



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

## ZÁTĚŽOVÉ TESTY NON-IT ČÁSTÍ DATOVÝCH CENTER

LOAD TESTS OF NON-IT PARTS OF DATA CENTERS

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Aleš Víteček**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

**Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.**

**BRNO 2019**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektrotechnická výroba a materiálové inženýrství**  
Ústav elektrotechnologie

**Student:** Bc. Aleš Víteček

**ID:** 164436

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2018/19

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Zátěžové testy non-IT částí datových center**

**POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

Seznamte se a prostudujte problematiku chlazení non-IT částí datových center. Vytvořte principiální simulační model vybraných uspořádání. Navrhněte a zpracujte metodiku zátěžových testů se zaměřením na základní požadavky – napájení a chlazení. Vytvořte podrobný popis činnosti tohoto testu (Power, Cooling, Enviroment) včetně vzorových dokumentů a proveďte tento test na skutečném datovém centru.

**DOPORUČENÁ LITERATURA:**

Podle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 4.2.2019

**Termín odevzdání:** 21.5.2019

**Vedoucí práce:** Ing. Petr Vyroubal, Ph.D.

**Konzultant:**

**doc. Ing. Petr Bača, Ph.D.**  
*předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Diplomová práce „Zátěžové testy non-IT částí datových center“ se zabývá teoretickým rozбором datových center se zaměřením na non-IT část a teoretickou přípravou k měření zátěžových testů zaměřených především na chlazení. Na teorii navazuje praktická část formou PEC měření firmy *CATEGORY a.s.*. Toto vzorové měření provedené v prostorách firmy, jasně nastiňuje důležitost provádění podobných testů. Měření je důkladně vyhodnoceno a jsou z něj vyvedeny návrhy na zkvalitnění provozu. Další bod praktické části obsahuje simulaci vzorového měření. Tato simulace slouží jako vhodný doplněk a porovnání. I díky simulaci lze opodstatnit důležitost podobných zátěžových testů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Datové centrum, non-IT, teplo, chlazení, napájení, rack, standard TIA, horká – studená ulička, HotCat, tepelná zátěž, simulace

## **ABSTRACT**

The thesis "Load testing of non-IT parts data centers" deals with the theoretical analysis of data centers with a focus on non-IT part and theoretical preparation for measuring stress tests focused mainly on cooling. The theory is followed by a practical part of the PEC measurement by *CATEGORY a.s.* .. This sample measurement carried out at the company premises clearly outlines the importance of performing similar tests. The measurement is thoroughly evaluated and suggestions are made to improve the operation. The next part of the practical part contains simulation of sample measurement. This simulation serves as a convenient addition and comparison. Also this simulation, the importance of similar stress tests can be justified.

## **KEYWORDS**

Data center, non-IT, heat, cooling, power, rack, standard TIA, hot/cold aisle, HotCat, heat load, simulation

VÍTEČEK, Aleš. *Zátěžové testy non-IT částí datových center*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/119338>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce Petr Vyroubal.

# PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucím diplomové práce panu inženýru Jiřímu Kapounovi a panu Pavlu Vítečkovi z firmy *CATEGORY a.s.*, a také vedoucímu v rámci školy panu doktoru Petru Vyroubalovi za trpělivost, konzultace, odborné vedení a užitečné rady dané problematiky.

Brno.....

.....

Podpis autora

# OBSAH

ÚVOD .....	10
<b>1 DATOVÉ CENTRUM .....</b>	<b>11</b>
1.1 Nároky .....	11
1.2 Standard TIA-942 .....	11
1.3 Standard EN 50600 .....	12
1.4 Indikátor PUE (Power Usage Effectiveness) .....	12
1.5 Indikátor DCiE (Data Center Infrastructure Efficiency) .....	13
1.6 Non-IT infrastruktura datových center .....	13
<b>2 VZNIKLÉ TEPLLO .....</b>	<b>19</b>
2.1 Přenos tepla .....	19
2.2 Tepelný odpor .....	22
2.3 Tepelný výkon lidského těla .....	22
<b>3 CHLAZENÍ .....</b>	<b>24</b>
3.1 Principy chlazení .....	24
3.2 Chlazení IT zařízení .....	26
3.3 Klimatizace .....	28
<b>4 HORKÁ – STUDENÁ ULIČKA .....</b>	<b>29</b>
4.1 Uzavřená studená ulička .....	29
4.2 Jiná řešení .....	29
<b>5 PROCES VÝSTAVBY DATOVÉHO CENTRA .....</b>	<b>31</b>
<b>6 PEC MĚŘENÍ .....</b>	<b>33</b>
6.1 Napájení (Power) .....	33
6.2 Prostředí (Environment) .....	34
6.3 Chlazení (Cooling) .....	34
<b>7 ZAŘÍZENÍ K MĚŘENÍ PEC .....</b>	<b>35</b>
7.1 HotCat .....	35
7.2 Senzory Loxone .....	37
7.3 Termokamera .....	39
7.4 Infrateploměr .....	39

7.5	Zkoušečka napětí a proudu.....	40
<b>8</b>	<b>POSTUP MĚŘENÍ PEC.....</b>	<b>41</b>
8.1	Před měřením.....	41
8.2	Průběh měření.....	41
8.3	Ukončení měření.....	42
<b>9</b>	<b>VZOROVÉ MĚŘENÍ PEC.....</b>	<b>43</b>
9.1	Parametry DC.....	43
9.2	Průběh vzorového měření.....	44
9.3	Výsledky měření.....	46
9.4	Zhodnocení výsledků.....	63
<b>10</b>	<b>SIMULACE PEC.....</b>	<b>64</b>
10.1	Prostředí Solidworks.....	64
10.2	Flow Simulation.....	64
10.3	HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning).....	65
10.4	Simulace vzorového měření.....	66
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>70</b>
	<b>LITERATURA.....</b>	<b>71</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....</b>	<b>74</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>75</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: Typické non-IT části DC.....	14
Obr. 1.2: PDU firmy CiberPower [26].....	16
Obr. 1.3: Prostá UPS.....	17
Obr. 1.4: Paralelní UPS a všeobecná značka UPS .....	17
Obr. 1.5: Redundantní UPS .....	18
Obr. 2.1: Přenos tepla [4] .....	20
Obr. 3.1: Princip kompresorového chlazení [14].....	24
Obr. 3.2: Princip absorpčního chlazení [14] .....	25
Obr. 3.3: Peltierův článek [16] .....	26
Obr. 3.4: Pasivní chladič [18] .....	27
Obr. 3.5: Teplovodivá pasta [19] .....	27
Obr. 3.6: Princip chlazení heatpipe [20].....	27
Obr. 3.7: Aktivní chladič [21] .....	28
Obr. 4.1: Horká - studená ulička [22].....	29
Obr. 6.1: Logo zátěžového boxu HotCat společnosti CATEGORY a.s. [25].....	33
Obr. 7.1: Blokové schéma zařízení HotCat.....	35
Obr. 7.2: Přední strana HotCat .....	36
Obr. 7.3: Zadní strana HotCat .....	36
Obr. 7.4: Box pro dvojici zařízení.....	37
Obr. 7.5: Konzole k uchycení v racku.....	37
Obr. 7.6: Senzor Loxone - vnitřní část.....	38
Obr. 7.7: Senzor Loxone .....	38
Obr. 7.8: Uživatelské prostředí aplikace Loxone.....	38
Obr. 7.9: Přenosný box pro měření PEC .....	39
Obr. 7.10: Termokamera Fluke Ti32 .....	40
Obr. 7.11: Zkoušečka Fluke T5-600 .....	40
Obr. 9.1: Rozmístění senzorů.....	45
Obr. 9.2: Výpis naměřených hodnot na miniserveru.....	46
Obr. 9.3: Teplotní průběhy během měření PEC.....	47
Obr. 9.4: Závislost teploty na čase senzoru 1 .....	49
Obr. 9.5: Závislost vlhkosti na čase senzoru 1 .....	49
Obr. 9.6: Závislost teploty na čase senzoru 2 .....	51
Obr. 9.7: Závislost vlhkosti na čase senzoru 2 .....	51
Obr. 9.8: Závislost teploty na čase senzoru 3 .....	53
Obr. 9.9: Závislost vlhkosti na čase senzoru 3 .....	53
Obr. 9.10: Závislost teploty na čase senzoru 4.....	55
Obr. 9.11: Závislost vlhkosti na čase senzoru 4.....	55
Obr. 9.12: Závislost teploty na čase senzoru 5.....	57
Obr. 9.13: Závislost vlhkosti na čase senzoru 5.....	57

Obr. 9.14: Závislost teploty na čase senzoru 6.....	59
Obr. 9.15: Závislost vlhkosti na čase senzoru 6.....	59
Obr. 9.16: Závislost teploty na čase senzoru 7.....	60
Obr. 9.17: Závislost teploty na čase senzoru 8.....	61
Obr. 9.18: Závislost vlhkosti na čase senzoru 7.....	61
Obr. 9.19: Závislost vlhkosti na čase senzoru 8.....	61
Obr. 9.20: Kontrola napájení DDC.....	62
Obr. 9.21: Kontrola napájení DDC.....	62
Obr. 9.22: Kontrola napájení termokamerou .....	62
Obr. 9.23: Kontrola napájení termokamerou .....	62
Obr. 10.1: model DDC v prostředí Solidworks .....	66
Obr. 10.2: Proudění vzduchu při zátěži 3 000 W .....	67
Obr. 10.3: Teplotní průřez při zátěži 6 000 W .....	67
Obr. 10.4: Teplota v konkrétním bodě při zátěži 9 000 W .....	67
Obr. 10.5: Graf měřených a simulovaných hodnot.....	68



## SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Úrovně účinností.....	13
Tab. 2: Tepelný výkon lidského těla při určitých činnostech [2].....	23
Tab. 3: Důležité faktory výstavby DC.....	32
Tab. 4: Důležité faktory výstavby DC.....	32
Tab. 5: Základní elektrické parametry zařízení HotCat.....	35
Tab. 6: Seznam použitých komponentů v zařízení HotCat.....	36
Tab. 7: Technické parametry zařízení HotCat.....	36
Tab. 8: parametry vnitřní jednotky klimatizace.....	43
Tab. 9: parametry venkovní jednotky klimatizace.....	44
Tab. 10: Síťové prvky v DDC .....	44
Tab. 11: Naměřené hodnoty senzoru 1.....	48
Tab. 12: Naměřené hodnoty senzoru 2.....	50
Tab. 13: Naměřené hodnoty senzoru 3.....	52
Tab. 14: Naměřené hodnoty senzoru 4.....	54
Tab. 15: Naměřené hodnoty senzoru 5.....	56
Tab. 16: Naměřené hodnoty senzoru 6.....	58
Tab. 17: Naměřené hodnoty senzorů 7 a 8.....	60
Tab. 18: Parametry zařízení pro nastavení Flow Simulation.....	68
Tab. 19: Měřené a simulované hodnoty .....	69

# ÚVOD

V této diplomové práci je popsáno datové centrum (DC) se zaměřením na jeho non-IT (Information technology) část. V první kapitole je všeobecný popis, definice indikátorů energetických účinností. Dále jsou zde uvedeny popisy nejrozšířenějších standardů, které formulují a rozdělují DC do úrovní. Konec kapitoly je věnován detailnějšímu popisu jednotlivých non-IT částí. V druhé kapitole je zmíněn stručný popis tepla, složky která je nežádoucí při provozu síťových zařízení v DC. Na ni volně navazuje kapitola o chlazení, tedy rozbor metod jakým se teplo při provozu eliminuje. Konec teoretické části volně navazuje na praktickou. Ta začíná všeobecným popisem výstavby DC, kde je odůvodněna myšlenka testování částí non-IT. Samotné testování v praxi bylo provedeno pod dozorem a v prostorách firmy *CATEGORY a.s.* Jedná se o firmu zaměřující se na výstavbu datových center a infrastruktur. Toto měření je popsáno, vyhodnoceno v samostatných kapitolách. Primárně toto měření představuje tepelnou zátěž, která by v budoucnu mohla působit v prostoru DC. Měřením se eliminují problémy, které by mohli vzniknout. V této práci je měření v prostoru DC již provozovaného, ovšem tento zátěžový test možno aplikovat i na nově vystavěné DC před ostrým spuštěním. Popsány jsou zařízení nutná pro tohle měření, je zde i popis postupu. Výsledky jsou vyneseny do přehledných grafů a tabulek. Závěr práce je věnován simulaci měření v prostředí Solidworks za využití nástroje Flow Simulation. Přesný model DC firmy *CATEGORY a.s.* je ve snímcích ukázán v různých typech simulovaných výstupů. Simulované hodnoty měření jsou porovnány s těmi reálnými.

# 1 DATOVÉ CENTRUM

Datové centrum (DC) je název pro místo, objekt či část budovy, kde v nepřetržitém provozu funguje IT-technická infrastruktura. DC většinou slouží pro telekomunikace, chod různých systémů, služeb, aplikací nebo ukládání (zálohování) dat. Jde o poměrně nákladná zařízení, i nákladný provoz vyžadující vysokou míru odbornosti a z tohoto důvodu DC budují (případně pronajímají) a správají specializované firmy (typicky telekomunikační firmy, v ČR např. ČRA – České Radiokomunikace). DC lze rozdělit do větších, středních a malých (z hlediska velikosti) s tím, že malé či střední si pořizují podniky nebo instituce pro své vlastní potřeby sami. Větší DC jsou spíše pronajímána svými majiteli ostatním.

## 1.1 Nároky

Základní nároky na DC se odvíjí od hlavního požadavku investorů, tedy nonstop provoz, respektive neomezený přístup ke svým datům. Je zde vysoká náročnost na dodávku energie a připojení k internetu. A dále vzhledem k nutnosti pracovat bez výpadku za každé situace, je kladen důraz na zabezpečení. To se týká právě dodávky energie (nutnost instalace záložních zdrojů), připojení do vnější sítě (kvalitní internetové připojení), zabezpečení proti přehřátí techniky, proti požárům, přírodním vlivům (povodně, bouře), fyzickému či softwarovému napadení a samozřejmě záloha veškerých dat. Tyto nemalé požadavky jsou shrnuty v různých standardech, díky kterým je zajištěna určitá kvalita. Jde o standardy TIA-942 (Telecommunications Industry Association) a ISO EN 50600 (International Organization for Standardization).

## 1.2 Standard TIA-942

Jde o standard zahrnující minimální požadavky na budování, ochranu a udržování chodu DC. Pro investora jde o pomyslnou záruku kvality. Primárně je TIA-942 záležitostí severní Ameriky, přesto byl tento standard převzat i v Evropě a zbytku světa. Mimo jiné dle TIA-942 se projektanti orientují v návrhu DC. [10]

### 1.2.1 Úrovně (Tiers)

TIA-942 je rozdělen do čtyř úrovní (tier). Každá úroveň řeší složitost prostorového uspořádání, požadavky na infrastrukturu kabelážních tras, provozní podmínky a stupně spolehlivosti.

**Úroveň 1** – Základní síťová struktura. Garantovaná dostupnost DC je v 99,671 % času (výpadek maximálně 28,8 hodin za rok). Odolnost vůči narušení jak plánované, tak neplánované činnosti. Nez dvojené napájení a chlazení, bez nadbytečných komponentů. Nemusí mít dvojitou podlahu. Pro kompletní údržbu potřeba vypnout celé DC.

**Úroveň 2** – Redundantní infrastruktura. Garantovaná dostupnost DC je 99,741 % času (výpadek maximálně 22 hodin za rok). Kapacita serverů v DC je zdvojená, ovšem připojení zdvojené není. Lepší ochrana před fyzickým vniknutím.

**Úroveň 3** – Infrastruktura udržovaná za provozu. Garantovaná dostupnost DC je 99,982 % času (výpadek maximálně 1,6 hodin za rok). Zdvojené kapacity serverů, záložní (nezávislé) připojení. Výpadek jakékoliv části DC je nahrazen okamžitým připojením záložních systémů (nesmí dojít k narušení provozu!). Ochrana proti fyzickému narušení, zdvojené podlahy.

**Úroveň 4** – Infrastruktura odolná poruchám. Garantovaná dostupnost DC je 99,995 % času (výpadek maximálně 15 minut za rok). Zdvojené kapacity serverů, násobné a na sobě nezávislé aktivní připojení. Nejvyšší odolnost proti výpadku, provozuschopnost kdekoliv. Ochrana proti veškerému fyzickému vniknutí.

### 1.3 Standard EN 50600

Dalším z řady norem pro DC je ISO EN 50600. Standard charakterizuje provoz a minimální požadavky na DC v rámci Evropy. Určuje parametry výstavby DC, různé provozní parametry (např. teplota, vlhkost, prašnost, vibrace) či energetické úspory, zabezpečení atd. V projektové fázi DC stanovuje norma tyto požadavky:

Konstrukce budovy DC (EN 56000-2-1 Building Construction), distribuce elektrické energie (EN 56000-2-2 Power Distribution), dopady na životní prostředí (EN 56000-2-3 Environmental Control), požadavky na infrastrukturu telekomunikační kabeláže (EN 56000-2-4 Telecommunications Cabling Infrastructure), bezpečnostní systémy (EN 56000-2-5 Security Systems), provoz DC a informace (EN 56000-3-1 Power Distribution). [9]

### 1.4 Indikátor PUE (Power Usage Effectiveness)

Indikátor energetické efektivity (PUE) je hodnota používaná k určení energetické účinnosti DC. Hodnota PUE je určena dělením množství energie vstupujícího do datového centra výkonem používaným k provozování počítačové infrastruktury uvnitř (rovnice č. 1). [12] PUE je tedy vyjádřeno jako poměr. Celková účinnost se zlepšuje, když kvocient klesá směrem k 1 (ideální hodnota – veškerá energie jde přímo na provoz IT systémů).

$$PUE = \frac{\text{celkový výkon vstupující do DC}}{\text{výkon dodaný pouze IT zařízením}} \quad (1)$$

PUE byla vytvořena členy sdružení Green Grid, průmyslové skupiny zaměřené na energetickou účinnost DC. Průměrná hodnota PUE je ve světě okolo 2,5 což znamená, že při dodání 2,5 W jde do IT části DC pouze 1 W. V nejmodernějších DC je většinou PUE okolo 1,2. [11]

## 1.5 Indikátor DCiE (Data Center Infrastructure Efficiency)

Stejně jako PUE byl indikátor DCiE zaveden sdružením Green Grid. Funkce této metriky je stejná, opět se jedná o určení energetické účinnosti DC. Zde ovšem hodnotu vyjádříme podílem výkonu dodaného IT zařízením a celkového výkonu dodaného do DC. Výsledek je pak násoben do procentuální hodnoty (rovnice č. 2). DCiE je tedy zjednodušeně řečeno inverzní k indikátoru PUE. V tabulce 1.1 jsou vypsány jednotlivé úrovně účinnosti dle velikostí indikátorů. [12]

$$DCiE = \frac{\text{výkon dodaný pouze IT zařízením}}{\text{celkový výkon vstupující do DC}} * 100 [\%] \quad (2)$$

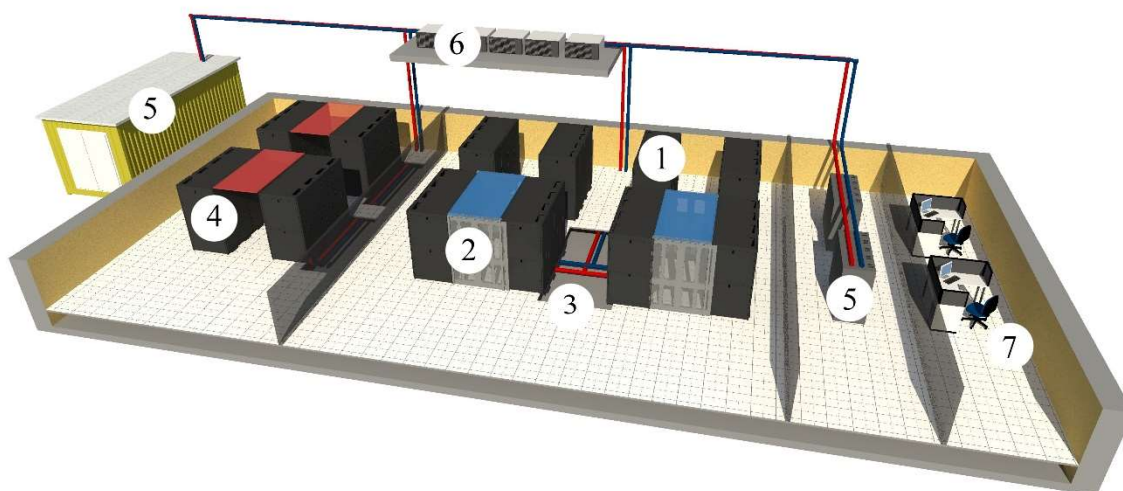
Tab. 1: Úrovně účinnosti

PUE	DCiE	Úroveň účinnosti
3.0	33%	Velmi neúčinné
2.5	40%	Neúčinné
2.0	50%	Průměrné
1.5	67%	Účinné
1.2	83%	Velmi účinné

## 1.6 Non-IT infrastruktura datových center

Pomineme-li síťová zařízení umístěná v DC, mezi tzv. Non-IT patří v DC téměř veškeré zařízení a nejen to, jde například o konstrukční prvky dané místnosti či budovy, bezpečnostní prvky atd. Na obrázku č. 1.1 je znázorněno DC a jeho typická Non-IT infrastruktura. Pro investory při budování DC je řešení non-IT technologií velmi důležitou součástí. Tyto technologie zajistí DC bezproblémový chod a optimální prostředí, kde nesmí vzniknout problém během provozu, který je zpravidla non-stopový. S narůstajícími požadavky navíc roste cena těchto zařízení-technologií a často překročí ceny IT techniky.

Při návrhu a realizaci non-IT infrastruktury se vychází z energetických možností, bezpečnostního auditu, požární a technické zprávy, stavebních deníků, hygienických předpisů a samozřejmě i z finančních možností investora. Ovlivňujících faktorů může být nespočet.



*Obr. 1.1: Typické non-IT části DC*

### **1.6.1 Racky**

Jde o rozvaděčové skříně, do kterých se umísťují převážně IT zařízení, většinou komponenty počítačových sítí (servery, routery, switche). Dále se využívají pro AV (Audio Video) techniku, zabezpečovací techniku atd. Tyto rozvaděčové systémy jsou definovány v normách EIA 310-D, DIN 41494, IEC 60297 a dalších. Nejrozšířenější rozvaděčová skříň (19-inch rack) je určena pro zařízení s šířkou předního panelu 19 palců (48,3cm). [13] Tato velikost zahrnuje i uši, díky kterým se modul upevňuje k rámu pomocí šroubů. Výška komponentů umísťovaných do racků se pak udává v jednotkách U (Rack Unit). Jedna racková jednotka má hodnotu 44,45 mm (1,75 palce).

### **1.6.2 Fyzická ochrana**

Všeobecně fyzickou ochranu definujeme jako zabezpečení IT zařízení proti odcizení, nedovolenému manipulování, přenastavení či importu škodlivého softwaru. Faktory ovlivňující fyzickou ochranu DC jsou tedy přírodní živly a kontrola nad přístupem personálu. Před vniknutím narušitele bývají DC zabezpečena již před objektem. Většinou jde o kamerový systém, security službu, ploty, zdi, závory, různé prvky EZS (Elektronický zabezpečovací systém). Před vstupem do objektu následuje kontrola identifikace osob. V dnešní době se naplno využívají různá biometrická řešení – otisky prstů, cévní řečiště, sítnice. Využívá se celkového rozpoznání obličeje, či hlasová identifikace. Uplatnění mezi

fyzickou ochranou najdou i klasické zámkové dveře, nebo mříže. Těmi lze zabezpečit i jednotlivé rackové uličky.

Mezi další prvky fyzické ochrany patří protipožární systém EPS (Elektronická požární signalizace). I zde jsou využity nejmodernější technologie, zavádí se různé typy kouřových či teplotních čidel a čidla na plynovém systému. Nejmodernější technologie je schopna na základně kamerové detekce rozpoznat např. plameny, kouř. Nestandardní je u DC využití hašení požáru plyny, aby nedošlo k poškození techniky pod napětím. Typicky je využito hasivo FM-200, které nesníží hladinu kyslíku a tudíž není zdraví nebezpečné. Proti možnosti zatopení jsou budovy stavěny mimo záplavové zóny. Některé budovy pak mají vodovodní instalace řešené zcela mimo DC, pro případ úniku vody.

### **1.6.3 Zdvojená podlaha**

Uvnitř DC se hojně využívají zdvojené (někdy nazývané zvýšené) podlahy, jejímž smyslem je vytvořit v dané místnosti prostor pro trasy datových, či silových rozvodů, požárního zařízení atd. Dalším důvodem je efektivní rozvod chladného vzduchu pro IT zařízení umístěna v racku. Zdvojené podlahy se instalují nejen v DC, ale všude tam kde je potřeba větší kabelová infrastruktura dobře přístupná k případné opravě, změně, nebo v místech s omezenými rozměry. Typické znaky těchto podlah jsou jednoduchá konstrukce, snadná montáž a demontáž. Základ tvoří čtvercové kazety rozměrů (nejpoužívanější) 60 x 60 cm a tloušťky v řádech centimetrů. Ta je samozřejmě přizpůsobena nosnosti. Povrch desek je antistatický vzhledem k místu, kde jsou kazety použity. Celá podlaha leží na kovových stojkách, které jsou připevněny k zemi. K vytažení jednotlivých kazet (například kvůli údržbě, kontrole) se používají přísavkové držáky podobné těm, které jsou určeny na manipulaci se skleněnými tabulemi. Zdvojené podlahy jsou definovány v normě ČSN EN 12825.

### **1.6.4 Napájení**

Velká DC mají specifické požadavky na přísun energie z veřejných rozvodných sítí. Předně jde o dodávku energie za všech podmínek, bez vlivu okolí (přírodní vlivy). Jednotlivé úrovně (tier) mají svá specifika co se napájení týče. Třetí a čtvrtý tier je specifický vícenásobným napájením. Toho je využíváno například u plánovaných odstávkách, kdy může být část DC servisována, aniž by došlo k výpadku zbytku centra. Důležitou součástí napájení je (opět převážně u vyšších tierů) využití speciální nehořlavé kabeláže. Nad silovými rozvaděči má zpravidla plnou vzdálenou kontrolu obsluha.

PDU (Power Distribution Unit) neboli jednotky pro distribuci energie, jsou zařízení vybavené více zásuvkami určenými k distribuci elektrické energie, zejména do racků, kde jsou umístěny síťové prvky. Tyto jednotky se vyznačují oproti klasickým zásuvkovým panelům určitým power managementem a monitoringem, tedy dohledem a řízením napájení. Dalšími funkcemi PDU může být přepětová ochrana, měření, připojení do sítě a další. PDU jsou zpravidla v typickém rackovém provedení velikosti 19", výšky 1U. [27]

## Typy PDU

- Basic PDU – Pouze rozvod napájení (AC power), několik výstupů.
- Metered PDU – Kromě rozvodu napájení (AC power) provádí měření celkové spotřeby pro optimálnější rozložení zátěže. Nastavení a uživatelské informace jsou na obslužném displeji.
- Monitored PDU – Stejné vlastnosti jako Metered PDU, umí měřit po jednotlivých výstupech. Mimo displej obsahuje i připojení do LAN (Local Area Network).
- Switched PDU – Možnost vypínání jednotlivých výstupů. Možnost připojení do LAN.
- Automatic Transfer Switch PDU – Může poskytovat redundantní zdroje napájení pro IT zařízení. ATS PDU eliminují prostoje zařízení automatickým přepnutím na sekundární zdroj napájení, pokud primární zdroj selže nebo vyžaduje údržbu. Duální AC vstupy mohou být připojeny ke dvěma zdrojům napájení, dvěma zdrojům generátoru, dvěma zdrojům UPS nebo jakékoliv kombinaci.
- Hot Swap PDU – Hlavní funkcí je možnost přepojení zdroje (např. z důvodu údržby UPS).
- Dual Circuit PDU – Zdvojené PDU (výhodnou může být uspořené ceny, místa).



Obr. 1.2: PDU firmy CyberPower [26]

### 1.6.5 Záložní zdroje

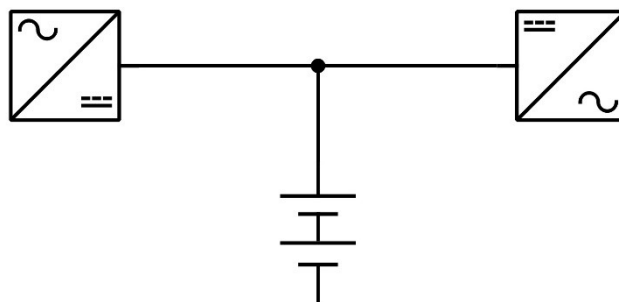
V momentě, kdy hlavní napájení DC selže a dojde k jeho přerušení, je potřeba okamžitě (bez výpadku) nahradit sekundárním zdrojem energie. Větší DC zavádí diesel generátory (na obrázku č. 1.1 zcela vlevo) ovšem doba nahození těchto generátorů je řádově několik sekund až desítky sekund. Provoz je ale potřeba udržet i během této krátké doby, aby nedošlo k (byť jen několikasekundovému) výpadku. K udržení stabilního příjmu energie v této době mezi přerušením primárního zdroje a zprovozněním diesel generátoru slouží jednotky UPS (Uninterruptible Power System). Ty jsou založeny na akumulátorovém principu. Hlavní části každého UPS jsou baterie, střídač, usměrňovač, řídicí jednotka. Mimo primární funkci (záložní napájení) dokáží UPS odolat a redukovat i jiné nestandardní situace v síti (typicky přepětí – špičky jsou filtrovány do normálního stavu). Při konstrukci bylo myšleno i na stav poruchy samotných záložních zdrojů či na možnost údržby. Pro tyto případy jsou UPS vybaveny tzv. by-passem. Jde o jakýsi vedlejší přípoj mezi primárním zdrojem a zařízením které odebírá energii. Pro případ poruchy je této odbočky využito a primární zdroj je napojen rovnou na zařízení. V případě údržby je princip obdobný. Jednotky UPS jsou definovány v české normě ČSN EN 62040.



Základní kategorie UPS jsou:

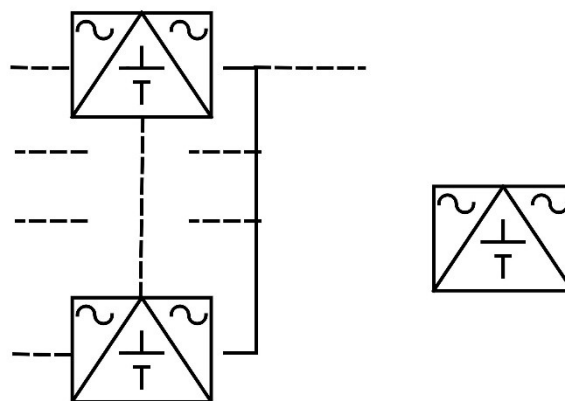
- Prosté
- Paralelní
- Redundantní

*Prosté UPS (single UPS)* – jsou charakteristické jednou jednotkou UPS (zapojení na obrázku č. 1.3). Zdroj se skládá z usměrňovače, ten slouží pro nabíjení baterie, případně pro napájení střídače, z vlastní baterie akumulátorových článků a ze střídače vytvářejícího z napětí stejnosměrného meziobvodu střídavé napětí pro napájení zátěže. [28]



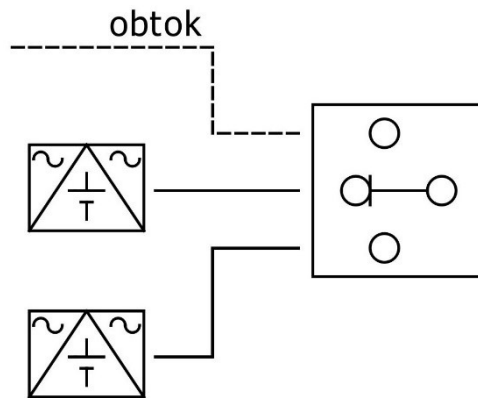
Obr. 1.3: Prostá UPS

*Paralelní UPS (parallel UPS)* – jsou tvořené paralelním zapojením několika jednotek UPS. Střídače takto zapojených UPS pracují synchronně, většinou jsou vybaveny zařízením pro rozdělování výkonu. Tím se dosáhne většího výkonu zálohovacího systému. Systém je provozován jako jedna UPS a může být doplněna obtokem. Zapojení je vidět na obrázku č. 1.4. [28]



Obr. 1.4: Paralelní UPS a všeobecná značka UPS

*Redundantní UPS (redundant UPS)* – jsou tvořeny minimálně dvěma jednotkami. Cílem redundantních UPS je zvýšení spolehlivosti. V provozu je vždy pouze jedna jednotka, ostatní se nacházejí v pohotovostním režimu (stand-by redundant) pro stav přetížení či výpadku. Jednotky jsou různě dimenzované na výkony zátěží. Spolehlivost se zvyšuje i díky použití obtoku. Zapojení na obrázku č. 1.5. [28]



*Obr. 1.5: Redundantní UPS*

### 1.6.6 Chlazení

Chlazení je realizováno klimatizačními jednotkami zpravidla umístěnými ve stropních prostorech. Zajišťují ochlazení horkého vzduchu, které vytváří IT zařízení v rackových skříních. Studený vzduch je vháněn do spodní části místnosti (typicky do prostoru zdvojené podlahy) a odtud distribuován k rackům. Podrobnější rozbor chladicího systému DC je v kapitole 3.

### 1.6.7 Monitoring

Monitoring je nezbytná součást, kde v místě (někdy zvaném velín) obsluha má co největší kontrolu nad jednotlivými částmi DC. Vzdálenou správou řídí a koordinují napájení, chlazení atd. Menší centra fungují autonomně, tedy bezobslužně. Kontrola nad těmito zařízeními je pak vzdálená a fyzický přístup je kontrolován bezpečnostními prvky – kamerový dohled.

## 2 VZNIKLÉ TEPLA

Síťové prvky v DC zpravidla nedisponují velkou energetickou účinností. Většina jimi spotřebované elektřiny se mění v teplo. To je problém, který je třeba řešit již v projektové fázi. V této kapitole je popsáno teplo z fyzikálního hlediska. Následně je zde rozepsán systém vedení tepla, tepelný odpor a tepelný výkon lidského těla.

Charakteristický tepelný stav hmoty nám udává teplota. Jde o vlastnost materiálů a prostoru, kterou vnímáme a dokážeme definovat teplé a studené rozdíly. Teplota je skalární intenzivní veličina (technické vědy). Tepelný přenos nastává z důvodu rozdílných teplot systému a okolí, energie takto přenesená se nazývá teplo (značeno  $Q$ ). Pokud je teplo do systému dodáno z okolí, je vnímáno jako kladné. Naopak v případě uvolnění tepla ze systému do okolí, je bráno jako záporné.

I práce může přenášet teplo. Tedy přenos energie může být způsoben působením síly na těleso (systém) při pohybu v prostoru. U tepla a práce se nejedná o vlastnosti systému tak jako u teploty, objemu a tlaku. Jde o dějové veličiny, což jsou konkrétní děje probíhající v systému. Dále existují stavové veličiny (mimo teplotu, tlak třeba i vnitřní energie) ty mají smysl u konkrétního stavu systému. [5]

Jednotka tepla je joule (J), tedy stejná jako jednotka práce, a to právě z důvodu přenášení energie která je typická jak pro teplo, tak pro práci.

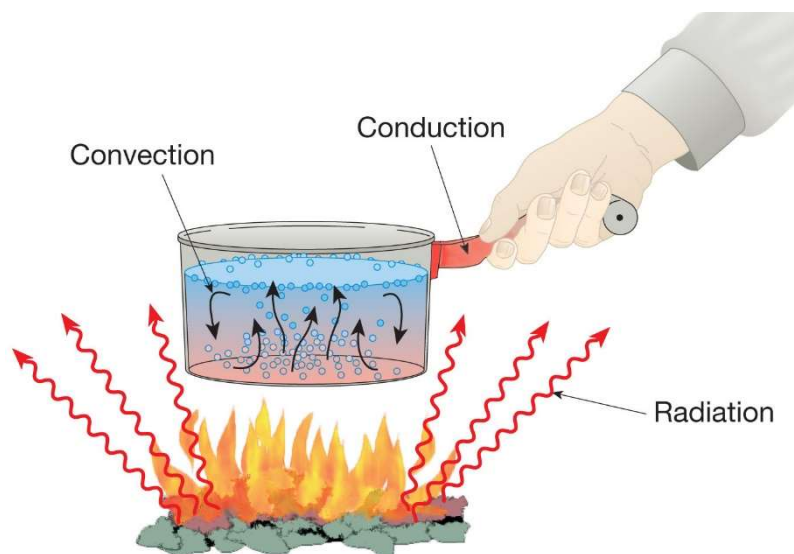
Měrná tepelná kapacita (značeno  $c$ ) je důležitý výraz v oblasti tepla. V případě dvou předmětů stejného materiálu, ale rozdílných hmotností bude tepelná kapacita úměrná velikostem hmotností. Jde o množství tepla, které je třeba dodat 1 kg materiálu k ohřátí (o 1 °C). Tato veličina má jednotku  $J \cdot Kg^{-1} \cdot K^{-1}$ . Následující vzorec (rovnice č.3) určuje toto množství tepla:

$$Q = cm(T_2 - T_1) [JKg^{-1}K^{-1}] \quad (3)$$

Zde  $c$  představuje samotnou měrnou tepelnou kapacitu materiálu,  $m$  hmotnost materiálu,  $T_2$  koncovou a  $T_1$  počáteční teplotu. [1]

### 2.1 Přenos tepla

Přenos tepla se dělí na tři způsoby: vedením (kondukce/conduction), prouděním (konvekce/convection), zářením (sálání-radiace/radiation). Jednoduché znázornění přenosů je vidět na obrázku č. 2.1. Teplotní analýza nám spočítá rozložení teploty v tělese důsledkem některého (či všech) těchto mechanismů. Přenos zářením oproti přenosu vedením a prouděním nevyžaduje pro převod tepla přenosové médium.



Obr. 2.1: Přenos tepla [4]

### 2.1.1 Vedením

Na obrázku č. 2.1 vidíme rukojeť (např. z kovu) hrnce postupně se zahřívající od vroucí vody uvnitř hrnce. Teplo v tomto případě chápeme jako vzrůstající kmitání atomů a elektronů tvořících kov. Nárůstem energie se teplo dále šíří do rukojeti díky srážkám sousedních atomů.

Šíření tepla vedením není jen záležitostí pevných látek, ale i plyných a kapalných – ty však lze přenášet i prouděním. Zvláště u pevných látek je nutno zmínit, že zde dochází (převážně) ke stacionárnímu vedení tepla. Stacionární (stálý) děj je takový stav, kdy tok a teplota zůstávají na jakémkoliv místě materiálu stejné a jsou časově neměnné. [6]

Přenos tepla vedením se řídí Fourierovým zákonem. Velikost tepla  $Q_v$  je poměrná k ploše přenosu tepla ( $S$ ) a teplotnímu gradientu ( $dT/dx$ ) následující rovnice č. 4.

$$Q_v = -\lambda \cdot S \cdot \frac{dT}{dx} [W] \quad (4)$$

Zde nám  $\lambda$  představuje tepelnou vodivost, ta se mění pro většinu materiálů dle teploty. [3]

### 2.1.2 Prouděním

Na obrázku č. 2.1 je proudění znázorněno jako vařící se voda. Horká voda stoupá vzhůru k hladině, studená míří opačným směrem. K výměně dochází díky rozdílným hustotám teplé a studené vody. Obecně dělíme tento přenos tepla na nucený a přirozený.

Proudění nastává pouze u plynů a kapalin. Na molekulární úrovni se molekuly šíří vlivem tepelné energie. Teplota dané tekutiny se zvyšuje, objem kapaliny roste s ní. Jde tedy o přímou závislost mezi teplotou a objemem dané látky. [7]

Velikost převodu tepla mezi kapalinou a povrchem tělesa se řídí Newtonovým zákonem ochlazování (rovnice č. 5).

$$Q_p = \alpha \cdot S \cdot (T_s - T_f) \quad (5)$$

Zde  $\alpha$  znázorňuje koeficient přestupu tepla, ten je závislý na pohybu kapaliny, geometrii a termodynamických a fyzikálních vlastnostech. [3]

### 2.1.3 Záření

K tomuto přenosu dochází vlivem vyzařování elektromagnetických vln. Tyto vlny energii unášejí pryč od vyzařujícího objektu. K záření dochází i ve vakuu nebo v jakémkoliv průsvitném materiálu (ať pevném či tekutém). Pohybem nabitých protonů a elektronů dojde k vyzařování elektromagnetického záření.

Záření (též sálání) tepla je přímým důsledkem nahodilých pohybů atomů i molekul v hmotě. [8]

Veškeré materiály na základě své teploty vyzařují tepelnou energii. Čím teplejší je, tím více materiál vyzařuje. Typickým příkladem tepelného záření, kdy přenos tepla probíhá přes naší sluneční soustavu je slunce. Při běžné pokojové teplotě hmoty vyzařují v oblasti infračerveného vlnění. Vyzářená energie (tedy její množství) závisí na několika faktorech, a to na ploše tělesa (přímá úměra, kdy se vzrůstající plochou roste energie), teplotě tělesa a barvě povrchu (nejvyšší vyzářená energie z těles černé barvy). U barev je třeba zdůraznit, že od teplot přes 1000 °C je barva zanedbatelná (všechny se berou jako černé).

Sáláním tepla se zabývá Stefan-Boltzmannův zákon. Ten říká, že celková energie vyzařování černého tělesa  $E_b$  je dána vztahem (rovnice č. 6).

$$E_b = \sigma \cdot T^4 \quad (6)$$

Zde  $\sigma$  představuje Stefan-Boltzmannovu konstantu a  $T$  absolutní teplotu černého tělesa. Hodnota Stefan-Boltzmannovy konstanty je  $5.67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ .

Dále Planckův zákon určuje intenzitu vyzářenou černým tělesem jako funkci vlnové délky (či frekvence) vidíme na rovnici č. 7.

$$E_b(T, \lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{\frac{hc}{e\lambda KT} - 1} \quad (7)$$

Zde nám  $h$  představuje Planckovu konstantu –  $6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ,  $c$  je rychlost světla ve vakuu,  $\lambda$  je vlnovou délkou vyzářeného záření,  $K$  Boltzmannova konstanta a  $T$  absolutní teplota. [3]

## 2.2 Tepelný odpor

Tepelný odpor nám dává míru odporu proti pronikání tepla. Definuje, jakou plochou a při jak velkém rozdílu teplot na povrchu materiálu dojde k přenosu 1 W, čili k přenosu energie o velikosti 1 J za 1 sekundu. Čím vyšší je tepelný odpor materiálu, nebo konstrukce, tím pomaleji teplo prochází. Je-li známa hodnota součinitele tepelné vodivosti vrstvy materiálu a je-li konstantní, povrchy kolmé na směr tepelného toku jsou vzájemně rovnoběžné (planoparalelní vrstva) a vrstvou tak proudí rovnoměrný tepelný tok, je tepelný odpor definován vztahem č. 8. Kde  $d$  je tloušťka vrstvy – tloušťka vrstvy v konstrukci [m] a  $\lambda$  součinitel tepelné vodivosti [W/(m·K)]. [24]

$$R = \frac{d}{\lambda} [m^2 \cdot K/W] \quad (8)$$

## 2.3 Tepelný výkon lidského těla

Lidské tělo je neustálým zdrojem tepla. Produkci tepla lidského těla můžeme rozdělit do dvou skupin. Bazální metabolismus, teplo je generováno biologickými procesy (např. spalování potravy). Svalový metabolismus, tedy vykonávání činnosti, práce. V tabulce č. 2 jsou uvedeny názorné hodnoty metabolismu, které mohou být vyjádřeny jako tepelný výkon průměrného člověka (W), jako měrný tepelný výkon na jednotku plochy lidského těla ( $W \cdot m^{-2}$ ) nebo jednotkou vytvořenou pro studium tepelné pohody met (1 met =  $58,2 W \cdot m^{-2}$ ). Pro průměrnou velikost povrchu člověka  $1,72 m^2$  to odpovídá přibližně 100 W. [2]

Tab. 2: Tepelný výkon lidského těla při určitých činnostech [2]

<b>Činnost</b>	<b>tepelný výkon [W]</b>	<b>Měrný tepelný výkon na jednotku plochy lidského těla [W.m<sup>-2</sup>]</b>	<b>jednotka tepelné pohody [met]</b>
Spaní	70	40	0,7
Odpočívání, ležení na posteli	80	46	0,8
Sezení, odpočívání	100	58	1
Stání, práce v sedě	120	70	1,2
Velmi lehká práce (učitel, nakupování, vaření)	160	93	1,6
Lehká práce (domácí práce, práce s přístroji)	200	116	2
Středně těžká práce (tanec)	300	175	3
Těžká práce (tenis)	600	350	6
Velmi těžká práce (squash, práce v hutích)	700	410	7

### 3 CHLAZENÍ

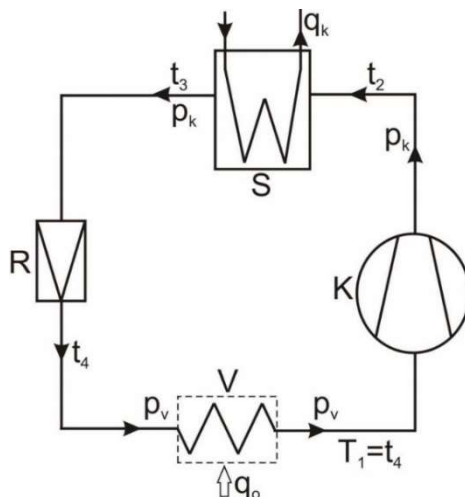
V předchozí kapitole bylo popsáno teplo jako nežádoucí termodynamická veličina vznikající při provozu nejen síťových prvků, ale u jakéhokoliv elektrického zařízení (pokud zařízení není přímo určené k výrobě tepla). Ve většině případů je třeba zařízení chránit proti přehřátí. V momentě, kdy k němu dojde je narušován bezproblémový chod zařízení, riskuje se celkové zničení zařízení, či dokonce vznik požáru. Chlazení tedy znamená úmyslné snížení teploty daného objektu, prostoru. V základu rozdělujeme chlazení do principu fungování, tedy z fyzikálního pohledu.

#### 3.1 Principy chlazení

Základní principy chlazení z fyzikálního hlediska jsou níže popsány. Jde o kompresorové, absorpční chlazení a chlazení pomocí Peltierova článku. Dále existuje např. princip adsorpčního chlazení. Jiné techniky chlazení (z fyzikálního hlediska netoliko složité) jsou zmíněny v podkapitolách níže.

##### 3.1.1 Kompresorové chlazení

Jedná se o nejrozšířenější způsob chlazení. Obvod takového chladicího systému pak vidíme na obrázku č. 3.1. Základní prvky kompresorového chlazení jsou kondenzátor - S, expanzní (nebo také redukční) ventil - R, výparník - V a samozřejmě kompresor - K. [14]



Obr. 3.1: Princip kompresorového chlazení [14]

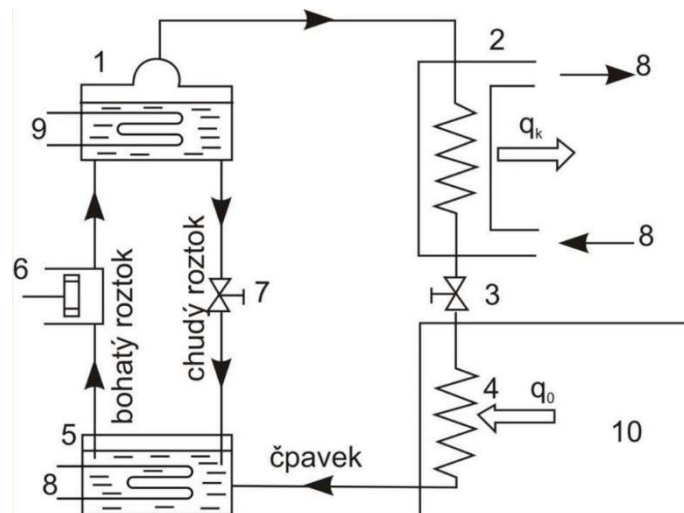
Princip kompresorového chlazení funguje na základě kapalného chladiva, které se odpařuje a kondenzuje. Princip vyžaduje velké množství dodaného tepla. Chladicí kapaliny při téměř atmosférickém tlaku mají teploty varu pod bodem mrazu. Tyto kapaliny obvodem protékají nepřetržitě. Látka v obvodu se odpařuje ve výparníku a při tom pohlcuje nežádoucí teplo z prostoru (systému kde pracuje). Následně v kompresoru jsou páry chladiva (tzv. freony) stlačovány a přiváděny do kondenzátoru, dochází ke kondenzaci. Odtud sražené chladivo putuje do sběrného místa, odkud je podle nutnosti



upouštíme přes expanzní (redukční) ventil do výparníku. Dochází k rychlému sražení teploty a tedy vypařování (přeměně z kapalného skupenství na plynnou), vzniká chtěný chlad. [15]

### 3.1.2 Absorpční chlazení

Absorpční chlazení je založeno na obdobném systému jako kompresorové.



Obr. 3.2: Princip absorpčního chlazení [14]

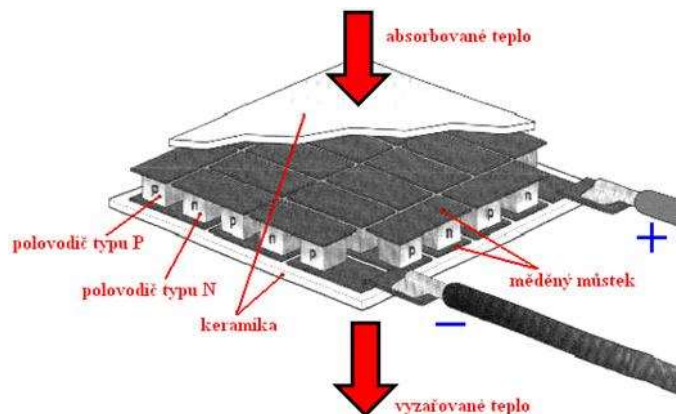
Na obrázku č. 3.2 je obvodové schéma. Ve výparníku (číslo 4 na obrázku) se odpařuje chladivo (díky odebrání tepla z prostoru, který je ochlazován – 10) a dále je pohlcováno roztokem absorbentu v absorbéru (5). Odtud absorbent s rozpuštěnými chladivými parami (bohatý roztok) bude přečerpáván (6) do regenerátoru (1) a zde díky přiváděnému teplu (9) budou vypuzeny chladivé páry. Chudý roztok putuje zpět do absorbéru přes škrťací ventil (7). Chladivé páry putují do kondenzátoru (2) a zde jim je díky chladicí vodě (8) odebráno teplo, páry tedy kondenzují. Přes redukční ventil (3) je tato kapalina vrácena do výparníku. Na obrázku č. je čpavek využit jako chladivo, v praxi se setkáváme i s využitím vody, ovšem pro systémy pracující nad bodem mrazu. Tento způsob chlazení má poměrně vysokou účinnost. [15]

### 3.1.3 Termoelektrický princip

Termoelektrický princip (jev) spočívá v přeměně tepelné energie na elektrickou či obráceně. Na tomto principu fungují takzvané termoelektrické články. Tento jev najde uplatnění při výrobě elektřiny, vytápění, různých měřeních a právě chlazení. Termoelektrické jevy dělíme na Seebeckův, Peltierův a Thomsonův. Nás zajímá Peltierův jev, nejvyužívanější pro chladicí účely. Ten funguje na principu průchodu stejnosměrného napětí obvodem, který se skládá ze dvou kovů zapojených v sérii. Mezi oběma kovy vzniká teplotní rozdíl. Dle přiložené polarity napětí se jedna strana ohřívá a druhá ochlazuje.

Při průchodu elektrického proudu dochází k přemísťování volných nabitých částic. V kovech jde o elektrony, v polovodičích elektrony a díry. Příčinou tohoto přesouvání roste nerovnováha elektronů mezi spoji materiálů (kov, či polovodič) a dojde k nárůstu

termoelektrického napětí. To je přímo úměrné teplotnímu rozdílu spojů na materiálech (vyšší napětí – vyšší teplotní rozdíl). Vyšší teplota bude na spoji, kde bude kontaktní napětí vyšší (odtud bude generováno teplo). [16]



Obr. 3.3: Peltierův článek [16]

Samotná komponenta se nazývá Peltierův článek (obrázek č. 3.3). Běžně je k dostání v rozměrech řádově desítky milimetrů, šířka pak jednotky milimetrů. Chladicí výkon pak může být (v závislosti na kvalitě – ceně) desítky až stovky wattů. V praxi mohou tyto články dosáhnout chladu až okolo  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nevýhoda těchto článků je účinnost.

## 3.2 Chlazení IT zařízení

IT zařízení jakéhokoliv typu, ať už jde o komponenty počítače či síťové prvky umístěné v racku, obsahují velké množství polovodičových součástek. Ty se během své činnosti mohou dostat na vysoké pracovní teploty (i nad  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Při těchto teplotách ovšem komponenty sestavené převážně z polovodičů ztrácejí své původní vlastnosti. V nejhorších případech může dojít k nevratnému poškození. Chlazení je proto nezbytnou podmínkou pro bezproblémový chod. V současné době jsou komponenty (např. CPU – Central Processing Unit, zdroje, grafické karty) nejčastěji chlazeny pasivními i aktivními chladiči. V principu tyto chladiče využívají k ochlazení vzduch, ovšem každý jiným způsobem. Méně rozšířené (pro náročnější komponenty) je chlazení na vodní bázi, dusíkem či olejovou lázní.

### 3.2.1 Pasivní chladiče

Pasivní chladiče (obrázek č. 3.4) se k chlazení daných komponentů upevňují přímo. Základními materiály pro výrobu pasivních chladičů jsou měď a hliník. Měděné chladiče jsou kvalitnější, ovšem kvalita odpovídá vyšší ceně. Tepelná vodivost mědi je  $386 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . Hliníkové chladiče jsou rozšířenější varianta, cenově dostupnější. Tepelná vodivost je pro srovnání znatelně nižší,  $237 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ . [17] Hliník má výhody i v lepším zpracování a nižší váze. Pro dokonalejší odvod tepla výrobci nabízí i kombinované varianty obou materiálů. Například jádro bude z měděného materiálu a na něj budou navazovat hliníková žebra.



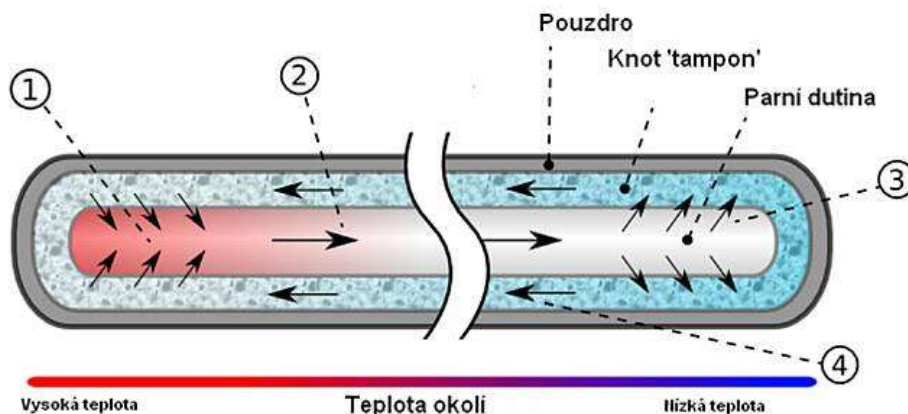
Obr. 3.4: Pasivní chladič [18]



Obr. 3.5: Teplovodivá pasta [19]

Pro zkvalitnění přenosu tepla se pak využívá teplovodivé pasty (obrázek č. 3.5). Tato pasta je nanášena v určitých místech citlivých na přenos tepla. Minimalizuje ztráty při nerovnostech materiálů. Existují teplovodivé pasty na silikonové, keramické či kovové bázi, rozdíl je v kombinacích různých prvků.

Dalším důležitým chladičem spadající do kategorie pasivních je tzv. Heatpipe (obrázek č. 3.6). Jde o měděnou trubici různých velikostí, hermeticky uzavřenou na obou koncích. Vnitřní prostor je pak vyplněn kapalnou látkou (freon, čpavek atd.).



Obr. 3.6: Princip chlazení heatpipe [20]

Zahřátím se z pracovní kapaliny stává pára, ta odebírá tepelnou energii. Pára putuje parní dutinou ke konci s nižší teplotou. V prostředí s nižší teplotou pára kondenzuje a vznikající kapalina je absorbována knotem za uvolnění tepelné energie. Pracovní kapalina vlivem kapilární vztlávací síly teče ke konci vyšší teplotou. [20]

### 3.2.2 Aktivní chladiče

Vzduch je zde přiváděn (či odváděn pryč) pomocí ventilátorů (obrázek č. 3.7). Vzniká umělá cirkulace vzduchu. Aktivní chladiče se instalují jako doplňující chlazení k pasivním, kde přiváděným vzduchem odvádí vzniklé teplo z jejich okolí. V různých zařízeních, např. v počítačové skříni, boxech síťových prvků atd. vytváří aktivní chladiče vzduchové tunely. Princip je velmi jednoduchý, přední stranou boxu je vháněn vzduch do prostoru s komponenty, ze zadní strany je pak dalším aktivním chladičem ohřátý vzduch vyháněn ven.



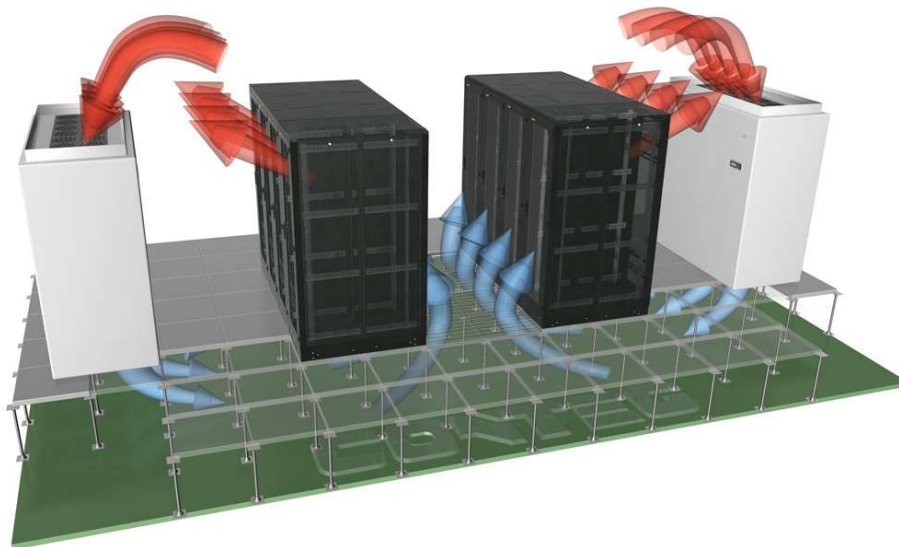
Obr. 3.7: Aktivní chladič [21]

## 3.3 Klimatizace

Aktivní i pasivní chladiče chrání proti přehřátí zejména vnitřní části zařízení, ale ochranu proti přehřátí místností, kde je v provozu velké množství těchto zařízení (typicky právě DC, laboratoře) zajišťují klimatizační jednotky. Můžeme je rozdělit dle použití na klimatizace určené k zajištění komfortu. Jde zejména o použití v domácnostech, veřejných prostorách, kancelářích, dopravních prostředcích. Dále jde o průmyslové použití. Kromě již zmiňovaných prostor s různým zařízením vykazující tepelné ztráty (DC), jde například o výrobní haly (zejména tam, kde provoz vyžaduje nízké teploty – potravinářský průmysl, farmacie). Fyzikální princip klimatizace je popsán v kapitole 3.1.1 (kompresorové chlazení).

## 4 HORKÁ – STUDENÁ ULIČKA

Vzniklé teplo je potřeba eliminovat, to obstarává chlazení. V rozsáhlém komplexu DC je potřeba vzniklé teplo a potřebný chlad od sebe patřičně oddělit. Takovéto uspořádání racků a dalšího zařízení se nazývá horká (pro teplo) a studená (pro chladivo) ulička (základní uspořádání je vidět na obrázku č. 4.1). Princip spočívá v natočení skříní tak, že čela jsou orientována k sobě a studený vzduch je k nim vháněn přes zdvojenou podlahu. Ze zadních stran pak horký vzduch stoupá vzhůru a je odsáván pryč.



Obr. 4.1: Horká - studená ulička [22]

### 4.1 Uzavřená studená ulička

Takovíto způsob vytvoření studené uličky, kdy je modulárně uzavřena ze všech stran zabraňuje vzniku hot-spotů (recirkulace horkého vzduchu). Fyzicky je oddělen přiváděný studený vzduch od horkého. Ten má přívod buď z prostoru zdvojené podlahy, nebo lokálně pomocí bočních chladících jednotek. Ty jsou osazeny přímo v rozvaděčích. Díky tomuto řešení se zvyšuje efektivita chladícího výkonu a tedy i nižší energetické náročnosti.

### 4.2 Jiná řešení

Mezi další řešení můžeme zahrnout systém, kdy je studený vzduch z prostoru zdvojené podlahy vháněn přímo do rozvaděče. Deflektor, který je umístěn ve spodní části rozvaděče směřuje studený vzduch do předních panelů síťových prvků v rozvaděči. Díky regulátoru přívodu chladného vzduchu na dně rozvaděče může být regulováno množství vzduchu, případně jej lze úplně uzavřít v momentě, kdy rozvaděč není osazen zařízeními.

Výhodou tohoto způsobu chlazení je velká flexibilita v plánování osazení místnosti. Rozmístění rozvaděčů do teplé a studené uličky zde není vyžadováno, pokud je horký a studený vzduch separován uvnitř rozvaděče. K tomuto je nutné osadit rozvaděče separačním rámem pro důsledné oddělení chladného a horkého vzduchu. [23]

Další řešení je odvod tepla ne zpětně do místnosti, ale komínovým nástavcem do podhledu. Zadní deflektor usměrňuje horký vzduch do tohoto prostoru. Z podhledového prostoru je horký vzduch vháněn do klimatizačních jednotek a celý okruh je tím uzavřen. Díky těmto řešením se podstatně zvyšuje efektivita. [23]

## 5 PROCES VÝSTAVBY DATOVÉHO CENTRA

Datová centra dnes již nejsou výsadou velkých firem a podniků. V současné době potřeb ukládání velkého množství (mnohdy vysoce citlivých) dat je zavádění DC do menších firem zcela běžnou záležitostí. Investice se vyplácí, ovšem v krajním případě lze využít služeb cloudových uložišť jiných společností. Nejedná se však jen o ukládání dat, může jít o provoz a užívání různého typu aplikací. V pronajatém místě jiného DC pak menší firma může instalovat vlastní IT technologii, kde bude provozovat své systémy (web server, telefonie, interní systém pro správu firmy atd.). Možností využití DC je tedy nespočet.

Výstavba nového DC je náročným procesem pro všechny zúčastněné strany. Finančně náročná pro investora, technologicky pro projektanty. V momentě definování parametrů DC investorem, se práce projektantů řídí dle úrovní (tierů). Dle zadaných parametrů provozu, velikosti centra, místa vybudování (do zástavby, novostavba, rozšíření již stávajícího DC...) a jiných faktorů se určí odpovídající úroveň, která stanovuje minimální požadavky. Z hlediska Non-IT struktury projektanti kladou důraz převážně na chlazení a napájení. Chlazení dle tierů určuje jakým způsobem bude řešen rozvod studeného a odvod horkého vzduchu, použití zdvojené podlahy pro rozvod chlazení a v jaké výšce, či chlazení pouze mezirackovými jednotkami, odvod horkého vzduchu stropním prostorem, využití odvodu tepla komínovým nástavcem atd.. Z velikosti DC a počtu předpokládaných IT zařízení je spočítána i potřebná výkonost chladícího zařízení. Nutná chladící výkonost se počítá náročným způsobem, jelikož teplo produkované IT zařízeními se určuje složitě. Všeobecně se předpokládá odebíraný výkon 7kW elektřiny na rack, ovšem jak velké procento z této hodnoty se přemění v teplo, se nedá zcela jistě stanovit (nestálost provozu, postupné doplňování o nové prvky, atd.).

Napájení jako takové, je už v projektové fázi detailně řešeno s distributorem elektrické energie. Opět dle úrovní je rozhodnuto o typu přívodu, zdali půjde o jedno či více-větvé napájení (z více transformátorů). Největší DC mohou mít vlastní elektrickou rozvodnu, podobně jako například velké výrobní haly. V drtivé většině pak DC mají dvě větve napájení. První je přímo od distributora napojena na UPS a ta následně napájí přímo zařízení v racku. Druhá větev napájí druhou UPS (typicky značení větev A a větev B) a následně je vedena do rackové místnosti. UPS jsou často umístěny do vlastních místností, mimo IT zařízení a odděleně větev A a B (pro každou větev jiná místnost, jiná kabelová trasa). K nejnáročnějším DC se v projektu počítá s diesel agregáty jako rezervním zdrojem místo elektrické energie od dodavatele, v případě výpadku. Důležitou součástí rezervního napájení je i zdvojené napájení chladících zařízení. Určitá redundance napájení a chlazení roste s velikostí tieru.

Chlazení i napájení je řešeno samostatnými projekty, na starost je mají specializované firmy. Dalšími částmi jsou projekty pro zabezpečovací systémy, osvětlení, požární zabezpečení, kamerový systém a samozřejmě stavební projekt jako takový.

Při realizaci je tedy kladen vysoký důraz na perfektní komunikaci mezi jednotlivými projektanty a techniky. V případě, jde-li o projekt vyžadující vysokou míru bezpečnosti před vnějším napadením, stavební projekt je podle toho upraven. Znamenat to může použití speciálních materiálů odolných proti probourání, navrtání. Interiérové řešení je také upraveno (odolné dveře, mříže, panty atd.). V následujících tabulkách 3. a 4. jsou shrnuty důležité faktory výstavby DC.

Tab. 3: Důležité faktory výstavby DC

Napájení	Chlazení	Protipožární systémy	Fyzické zabezpečovací systémy
VN síť	průmyslové klimatizace	Detektory kouře	EZS
transformátory	Vzduchotechnika	Detektory tepla	Docházkový systém
NN síť	Zvlhčovače	Signalizace	Monitoring
Uzemnění, ochrana proti přepětí	Venkovní jednotky	Stabilní Hasící Zařízení	Biometrické systémy
UPS	rozvodný systém	Požární klapky	Bezpečnostní dveře
Diesel generátory			

Tab. 4: Důležité faktory výstavby DC

Konstrukce objektu	IT infrastruktura	Vzdálená správa, monitoring provozu
Izolace, podhledy	Optická síť	kontrola prostředí
Zdvojená podlaha	metalická síť	kontrola systémů
Rozmístění racků	Další kabelové trasy	Kontrola zabezpečení objektu
Další konstrukční prvky	Patch panely	Připojení do vnější sítě



## 6 PEC MĚŘENÍ

Než dojde k předání hotového DC svému budoucímu provozovateli, je třeba se ujistit o bezproblémovém chodu všech systémů. EPS, EZS, kamerové systémy, ty všechny mají své vlastní testovací procesy, během kterých se ověří jejich správná funkčnost. Ověřit dostatečnou účinnost chladících systémů ovšem nelze jinak než simulováním ostrého provozu. Je tedy třeba do dané místnosti instalovat zdroj tepla, který bude simulovat vznikající tepelnou zátěž ze síťových prvků.

PEC měření (Power Enviroment Cooling) je funkční, zátěžový a výkonnostní test non-IT částí datových center. Je zaměřen na nejdůležitější komponenty DC – napájení a chlazení. V tomto testu jsou prověřeny, změřeny a hodnoceny tyto části:

- Power (napájení)
- Enviroment (prostředí)
- Cooling (chlazení)

Je tedy ověřena celková funkčnost ještě před zahájením ostrého provozu. Takové měření může odhalit i neshody a bezpečně nastavit DC pro skutečný provoz.



*Obr. 6.1: Logo zátěžového boxu HotCat společnosti CATEGORY a.s. [25]*

### 6.1 Napájení (Power)

Testová fáze napájení se zabývá zatížením obou napájecích větví DC, dále je zaměřena na záložní zdroj, tedy jeho provoz, chování v případě výpadku. Testování je prováděno s ohledem na celek, uličku a rozvaděč. Výstupem je ověření maximální zátěže v těchto místech a ověření bezproblémového chodu.

## **6.2 Prostředí (Environment)**

Testová fáze prostředí monitoruje a sleduje pracovní prostředí v kontrolních bodech DC a dále pak zákaznický specifických místech. Výstupem jsou dokumenty s výsledky měření ve stavech provozu nula, start, ustálený provoz (grafy). Dále je prováděno hledání teplotních, NF a airflow defektů.

## **6.3 Chlazení (Cooling)**

Testová fáze chlazení monitoruje a dokumentuje schopnost chladících zařízení uchládit části DC při odpovídající tepelné zátěži na teplotu dle projektové dokumentace s povoleným rozsahem. Výstupem je opět dokumentace o provozu obsahující přehledné grafy s naměřenými hodnotami v místě celku, uliček, rozvaděčů.

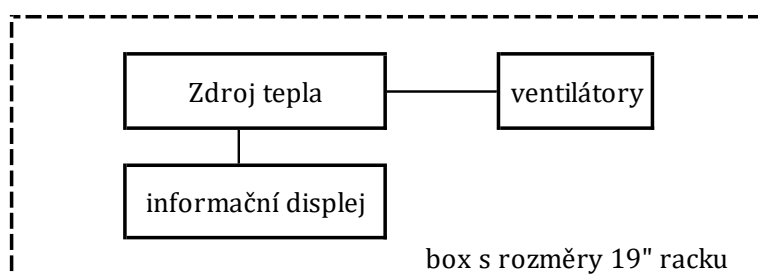
## 7 ZAŘÍZENÍ K MĚŘENÍ PEC

Základní smysl měření je postaven na tepelném zdroji, který bude věrohodně napodobovat teplo produkované IT zařízeními umístěnými v racku. V ideálním případě, když toto zařízení bude mít stejný rozměr pro montáž do 19" skříní.

Takto uměle vzniklé teplo, které bude simulovat budoucí provoz je třeba důkladně sledovat, měřit a následně vyhodnotit. Dalšími nezbytnými zařízeními jsou tedy různá čidla a měřicí přístroje. Nejlépe s výstupem dat pro zpracování v PC.

### 7.1 HotCat

Srdcem měření je zařízení s názvem HotCat. Jedná se o zátěžový box, na míru navržený a vyrobený. Optimálně splňuje požadavky pro účely tepelného zdroje v DC.



Obr. 7.1: Blokové schéma zařízení HotCat

Slouží v rámci PEC měření k provedení funkčního, zátěžového a výkonnostního testu. Elektronika je rozdělena na dvě části. To z důvodu testu výkonové zátěže (napájecí větve A a B) a z hlediska tepelného (postupné zvyšování teploty). Zjednodušené zapojení je vidět na blokovém schéma obrázku č. 7.1. Informační displeje slouží ke kontrole výkonového testu (V každé části jeden displej). Obě části mohou samostatně vypnout a zapnout topná tělesa (v zařízení dvě na v každé části) a zapnout a vypnout ventilátory (jeden ventilátor na každou část). Topná tělesa jsou každá o výkonu 1 500 W. Lze tedy dosáhnout postupně až 6 kW tepla. Je patrné, že konstrukce elektroniky v zařízení není složitá.

Tab. 5: Základní elektrické parametry zařízení HotCat

<b>Napájecí napětí:</b>	2x pohyblivý přívod do zásuvky 16A/230V
<b>Zdroj:</b>	max 2x 16A
<b>Příkon:</b>	cca 6 kW (topná tělesa)
<b>Pracovní teplota:</b>	-4 až 60 °C
<b>Jištění:</b>	jištění pro zásuvky 230V B16A (pevná el. Instalace zákazníka)

V tabulce 5 jsou základní elektrické parametry a v tabulce 6 je uveden seznam použitých komponentů. Detailní schéma zapojení je obsaženo v příloze. Elektronická část je umístěna v oceloplechové skříni krabicového tvaru (rozměry v tabulce 7).

Tab. 6: Seznam použitých komponentů v zařízení HotCat

Elektrické komponenty	
2x	přístrojová zásuvka 16A pro přívod A a B
2x	hl. vypínač část A a část B
4x	vypínače T1, T2, 16A pro část A a část B
	vodiče - silikon pryž izolace V07S-K, V07SJ-K pro teploty až +80 °C
4x	elektrické topné těleso 1500W
	digital display meter
2x	ventilátor SUNON A2175-HBT

Tab. 7: Technické parametry zařízení HotCat

<b>Rozměry:</b>	310 x 460 c 560 mm (V x Š x H)
<b>Barva:</b>	černá
<b>Krytí:</b>	IP 20
<b>Materiál:</b>	oceloplechová konstrukce

Přední strana obsahuje informační displej, vypínače jednotlivých topných těles a vypínače jednotlivých částí. Nad spodní ovládací částí dominují dva vzduchové otvory k ventilátorům. Přední deska má přesah k dokonalému uchycení do racku. Pro jednodušší manipulaci obsahuje háky k uchycení do montážních otvorů. Zadní strana má ve spodní části dva zásuvkové vstupy. Zbytek zadní strany je otevřený (chráněn mřížkou) pro výstup horkého ohřátého vzduchu. K pevnému uchycení zařízení slouží montážní konzole (obrázek č. 7.5) upevněná na druhou stranu racku.



Obr. 7.2: Přední strana HotCat



Obr. 7.3: Zadní strana HotCat

Zařízení před nasazením do provozu bylo podrobena kontrolním zkouškám v rámci norem ČSN EN. Pro lepší transport HotCatů byli vyrobeny originální boxy, do kterých se uskladní dvojce zařízení.



Obr. 7.4: Box pro dvojici zařízení



Obr. 7.5: Konzole k uchycení v racku

## 7.2 Senzory Loxone

Pro účely měření teploty a vlhkosti v testovaném DC, byly zvoleny senzory od výrobce Loxone. Loxone je výrobcem a inovátorem v oblasti inteligentních domácností. Zaměřují se na bezproblémovou kompatibilitu jednotlivých komponent, precizní funkčnost a dostupnost.

Pro účely PEC měření je kromě senzorů využito těchto *komponent*:

- Miniserver Loxone
- Teplotně-vlhkostní senzory Loxone
- WiFi router Ubiquiti
- Tablet
- Kovové stojany

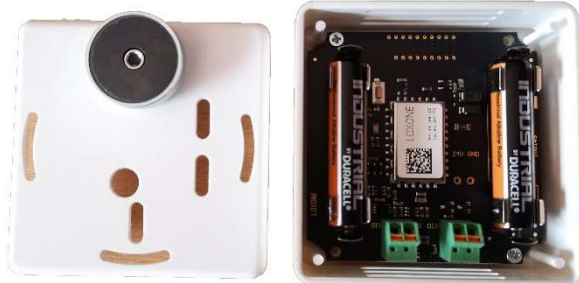
*Miniserver Go* od firmy Loxone je řídicí jednotkou. Komunikuje se senzory bezdrátově, ovládá je a zaznamenává naměřené hodnoty. Bezdrátové spojení přes WiFi síť je hlavní důvod využití pro měření právě tohoto systému. Díky možnosti komunikace až se 128 bezdrátovými zařízeními je ideálním řešením pro měření rozsáhlých prostorů.

*Teplotně-vlhkostní senzor Loxone* (obrázek č. 7.6 a 7.7) jedná se o bezdrátový senzor, umožňuje spolehlivé měření teploty a vlhkosti. Díky dvojici digitálních vstupů se dá

rozšířit o další senzory. Snímač je uzavřen do jednoduché plastové krabice, čili jeho instalace není nikterak složitá. Pro účely měření PEC jsou tyto krabičky doplněny o magnet, který celou konstrukci uchytí na jakémkoliv kovové místo (buďto na kovové



Obr. 7.7: Senzor Loxone

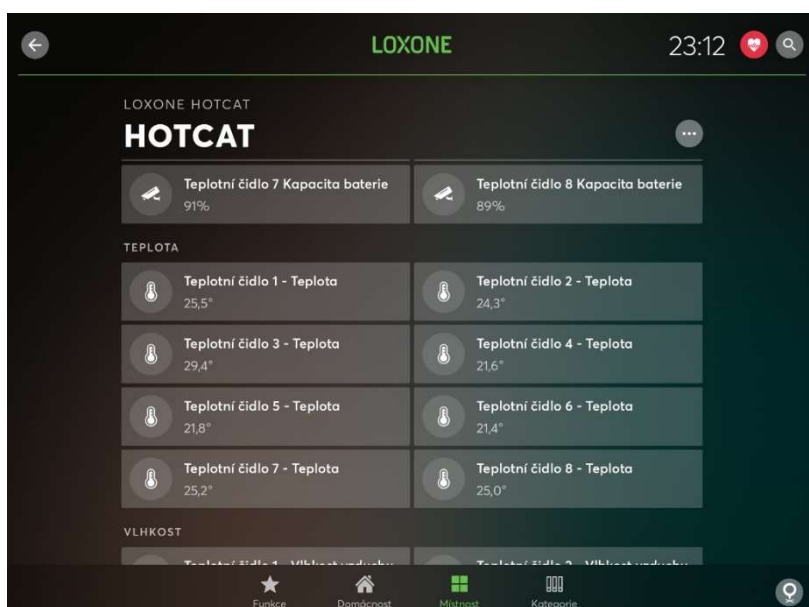


Obr. 7.6: Senzor Loxone - vnitřní část

stojany určené přímo k tomuto měření, nebo do prostoru racku). Napájení zajišťují dvě 3 V AAA baterie. Provozní teplota se pohybuje od -20 °C do 70 °C. Stupeň krytí je IP20.

WiFi router *Ubiquiti* v rámci PEC měření slouží pouze k vytvoření WLAN (Wireless Local Area Network) sítě. Zajišťuje komunikaci mezi všemi účastníky měření, tedy senzory, miniserverem a vzdáleným ovládáním (na místě měření z praktického hlediska tablet, může být ale připojen jakýkoliv notebook, PC či mobil). Uživatelské prostředí ovládání na tabletu je intuitivní, jednoduché a přehledné (obrázek 7.8). Aplikace nabízí možnost real-time náhledu měření, real-time grafů. Vše je ukládáno na miniserver.

Celý set těchto zařízení je umístěn v přenosném robustním kufru vyrobeném na míru (obrázek č. 7.9).



Obr. 7.8: Uživatelské prostředí aplikace Loxone



Obr. 7.9: Přenosný box pro měření PEC

### 7.3 Termokamera

V rámci PEC měření slouží termokamera ke kontrole prostředí (enviromentu) v průběhu měření. Výstupem jsou snímky zachycující změny teplot v objektu. Typicky může jít o změny teplot racků, IT zařízení, silových rozvaděčů, či jiných těles v datovém centru.

Konkrétně je využita průmyslová termokamera firmy Fluke typ Ti32. Jedná se o vysoce kvalitní kameru s vysokým rozlišením snímače 320 x 240 pixelů. Kamera tedy zvládá rychlé a ostré snímky, bez zbytečných prodlev mezi jednotlivým focením. Dále se vyznačuje nejlepší teplotní citlivostí NETD (Noise Equivalent Temperature Difference), automatickým zarovnáním optického a infračerveného snímku (patentovaná technologie firmy Fluke). Kamera má možnost měnit objektivy (širokoúhlý – teleobjektiv). [29]

Kamera je robustní konstrukce do jedné ruky, ideální pro práci v náročných pracovních podmínkách. Konstruována byla pro případ pádu z výšky až 2 m. Samozřejmostí je odolnost proti prachu či vodě, kamera splňuje podmínky pro stupeň krytí IP54. Výstup fotografií je na paměťovou kartu.

### 7.4 Infrateploměr

Mimo termokameru lze využít k okamžitému zjištění teplot infrateploměr. Jde o rychlý a jednoduchý přístroj, díky kterému lze zjistit teplotní stavy i na hůře dostupných místech (rohy místností, strop atd.). Konkrétně je využit infrateploměr firmy Fluke 62 MAX+ (obrázek č. 7.10).



Stejně jako Termokamera Ti32 i toto zařízení je stavěno pro využití v terénu, odolává tedy prachu a vodě (IP54) a je stavěné na pád z výšky až 3 m. Teplotní měřicí rozsah je od -30 °C do 650 °C



*Obr. 7.10: Termokamera Fluke Ti32*

## **7.5 Zkoušečka napětí a proudu**

Pro kontrolu správnosti napájení, je mimo jiné využito elektrické zkoušečky rovněž firmy Fluke typ T5-600. Jedná se o typ pro snadné měření proudu pomocí otevřených kleští, určitou mírou automatizace (měření AC/DC) a přesným rozlišením. Rozsah měření AC napětí je 1-600 V a proudu AC 0,1-100 A. Konstrukce zařízení je opět robustní, stupeň krytí IP52.



*Obr. 7.11: Zkoušečka Fluke T5-600*



## 8 POSTUP MĚŘENÍ PEC

Na samotném začátku této služby, tedy měření PEC je třeba zákazníka pečlivě seznámit s celým procesem měření. Seznámit s průběhem, cenou, časovou náročností a jinými nezbytnostmi. Ze strany zákazníka je třeba vyžádat technickou dokumentaci DC, kterého se měření bude týkat. V zásadě je třeba projít veškeré dílčí dokumenty, tedy elektroinstalaci, vzduchotechniku, stavební půdorysy atd. čím více informací, tím menší pravděpodobnost budoucích problémů. Důležité je i vyžádání seznamu síťových zařízení, aby se dal odhadnout odebíraný výkon. V některých případech se výkon určuje všeobecně na hodnotu okolo 6 kW na rack.

Všeobecně lze PEC měření rozdělit do dvou variant. V té první se jedná o měření v novém DC. V tomto případě se místnost měří před samotným zprovozněním, v podstatě si zákazník ověřuje funkčnost non-IT dle projektu. V druhé variantě jde o měření v již stávajícím DC, kde chce například zákazník rozšířit stávající racky o další zařízení a není si jistý dostatečným výkonem klimatizačních jednotek.

### 8.1 Před měřením

Měření zpravidla probíhá jeden den. Po příjezdu na místo je provedena kontrola se správcem sítě, případně majitelem, techniky a dalšími. Důkladné seznámení s podklady probíhá ještě před příjezdem, na místě jsou dle půdorysu vhodně rozmístěny teplotní senzory. Dále se přejde k umístění HotCatů do skříní. Důležité je mít připravená volná místa, a také dostatečně volnou energetickou kapacitu, aby nedošlo k přetížení některé větve napájení. Volná místa nad a pod HotCatem jsou zaslepena, aby se zamezilo promíchání studeného a horkého vzduchu.

V této fázi máme DC připravené k měření. Vyzkouší se správnou funkčnosti zařízení, komunikace se senzory. Pokud je vše v pořádku může se DC uzavřít, aby došlo ke stabilizaci teploty a vlhkosti, která byla změněna pohybem osob a techniky. V průběhu měření je nutné eliminovat zbytečné otvírání dveří, díky čemu by došlo k ovlivnění prostředí. Průvan by mohl mít negativní vliv na průběh měření. Je zkontrolována klimatizace, na jakou teplotu je nastavena.

### 8.2 Průběh měření

Nejdříve je po určité době měřeno stávající prostředí, bez zátěže HotCatu. Průběžně jsou hodnoty získané senzory kontrolovány přes vzdálené ovládání. Vzdálené ovládání je opět hlavně z důvodu kvalitnějšího měření, odpadá nutnost otvírání vstupních dveří. Po této první fázi (přibližně hodina, dle situace) se přejde ke spuštění prvních topných těles HotCatů. Opět je místnost uzavřena, teplota je sledována. Nárůst teplot je očekáván spíše mírný. Takto je tepelná zátěž postupně zvyšována. Mezi jednotlivými

intervaly je časová prodleva, většinou minimálně jedna hodina. Zvyšování je zastaveno v momentě, kdy senzory neustále zaznamenávají vzrůstající teplotu. A to i v místě, kde by se teplota měla držet konstantě (studená ulička, prostor u výstupu klimatizačních jednotek). V tomto bodě je měření se zátěže zpětně vypínají, dokud nebude zjištěna nejvyšší teplota, při které se drží stabilní teplota v místnosti, respektive klimatizace zvládají uchlazení prostor.

Senzory kromě teplot měří i vlhkost, která je neméně důležitým údajem při určování chování prostředí. Průběžně je měřeno i napájení. Za pomoci multimetrů na HotCatech, kde je sledován proudový odběr, případně za pomoci klešťových ampérmetrů. V případě, že je ze strany majitele zájem o test záložního napájení, může být HotCat využit jako budoucí zařízení o určitém odběru. Jednoduše je tedy odpojeno hlavní napájení a DC je napájeno pouze UPS. Ověří se tím jejich výdrž garantovaná dodavatelem. Dalšími doplňkovými měřeními PEC jsou fotky citlivých míst pomocí Termokamer a měření teplot v nepřístupných místech pomocí infrateploměrů.

### **8.3 Ukončení měření**

Než dojde k vypnutí HotCatů je zapotřebí nechat topná tělesa pomocí ventilátorů vychlázdnout. Doba ochlazení je do několika minut. Zařízení se následně demontují a rack se vrací do původního stavu. Po uložení výsledků měření a jejich pečlivém překontrolování se může zahájit úklid senzorů a celého DC. Na závěr je DC opět překontrolováno správcem sítě, či jinou zodpovědnou osobou. Následuje zpracování hodnot. Ideálním výstupem pro zákazníka jsou přehledné grafy a tabulky, ze kterých je patrný jasný výsledek. Ten by měl být patřičně okomentován a měl by obsahovat jistou formu závěru, ve kterém se shrne celé měření a kde budou doporučeny změny (v případě špatných, nevyhovujících výsledků). V případě slabé klimatizace, která v měřeném DC nezvládá uchlazení ohříváný vzduch je doporučen její servis, případně výměna za silnější model. Typickým důvodem bývá i nedostatečná vlhkost, která by se měla držet v ideálním případě mezi 45 až 60 %. V případě naměření nízkých hodnot vlhkosti je doporučeno pořízení zvlhčovacích zařízení.

## 9 VZOROVÉ MĚŘENÍ PEC

Ve dnech 11.-12. dubna 2019 bylo provedeno vzorové měření PEC v prostorách datového centra firmy *CATEGORY a.s.*, konkrétně na pobočce firmy v Praze 4. Měření probíhalo bezmála 8 hodin. Připočteme-li čas příprav a úklidu, dostáváme se za hranici deseti hodin. Celé měření bylo fotodokumentováno, galerie se nachází v příloze. Toto měření se téměř nelišilo od výše popsaného měření PEC.

### 9.1 Parametry DC

Vzorové datové centrum slouží jako Demonstrační Datové Centrum (DDC) firmy, využíváno především k seznámení s prvky datových center a s možností jejich využití při výstavbě nových i rekonstruovaných prostor. Místnost je svými rozměry typickým zástupcem DC. Je umístěna v prostorách technického přízemí *CATEGORY a.s.* v Praze, Jalodvorská 831. Demonstrační Datové Centrum vzniklo vetknutou sádkartonovou konstrukcí do stávajících prostor. Za vstupními dveřmi se zobrazí skleněná stěna po levé straně, s průhledem do celé vrstvy DDC. Dále následují silnoproudé rozvaděče. Celé místnosti dominuje dvojřad racků, které jsou mezi sebou uzavřeny do studené uličky. Rozměry místnosti a půdorys je uveden v příloze. Místnost má ve stropní části podhled. Je klimatizovaná vnitřní jednotkou Sanyo SPW-XM185H. Nasávání teplého vzduchu probíhá z vrchní části klimatizační jednotky, která je umístěna mezi pravou stranou racků, nejedná se o vnitřní jednotku do podhledu. Venkovní jednotku pak tvoří Sanyo SPW-CR184GVH56B. Parametry klimatizačních jednotek jsou uvedeny v tabulkách 8 a 9.

Tab. 8: parametry vnitřní jednotky klimatizace

SPW-XM185H		
<i>cirkulace vzduchu (H/M/L)</i>	m <sup>3</sup> /h	750/630/540
<i>odvlhčení</i>	l/h	1,9
<i>hladina akustického tlaku</i>	dB-A	41/37/33
<i>rozměry jednotky (Š-V-H)</i>	mm	283x575x757
<i>rozměry panelu (Š-V-H)</i>	mm	30x625x625
<i>hmotnost jednotky</i>	kg	16
<i>hmotnost panelu</i>	kg	2,4
<i>napájení</i>	V, Hz	230/50

Tab. 9: parametry venkovní jednotky klimatizace

SPW-CR184GVH56B		
výkon (chlazení)	kW	1,44
výkon (topení)	kW	1,42
hmotnost	kg	40
chlادivo		R410A (1,65kg)

V příloze se také nachází technická dokumentace elektroinstalace, osvětlení či rozmístění technologií. V samotných datových rozvaděčích převažují volná místa. Z celkem pěti racků jsou pouze dva osazeny různými zařízeními (uvedeny v tabulce 10).

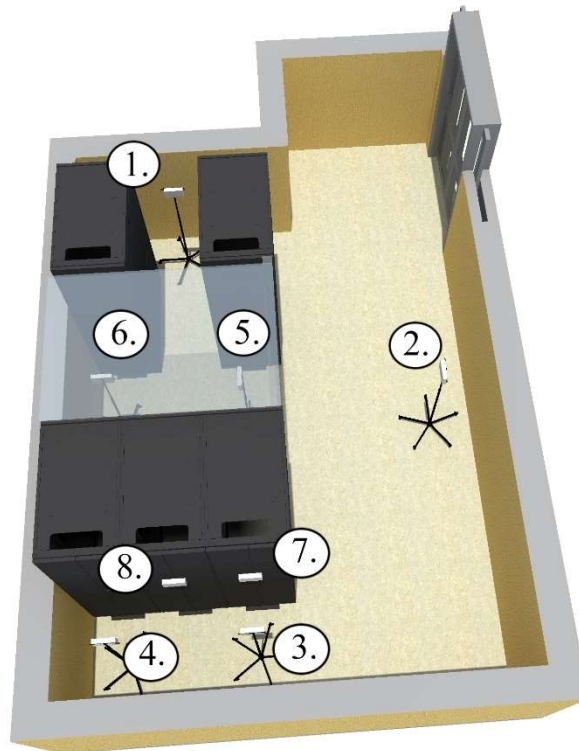
Tab. 10: Síťové prvky v DDC

Rack I.		Rack II.	
počet ks.	zařízení	počet ks.	zařízení
3x	TK Server	2x	Cisco Catalyst 3750G
1x	Avaya G430	1x	AR 450S Allied Telesyn
1x	Hikvision NVR	1x	AT-8000S Allied Telesyn
1x	Eaton NCR PW5125	1x	Hikvision NVR
		1x	Avaya G350
		1x	Econel 230R S1 Fujitsu
		2x	EMS Clever
		1x	Hub Clever
		1x	SG 6000 Hilstone
		1x	NEC 200 iPasolink
		1x	Cisco 1921
		1x	AT FS716L Allied Telesis

## 9.2 Průběh vzorového měření

Před zahájením měření byl důkladně nastudován technický stav DC, jeho rozměry a byla stanovena pevná doba měření, která s časovým předstihem byla sdělena správci sítě. To z důvodu minimalizování pohybu v místnosti. V první řadě byly rozmístěny senzory. Využilo se všech 8 dostupných senzorů a jejich rozmístění bylo určeno pro získání těch nejefektivnějších výsledků. První senzor byl umístěn do teplé uličky bez zařízení HotCat. Druhý senzor před skleněný průhled. Třetí a čtvrtý senzor byl umístěn do teplé uličky se zařízením HotCat, zde se předpokládají nejvyšší teploty. Pátý a šestý senzor byl nastaven do studené uličky. Poslední dva senzory byly magnetem přichyceny ke vzduchovým výdechům HotCatů.

Tyto poslední dva senzory slouží spíše pro kontrolu výstupních teplot. S výjimkou těchto dvou posledních byly zbývající senzory přichyceny na stativy. Pro lepší orientaci je rozmístění vidět na obrázku č. 9.1.



*Obr. 9.1: Rozmístění senzorů*

Po rozmístění bylo provedeno základní nastavení přes ovládací tablet senzorů. Byl spuštěn Wifi router, ověřena funkčnost měření teploty i vlhkosti. Do předem vybraných míst byly umístěny HotCaty, výška umístění byla stanovena do prostoru 60-90 cm (12-19U). Jejich stabilizace v racku byla podpořena konzolemi. Zbylá místa byla pečlivě zaslepena, aby nedošlo k promíchání teplého a studeného vzduchu. Po této instalaci a kontrole bylo spuštěno samotné měření v čase 20:06.

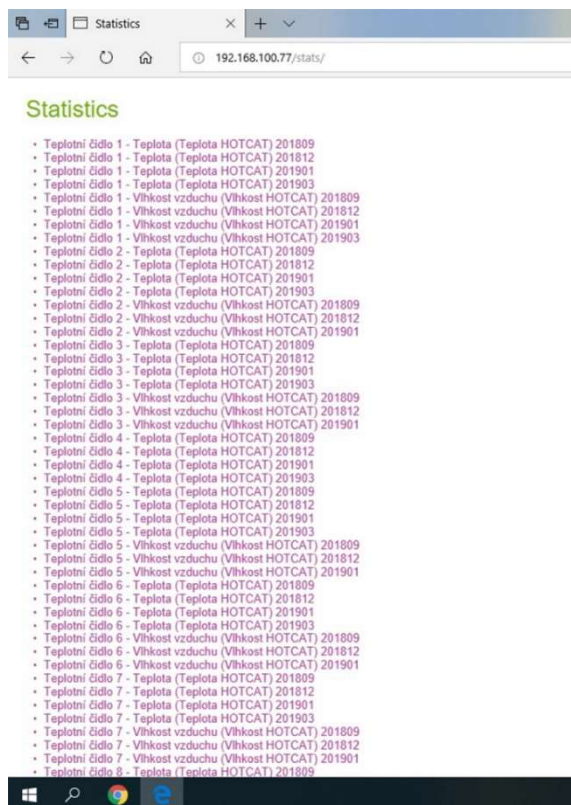
V první fázi šlo o měření DC v současném stavu. Během celého měření se minimalizoval pohyb lidí v místnosti, a to včetně techniků pracujících na samotném měření. Tato první fáze trvala přibližně dvě hodiny. V čase 22:00 byly spuštěny první topná tělesa na zařízeních (dvakrát 1500 W). Do času 23:00 byly zaznamenány minimální změny, proto se přešlo ke spuštění dalších dvou topných těles (celkem 2 x 3000 W). V této fázi přišly první výraznější změny. Přibližně o půlnoci byla zapojena i zbývající dvě tělesa (2 x 4500 W) a teplota se od této chvíle neustále zvyšovala, včetně teploty ve studené uličce. Tento stav byl vyhodnocen jako nežádoucí, když v čase 1:19 byl průběh teploty v místnosti neustále vzrůstající. Teplotní zátěž byla tedy zpětně nastavena na 2 x 3000 W. V tomto stavu se teploty po čase stabilizovaly. V čase 3:00 byly všechny topná tělesa

vypnuta a ventilátorům se nechal čas na doběh a ochlazení horkých topných těles. Nyní se měření považovalo za ukončené a mohlo se přejít k postupnému úklidu techniky a vrácení DC do původního stavu. Před odpojením senzorů byl důkladně překontrolován server, kde se ukládaly hodnoty měření.

Současně s měřením vlhkosti a teplo, byl průběžně monitorován proudový odběr obou větví. Využito bylo kontroly na multimetrech HotCatů a také klešťového ampérmetru. Stejně tak se průběžně kontrolovala teplota v citlivých místech infrateploměrem. Termokamerou se během měření zaznamenávali změny v různých místech. Na samotný závěr byla místnost spolu se správcem sítě obejita a překontrolována, že je v původním stavu.

### 9.3 Výsledky měření

Před zpracováním výsledků bylo potřeba získané hodnoty exportovat ze serveru. Jelikož miniserver Loxone ve kterém pracuje systém pro měření nemá přímou funkci k exportu hodnot, bylo zapotřebí získat data mimo hlavní aplikaci systému. To bylo provedlo přes webové rozhraní. Zadáním IP adresy miniserveru (v tomto případě 192.168.100.77) a připsáním za lomítko „stats“ – tedy 192.168.100.77/stats došlo k zobrazení uložených naměřených hodnot (obrázek č. 9.2).

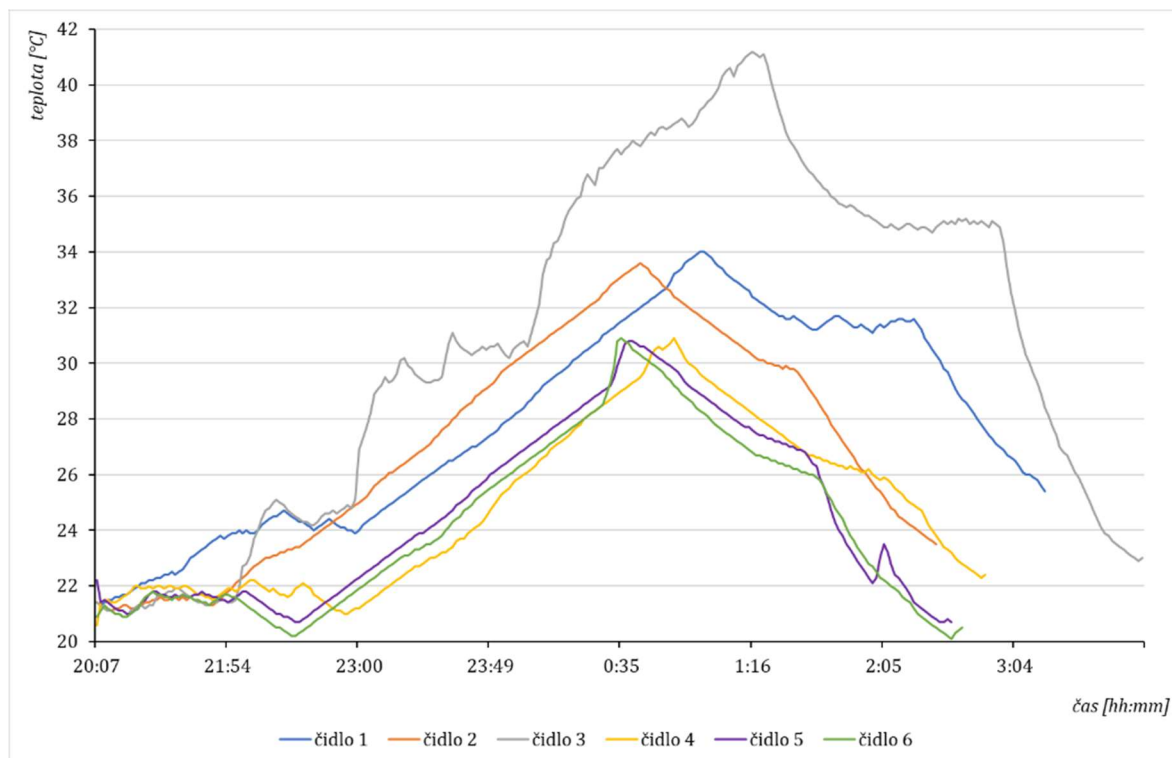


Obr. 9.2: Výpis naměřených hodnot na miniserveru

Následně se po kliknutí pravým tlačítkem myši na jednotlivá měření a uložení do textového souboru získala data, se kterými se dále pracovalo. Bylo nezbytné pro excel nevýhodný formát hodnot upravit, tedy rozdělit časový údaj měření a samotnou naměřenou hodnotu.

Jelikož se jedná o velké množství dat, bylo nutné vytvořit samostatný excel soubor, který byl naprogramován pro rozdělení hodnot z textu. Tyto již rozdělené hodnoty byly připraveny ke zpracování do tabulek a grafů. Vzniklo celkem osm tabulek a šestnáct grafů, tedy ke každému senzoru tabulka s hodnoty a graf teplotní a vlhkostní závislosti.

Pro přehlednost vznikl i graf, který vidíme na obrázku č. 9.3, kde jsou všechny teplotní průběhy. Na tomto grafu je zřejmé, že průběhy jednotlivých měření teplot jsou svým průběhem velice podobné. V následujících podkapitolách jsou detailněji rozebrány výsledky měření na jednotlivých senzorech.



Obr. 9.3: Teplotní průběhy během měření PEC

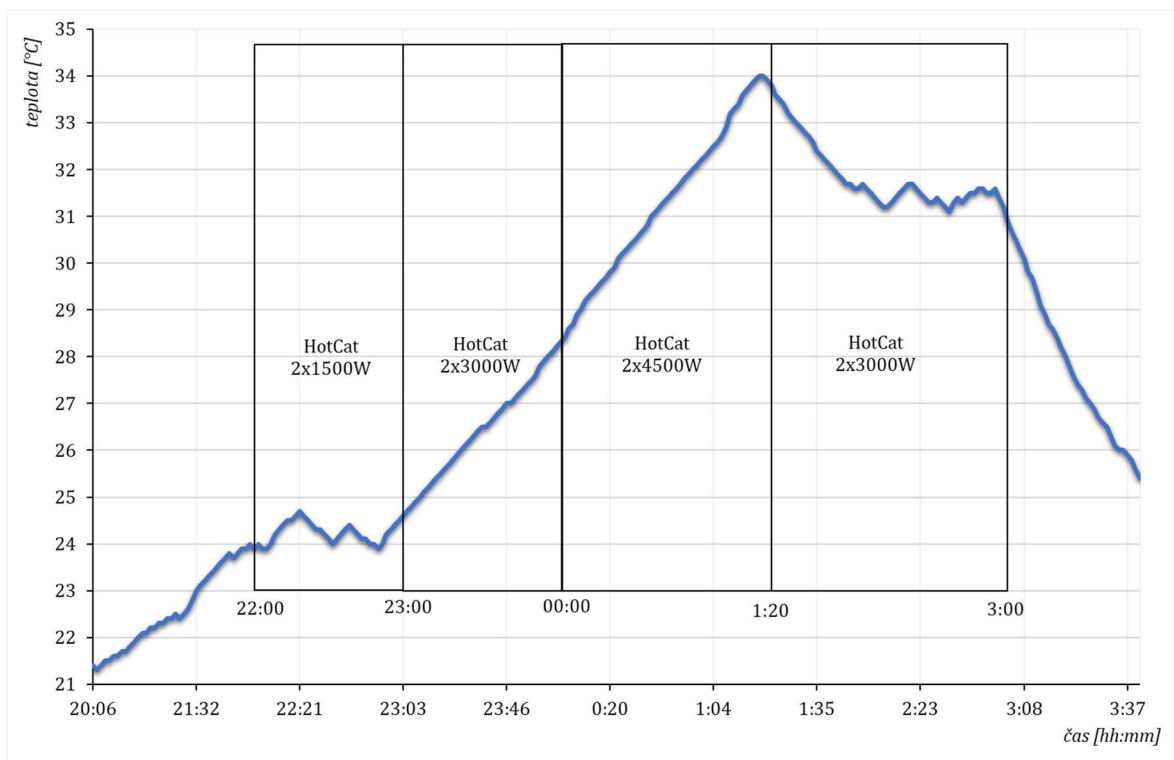
### 9.3.1 Senzor 1

Senzor jedna byl umístěn v prostoru horké uličky, kterou tvořila z jedné strany zeď místnosti a z druhé racky s výdouchy síťových zařízení. Mohl tedy být předpoklad vyšších teplot vlivem tepla přicházejícího od těchto zařízení. V první fázi měření, kdy se pozoroval stav bez přidaných tepelných zátěží teplota skutečně mírně vzrůstala. Ovšem po 22:00, kdy byla spuštěna topná tělesa 2 x 1500 W vykazoval senzor značné výkyvy. Tyto nepřesnosti mohly být způsobeny několika faktory, pravděpodobně nechtěným průvanem při otvírání dveří (senzor je dveřím nejbliže). Od času 23:00 je průběh čistě vzrůstající. U tohoto senzoru, který je nejvzdálenější od usazení HotCatů bylo dosaženo nejvyšší stabilní tepelné zátěže při 2 x 3000 W, jak ukazuje čtvrtá fáze grafu.

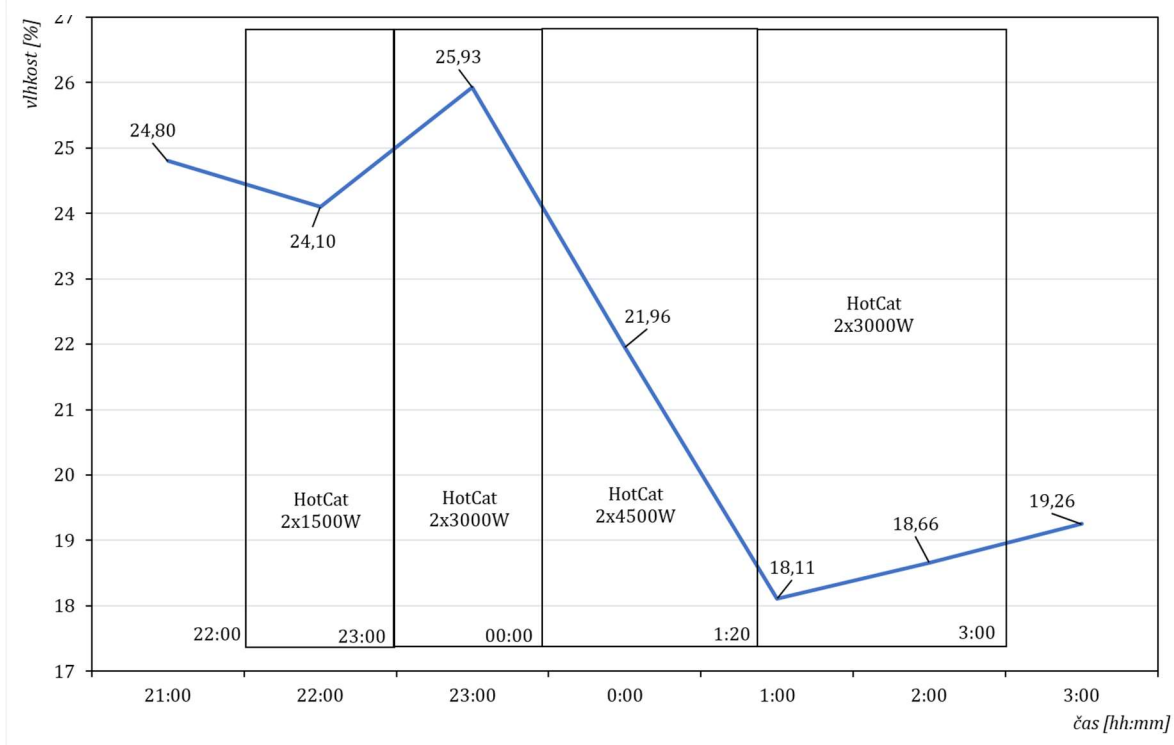
Tab. 11: Naměřené hodnoty senzoru 1

pořadí	čas [hh:mm]	teplota [°C]	vlhkost [%]
1.	20:10	21,4	27,3
2.	20:30	21,7	
3.	21:00	22,2	24,8
4.	21:30	22,6	
5.	22:00	23,9	24,1
6.	22:30	24,2	
7.	23:00	24,3	25,93
8.	23:30	26,4	
9.	0:00	27,9	21,96
10.	0:30	30,6	
11.	1:00	32,4	18,11
12.	1:30	33	
13.	2:00	31,6	18,66
14.	2:30	31,4	
15.	3:00	31,5	19,26
16.	3:30	26,1	





Obr. 9.4: Závislost teploty na čase senzoru 1



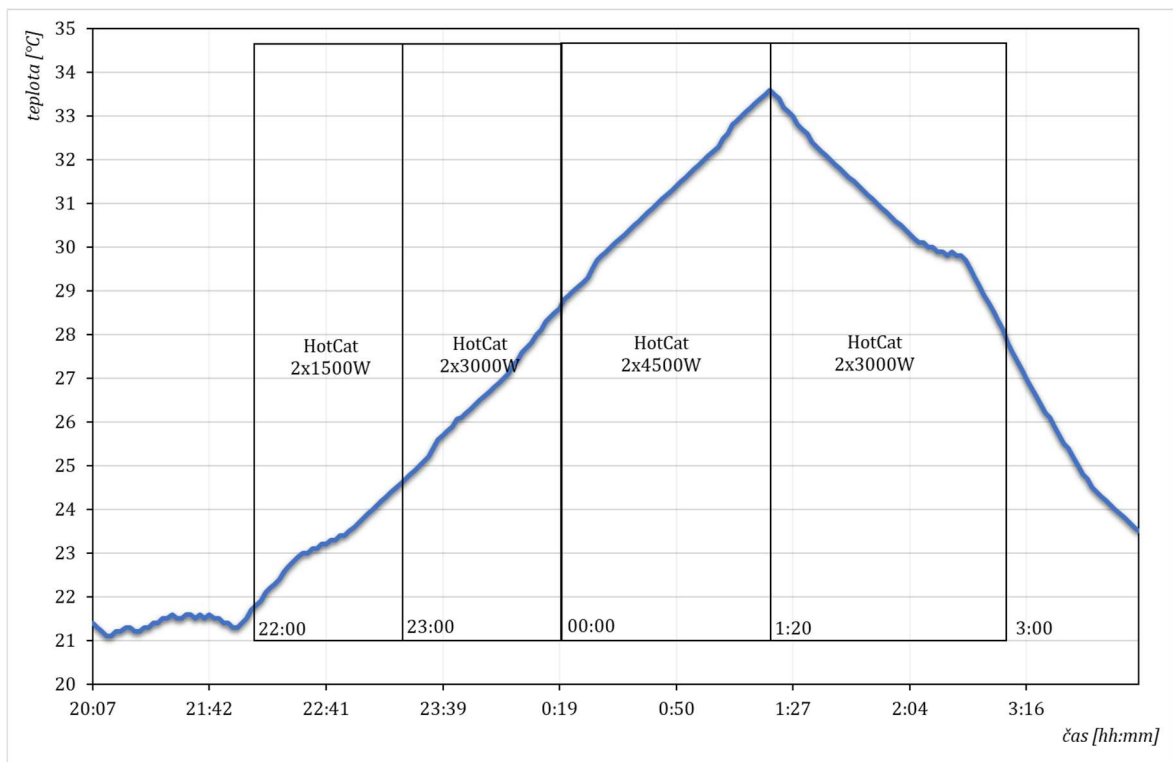
Obr. 9.5: Závislost vlhkosti na čase senzoru 1

### 9.3.2 Senzor 2

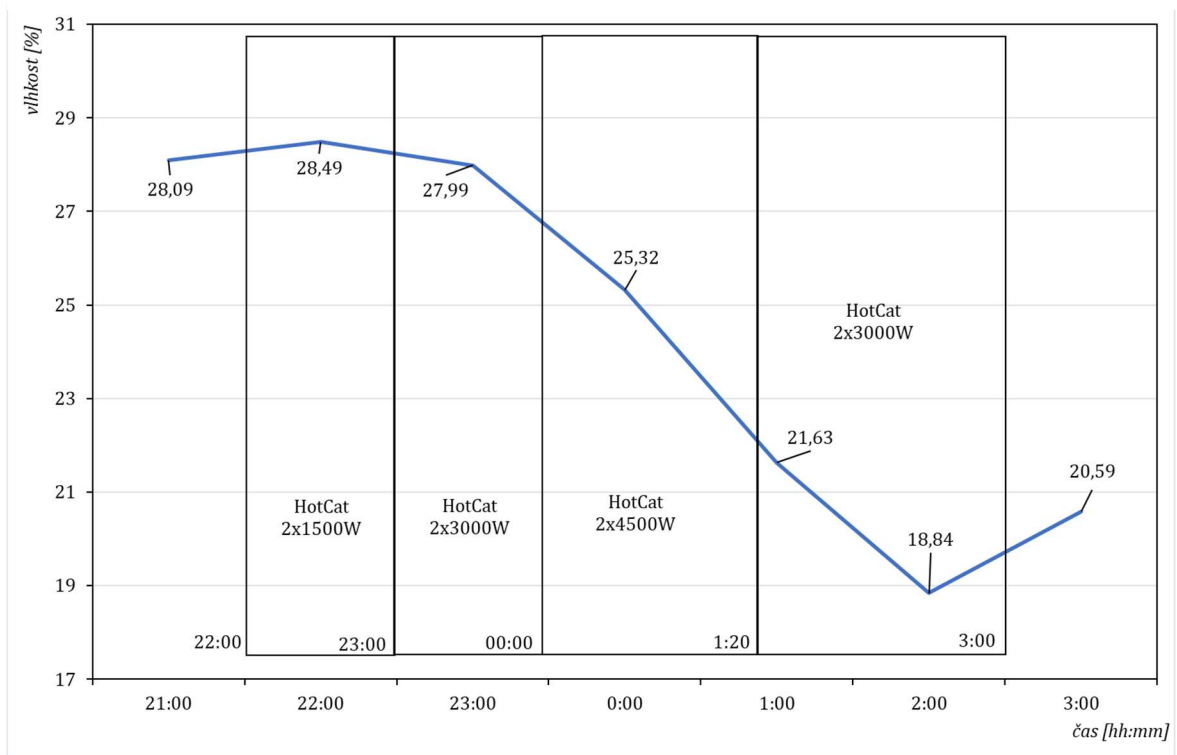
Druhý senzor byl umístěn před skleněný průhled do datového centra. Teploty uvedené v tabulce a grafech naznačují, že průběh byl totožný s ostatními, ale hodnoty podstatně nižší.

Tab. 12: Naměřené hodnoty senzoru 2

pořadí	čas [hh:mm]	teplota [°C]	vlhkost [%]
1.	20:10	21,4	29,2
2.	20:30	21,7	
3.	21:00	22,2	28,09
4.	21:30	22,6	
5.	22:00	23,9	28,49
6.	22:30	24,2	
7.	23:00	24,3	27,99
8.	23:30	26,4	
9.	0:00	27,9	25,32
10.	0:30	30,6	
11.	1:00	32,4	21,63
12.	1:30	33	
13.	2:00	31,6	18,84
14.	2:30	31,4	
15.	3:00	31,5	20,59
16.	3:30	26,1	



Obr. 9.6: Závislost teploty na čase senzoru 2



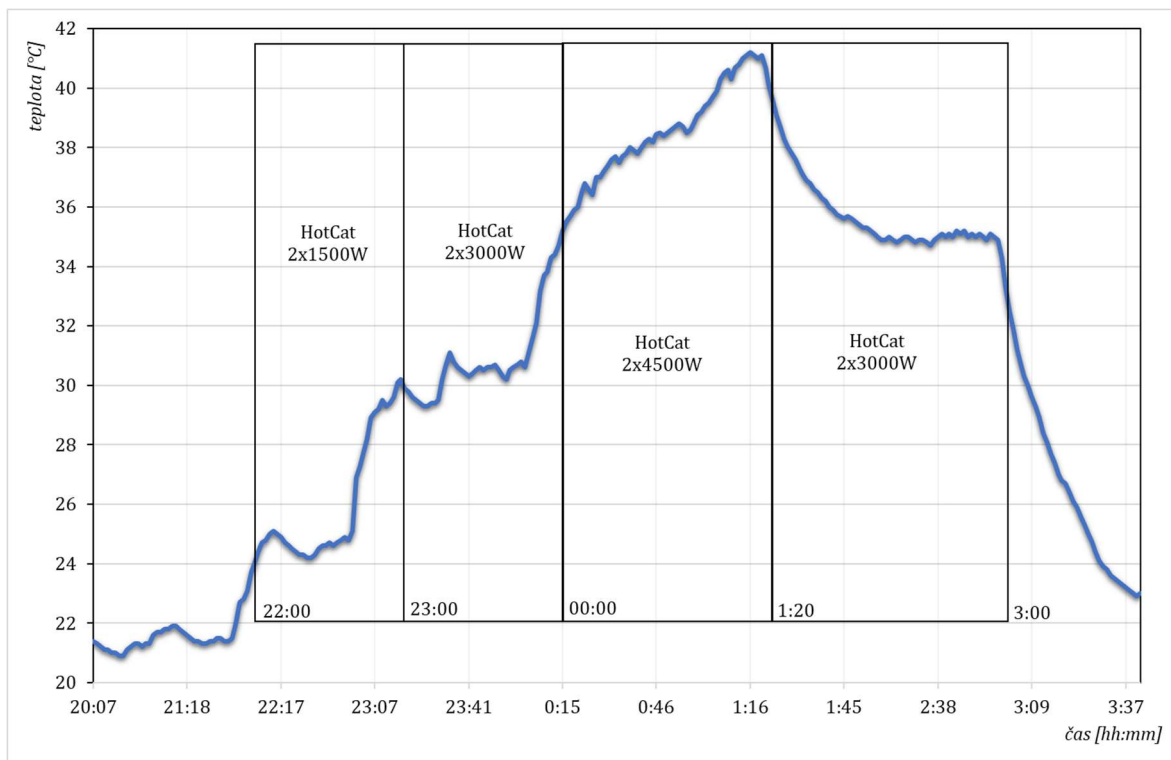
Obr. 9.7: Závislost vlhkosti na čase senzoru 2

### 9.3.3 Senzor 3

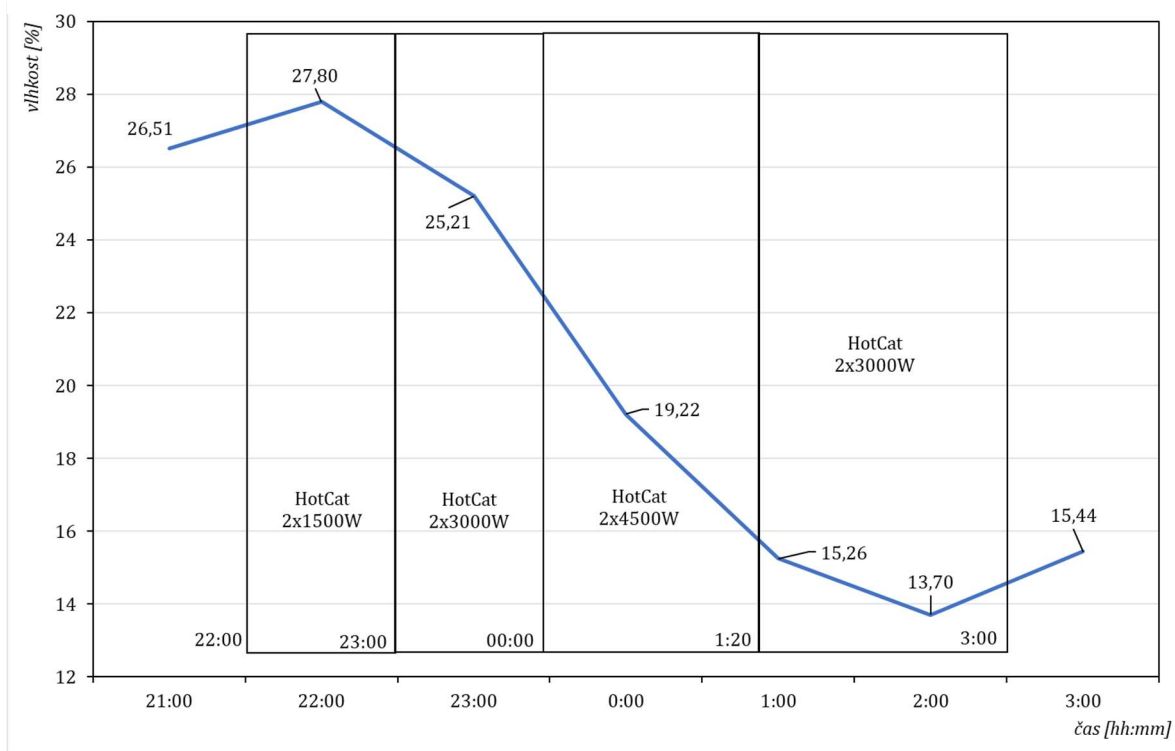
Třetí senzor byl umístěn do prostoru výdechů HotCatů a byl tedy od začátku předpoklad vysokých teplot, což se ukázalo nakonec jako správný odhad. Ve výsledcích tohoto senzoru jsou průběhy patrně nejpřesnější, jelikož jde o nejbližší teploměr k topným zátěžím, pomineme-li senzory sedm a osm, které byly uchyceny přímo na konstrukce HotCatů. Ve druhé a třetí fázi grafu teploty je vidět ustálení hodnoty.

Tab. 13: Naměřené hodnoty senzoru 3

pořadí	čas [hh:mm]	teplota [°C]	vlhkost [%]
1.	20:10	21,3	27,2
2.	20:30	20,9	
3.	21:00	21,7	26,51
4.	21:30	21,3	
5.	22:00	21,4	27,8
6.	22:30	24,2	
7.	23:00	26,9	25,21
8.	23:30	29,4	
9.	0:00	30,7	19,22
10.	0:30	37	
11.	1:00	39,1	15,26
12.	1:30	37,3	
13.	2:00	35,2	13,7
14.	2:30	34,9	
15.	3:00	34,8	15,44
16.	3:30	23,6	



Obr. 9.8: Závislost teploty na čase senzoru 3



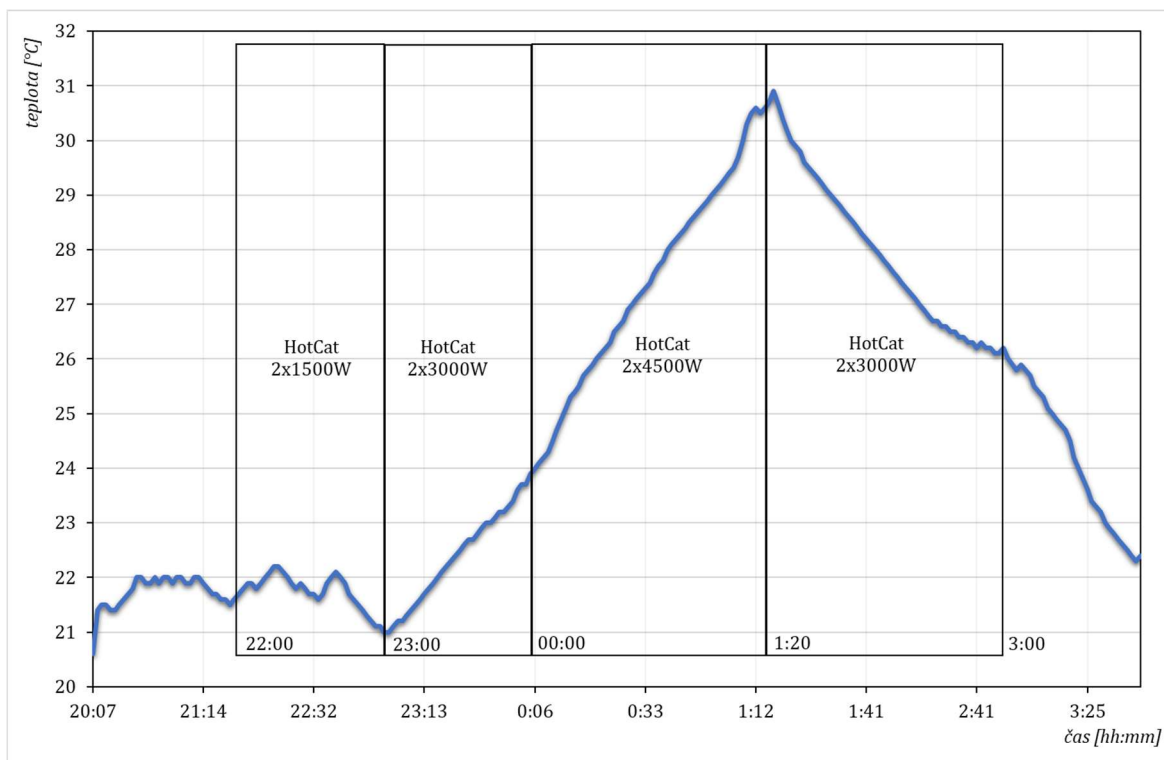
Obr. 9.9: Závislost vlhkosti na čase senzoru 3

### 9.3.4 Senzor 4

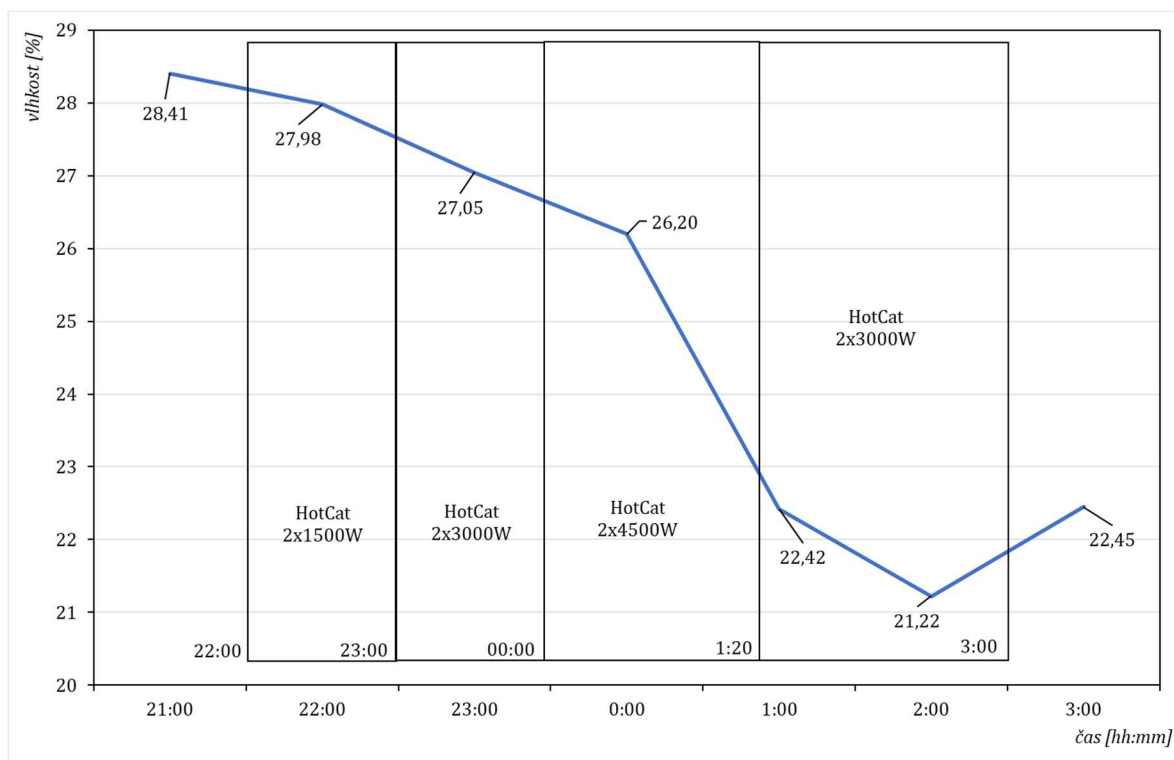
Naproti tomu čtvrtý senzor byl umístěn do nejvzdálenějšího rohu místnosti, uhlopříčně naproti vstupním dveřím. V tomto bodě byly změřeny nejchladnější hodnoty mimo studenou uličku (senzor 5 a 6). Průběh grafu teploty je opět stejné charakteristiky, stejně jako na ostatních senzorech.

Tab. 14: Naměřené hodnoty senzoru 4

pořadí	čas [hh:mm]	teplota [°C]	vlhkost [%]
1.	20:10	21,5	29,1
2.	20:30	20,9	
3.	21:00	21,7	28,41
4.	21:30	21,6	
5.	22:00	21,9	27,98
6.	22:30	21,7	
7.	23:00	21,2	27,05
8.	23:30	22,6	
9.	0:00	23,7	26,2
10.	0:30	27	
11.	1:00	29,2	22,42
12.	1:30	29,3	
13.	2:00	27,1	21,22
14.	2:30	26,4	
15.	3:00	26,1	22,45
16.	3:30	23	



Obr. 9.10: Závislost teploty na čase senzoru 4



Obr. 9.11: Závislost vlhkosti na čase senzoru 4

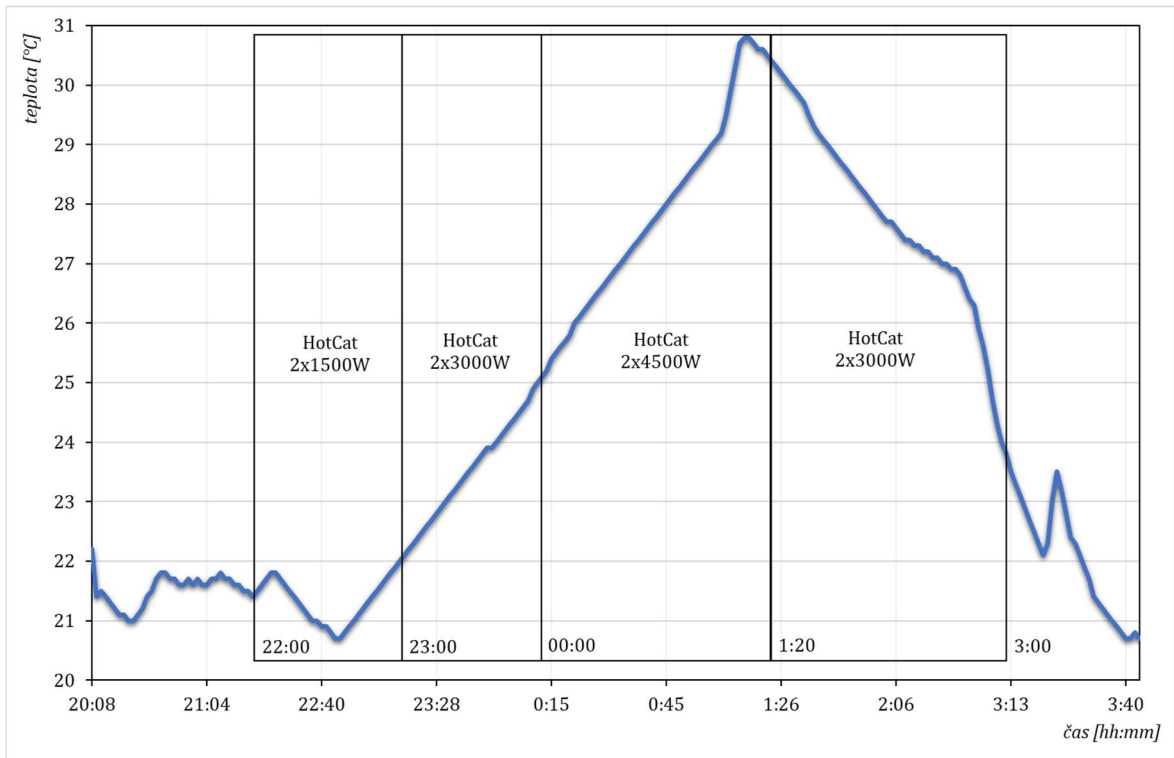
### 9.3.5 Senzor 5

Následující senzory pět a šest byly umístěny do studené uličky. Konkrétně pátý blíž dveřím uzavírající tuto studenou uličku mezi racky. V tomto místě byla naměřena nejvyšší teplota studené uličky, téměř třicet stupňů. Teplotní průběh je opět stejný, na konci měření vidíme v přibližném čase 3:30 malý výkyv, způsobený pravděpodobně otevřením dveří studené uličky a tedy promícháním teplého a studeného vzduchu.

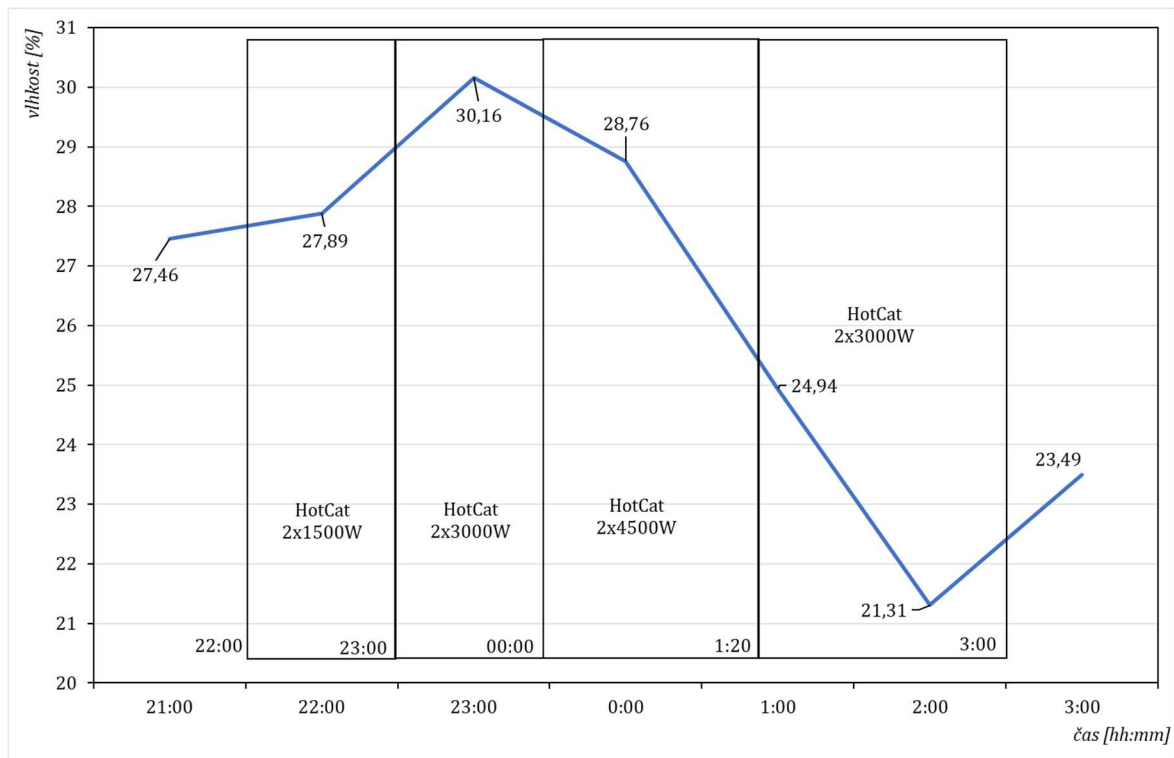
Tab. 15: Naměřené hodnoty senzoru 5

pořadí	čas [hh:mm]	teplota [°C]	vlhkost [%]
1.	20:10	21,5	29,1
2.	20:30	21	
3.	21:00	21,9	28,41
4.	21:30	21,7	
5.	22:00	21,5	27,98
6.	22:30	21,3	
7.	23:00	20,8	27,05
8.	23:30	22,9	
9.	0:00	24,1	26,2
10.	0:30	26,9	
11.	1:00	28,8	22,42
12.	1:30	29,8	
13.	2:00	27,8	21,22
14.	2:30	27,2	
15.	3:00	26,9	22,45
16.	3:30	21,7	





Obr. 9.12: Závislost teploty na čase senzoru 5



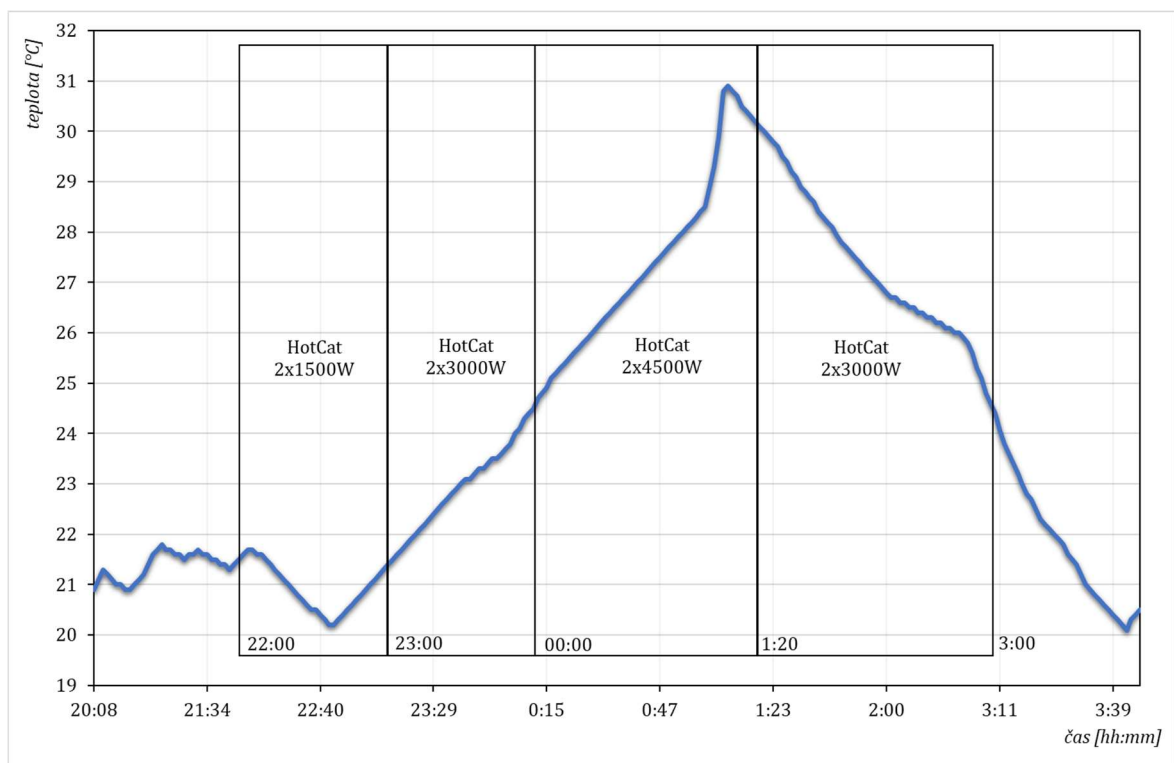
Obr. 9.13: Závislost vlhkosti na čase senzoru 5

### 9.3.6 Senzor 6

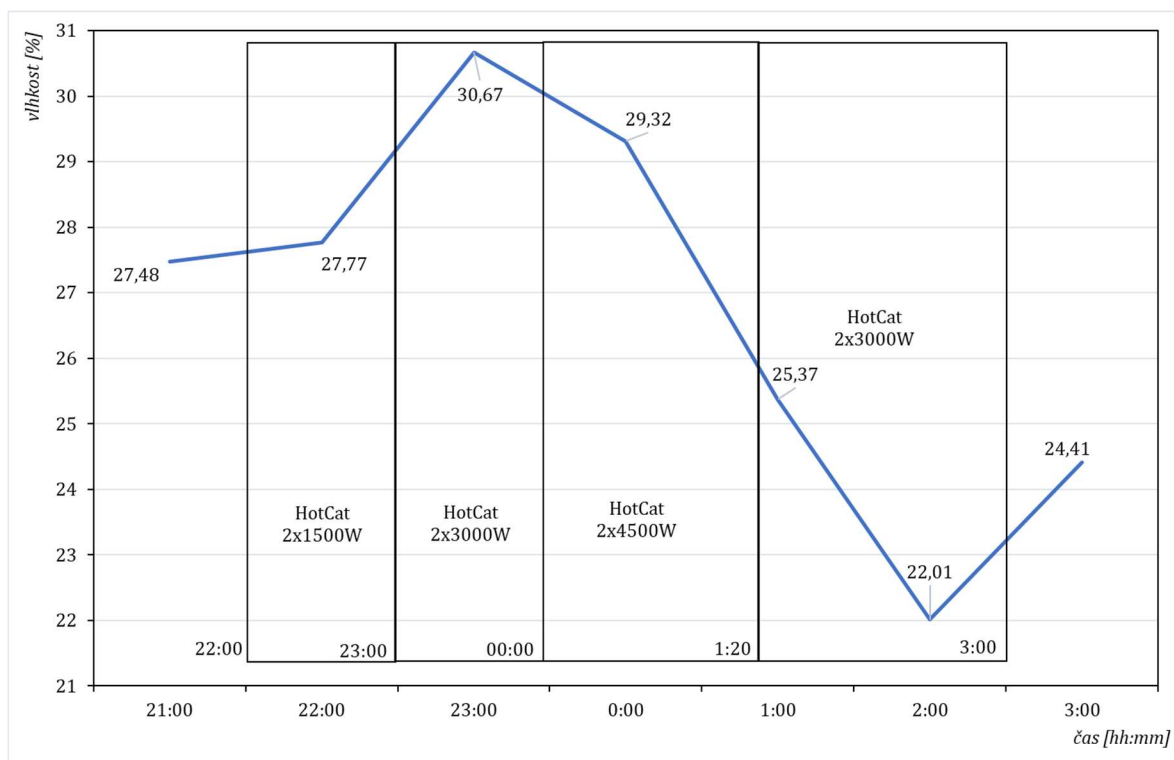
V tomto místě, tedy vzdálenější bod studené uličky byly hodnoty velice podobné hodnotám ze senzoru pět. Nepatrně chladnější teploty můžou být způsobeny bližší vzdáleností senzoru od výstupu studeného vzduchu z klimatizace.

Tab. 16: Naměřené hodnoty senzoru 6

pořadí	čas [hh:mm]	teplota [°C]	vlhkost [%]
1.	20:10	21,5	27,5
2.	20:30	21	
3.	21:00	21,5	27,48
4.	21:30	21,6	
5.	22:00	21,4	27,77
6.	22:30	20,8	
7.	23:00	20,3	30,67
8.	23:30	22,4	
9.	0:00	23,5	29,32
10.	0:30	26,4	
11.	1:00	28,2	25,37
12.	1:30	28,8	
13.	2:00	26,8	22,01
14.	2:30	26,3	
15.	3:00	26	24,41
16.	3:30	21,2	



Obr. 9.14: Závislost teploty na čase senzoru 6



Obr. 9.15: Závislost vlhkosti na čase senzoru 6

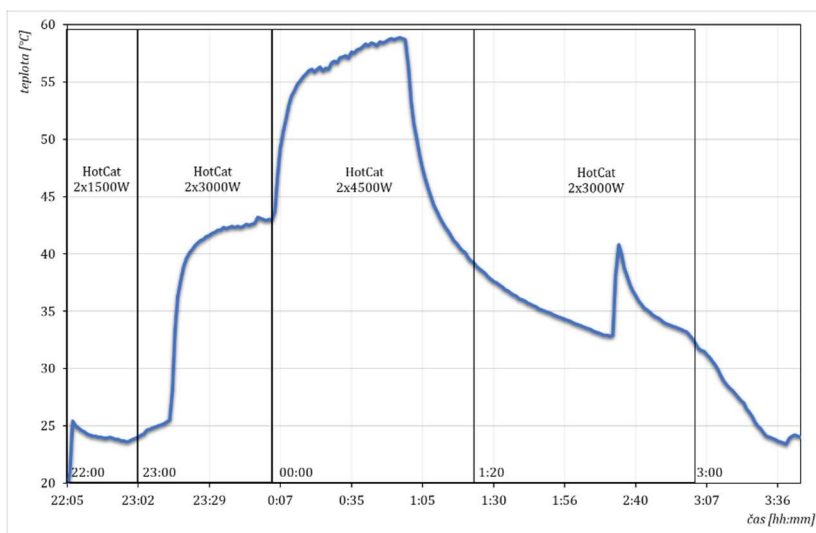
### 9.3.7 Senzor 7 a 8

Senzory sedm a osm byly použity pouze pro doplňkové měření a kontrole teplot přímo vycházejících z HotCatů. Výsledné hodnoty jsou tedy podstatně vyšší, než u ostatních senzorů. Měření zde bylo zahájeno až po spuštění HotCatů, tedy v čase 22:00. Výkyv na teplotním průběhu senzoru sedm v čase 2:40 byl způsoben pravděpodobně přesouváním senzoru na jiné místo.

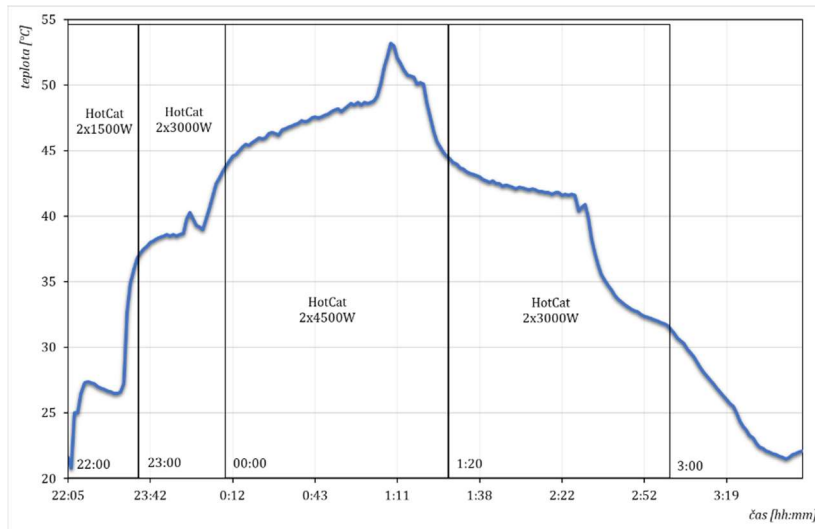
Tab. 17: Naměřené hodnoty senzorů 7 a 8

pořadí	čas [hh:mm]	teplota [°C]	vlhkost [%]
1.	22:00	19,5	39,9
2.	22:30	23,9	
3.	23:00	23,8	27,14
4.	23:30	41,8	
5.	0:00	43	15,18
6.	0:30	57,1	
7.	1:00	56,3	6,37
8.	1:30	37,6	
9.	2:00	34	12,53
10.	2:30	32,8	
11.	3:00	32,9	15,75
12.	3:30	24	

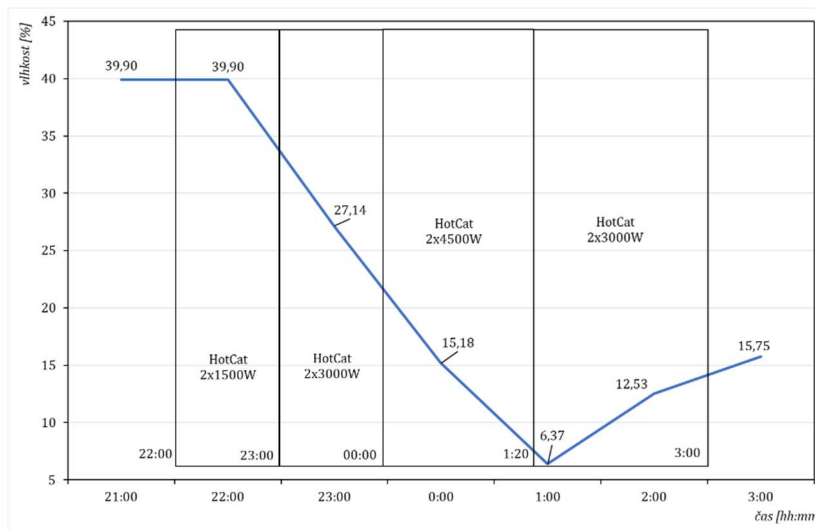
pořadí	čas [hh:mm]	teplota [°C]	vlhkost [%]
1.	22:00	21,6	42,2
2.	22:30	25	
3.	23:00	26	25,44
4.	23:30	26,5	
5.	0:00	39,2	18,46
6.	0:30	46,7	
7.	1:00	48,5	10
8.	1:30	44	
9.	2:00	42,1	9,79
10.	2:30	41,6	
11.	3:00	31,7	14,12
12.	3:30	22,3	



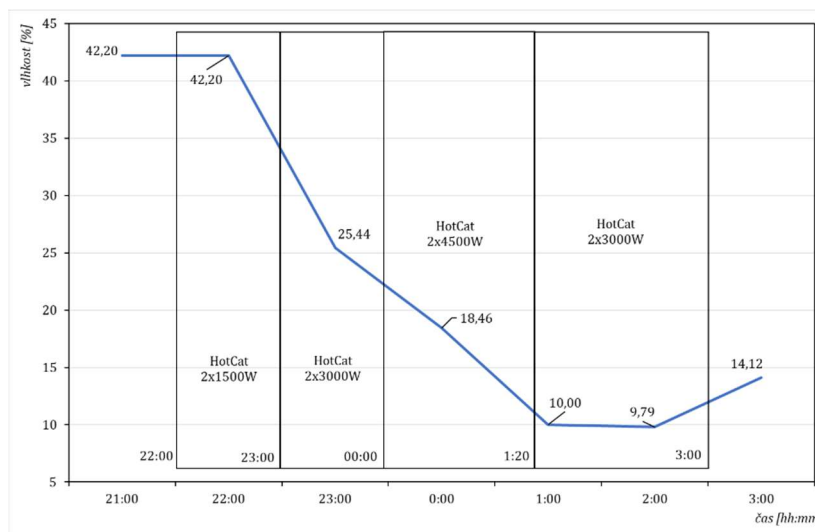
Obr. 9.16: Závislost teploty na čase senzoru 7



Obr. 9.17: Závislost teploty na čase senzoru 8



Obr. 9.18: Závislost vlhkosti na čase senzoru 7



Obr. 9.19: Závislost vlhkosti na čase senzoru 8

### 9.3.8 Kontrola napájení a prostředí

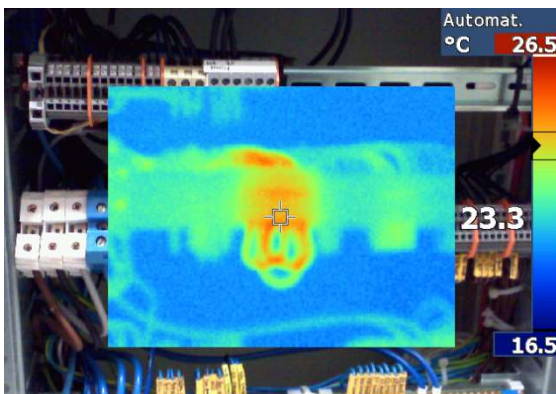
V průběhu zvyšování tepelné zátěže bylo prováděno kontrolní měření napájení DDC. Sledovány byly obě napájecí větve. Pozornost byla věnována především momentům po zapnutí jednotlivých topných těles. Byl zde totiž předpoklad, že může dojít k nepatrnému výkyvu napájecí sítě. Tento předpoklad se nenaplnil, napájení celého DDC fungovalo bezproblémově. Kontroly byly prováděny za pomoci multimetrů a termokamer (obrázky č. 9.21 – 9.23).



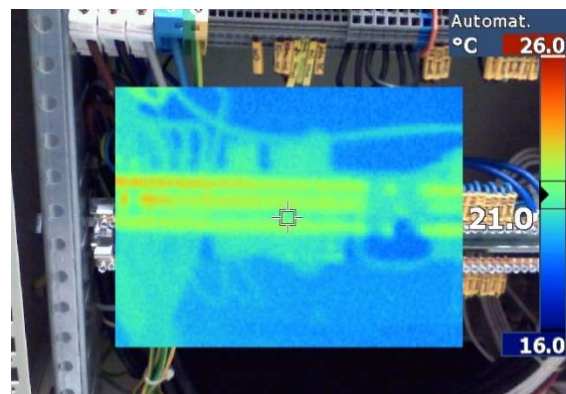
Obr. 9.21: Kontrola napájení DDC



Obr. 9.20: Kontrola napájení DDC



Obr. 9.22: Kontrola napájení termokamerou



Obr. 9.23: Kontrola napájení termokamerou

Kontrola prostředí probíhala obdobně za pomoci termokamery. Smyslem sledování změn prostředí bylo předejít budoucím problémům se zahříváním určitých částí DC. Dále se kontrolovala teplota HotCatů a teploty uchované ve studené uličce. V příloze se nachází snímky z celého průběhu měření.

## **9.4 Zhodnocení výsledků**

Výsledky lze považovat za předpokládané. Měřené DDC může být v budoucnu tepelně zatíženo přibližně hodnotou 6 000 W. Tuto hranici potvrdily závislosti jednotlivých teplot na čase, jak ukazují grafy senzorů. Při vyšší teplotě již klimatizační jednotka nedokázala ohřátý vzduch ochlazovat.

Pozitivní výsledky ukázalo kontrolní měření napájení. Z tohoto hlediska DDC nevykazovalo sebemenší výkyv.

### **9.4.1 Vlhkost prostředí**

Z výsledků vlhkostí na jednotlivých místech je zřejmé, že hladina vlhkosti neodpovídá ideálu ani v současném stavu. Do ideální vlhkosti (45-65 %) chybí v některých případech až 20 %. Se vzrůstající teplotou klesala vlhkost na velice nízké hodnoty.

### **9.4.2 Doporučená opatření**

Z výše uvedených výsledků lze stanovit některá doporučí pro případné rozšiřování DDC. V první řadě je možnost stanovit si maximální tepelnou hladinu na zmíněných 6 000 W. Tato varianta sebou nese riziko, jelikož klimatizace i těchto hodnot fungovala na hranici svých možností. Lze tedy doporučit silnější klimatizační jednotku. Toto řešení ovšem sebou nese nemalou finanční investici. Alternativou tedy může být servis stávající klimatizační jednotky.

Jako velký problém se ukázala naměřená vlhkost. Při hodnotách pod 30 % je provozní bezpečnost menší, hrozí poškození zařízení. Řešením tohoto problému může být instalace zvlhčovacího zařízení, který v DDC chybí.

## 10 SIMULACE PEC

Jako doplněk měření non-IT částí v reálném datovém centru, tedy konkrétně vzorové měření popsané v předchozí kapitole, byla provedena simulace v prostředí Solidworks. Díky této počítačové simulaci byl získán vhodný materiál k učení chování prostředí. Simulace sebou nese řadu výhod, zejména téměř neomezené možnosti nastavení parametrů jak prostředí, prvků v rámci objektu (velikosti racků, uliček, velikost objemu místnosti) tak i nastavení samotné simulace a různého typu výsledků. Na základně těchto výsledků se dá zhodnotit a porovnat chování simulovaného a reálného prostředí, vyhodnotit případně navrhnout zlepšení provozu apod.

### 10.1 Prostředí Solidworks

SolidWorks je již delší dobu nejpreferovanější strojírenský 3D CAD systém na českém a světovém trhu, každoročně se prodá velké množství licencí a prodej jako takový meziročně stále vzrůstá. Navíc SolidWorks je stále jediným CAD systémem na českém trhu, který je lokalizován kompletně přímo svým výrobcem, tedy společností Dassault Systèmes SolidWorks. Jako parametrický 3D modelářský nástroj SolidWorks nabízí výkonné plošné i objemové modelování, vertikální nástroje (pro plechové díly, svařence a formy), dále práci s prakticky neomezeně rozsáhlými sestavami a automatické generování výrobních výkresů. [30]

Jasnou předností prostředí SolidWorks, je v první řadě snadné a vizuálně přehledné ovládání. Uživatelské rozhraní SolidWorks je další předností, jde o velmi intuitivní a nabízí efektivní pracovní postupy, velmi snižuje nutné pohyby myši a umožňuje okamžitou, kontextově závislou interakci s uživatelem. Ovládání je založené na technologii SWIFT, která redukuje potřebu opakujících se úkonů, manuálních zásahů i takových operací, kde si ani zkušený uživatel není předem jist postupem a často sahá po metodě pokus omyl. SWIFT dokáže ušetřit ohromné množství času a umožní se více věnovat samotnému procesu navrhování. Ovládání systému je v tomto případě záležitostí práce na pozadí, která neruší činnost uživatele. [30]

### 10.2 Flow Simulation

Pro komplexní simulace dynamiky tekutin a sdílení tepla (CFD – computational fluid dynamics) je určen integrovaný nástroj SolidWorks Flow Simulation. Jeho praktické nasazení se týká nejrůznějších oblastí, jako je například proudění plynů ve vzduchotechnice, kapalin v potrubí, analýza chlazení uzavřených prostorů či exponovaných součástí nebo externí aerodynamika. Základní verze může být navíc rozšířena o modul HVAC (Heating, Ventilating, and Air Conditioning) pro obor



vzduchotechniky a klimatizace a modul Electronics Cooling určený zejména pro tepelné analýzy elektronických zařízení. Mezi hlavní funkce řadíme analýzu sdílení tepla vedením, prouděním, zářením), analýza vnějšího a vnitřního proudění, rotačních oblastí (čerpadla, ventilátory), analýza časově proměnných jevů. [31]

Využití Flow Simulation je velké, výše uvedené příklady jsou pouze hlavními funkcemi. Z konkrétních příkladů využití (mimo již uvedené) lze zmínit například simulaci obtoku vzduchu kolem křídla letadel, proudění vody kolem těles, lze simulovat skutečný plyn a jeho chování v podzvukových, transsonických i nadzvukových rychlostech. [31]

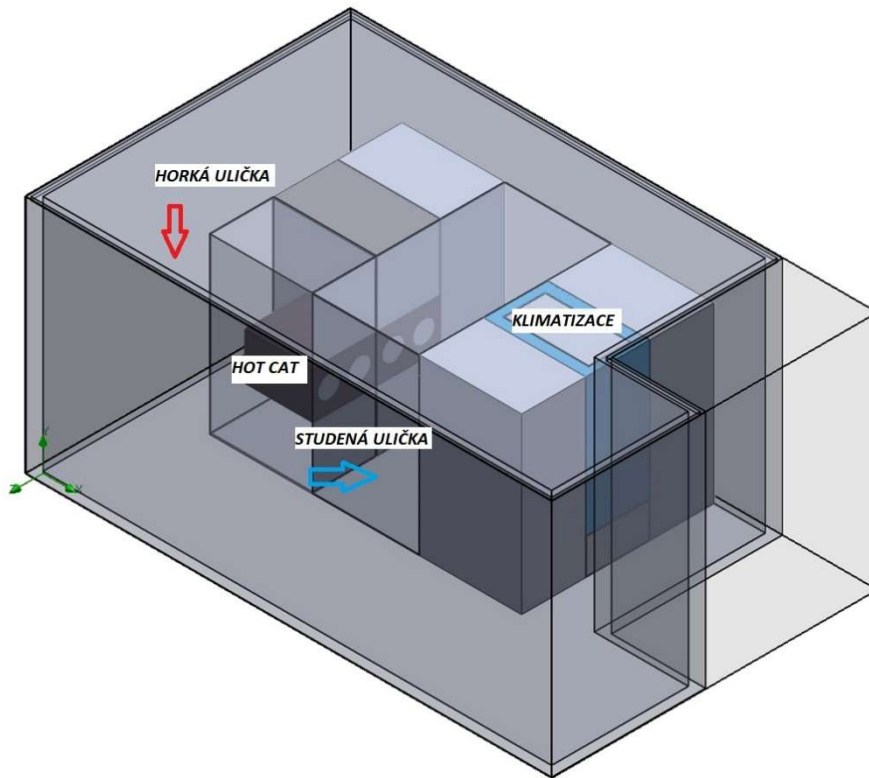
### **10.3 HVAC (Heating Ventilation and Air Conditioning)**

Jedná se o rozsáhlou oblast, řešená v určitém rozmezí na každé stavbě. Jde o obor zabývající se klimatizačními systémy a nejen jimi (Cirkulace vzduchu, chlazení, topení). V klimatických podmínkách České Republiky je pro udržení tepelné pohody nutno v interiéru instalovat topný systém a případně chlazení, obojí dimenzovat na mezní teploty (v zimě klidně  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), které nastávají nebo mohou být překročeny jen několik dní v roce. Celkový systém topení a klimatizace (HVAC) je tak co do kapacity předimenzován a většinu roku se musí jeho činnost regulovat, jak z hlediska výkonu, tak pro celkovou ekonomičnosti provozu. V minulosti byly tyto tři prvky obvykle rozděleny mezi tři či více zařízení. V dnešní době se systémy HVAC staly nutným průmyslovým standardem při výstavbě nových budov. [32]

V rámci nástroje Flow Simulation existuje rozšíření věnující se právě HVAC. Díky tomuto rozšíření může dojít k výpočtu parametrů tepelné pohody v prostředí, nebo absorpce záření v propustných materiálech. Součástí je i rozsáhlá databáze materiálů pro oblast stavebnictví. [31]

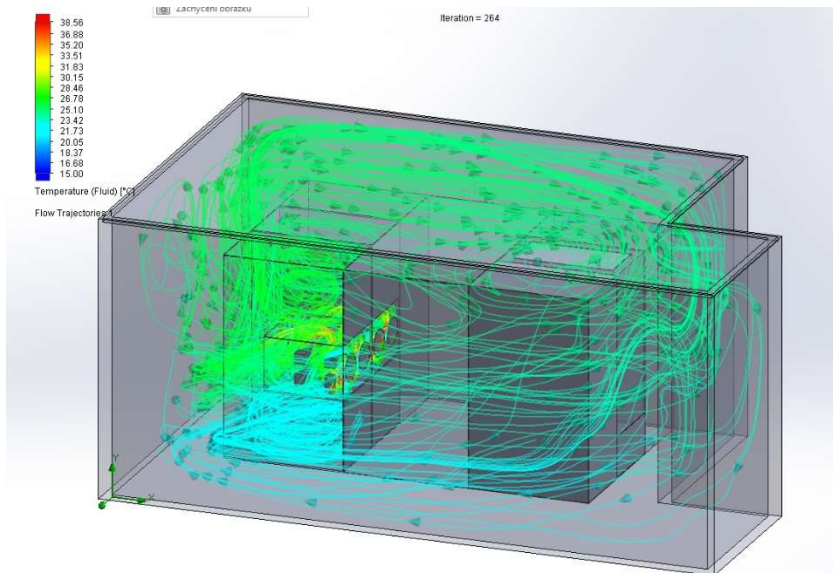
## 10.4 Simulace vzorového měření

Dle předlohy v podobě DDC firmy *CATEGORY a.s.* byla vymodelována místnost (obrázek č. 10.1) pro simulační proces za využití nástroje Flow Simulation. Tento model rozměrově odpovídá předloze, stejně tak racky, HotCaty a jiné části.

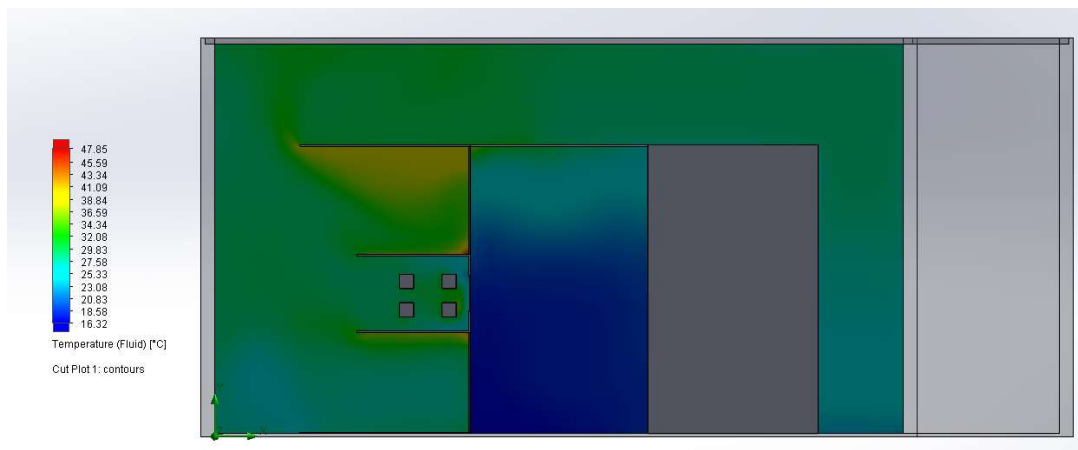


Obr. 10.1: model DDC v prostředí Solidworks

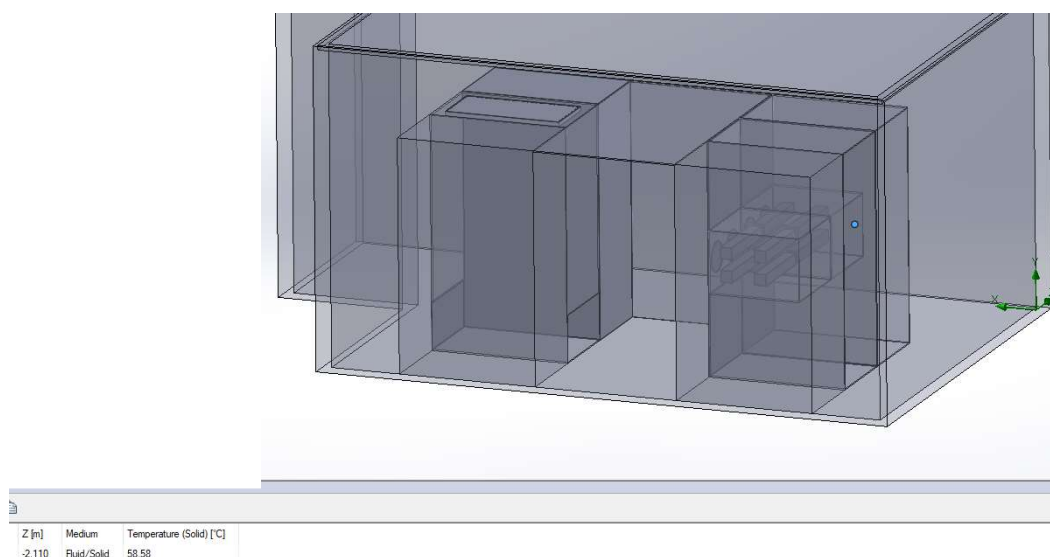
Při nastavení simulace v nástroji Flow Simulation se zohlednily reálné podmínky v době skutečného měření. V průvodci nastavení byly tedy nastaveny parametry nejvíce odpovídající skutečnosti. Byl nastaven typ proudění jako interní, druh proudícího média na vzduch, teplota v systému 21 °C. Následně byly nastaveny okrajové podmínky, v případě klimatizační jednotky šlo o množství vstupujícího média. Tento parametr byl nastaven na hodnotu 630 m<sup>3</sup>/h. Definována byla i teplota vzduchu při výstupu z klimatizace na 15 °C. Následně se určily parametry ventilátorů. Zde (stejně jako v případě klimatizace) se vycházelo z parametrů skutečných zařízení, jenž jsou uvedeny v tabulce 18. V neposlední řadě se určil tepelný výkon topných těles na 1 500 W na jedno těleso. Před spuštěním simulace byly určeny cíle (goals), šlo především o teploty. Simulace proběhly celkem čtyři, tedy pro 3 000 W, 6 000 W, 9 000 W a 12 000 W tepla. Výsledky simulací mohou být zobrazeny do trajektorie proudění (Flow Trajectories) či teplotního průřezu modelu (Cut Plots). V obou případech je sledována teplotní změna. Příklady těchto výsledků jsou vidět na obrázcích č. 10.2-3. Na obrázku č. 10.4 je vidět teplota v konkrétním bodě (Point parameters).



Obr. 10.2: Proudění vzduchu při zátěži 3 000 W



Obr. 10.3: Teplotní průřez při zátěži 6 000 W



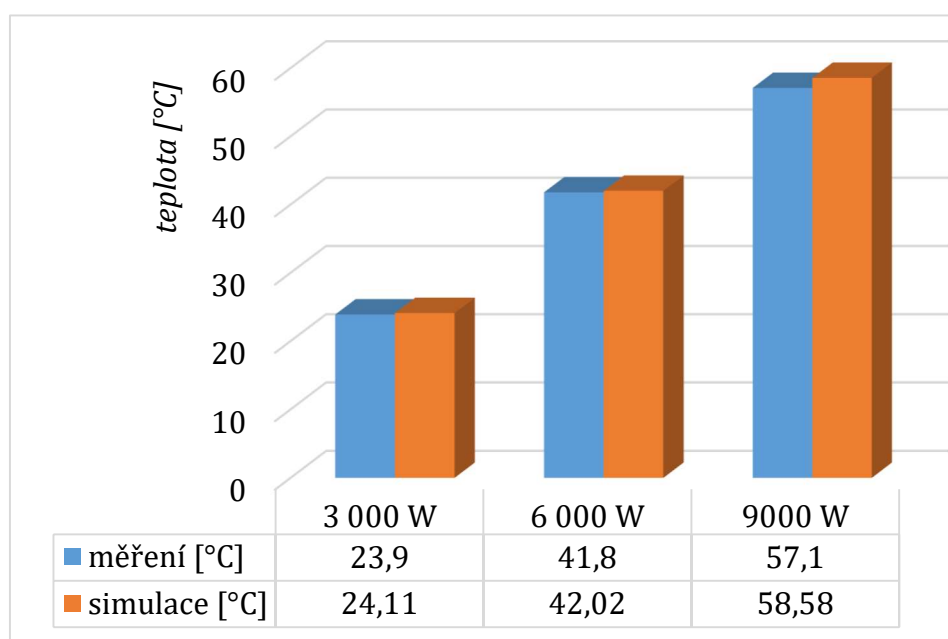
Obr. 10.4: Teplota v konkrétním bodě při zátěži 9 000 W

Tab. 18: Parametry zařízení pro nastavení Flow Simulation

	<b>ventilátor SUNON A2175-HBT</b>		<b>klimatizace Sanyo SPW-XM185H</b>
<i>typ</i>	Axiální	<i>cirkulace vzduchu (air circulation)</i>	630 m <sup>3</sup> /h
<i>průtok vzduchu (air flow)</i>	344,9 m <sup>3</sup> /h	<i>nastavená teplota</i>	15 °C
<i>rychlost otáčení (rotor speed)</i>	300 rad/s		

### 10.4.1 Výsledky simulace

Bodové parametry byly využity pro srovnání se skutečným měřením. Bylo vybráno místo v modelu, kde byl při skutečném měření umístěn senzor číslo 7. Na obrázku 10.5 vidíme graf a hodnoty teplot při měření a při simulaci v místě senzoru číslo 7, tedy v prostoru za HotCatem.



Obr. 10.5: Graf měřených a simulovaných hodnot

Z jednoduché rovnice č. 9 (jinak rovnice pro relativní chybu), kde M je hodnota měřená a S je hodnota simulovaná zjistíme procentuální vychýlení teploty při simulaci od reálné teploty změřené senzorem.

$$\delta = \frac{S - M}{M} * 100 [\%] \quad (9)$$

Konkrétní výsledky jsou uvedeny v tabulce 18. Z výsledků je vidět, že simulované teploty jsou všechny vyšších hodnot než ty měřené. To lze odůvodnit dokonalými podmínkami virtuálního prostředí a naopak nedokonalostí v reálném DC. Senzor v reálných podmínkách je hardware uzavřený v plastové krabici, umístěný v prostoru. To je jeden z možných důsledků nižších teplot. Dalším může být teplota topných těles, která je ve virtuálním prostředí dokonale přesná, proto je zde předpoklad vyšších teplot. Rozdíly lze však považovat za zanedbatelné.

Z grafu na obrázku vidíme tři téměř shodné průběhy, lze tedy říci, že teploty se měnily stejně při všech měřeních. Z průřezů na obrázcích a trajektorie pak vidíme chování teplot v různých částech místnosti. Výsledek lze považovat za odpovídající chování prostředí, tak jak tomu bylo ve skutečném měření.

*Tab. 19: Měřené a simulované hodnoty*

<b>tepelný výkon [W]</b>	3 000	6 000	9 000
<b>teplota měřená [°C]</b>	23,9	41,8	57,1
<b>teplota simulovaná [°C]</b>	24,11	42,02	58,58
<b>vychýlení simulace od naměřené hodnoty [%]</b>	0,88	0,53	2,59

## ZÁVĚR

V diplomové práci byla v první části sepsána teoretická rešerše o non-IT částech datových center, převážně šlo o popis standardizace a popis jednotlivých částí. Byly zde rozebrány základní standardy TIA-942 a EN 50600. V další části byl vytvořen teoretický úvod o teplu, který byl využit pro lepší pochopení samotné podstaty následujících měření a simulací. Teoreticky byly sepsány i metody chlazení. Z poznatků těchto dvou kapitol (teplo a chlazení) vyplynulo, že implementace studené/horké uličky (a její modifikace) v datových centrech jsou nezbytné pro efektivní využití energií při provozu.

Následující část v první fázi popisuje princip, účel a metodiku PEC měření firmy *CATEGORY a.s.*, které je zátěžovým testem pro oblast napájení a chlazení. V praxi se toto měření aplikovalo na skutečné DC. Ze získaných hodnot tohoto měření byly vypracované tabulky a grafy, které slouží jako přehledný ukazatel chování prostředí. V rámci hlavního měření, tedy chlazení byly využity zařízení HotCat. Tyto zátěžové boxy splnili svůj účel a lze je považovat za ideální řešení. V měřeném DC byly na základě výsledků stanoveny krajní podmínky provozu, konkrétně šlo o maximální tepelnou zátěž. Tato hodnota byla stanovena na 6 000 W. Napájení bylo vyhodnoceno jako zcela bezproblémové. Výstupem tohoto vzorového měření byla také doporučení pro zkvalitnění provozu.

Dále byla provedena základní simulace tohoto PEC měření doplňkovým modulem Flow Simulation v programu SolidWorks. Simulace proběhla na přesném modelu DC ze skutečného měření. Průběhy simulací po vyladění parametrů ukazovaly pouze lehkou odchylku od skutečných hodnot. Další výsledky, například trajektorie proudění vzduchu lze považovat za užitečnou pomůcku při určování chování prostředí. Teplotní průřezy pak mimo jiné naznačují šíření tepla materiálem.

Praktické měření a následná simulace demonstrují potřebu důkladného testování non-IT částí datových center. Pro investory je rozhodující jistá záruka funkčnosti, ve složitém chodu DC jsou tyto části nezbytné.

## LITERATURA

- [1.] HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky. část 2*. Dotisk 1. čes. vyd. Přeložil Jan OBDRŽÁLEK. Praha: Prometheus, 2003. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 81-7196-213-9.
- [2] CENTNEROVÁ, Lada. *Tepelná pohoda a nepohoda* [online]. In: . 13.12.2000 [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/404-tepelna-pohoda-a-nepohoda>
- [3] *Návod pro SOLIDWORKS: Teplotní analýza* [online]. [cit. 2018-12-13]. Dostupné z: [http://help.solidworks.com/2018/Czech/SolidWorks/cworks/c\\_Conduction.htm](http://help.solidworks.com/2018/Czech/SolidWorks/cworks/c_Conduction.htm)
- [4] *What is Heat Transfer?* [online]. [cit. 2018-10-24]. Dostupné z: <https://www.simscale.com/docs/content/simwiki/heattransfer/whatisht.html>
- [5] KHEILOVÁ, Milena. *Termodynamika* [online]. Brno: VUT Brno, 2003 [cit. 2018-10-24].
- [6] JONES, Andrew Zimmerman. *What Is Conduction?* [online]. 2018 [cit. 2018-10-24]. Dostupné z: <https://www.thoughtco.com/conduction-2699115>
- [7] GONZALEZ, Carlos. *What's the Difference Between Conduction, Convection, and Radiation?* [online]. 10.2018 [cit. 2018-10-24]. Dostupné z: <https://www.machinedesign.com/whats-difference-between/what-s-difference-between-conduction-convection-and-radiation>
- [8] *Jaký je rozdíl mezi přenosem tepla vedením, prouděním a sáláním?* [online]. 6.12.2015 [cit. 2018-10-24]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/jaky-je-rozdil-mezi-prenosem-tepla-vedenim-proudenim-a-salanim>
- [9] *EN 50600*. In: *ManagementMania.com* [online]. Wilmington (DE) 2011-2018, 22.03.2017 [cit. 27.11.2018]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/en-50600>
- [10] *TIA-942: Data Center Standards Overview* [online]. In: . Minneapolis, Minnesota USA 55440-1101: ADC Telecommunications, 2006 [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20131230235600/http://www.te.com/content/dam/te/global/english/industries/enterprise-network-solutions/knowledge-center/documents/enterprise-white-paper-tia-942-data-center-standards-overview-102264ae.pdf>
- [11] ROUSE, Margaret. *Power usage effectiveness (PUE)* [online]. [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://searchdatacenter.techtarget.com/definition/power-usage-effectiveness-PUE>

- [12] *What is PUE / DCiE? How to Calculate, What to Measure* [online]. [cit. 2018-12-03].  
Dostupné z: <https://www.42u.com/measurement/pue-dcie.htm>
- [13] *EIA-310* [online]. In: . [cit. 2018-12-03]. Dostupné z: <https://www.server-racks.com/eia-310.html>
- [14] *Chladicí oběhy* [online]. Agronomická fakulta [cit. 2018-12-09]. Dostupné z:  
<http://uzpet.af.mendelu.cz/wcd/w-af-uzpet/soubory-ke-stazeni/chladici-obeh.pdf>.  
Mendelova univerzita v Brně.
- [15] *Chladicí zařízení* [online]. Praha: referaty-seminarky.cz, 2008 [cit. 2018-12-09].  
Dostupné z: <http://referaty-seminarky.cz/chladici-zarizeni/>
- [16] *Peltierův jev*. Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2018-12-10]. Dostupné z:  
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/911-peltieruv-jev>
- [17] *Porovnání tepelné vodivosti mědi, hliníku a mosazi* [online]. In: . [cit. 2018-12-12].  
Dostupné z: <http://fyzikalnipokusy.cz/1652/porovnani-tepelne-vodivosti-medi-hliniku-a-mosazi>
- [18] *Arctic Cooling Alpine 11, pasivní*. CZC [online]. [cit. 2018-12-12]. Dostupné z:  
<https://www.czc.cz/arctic-cooling-alpine-11-pasivni/185498/produkt/>
- [19] *Arctic Cooling MX-2 Thermal Compound*. CZC [online]. [cit. 2018-12-12]. Dostupné z:  
<https://www.czc.cz/arctic-cooling-mx-2-thermal-compound/49169/produkt>
- [20] KOCHANÍČEK, Ludvík. *Princip a využití technologie Heat Pipe* [online]. [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/?doc=7941>
- [21] *NZXT FZ-120 Airflow ventilátor - 120mm*. CZC [online]. [cit. 2018-12-12]. Dostupné z:  
<https://www.czc.cz/nzxt-fz-120-airflow-ventilator-120mm/134747/produkt>
- [22] *Datová centra* [online]. [cit. 2018-12-12]. Dostupné z:  
<https://www.ktp.cz/cz/datova-centra>
- [23] *Trocha teorie: Chlazení datových center* [online]. In: . [cit. 2018-12-12]. Dostupné z:  
<https://www.triton.cz/cs/datova-centra/trocha-teorie>
- [24] *Tepelný odpor R* [online]. In: . [cit. 2018-12-12]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/312-tepelny-odpor-r>
- [25] *CATEGORY a.s.* [online]. Brno [cit. 2019-04-17]. Dostupné z:  
<http://www.category.cz/>
- [26] *CyberPower Rack PDU* [online]. [cit. 2019-04-17]. Dostupné z:  
<https://www.czc.cz/cyberpower-rack-pdu-switched-1u-10a/235901/produkt>



- [27] *How Do You Choose Between the Different Types of PDUs?* [online]. [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://blog.tripplite.com/how-do-you-choose-between-the-different-types-of-pdus/>
- [28] ŽÁČEK, Jaroslav. *Zdroje nepřerušovaného napájení – UPS*. ELEKTRO [online]. 10/2001, (10) [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/zdroje-nepreerusovaneho-napajeni-ups--15062>
- [29] *Ti32, TiR32, Ti29, TiR29, Ti27, TiR27 Thermal Imagers - Users Manual* [online]. In: . [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: [https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/Ti32\\_umeng0100.pdf](https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/Ti32_umeng0100.pdf)
- [30] *SolidWorks - 3D CAD navrhování* [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.solidvision.cz/solidworks/>
- [31] *SolidWorks Flow Simulation* [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.solidvision.cz/solidworks-flow-simulation/>
- [32] *Intelligentní systémy pro správu energií aneb HVAC v budovách* [online]. 20.3.2013 [cit. 2019-05-08]. Dostupné z: <http://inbudovy.cz/artukul/article/inteligentni-systemy-pro-spravu-energi-aneb-hvac-v-budovach/>

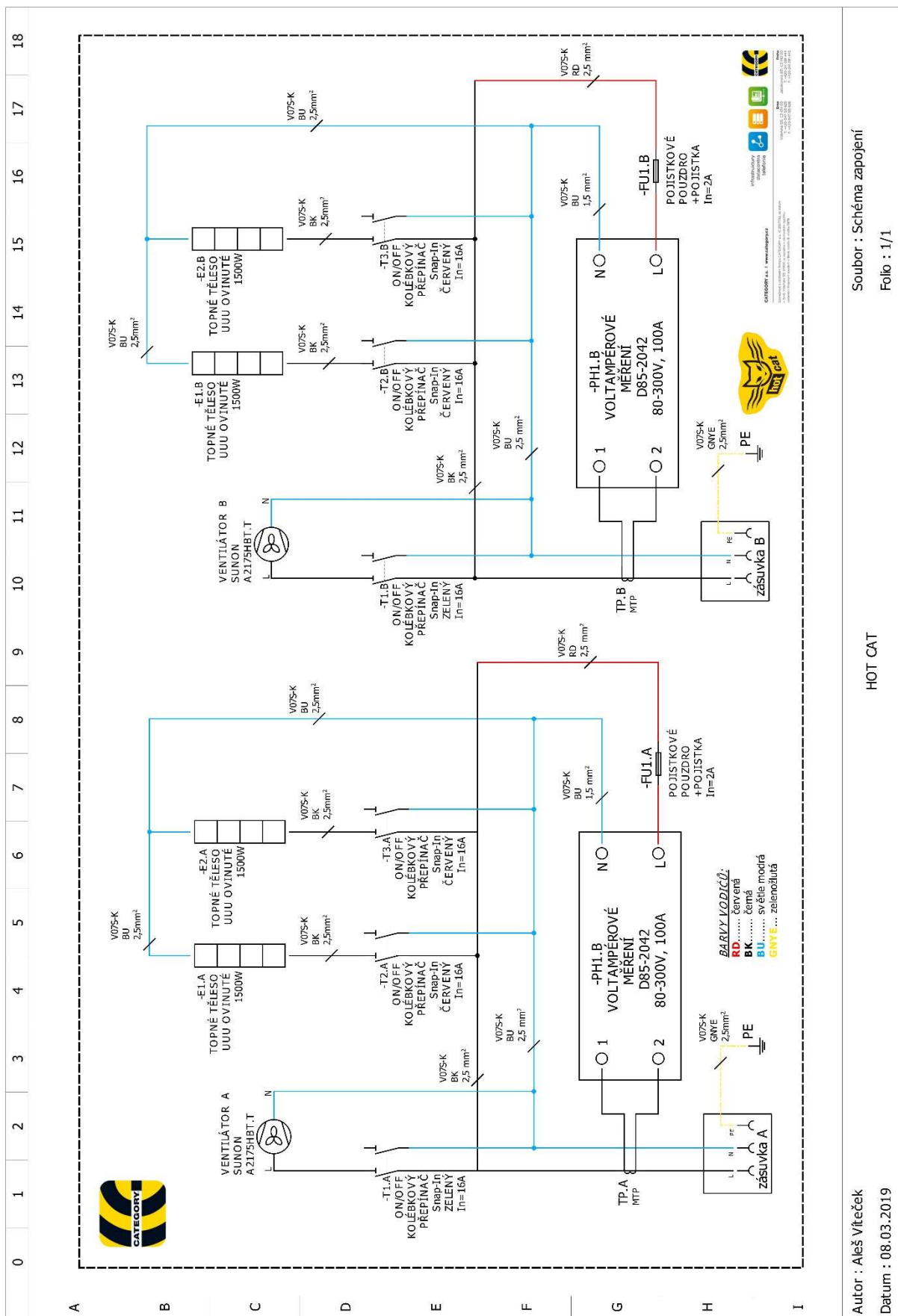
## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

DC	Datové Centrum
IT	Information Technology
TIA	Telecommunications Industry Association
ISO	International Organization for Standardization
PUE	Power Usage Effectiveness
DCiE	Data Center Infrastructure Efficiency
AV	Audio Video
EZS	Elektronický Zabezpečovací Systém
EPS	Elektronický Zabezpečovací Systém
PDU	Power Distribution Unit
LAN	Local Area Network
UPS	Uninterruptible Power System
CPU	Central Processing Unit
PEC	Power Enviroment Cooling
WLAN	Wireless Local Area Network
NETD	Noise Equivalent Temperature Difference
DDC	Demonstrační Datové Centrum
CAD	Computer Aided Design
CFD	Computational Fluid Dynamics
HVAC	Heating Ventilating and Air Conditioning

## SEZNAM PŘÍLOH

1.	SCHÉMA ZAPOJENÍ ZAŘÍZENÍ HOT CAT .....	76
2.	TECHNICKÁ DOKUMENTACE DEMONSTRAČNÍHO DATOVÉHO CENTRA FIRMY <i>CATEGORY A.S.</i> .....	77
3.	SNÍMKY Z TERMOKAMERY MĚŘENÍ PEC .....	80
4.	FOTODOKUMENTACE MĚŘENÍ PEC.....	83

# 1. SCHÉMA ZAPOJENÍ ZAŘÍZENÍ HOT CAT

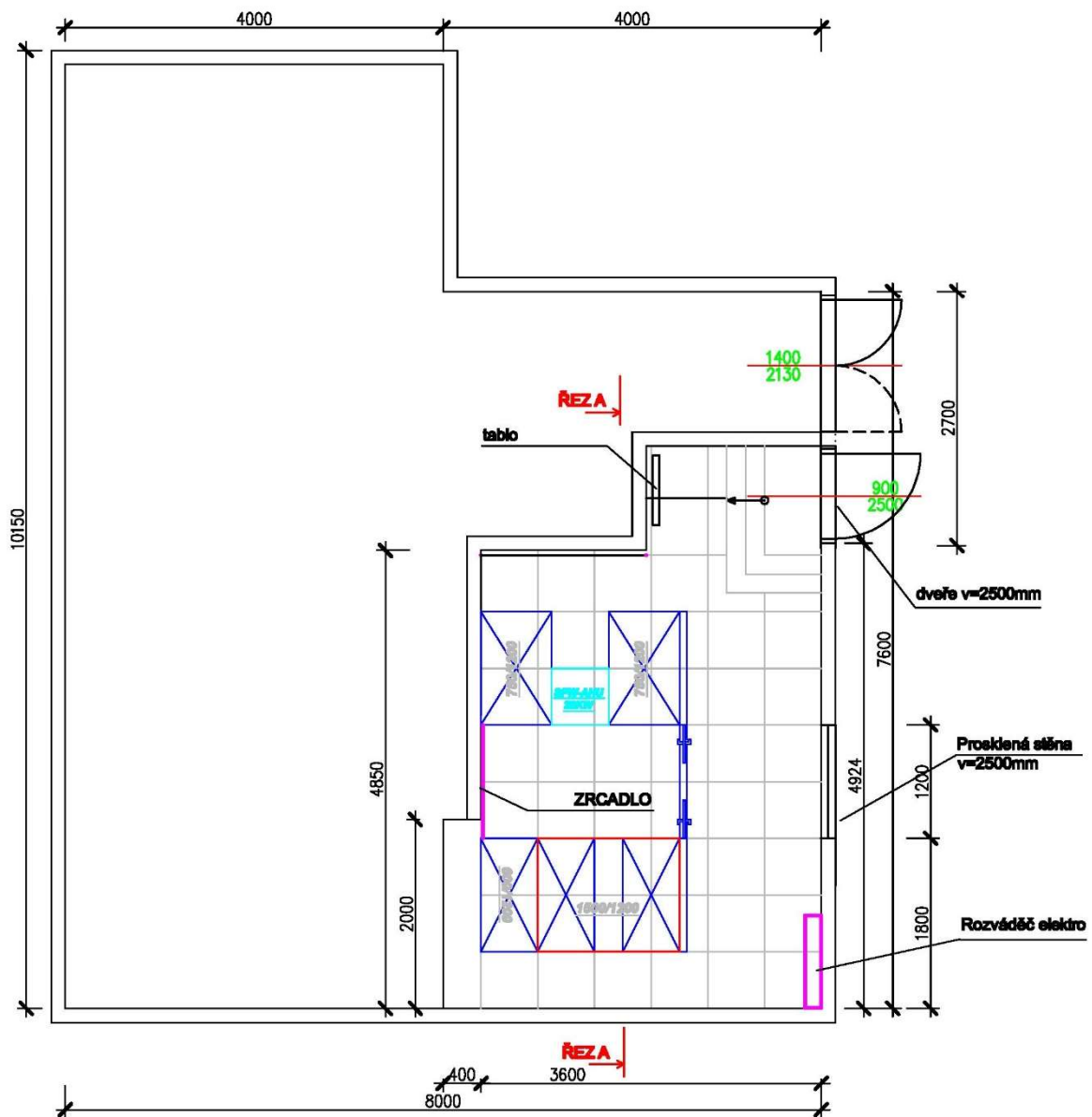


Soubor : Schéma zapojení  
 Folio : 1/1

HOT CAT

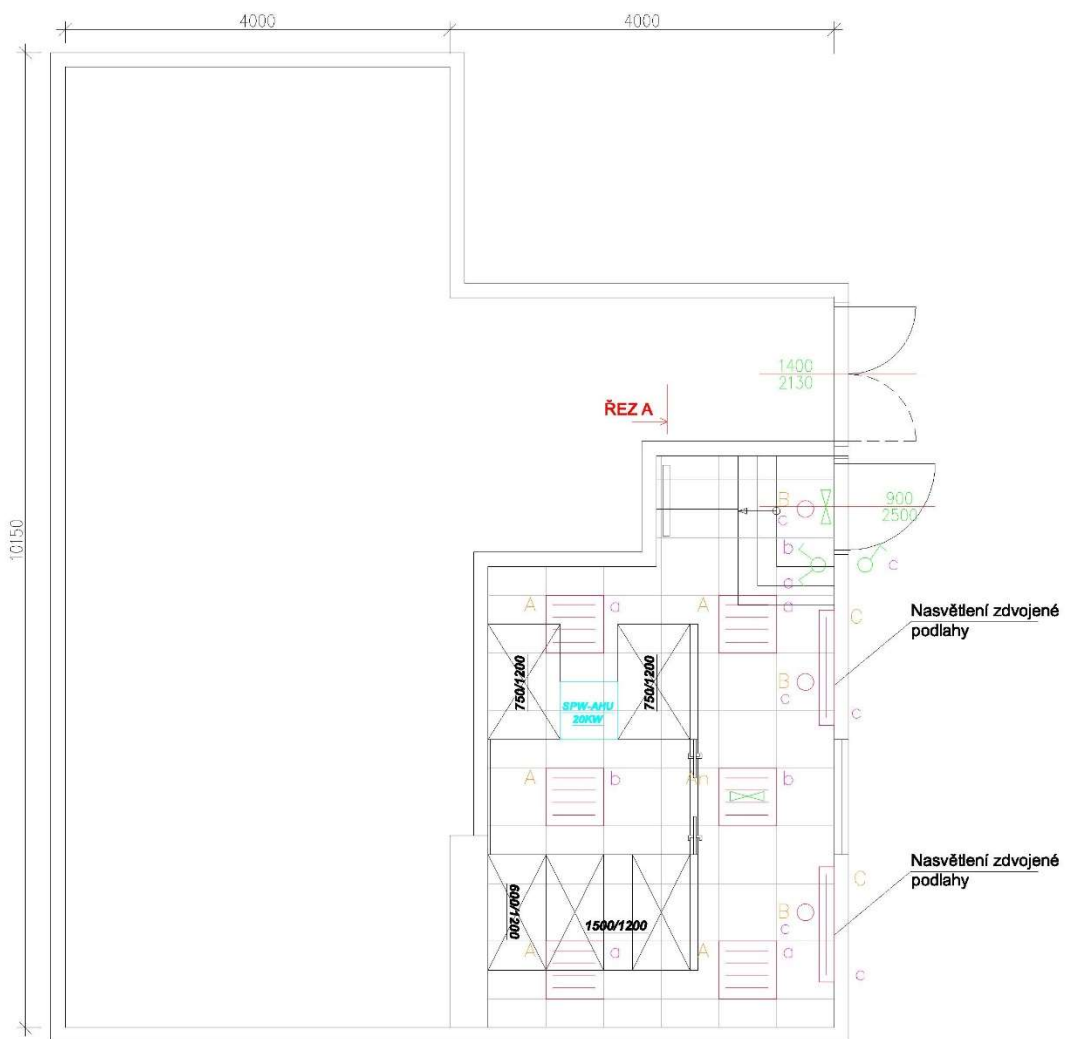
Autor : Aleš Viteček  
 Datum : 08.03.2019

## 2. TECHNICKÁ DOKUMENTACE DEMONSTRAČNÍHO DATOVÉHO CENTRA FIRMY *CATEGORY A.S.*



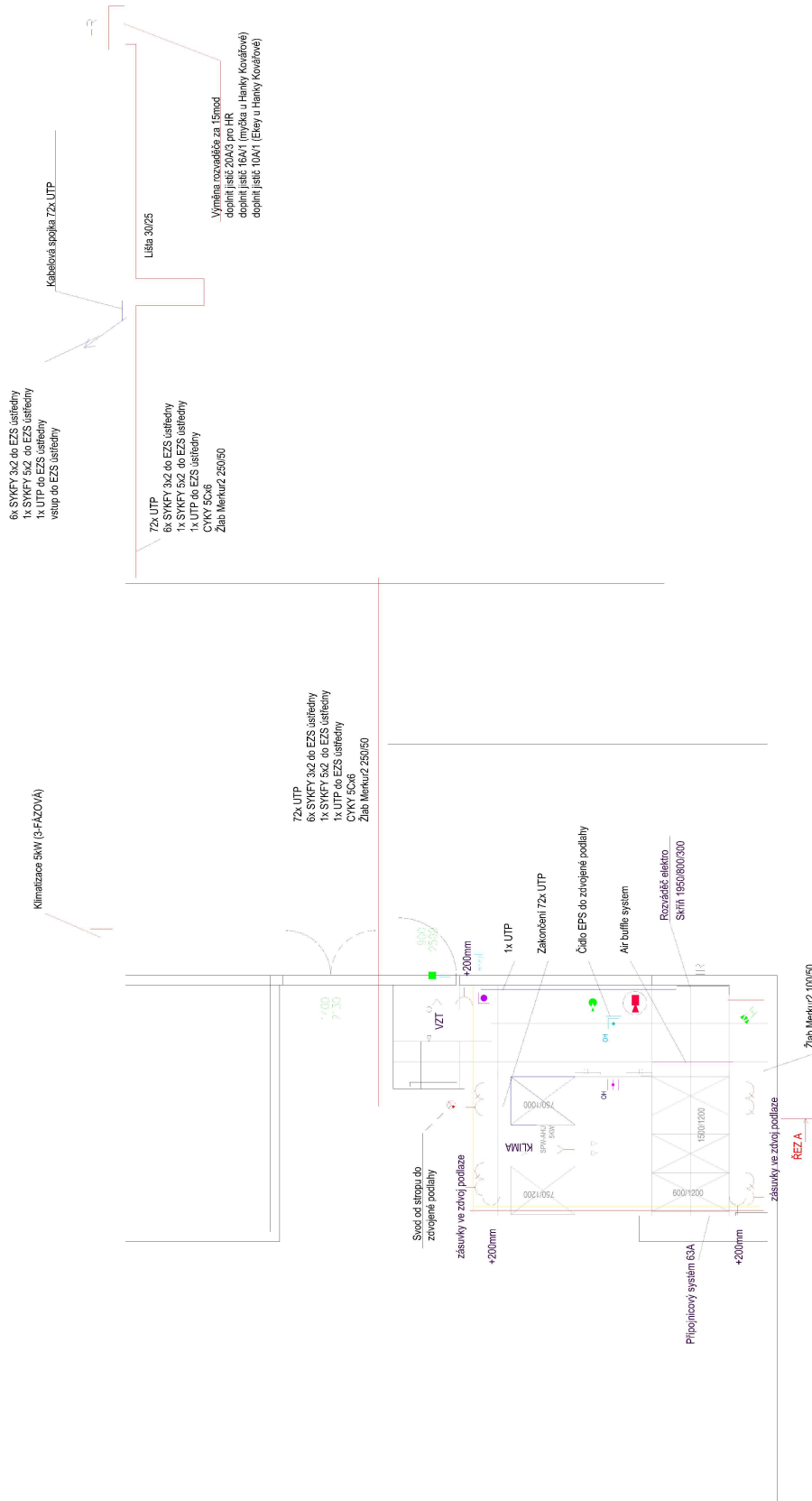
Změna dne:  
14.9.2010 - varianta 4

VYPRACOVAL: <b>ZDENĚK MRKVICA</b>	ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT: <b>ZDENĚK MRKVICA</b>	<b>CATEGORY a.s.</b> Videňská 125 619 00 Brno <a href="http://www.category.cz">http://www.category.cz</a> 
HLAVNÍ PROJEKTUJ: <b>ING KAPOUN JIŘÍ</b>	KONTROLOVAL: <b>ZDENĚK MRKVICA</b>	
INVESTOR: CATEGORY a.s.		ARCHIVNÍ ČÍSLO: 2008/2010
STAVBA: SHOW ROOM - DC CATEGORY		ČEJL: RP
ČÁST: ROZMÍSTĚNÍ TECHNOLOGIÍ		DATA: 06/2010
NÁZEV VÝKRESU: <b>PŮDORYS 1.NP - ROZMÍSTĚNÍ TECHNOLOGIÍ + PODLAHA</b>		FORMÁT: MĚRITVO: 1:50
		ČÍS. ČÁSTI: 01



**Změna dne:**  
2010-11-10

VYPRACOVAL:	ZODPOVĚDNÝ PROJEKTANT:	<b>CATEGORY a.s.</b> Vídeňská 125 619 00 Brno <a href="http://www.category.cz">http://www.category.cz</a>	
<b>BADIN LUKÁŠ</b>	<b>ZDENĚK MRKVICA</b>		
HLÍDAČ PROJEKTU:	KONTROLOVAL:	ARCHIVAČNÍ ČÍSLO:	2006/2010
<b>ING KAPOUN JIŘÍ</b>	<b>ZDENĚK MRKVICA</b>	ČEJL:	RP
INVESTOR: <b>CATEGORY a.s.</b>		DATUM:	06/2010
STAVBA: <b>SHOW ROOM - DC CATEGORY</b>		POPIS:	MĚRITKO
ČÁST: <b>ELEKTRTOINSTALACE</b>			1:50
NÁZEV VÝKRESU:			Čís. části
<b>PŮDORYS 1.NP - OSVĚTLENÍ (PODHLÉD)</b>			<b>EL-01</b>



6x SYMFY 3x2 do EZS listědny  
1x SYMFY 5x2 do EZS listědny  
1x UTP do EZS listědny  
vstup do EZS listědny

72x UTP  
6x SYMFY 3x2 do EZS listědny  
1x SYMFY 5x2 do EZS listědny  
1x UTP do EZS listědny  
CVKY 5C/6  
Záb Merkur2 250/150

72x UTP  
6x SYMFY 3x2 do EZS listědny  
1x SYMFY 5x2 do EZS listědny  
1x UTP do EZS listědny  
CVKY 5C/6  
Záb Merkur2 250/150

- LEGENDA:
- EZS - Měření (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Zámek (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Měření (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Zámek (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Měření (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Zámek (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Měření (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Zámek (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Měření (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Zámek (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Měření (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Zámek (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Měření (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Zámek (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Měření (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Zámek (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Měření (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Zámek (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Měření (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Zámek (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Měření (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Zámek (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Měření (SPR7 2x2x3)
  - EZS - Zámek (SPR7 2x2x3)

Změna dle:  
14.9.2010 - verze 4

ZDENĚK MRKVICA

ING KAPOUN JIŘÍ

CATEGORY a.s.

Demo Data Centrum CATEGORY - DC2

ZDENĚK MRKVICA

ZDENĚK MRKVICA

CATEGORY a.s.

Demo Data Centrum CATEGORY - DC2

ZDENĚK MRKVICA

ZDENĚK MRKVICA

CATEGORY a.s.

Demo Data Centrum CATEGORY - DC2



CATEGORY a.s.

Vieňská 725

619 00 Brno

<http://www.category.cz>

2008/2010

RP

08/2010

1:50

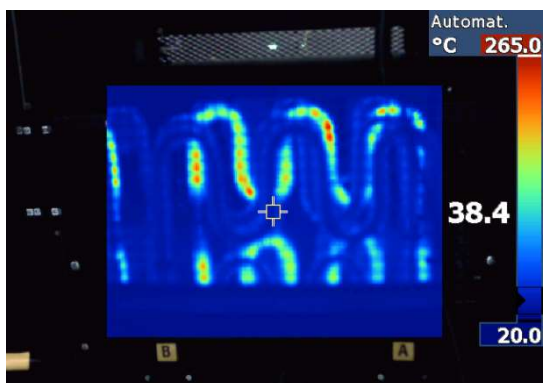
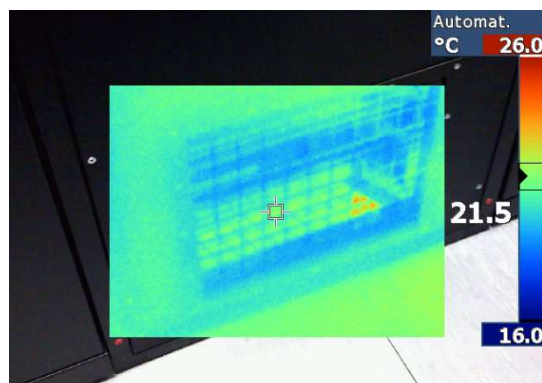
01

ROZMÍSTĚNÍ TECHNOLOGIÍ

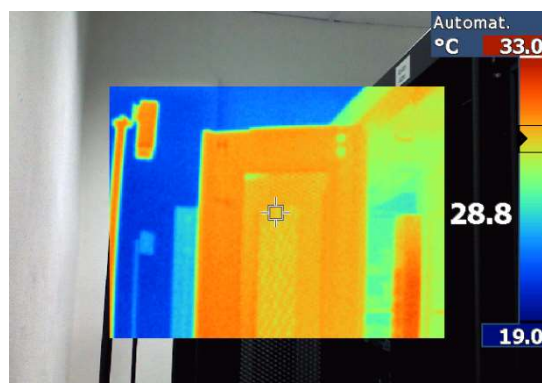
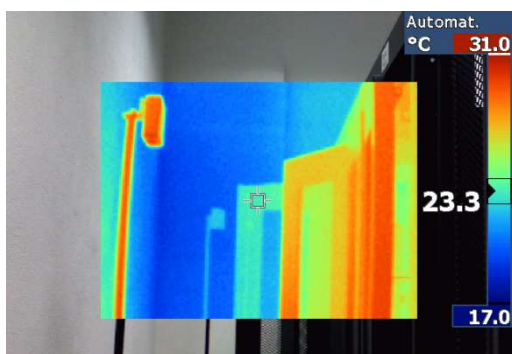
PŮDORYS 1NP - ROZMÍSTĚNÍ TECHNOLOGIÍ + PODLAHA

### 3. SNÍMKY Z TERMOKAMERY MĚŘENÍ PEC

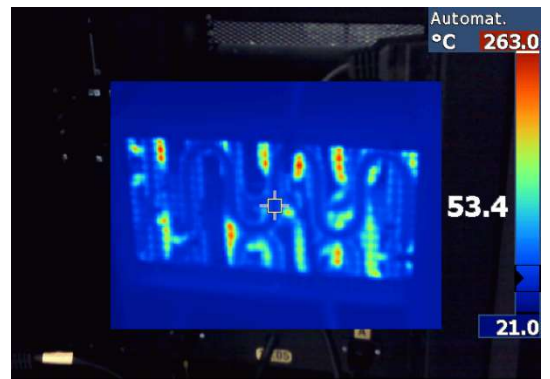
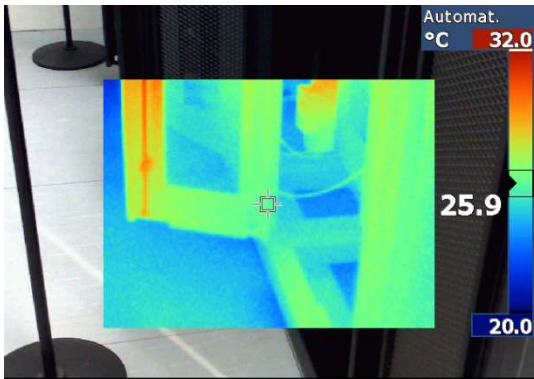
*Zátěž 2 x 1 500 W*



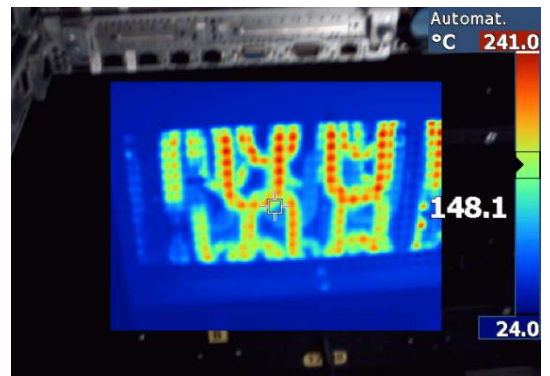
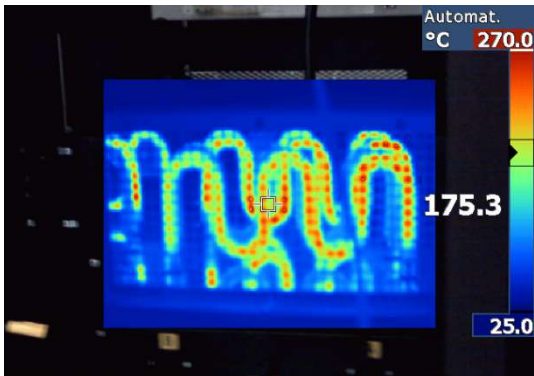
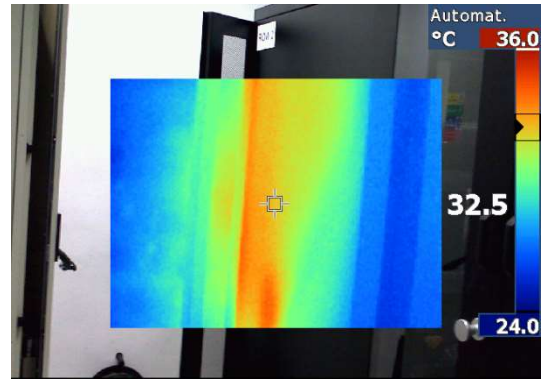
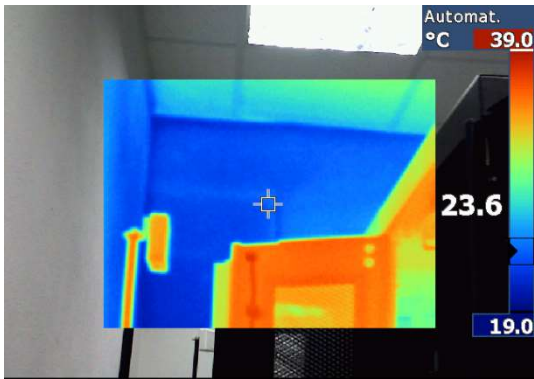
*Zátěž 2 x 3000 W*



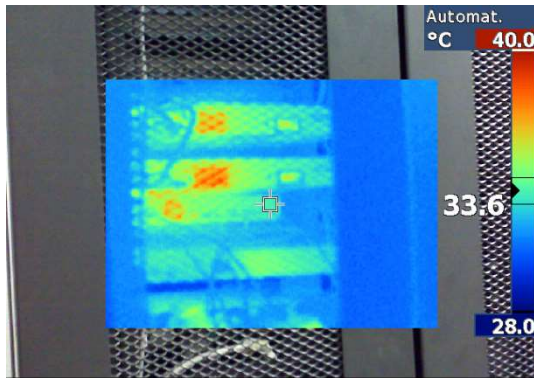




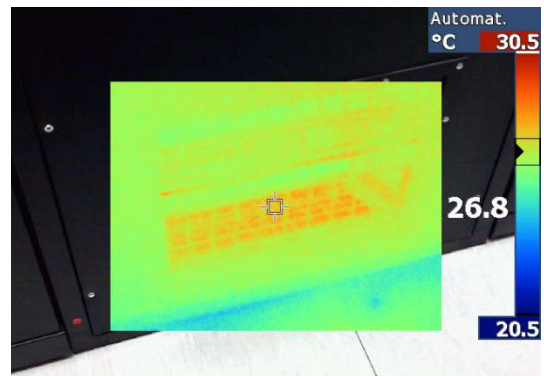
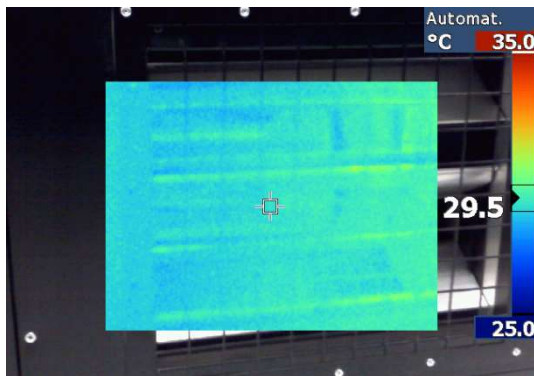
*Zátěž 2 x 4 500 W*



*Stávající síťová zařízení*



*Výstup klimatizační jednotky při zátěži 4 500 W*



#### 4. FOTODOKUMENTACE MĚŘENÍ PEC

