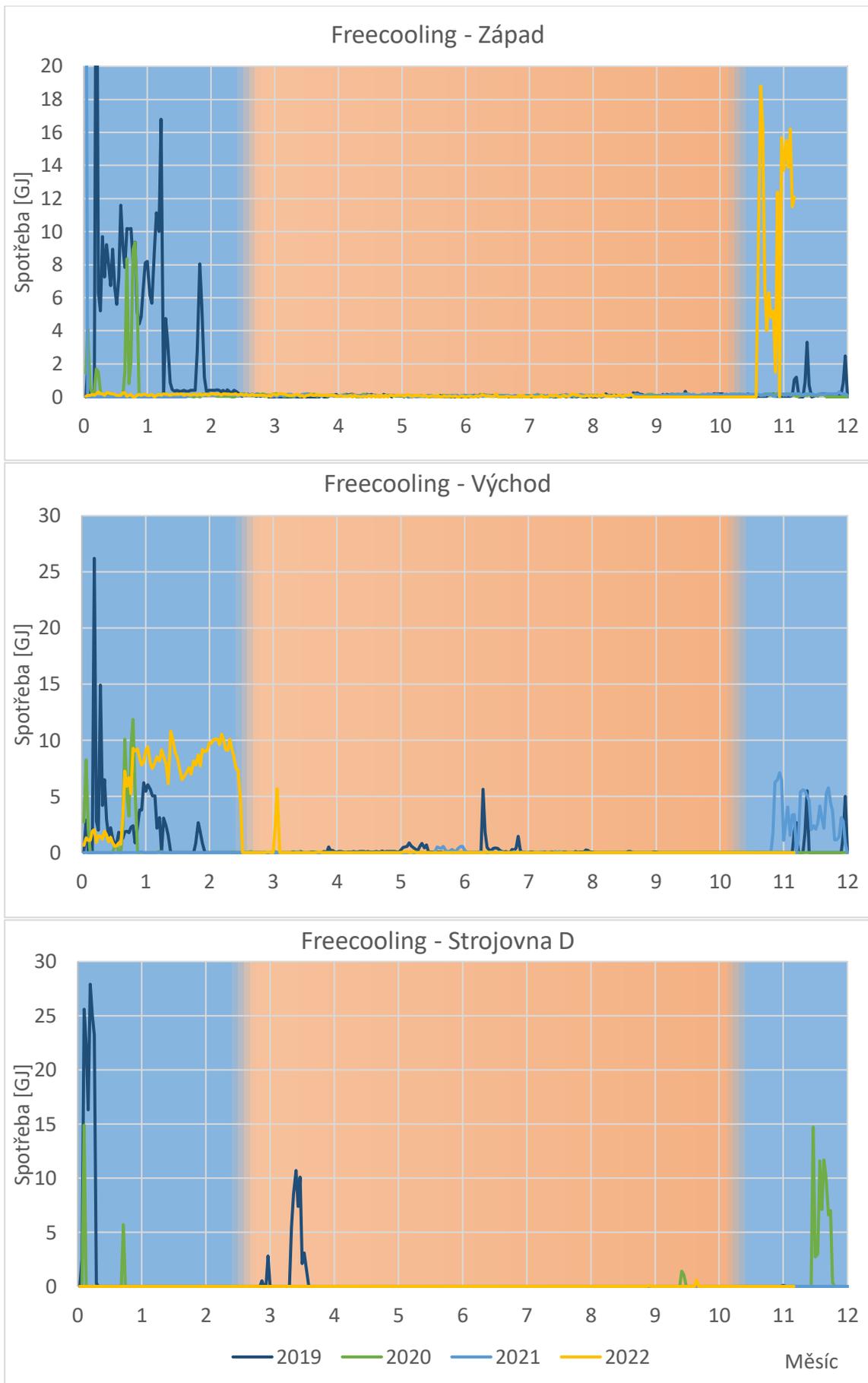
Nejvíce byl freecooling využit ve strojovně Východ. Za období 2019-2022 byla hodnota naměřená kalorimetrem 1616 GJ. Až na rok 2021 se spotřeba strojovny pohybovala okolo 500 GJ za rok.

Ve strojovně Západ byl freecooling využit převážně v období od 1.-3. měsíce 2019. Kalorimetrem bylo za tento rok naměřeno 894 GJ.

Strojovna D využívá freecooling nejméně ze všech tří strojoven. Za celé měřené období kalorimetr naměřil pouze 293 GJ. Nejaktivnější byl rok 2019, kdy byl provoz freecoolingu pravděpodobně testován.

Tabulka 15 Využití freecoolingu jednotlivými strojovnami, 2019-2022

[GJ]	2019	2020	2021	2022	Celkem
Západ	894	47	34	170	<b>1 144</b>
Východ	517	507	124	468	<b>1 616</b>
Strojovna D	195,6	96,7	0	0,7	<b>293</b>



Obrázek 43 Grafy využití freecoolingu v jednotlivých strojovnách

V kapitole 4.6 Srovnání dat z elektroměrů a kalorimetrů strojovny Východ 2019 - 2022, data ukázaly, že freecooling běžel v období od 20.11.2021 do 23.3.2022. Po následné analýze dat z této zimy 2021/2022 a zimy 2019/2020 a srovnání těchto dvou období bylo zjištěno, že strojovna Východ v režimu freecooling měla vyšší spotřebu elektrické energie než při provozu chladících jednotek. Čerpadla měla obě období takřka shodnou spotřebu. Při provozu strojovny v režimu freecooling měla strojovna o 16,2 % vyšší spotřebu než při strojovém chlazení.

*Tabulka 16 Srovnání zimy 2019/2020 a 2021/2022, freecooling, strojovna Východ*

[MWh]	Tranes	Towers	Čerpadla	<b>Celkem</b>
Zima 2019/2020	44,90	33,93	45,13	<b>123,96</b>
Zima 2021/2022	5,3	97,7	44,9	<b>147,9</b>

Režim freecooling je z principu efektivní a ekonomicky výhodný způsob chlazení. Z dat vyplývá, že v případě strojovny Východ bylo ale efektivnější použití chladících jednotek než režimu freecooling. Ukázalo se, že celková spotřeba chladících věží je vyšší než spotřeba chladících jednotek. Vliv na to mohla mít venkovní teplota roku 2022, který byl z měřeného období nejteplejší. Dále může být problém s nevhodně nastavenou regulací režimu freecooling.

Podmínky pro provoz freecoolingu byly splněny celkem 767 dní z měřeného období. Strojovna Západ využila freecooling 75 dní (10 % z celkového počtu dní), strojovna Východ 168 dní (22 %) a strojovna D 32 dní (4 %).

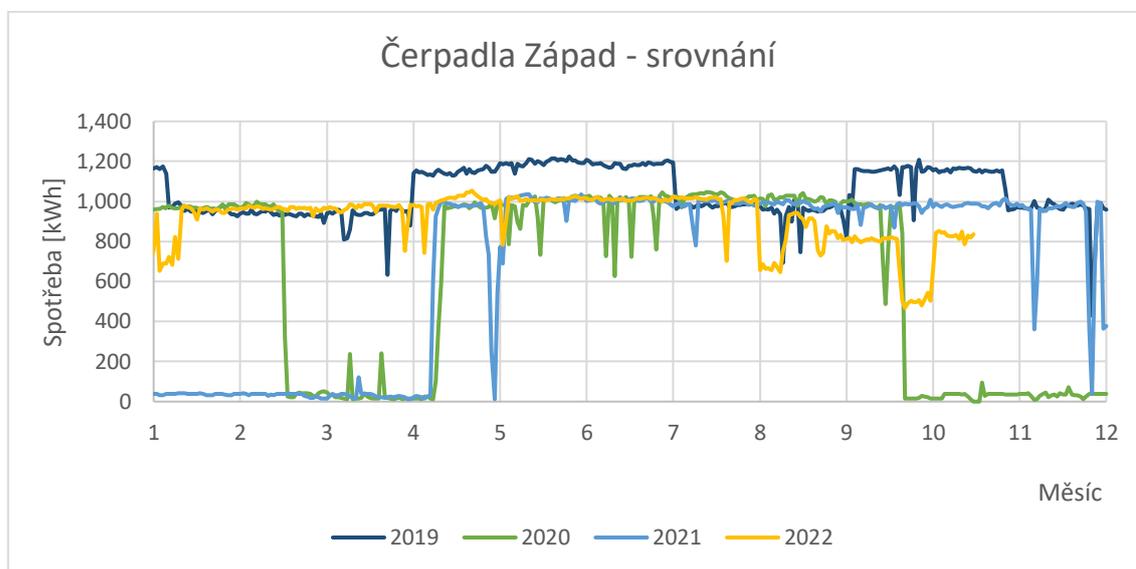
Obecné doporučení je správné nastavení regulace spouštění režimu freecooling a větší využití při splnění podmínky venkovní teploty.

## 5.2. Oběhová čerpadla ve strojovně Západ a Východ

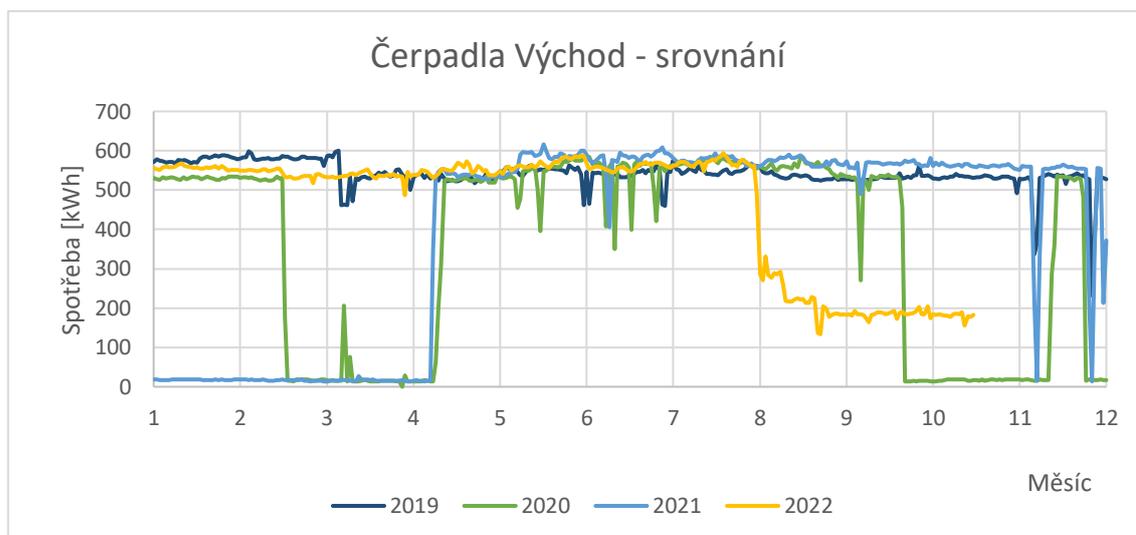
Další návrh k úspoře se zabývá oběhovými čerpadly. Momentální situace v obchodním centru je, že oběhová čerpadla strojoven Západ a Východ nemají systém regulace. Čerpadla fungují buďto na 100 % nebo jsou zcela vypnuty. V následujících grafech jsou průběhy těchto oběhových čerpadel vyneseny za jednotlivé roky. Grafy jsou vytvořeny z denních dat podružných elektroměrů. Až na občasné výchyly je provoz čerpadel konstantní.

Spotřebovaná elektrická energie čerpadly ve strojovně Západ se pohybuje okolo 950 kWh za den. Zvýšení spotřeby elektrické energie čerpadel ve strojovně Západ (v obdobích 4.-7. měsíc a 9.-11. měsíc) je pravděpodobně způsobeno technickou závadou ve strojovně.

Ve strojovně Východ čerpadla při plném provozu spotřebovali okolo 570 kWh za den. Všechna čerpadla měla dlouhodobější výpadky v letech 2020 a 2021 způsobené pandemií Covid-19. Krátkodobé výchyly jsou způsobeny nepřesnostmi dat.



Obrázek 44 Srovnání spotřeb elektrické energie oběhových čerpadel, Západ



Obrázek 45 Srovnání spotřeb elektrické energie oběhových čerpadel, Východ

Návrh pro úsporu energie je nové řešení regulace oběhových čerpadel. Místo stávajícího systému zapnuto/vypnuto by bylo nainstalováno řešení s regulací. První možnost je tříkroková regulace čerpadel, kdyby čerpadla mohla fungovat ve třech výkonech (0 %, 50 %, 100 %). Při nižší potřebě chladu by čerpadla snížila výkon na polovinu. Řízení by bylo na základě dat ze systému MaR, na aktuální potřebě.

Ideálním řešením by byla regulace čerpadel pomocí frekvenčního měniče. Čerpadla by běžela jen na takový výkon, který by byl dostačující pro správné fungování zbytku chladicího systému. Stejně jako v případě 3 krokové regulace by byly čerpadla řízeny na základě dat ze systému MaR.

Z grafu je patrné, že od srpna 2022 se změnil systém regulace. U strojovny Západ byla snížena spotřeba elektrické energie z 950 kWh na průměrně 810 kWh za den. Pokud by byl provoz čerpadel v tomto režimu, tak předpoklad je úspora z 346 750 kWh (2019) na 295 650 kWh za rok provozu. Úspora je tedy 51 100 kWh (14 %).

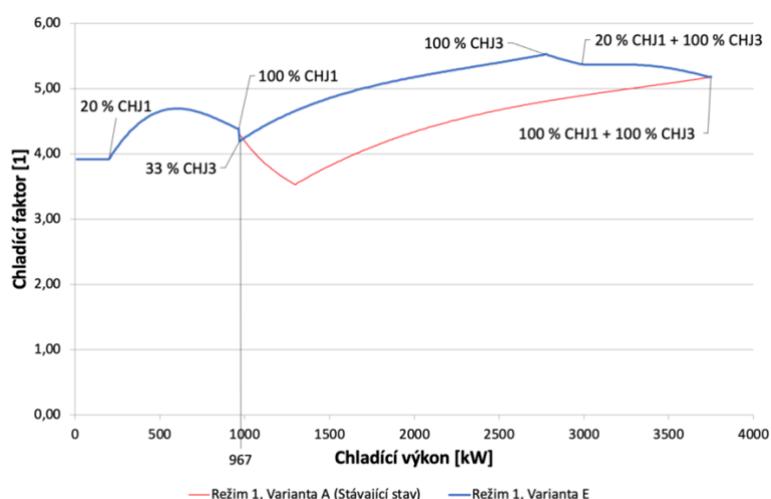
Strojovna Východ zaznamenala výraznější pokles, a to z průměrné hodnoty 570 kWh na 195 kWh. Úspora je tedy z 197 894 kWh na 71 175 kWh. Úspora je 126 719 kWh (64 %).

### 5.3. Optimalizace chodu strojovny D

V roce 2021 bylo obchodnímu centru doporučeno diplomovou prací (Chladicí faktory zdrojů chladu v nákupním centru - Karel Šteker, [16]) optimalizovat provoz strojovny D.

Dle analýzy dat, zůstal provoz v původní variantě, a to v režimu 1, kdy je upřednostňován provoz jednotky CHJ 1. K této jednotce je následně při nedostatečném výkonu připojena jednotka CHJ 3. Tento režim diplomová práce doporučovala přenastavit. Autor v diplomové práci analyzoval různé varianty spouštění CHJ 1 a CHJ 3. Zkoumal 2 provozní režimy.

Pro režim 1, který byl přizpůsoben pouze pro distribuci chladicího výkonu, byly vytvořeno čtyři optimalizační varianty provozu. Všechny varianty měly stejné provozní podmínky, ale s rozdílem v míře výkonového zatížení jednotek při jejich připojování do systému. Doporučenou a nejefektivnější variantou byla varianta E. První jednotkou, která byla připojena, byla jednotka CHJ1. Tato jednotka byla schopna produkovat chlad o výkonu maximálně 967 kW. Pokud byla potřeba vyššího chladicího výkonu, než mohla jednotka CHJ1 poskytnout, byla připojena jednotka CHJ3. Jednotka CHJ3 byla zapojena od 33 % zatížení chladicího výkonu, aby plynule navázala na potřebný výkon dodávaný jednotkou CHJ1. Poté byla jednotka CHJ1 vypnuta a chlad byl vyráběn pouze jednotkou CHJ3. V případě potřeby ještě vyššího chladicího výkonu, než byl maximální výkon jednotky CHJ3, byla znovu připojena jednotka CHJ1 od 20 % až do 100 % zatížení chladicího výkonu. [16]



Obrázek 46 Srovnání chladicího faktoru strojovny mezi stávajícím stavem a variantou E v provozním režimu 1 [16]

Zapojením jednotek podle varianty E je možné průměrně zvýšit chladicí faktor strojovny o 0,58, což významně snižuje provozní náklady strojovny D. Podle naměřených hodnot bylo zjištěno, že v provozním režimu 1 lze změnou nastavení dle varianty E snížit dodávanou elektrickou energii o až 91 960 kWh·rok-1 při zachování stejné produkce chladu ve srovnání se stávajícím nastavením provozního režimu 1. [16]

Doporučení je tedy přenastavit systém provozu chladících jednotek CHJ 1 a CHJ 3 ve strojovně D podle návrhu diplomové práce.

## 6. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo analyzovat provoz klimatizace v obchodním centru Westfield Chodov a navrhnout možnosti úspor energie.

Tato práce se v úvodních dvou kapitolách zaměřuje na význam úpravy vzduchu v obchodních centrech a vysvětluje problémy související s klimatizací a důležitost optimalizace provozu pro snížení spotřeby energií. Následující kapitola poskytuje podrobný popis různých typů klimatizačních systémů a jejich klasifikaci. Dále jsou v kapitolách uvedeny informace o zdrojích chladu, které se běžně používají v klimatizačních systémech. Samostatná kapitola je věnována systému volného chlazení - freecooling. Jsou zde vysvětleny různé metody volného chlazení a jejich výhody. Závěr této části obsahuje kapitolu věnovanou chladícím faktorům, kde jsou popsány faktory EER, ESEER a SEER. Tyto faktory slouží k hodnocení účinnosti klimatizačních systémů.

V další části práce je podrobně popsán systém chlazení v obchodním centru Westfield Chodov. Podrobněji byly rozepsány vnějších a vnitřních parametry, na základě, kterých byly navrženy potřeby chladícího výkonu ve všech třech strojovnách. Dále jsou v práci popsány metody stanovení potřebného chladu a konkrétní parametry a technické řešení strojoven Západ, Východ a D. Všechny informace byly získány z technických zpráv příslušných strojoven.

V samotné analýze dat byly zpracovány naměřená data za období od roku 2019-2022. V rámci měření bylo využito několik druhů měřicích zařízení. Pro monitorování spotřeby elektrické energie celých strojoven jsou použity elektroměry. Ty poskytují informace o celkové spotřebě elektrické energie jednotlivých strojoven. Pro detailnější analýzu jsou instalovány podružné elektroměry, které měří spotřebu jednotlivých zařízení ve strojovnách. Kromě toho byly využity teplotní senzory, které monitorovaly venkovní teplotu a teploty v různých částech nákupního centra. Pro měření spotřeby chladu jednotlivých zařízení ve strojovnách byly použity kalorimetry. Ty umožňují přesné monitorování spotřeby chladu a poskytují důležitá data pro analýzu energetické efektivity systémů chlazení. Využití těchto různých senzorů a měřicích zařízení umožnilo získat komplexní a detailní informace o provozu a energetické spotřebě obchodního centra.

V měřeném období 2019-2022 se objevují faktory, které ovlivnily naměřená data analýzy provozu klimatizačního systému v obchodním centru. Při kontrole dat byla zjištěna nepřesnost naměřených dat z elektroměrů. Konkrétně bylo zjištěno, že data z podružných elektroměrů strojovny Východ neodpovídají datům z elektroměru celé strojovny. To bylo způsobeno tím, že v celkovém elektroměru byla zahrnuta i spotřeba chladícího zařízení pro obchod s potravinami, který měl samostatný systém chlazení. Analyzovány byly tedy pouze denní data z jednotlivých podružných elektroměrů chladících jednotek, chladících věží a čerpadel strojovny Východ. Pandemie Covid-19 měla významný dopad na provoz obchodního centra a tím i na naměřená data. Omezení a opatření zavedená kvůli pandemii způsobila změny ve spotřebě energie a potřebách

chladu a tepla. Posledním faktorem jsou občasné výpadky měřících zařízení, které vedly k nekonzistentním datům. Tyto data nebyla použita v analýze.

V rámci diplomové práce byly také diskutovány chladící faktory, které jsou důležité pro hodnocení účinnosti klimatizačního systému. Na základě analýzy naměřených dat byly vypočteny hodnoty chladících faktorů pro jednotlivé strojovny a chladící jednotky.

Na základě analýzy byly navrženy možnosti úspor energie. Jednou z nich je využití freecoolingu, což je technika, při které se využívá venkovní vzduch pro chlazení budovy, čímž se snižuje spotřeba elektrické energie na kompresorové chlazení. V obchodním centru přináší freecooling několik výhod, jako je energetická úspora a šetrnost k životnímu prostředí. Grafy zaznamenávají používání freecoolingu ve strojovnách během měřeného období. V grafech jsou vynesena data z kalorimetrů. Strojovna Východ využila freecooling nejvíce. V období 2019–2022 kalorimetr naměřil 1616 GJ. Strojovny Západ a D měly nižší využití freecoolingu, s hodnotami 894 GJ a 293 GJ. Analýza dat ukázala, že ve strojovně Východ byl provoz freecoolingu méně efektivní než při chlazení kompresorovými jednotkami. Chlazení v režimu freecooling mělo vyšší spotřebu elektrické energie o 16,2 %. Doporučeno je správné nastavení regulace freecoolingu a větší využití při splnění podmínek venkovní teploty.

Další návrh k úspoře energie v obchodním centru se zaměřuje na regulaci oběhových čerpadel. Současný systém, kde čerpadla pracují buď na plný výkon nebo jsou vypnuta, by byl nahrazen novým řešením s regulací. Možnosti zahrnují tříkrokovou regulaci čerpadel nebo jejich řízení pomocí frekvenčního měniče. Grafy zaznamenávají provoz čerpadel za jednotlivé roky. Výkyvy dat jsou způsobeny technickými závadami a nepřesnostmi těchto dat při měření. Od srpna 2022 došlo ke snížení spotřeby elektrické energie čerpadel ve strojovně Západ z 950 kWh na průměrně 810 kWh za den, což by představovalo úsporu 51 100 kWh (14 %) za rok. Ve strojovně Východ byla spotřeba snížena z průměrných 570 kWh na 195 kWh, což by přineslo úsporu 126 719 kWh (64 %) za rok.

Poslední návrh k úspoře souvisí s provozem strojovny D. V roce 2021 bylo obchodnímu centru doporučeno, diplomovou prací "Chladící faktory zdrojů chladu v nákupním centru" od Karla Štekera, přenastavit provoz chladících jednotek CHJ 1 a CHJ 3 ve strojovně D. V této diplomové práci bylo analyzováno více variant provozu chladících jednotek ve Strojovně D. Doporučená varianta E zahrnuje optimalizaci spouštění a připojování jednotek v závislosti na potřebách chladicího výkonu. Tato změna v provozním režimu umožňuje efektivnější distribuci chladicího výkonu a snižuje provozní náklady strojovny D. Průměrné zvýšení chladicího faktoru strojovny je o 0,58 a úspora elektrické energie až 91 960 kWh za rok. Doporučení je tedy implementovat přenastavení provozu chladících jednotek podle varianty E na základě této diplomové práce.

Celkově lze konstatovat, že diplomová práce splnila svůj cíl. Byly identifikovány možnosti úspor energie v provozu klimatizace v obchodním centru Westfield Chodov a navrženy konkrétní opatření pro optimalizaci provozu.

## 7.Zdroje

- [1] M. Avantaggiato, A. Belleri, U. F. Oberegger, a W. Pasut, „Unlocking thermal comfort in transitional spaces: A field study in three Italian shopping centres", *Build. Environ.*, roč. 188, s. 107428, led. 2021, doi: 10.1016/j.buildenv.2020.107428.
- [2] Prof. Ing. František Drkal, CSc. Ing. Miloš Lain, Ph.D. a Ing. Jan Schwarzer, Ph.D. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D., *KLIMATIZACE A PRŮMYSLOVÁ VZDUCHOTECHNIKA*, 2009. vyd. Praha.
- [3] „Airconditioning unit cs.svg.png".  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/43/Air\\_conditioning\\_unit-cs.svg/1920px-Air\\_conditioning\\_unit-cs.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/43/Air_conditioning_unit-cs.svg/1920px-Air_conditioning_unit-cs.svg.png) (viděno 6. červen 2023).
- [4] KARNAS Daniel, „Diplomová práce - Spotřeba energie pro chlazení obchodního centra", ČVUT Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí.
- [5] „Systémy klimatizačních zařízení: Vzduchová technika".  
<https://www.frostik.cz/blog/systemy-klimatizacnich-zarizeni-vzduchova-technika> (viděno 6. červen 2023).
- [6] LAIN, M, VAVŘIČKA, R., *Kontrola klimatizačních systémů. Kontrola kotlů a rozvodů tepelné energie*, 1., roč. 2014. Společnost pro techniku prostředí, Novotného lávka 5, Praha 1 (ČSVTS).
- [7] Katedra OSU, „Pístové kompresory a dmýchadla".  
<https://katedry.osu.cz/kpv/stroje/kom+dmy.htm> (viděno 6. červen 2023).
- [8] A. Copco, „Spirálový kompresor - Atlas Copco Česká republika".  
<https://www.atlascopco.com/cs-cz/compressors/wiki/compressed-air-articles/scroll-compressors> (viděno 6. červen 2023).
- [9] Trytech, „Pomoc při výběru pískovačky a kompresoru", *trytech.cz*, 15. leden 2018. <https://www.trytech.cz/o-kompresorech/sroubove-kompresory/> (viděno 6. červen 2023).
- [10] „Chladicí věže s otevřeným okruhem | SOKRA, s.r.o. - Klimatizační a chladicí technika". <https://www.sokra.cz/otevrene-chladici-veze> (viděno 6. červen 2023).
- [11] „Chladicí věže s uzavřeným okruhem | SOKRA, s.r.o. - Klimatizační a chladicí technika". <https://www.sokra.cz/uzavrene> (viděno 6. červen 2023).
- [12] TZB-info, „Co je to vlastně Free cooling?", *TZB-info*. <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/8799-co-je-to-vlastne-free-cooling> (viděno 5. červen 2023).
- [13] „Přímý freecooling vzduchem chlazených jednotek - Thermosyphon | SULTRADE Praha s.r.o." <http://en.sultrade.cz/primy-freecooling-vzduchem-chlazenych-jednotek-thermosyphon.htm> (viděno 5. červen 2023).
- [14] „Vnitřní prostředí budov a tepelná pohoda člověka", *TZB-info*.  
<https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/2650-vnitri-prostredi-budov-a-tepelna-pohoda-cloveka> (viděno 6. červen 2023).
- [15] F. Drkal, M. Lain, a V. Zmrhal, *Klimatizace*, 2. přepracované vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2020.
- [16] Karel Šteker, „Diplomová práce - Chladicí faktory zdrojů chladu v nákupním centru", ČVUT Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí, 2021.
- [17] TZB-info, „Celkové chladicí faktory klimatizačních systémů a jejich zlepšování", *TZB-info*. <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/8797-celkove-chladici-faktory-klimatizacnich-systemu-a-jejich-zlepsovani> (viděno 5. červen 2023).

- [18] „O nás WESTFIELD CHODOV". <https://www.westfield.com/czech-republic/chodov/centre> (viděno 20. květen 2023).
- [19] „Plánek obchodního centra Chodov". <https://www.mediar.cz/wp-content/uploads/2018/08/centrum-chodov-planek.jpg> (viděno 20. květen 2023).
- [20] „HELIKA a.s., Vzduchotechnika a klimatizace - Technická zpráva OC Chodov". HELIKA a.s.
- [21] Ing. M. Chum, „Technická zpráva - chlazení objekt D".
- [22] MOOPEX a.s., „Zdroje chladu - Technická zpráva OC Chodov".
- [23] „Anatomie selhání: Dva roky covidu v Česku ve faktech a výrociích - Aktuálně.cz". <https://zpravy.aktualne.cz/domaci/casova-osa-covid/r~fd4c3f7e0ec511eb9d470cc47ab5f122/> (viděno 4. červen 2023).

## 8. Seznam obrázků

Obrázek 1 Typická klimatizační jednotka [3] .....	11
Obrázek 2 Schéma pístového kompresoru. 1-Kryt, 2-Výtlačný ventil, 3-Válec, 4-Ojnice, 5-Kliková skříň, 6-Olejevá náplň, 7-Setrvačnick, 8-Píst, 9-Sací ventil [7].....	14
Obrázek 3 Princip spirálového kompresoru [8] .....	15
Obrázek 4 Schéma šroubového kompresoru [9] .....	15
Obrázek 5 Schéma rotačního objemového kompresoru [7] .....	16
Obrázek 6 Otevřená chladicí věž [10] .....	17
Obrázek 7 Rozdíl mezi otevřenou (vlevo) a uzavřenou (vpravo) chladicí věží [4] .....	17
Obrázek 8 Přímý freecooling s čerpadlem [12] .....	19
Obrázek 9 Freecooling s thermosyphonem [13] .....	20
Obrázek 10 Freecooling vestavěný do jednotky [12] .....	21
Obrázek 11 Kompresorové chlazení a freecooling v jedné jednotce .....	21
Obrázek 12 Oddělený freecooling .....	21
Obrázek 13 Freecooling s odděleným výměníkem [4] .....	22
Obrázek 14 Plánek obchodního centra Westfield Chodov [19].....	26
Obrázek 15 Schéma strojovny Východ [22] .....	31
Obrázek 16 Schéma strojovny Západ [22] .....	33
Obrázek 17 Schéma zdroje chladu - strojovna D [21].....	36
Obrázek 18 Graf průměrných teplot vnitřních prostorů .....	38
Obrázek 19 Průměrné venkovní teploty 2019-2022 .....	39
Obrázek 20 Spotřeby elektrické energie a chladu za období 2019-2022, Západ .....	42
Obrázek 21 Porovnání spotřeb elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, strojovna Západ, 2019 .....	43
Obrázek 22 Spotřeby elektrické energie a chladu za období 2019-2022, Východ .....	44
Obrázek 23 Porovnání spotřeb elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, strojovna Východ, 2019 .....	45
Obrázek 24 Porovnání spotřeb elektrické energie, podzim-zima, strojovna Východ, 2022 .....	46
Obrázek 25 Porovnání jednotlivých let - Východ.....	46
Obrázek 26 Spotřeby elektrické energie a chladu za období 2019-2022, Strojovna D ..	47
Obrázek 27 Porovnání spotřeb elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, strojovna D, 2019.....	48
Obrázek 28 Porovnání spotřeb elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, strojovna D, 2022.....	49
Obrázek 29 Porovnání CHJ 1 a CHJ3 v jednotlivých letech.....	49
Obrázek 30 Závislost venkovní průměrné teploty na spotřebě energie - teplé období 2019 .....	50
Obrázek 31 Závislost venkovní průměrné teploty na spotřebě energie - teplé období 2020 .....	50
Obrázek 32 Závislost venkovní průměrné teploty na spotřebě energie - teplé období 2021 .....	51
Obrázek 33 Závislost venkovní průměrné teploty na spotřebě energie - teplé období 2022 .....	51
Obrázek 34 Průběh chladicího faktoru strojovny Západ v čase .....	52
Obrázek 35 Průběh chladicího faktoru kompresorů strojovny Západ v čase.....	52

Obrázek 36 Závislost chladícího faktoru na venkovní průměrné teplotě, Západ .....	53
Obrázek 37 Závislost chladícího faktoru na venkovní průměrné teplotě - kompresory, Západ.....	53
Obrázek 38 Průběh chladícího faktoru strojovny Východ v čase .....	54
Obrázek 39 Průběh chladícího faktoru kompresorů strojovny Východ v čase.....	54
Obrázek 40 Závislost chladícího faktoru na venkovní průměrné teplotě, Východ.....	55
Obrázek 41 Závislost chladícího faktoru na venkovní průměrné teplotě - kompresory, Východ .....	55
Obrázek 42 Průběh chladícího faktoru strojovny D v čase .....	56
Obrázek 43 Grafy využití freecoolingu v jednotlivých strojovnách .....	58
Obrázek 44 Srovnání spotřeb elektrické energie oběhových čerpadel, Západ .....	60
Obrázek 45 Srovnání spotřeb elektrické energie oběhových čerpadel, Východ .....	60
Obrázek 46 Srovnání chladícího faktoru strojovny mezi stávajícím stavem a variantou E v provozním režimu 1 [16] .....	62

## 9. Seznam tabulek

Tabulka 1 Parametry vnějšího prostředí [20] .....	27
Tabulka 2 Parametry vnitřního prostředí [20] .....	27
Tabulka 3 Požadavky na potřebu chladu - objekt D [21] .....	28
Tabulka 4 Parametry Trane jednotek [22] .....	34
Tabulka 5 Parametry chladících věží [22] .....	34
Tabulka 6 Porovnání venkovních teplot v jednotlivých letech .....	39
Tabulka 7 Spotřeby elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, Západ, 2019 .	43
Tabulka 8 Spotřeby elektrické energie v jednotlivých letech-Západ.....	43
Tabulka 9 Spotřeby elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, Východ, 2019 .....	45
Tabulka 10 Spotřeby elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, Východ, 2022 .....	46
Tabulka 11 Spotřeby elektrické energie v jednotlivých letech-Východ.....	46
Tabulka 12 Spotřeby elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, Strojovna D, 2019 .....	48
Tabulka 13 Spotřeby elektrické energie v jednotlivých ročních obdobích, Strojovna D, 2022 .....	49
Tabulka 14 Spotřeby elektrické energie v jednotlivých letech-Strojovna D.....	49
Tabulka 15 Využití freecoolingu jednotlivými strojovnami, 2019-2022.....	57
Tabulka 16 Srovnání zimy 2019/2020 a 2021/2022, freecooling, strojovna Východ.....	59