

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

KLIMATIZACE DATOVÝCH CENTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

JAN LUTZ

5 – TZSI – 2021

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a obecným seznámením s problematikou klimatizací datových center. V teoretické části jsou shrnuty základní aplikace úspory energie chladicích systémů datových center. Návrhová část obsahuje výpočty tepelných zisků a následný návrh jednotek chladicího systému datového centra.

Abstract

This bachelor thesis deals with the design and general introduction to data center air conditioning. The theoretical part summarizes the basic applications of energy saving data center cooling systems. The design part includes calculations of heat gain and design of data center cooling system units.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Klimatizace datových center“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Miloše Laina, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu citované literatury.

V Praze dne 30. 6. 2021

Jan Lutz

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Miloši Lainovi, Ph.d. za odborné vedení, za pomoc a rady při zpracování této práce.

Obsah

1	ÚVOD.....	10
2	DATOVÉ CENTRUM	11
2.1	Historie datových center.....	11
2.2	PUE	12
2.2.1.	Faktory ovlivňující PUE.....	13
2.2.2.	Historie a vývoj hodnot PUE	15
2.3	DCiE.....	16
2.4	Složení spotřeby datového centra.....	16
2.4.1.	Systém IT zařízení.....	18
2.4.2.	Klimatizační systém.....	18
2.4.3.	UPS (Uninterruptible Power Supply)	18
3	KLIMATIZACE	19
3.1	Historie klimatizace	19
4	SYSTÉMY CHLAZENÍ DATACENTRA.....	19
4.1	Vyvýšená podlaha.....	19
4.2	Jednotky CRAC.....	20
4.3	Teplá a studená ulička	21
4.4	In-rack cooling	22
4.5	Free cooling (Volné chlazení)	23
4.5.1.	Technologie volného chlazení.....	23
5	Analýza objektu.....	27
5.1	Popis objektu	27
5.2	Výpočet tepelné zátěže	27
5.3	Tepelná zátěž místnosti vlivem okolí	27

5.3.1.	Výpočet součinitele prostupu tepla.....	28
5.3.2.	Výpočet součinitele prostupu tepla pro obvodovou stěnu	28
5.3.3.	Výpočet součinitele prostupu tepla pro podlahu	29
5.3.4.	Výpočet součinitele prostupu tepla pro stropní konstrukci	30
5.3.5.	Výsledné součinitele prostupu tepla	31
5.3.6.	Tepelný tok.....	31
5.3.7.	Tepelná zátěž obvodových stěn.....	33
5.3.8.	Tepelná zátěž podlahy	33
5.3.9.	Tepelná zátěž stropní konstrukce	33
5.3.10.	Tepelná zátěž dveří.....	33
5.3.11.	Výsledné tepelné zátěže.....	34
5.4	Tepelná zátěž osob	34
5.5	Tepelná zátěž osvětlení	37
5.6	Tepelná zátěž serverů.....	37
5.6.1.	Celkové tepelné zisky místnosti	38
5.7	Přídavný chladicí výkon	38
5.7.1.	Pasivní redundance.....	38
5.7.2.	Aktivní redundance.....	39
5.8	Celkový souhrn tepelné zátěže datového centra.....	39
5.9	Potřebný chladicí výkon	40
6	Návrh chladicího systému	41
6.1	Návrh klimatizační jednotky.....	43
6.1.1.	CyberAir 3PRO ASR CW	43
6.1.2.	CyberAir 3PRO ASR CW2.....	44
6.1.3.	Shrnutí chladicích výkonů	46
6.2	Návrh zdroje chladu (Chilleru).....	47

7	CyberCool 2.....	48
	7.1.1. Energetická účinnost.....	49
	7.1.2. Výpočet spotřeby energie chladicí jednotky.....	52
	7.1.3. Porovnání.....	52
8	ZÁVĚR.....	53
9	Citovaná literatura	54

Seznam použitých veličin

Označení	Název	Jednotka
T	Celková spotřebovaná energie datového centra	[W]
I	Spotřeba energie IT zařízení	[W]
PUE	Účinnost využití energie	[–]
<i>DCiE</i>	Míra efektivity datového centra	[%]
C	Spotřeba energie klimatizačního systému	[W]
P	Spotřeba energie UPS	[W]
A	Spotřeba energie osvětlovacího systému	[W]
U	Součinitel prostupu tepla	[W · m ⁻² · K ⁻¹]
R	Odpor při přestupu tepla	[m ² · K · W ⁻¹]
d	Tloušťka konstrukce	[m]
λ	Součinitel vodivosti materiálu	[W · m ⁻¹ · K ⁻¹]
Q	Tepelný tok, tepelná zátěž	[W]
S	Plocha	[m ²]
t	Teplota	[°C]
N	Část energetického výdeje spotřebovaná na fyzickou činnost člověka	[W]
m	Hmotnost	[kg]
h	Výška	[m]
n	Měrný výkon	[W · m ⁻²]
μ	Mechanická účinnost	[–]
q	Měrný energetický tok	[W · m ⁻²]

Seznam použitých indexů

Označení	Název
<i>si</i>	Strana vnitřní
<i>se</i>	Strana vnější
<i>obs</i>	Obvodové stěny
<i>p</i>	Podlahy
<i>s</i>	Stropu
<i>i</i>	Vnitřní
<i>e</i>	Vnější
<i>d</i>	Dveře
<i>m</i>	Metabolický
<i>os</i>	Osoby
<i>3os.</i>	Tři osob
<i>svě</i>	Osvětlení
<i>cm</i>	Celkem místnosti
<i>lt</i>	Lidské tělo
<i>po.chlad.výkon</i>	Potřebný chladicí výkon
<i>celk.zátěž</i>	Celková zátěž
<i>celk.redundance</i>	Celková zátěž s redundancí
<i>celk.chl.výkon</i>	Celkový chladicí výkon
<i>CRAC</i>	Klimatizace počítačové jednotky
<i>Rack</i>	Serverová skříň

1 ÚVOD

Každým rokem rostou exponenciálně počty i výkony všech různých IT zařízení na celém světě. Jinak tomu není ani u datových center. S rozšiřujícím se streamováním videí či her, roste také potřeba stále zvyšovat počty a kapacity serverů. Podle [1] byla spotřeba elektrické energie v datových centrech v roce 2019 kolem 200 TWh. To činí 0,8 % celosvětové spotřeby elektrické energie. S ohledem na dnešní ekologické požadavky je proto potřeba snižování spotřeby energie datových center. Řada vyspělých zemí již dodává energii do datových center pouze z obnovitelných zdrojů, jako je například solární nebo větrná energie. V datových centrech nejvíce spotřebovávají energii samotné servery a klimatizace. Zvyšováním hustoty výkonu serverů také roste generované teplo, z tohoto důvodu se velmi hledí na zefektivnění chlazení.

Bakalářská práce se zabývá obecnou problematikou a návrhem klimatizace datového centra.

Teoretická část obsahuje základní popis datových center a klimatizací. Součástí je také představení několika aplikací pro zvýšení efektivity chlazení.

V praktické části se nachází výpočty tepelných zisků místnosti, na které bylo navrženo chladičí zařízení datového centra a zdroj chladu.

2 DATOVÉ CENTRUM

Datová centra jsou místnosti, sály nebo dokonce celé budovy, kde se nacházejí počítačové servery. Tyto servery fungují v nepřetržitém režimu. I k tomuto musí být uzpůsobený celý klimatizační a napájecí systém. Datová centra spotřebují spoustu energie, proto jsou dnes navrhována a zdokonalována k co nejmenší spotřebě elektrické energie. Na serverech, nacházejících se v datovém centru, jsou uložena z velké části citlivá data jednotlivců i firem. Z tohoto důvodu jsou tyto prostory zabezpečené, jak proti požáru, zaplavení, tak také proti vniknutí cizích osob. [2]

2.1 Historie datových center

Za první datové centrum bychom mohli považovat zařízení, které bylo postaveno a využíváno americkou armádou. Toto zařízení bylo vybudováno v roce 1946 na univerzitě v Pensylvánii v USA a nazývalo se ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer) [3]. Počítače z této doby nebyly ani zdaleka podobné těm dnešním. Tranzistory byly nahrazeny 18 000 vakuovými trubicemi a velikost jednoho počítače čítala 170 m².



Obrázek 1 Americké datové centrum ENIAC [4]

V 60. letech se důležitou změnou stalo nahrazení vakuových trubic za tranzistory. Prvním přístrojem, u kterého tuto změnu můžeme pozorovat je počítač TRADIC, který byl představen v roce 1954 [5]. V těchto letech vznikl i první superpočítač – CDC 6600, který byl schopen výkonu 1 MFlops až 3 MFlops.

V roce 1971 byl zaveden procesor Intel 4004 – první programovatelný procesor sloužící všeobecnému účelu. Jeho výhodou byla přizpůsobitelnost, díky které se stal základní součástí pro všechny inženýry. Po Intelu byl představen Xerox Alto se svým prvním grafickým uživatelským rozhraním. New Yorkská banka Chase Manhattan Bank využila roku 1977 technologii LAN – ARCnet, ta podporovala najednou až 255 počítačů a využívala přenosové rychlosti 2,5 Mbps.

Během 80. a 90. let střídají masivní počítače drobnější a výkonnější náhrady. Americký výrobce počítačů Sun Microsystems přichází se síťovým systémem souborů. Dále v této době registrujeme doménu COM. Lidé začali více využívat internet, a tak rostla poptávka po lepším připojení, tím pádem se do popředí dostává využití datacenter. Je potřeba větších a výkonnějších center, ta se stala nejpohodlnějším řešením pro spoustu společností.

Kdybychom se podívali do dnešní moderní doby, kterou bychom datovali do roku 2000, narazíme zde na některé problémy. Prvním z nich je problém s údržbou, který přináší vysoká energetická účinnost. [6]

2.2 PUE

Power usage effectiveness (dále jen PUE) indikuje poměr celkové spotřebované energie datového centra ke spotřebované energii IT vybavením (hardwarem). Do spotřeby IT vybavení počítáme například spotřebu serverů, monitorů, síťových prepínačů. Celková spotřeba datového centra zahrnuje všechna IT zařízení a dále také komponenty dodávající energii, chladicí systémy nebo například osvětlení. Nejčastěji se tedy využívá pro posuzování energetické efektivity datacenter. Když se hodnota PUE přiblíží k hodnotě 1, znamená to, že systém potřebává energii téměř jen na chod IT zařízení, což je naším cílem. Čím nižší hodnoty PUE datové centrum dosahuje, tím energeticky efektivnější je. Chlazení, jakožto energeticky náročná záležitost, má poměrně velký podíl na růstu koeficientu PUE. [7]

S hodnotou PUE se pracuje skoro po celém světě a hodnoty naměřené v globálních energeticky účinných datacentrech se pohybují kolem 1,1 až 1,5 [8]. Podíváme-li se na datová centra v Číně, dobereme se hodnoty přibližně 2,5. PUE v malých a středních datových centrech dosahuje hodnoty PUE až 3. Pro nás nejideálnější hodnota PUE by dosahovala čísla 1,0.

$$PUE = \frac{T}{I} \quad (2.1)$$

T [W]- Celková spotřebovaná energie datového centra

I [W]- Spotřeba energie IT zařízení [9]

2.2.1. Faktory ovlivňující PUE

Předtím, než začneme hodnotit efektivitu datacenter pouze podle naměřené hodnoty PUE, je důležité si uvědomit, že ne všechna datová centra mají stejné podmínky pro výstavbu a provoz. I když je nejdůležitější promyšlený návrh a zpracování, existují aspekty, které nemůžeme při stavbě ovlivnit. Jedním z nich je například klima, které velmi ovlivňuje účinnost chladicích systémů. V následujících kapitolách budou shrnuté některé z těchto faktorů, které ovlivňují účinnost celého datového centra. [10]

2.2.1.1. *Dynamická povaha datového centra*

Datová centra se stále vyvíjí, můžeme dokonce říct, že nově dostavené datové centrum je v den spuštění provozu již zastaralé. Důraz na snížení spotřeby energie vyvolává stálé zdokonalování všech systémů. Množství potřebné výpočetní techniky narůstá exponenciálně a s tím také potřebná energie. S potřebou snížení spotřeby se také zdokonalují výpočty využití energie [11]. Jednodušší formou, a také více užívanou, je výpočet statickou metodou, která se bohužel mírně liší od skutečného a právě dynamického, charakteru datového centra. Proto se návrhová hodnota PUE může ve výsledku také lišit od té skutečné. [10]

2.2.1.2. *TYP DATACENTRA*

Dalším důležitým faktorem pro posuzování efektivity datacentra bude jeho typ. Přesněji řečeno typ jeho účelu výstavby. Jsou datová centra, u kterých se již při výstavbě budovy počítalo s jejich umístěním, a proto jim byl prostor přizpůsoben. [10]

Dále záleží, zda je datové centrum chráněno před nečekanou poruchou, zda má a kolik, záložních systémů, které samozřejmě snižují hodnotu PUE. U menších datových center bude mít tento bezpečnostní prvek větší podíl na spotřebě energie, než u větších datových sálů, kde může být menší počet záložních systémů v porovnání s celkovým počtem těch primárních.

Datová centra se dělí na 4 kategorie dle dostupnosti. To znamená, kolik času v roce jsou plně v provozu. Každý tento jeden typ centra má jiné specifikace a jiné požadavky na efektivitu – tím pádem i hodnotu PUE. [12]

	Stupeň I	Stupeň II	Stupeň III	Stupeň IV
Cesty distribuce napájení a chlazení	1	1	1 aktivní 1 náhradní	2 aktivní
Redundantní aktivní komponenty	N	N+1	N+1	2(N+1)
Vyvýšená podlaha [cm]	30	46	76 – 91	76 - 91
Souběžná údržba	NE	NE	ANO	ANO
Odolnost proti poruchám	NE	NE	NE	ANO
Dostupnost [%]	99,671	99,749	99,982	99,995
Nedostupnost [min]	1730	1320	95	26

Tabulka 2.1 Popis dostupnosti datového centra [13]

2.2.1.3. **Klima a umístění**

Poloha datového centra může významně ovlivňovat hodnotu PUE. Určité mechanické systémy se chovají jinak v odlišných klimatických podmínkách. Některá datacentra jsou chlazena na bázi free coolingu (volného chlazení), které využívá nízkých venkovních teplot pro výrobu chladu. Z toho vyplývá, že centra, která se budou nacházet v oblasti, kde je nižší teplota, budou mít znatelně nižší spotřebu energie. [10]

Například v Singapuru, kde je vyšší teplota a vlhkost, je více obtížné udržet nízké hodnoty PUE. Společnost Microsoft zde postavila datové centrum, kde zvolili vertikální design z důvodu nároků na prostor, kterého v Singapuru není tolik. [14]

Tím se také dostáváme k dalším aspektům ovlivňujícím polohu datového centra, jako je například cena služeb nebo dostupnost energie.

Dále bychom měli brát v potaz umístění s ohledem na přírodní katastrofy, jako je například zemětřesení nebo záplavy. Jedním z dalších důležitých aspektů jsou také

síťové služby. Datová centra obsahují a přenášejí obrovské množství dat, k čemuž je potřebné rychlé internetové připojení. K plynulému a rychlému přístupu k datům využijeme nízké latence. [13]

2.2.2. Historie a vývoj hodnot PUE

Dnešní hodnoty PUE, které, jak je uvedeno výše, se pohybují kolem 1,1 - 1,5, bychom na počátcích datacenter nenaměřili. První generace datacenter dosahovala hodnoty PUE 2,0 a více – tedy spotřebovávala dvojnásobek energie jako samotné servery na jejich chlazení, osvětlení, provoz monitorovacích systémů a napájení počítačů s nástroji pro jejich správu. [15]

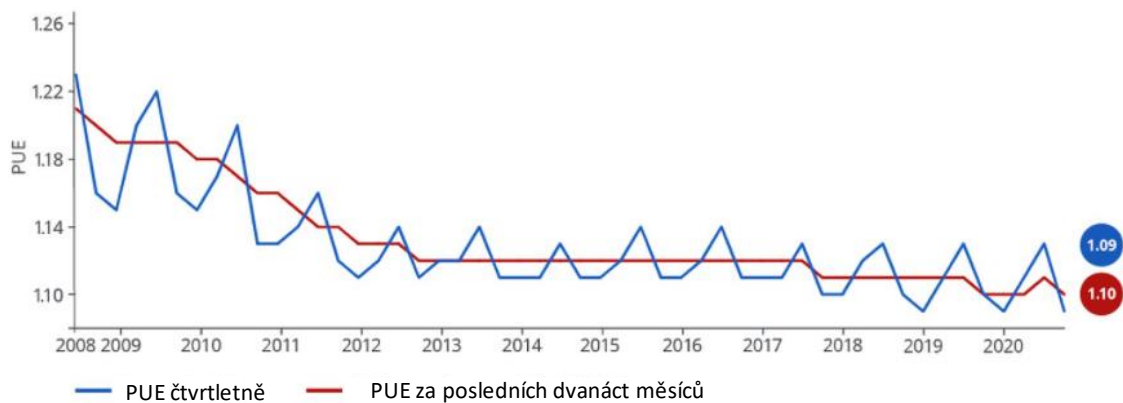
Jelikož větší část populace začala využívat počítačů a internetu ve vlastní domácnosti, vzrostla i poptávka právě po online službách. Často užívaný hardware v domácnosti na ukládání dat postupem času také nahrazují cloudová úložiště. Prvním datacentrem postaveným mimo USA je DB3, které se nachází poblíž Dublinu v Irsku. Dokončené bylo v roce 2009. V tomto datovém centru se PUE pohybuje na hodnotě 1,25. Z důvodu obrovských rozměrů je Microsoft nucen postavit poblíž tohoto datového centra vlastní elektrárnu, aby bylo možné pokrýt energetickou spotřebu. [14]

Bylo nutné vylepšit datová centra, a tak Microsoft přichází s novým modelem datových center. Využívá se u nich zejména rychlosti výstavby a snižování nákladů, díky předem sestaveným komponentům. Tato datová centra si lze představit jako kontejnery naplněné až 2000 servery. Jedním z takových objektů je datové centrum Quincy ve státě Washington v USA. Za pouhých 8 měsíců bylo dokončeno počáteční nasazení těchto kontejnerů, nazývaných IT-PACs. Na tomto místě zřizuje společnost Microsoft služby jako je například Skype, Outlook nebo také Hotmail [14]. [16]

Nyní firma Microsoft pracuje na velmi ambiciózním projektu s názvem Project Natick. Jedná se o vakuové komory ponořené pod hladinou oceánu, kde díky absenci vlhkosti a prachu mohou fungovat s mnohem nižšími provozními náklady. Jsou instalovány přibližně 200 m pod hladinou oceánu, kde také mohou využívat nízkých teplot pro chlazení. Díky těmto aspektům dosahuje indikátor energetické efektivity hodnoty 1,07. [17]

Průběžné zlepšování PUE

Průměrné PUE pro všechna datová centra



Obrázek 2 Hodnoty PUE pro všechna velká datová centra Google [18]

2.3 DCiE

Další hodnotou udávající míru efektivity datového centra je DCiE (Data Center infrastructure Efficiency). Jedná se o převrácenou hodnotu PUE a udává se v procentech, takže to znamená, že čím je tato hodnota větší, tím je datové centrum efektivnější.

$$DCiE = \frac{1}{PUE} \cdot 100 \% \quad (2.2)$$

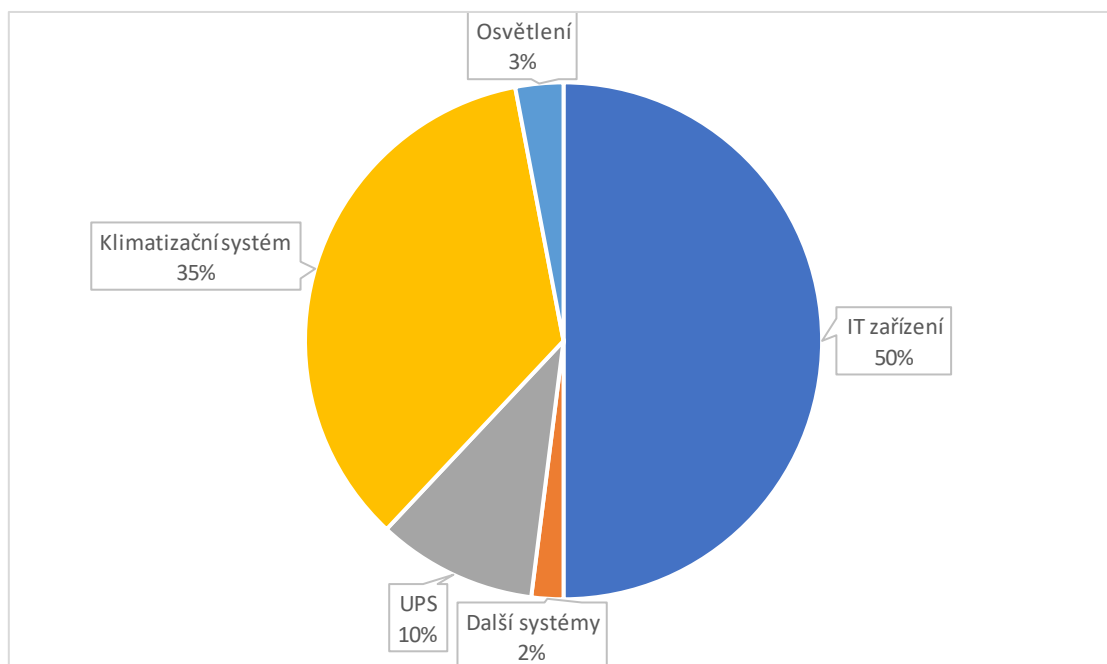
Z charakteru DCiE je patrné, že je ovlivňováno stejnými faktory jako hodnota PUE. [9]

2.4 Složení spotřeby datového centra

Podle výčtu [9] využívají zdroje chladu neboli chillery, které ochlazují chladicí kapalinu, která následně ochlazuje vzduch v klimatizační jednotce (dále také CRAC), druhou největší část celkové spotřebované energie. Tato část energie je většinou kolem 25 až 35 % celkové spotřeby datového centra. Zbýlých 15 až 25 % spotřebovává například UPS, který je vysvětlen v 2.4.3, a osvětlení. Největší část poměru spotřebované energie využívají IT zařízení. Jedná se o něco kolem poloviny celkové spotřeby datového centra.

Z důvodu, že se datová centra vyvíjí velkou rychlostí, mohou být tato data zkreslená. Ve světě se stále nachází datová centra s hodnotou PUE větší než 2, přesto, pokud bychom uvažovali hodnoty PUE nejefektivnějších datových center, dostali bychom se klidně na 80 až 90 % spotřeby IT zařízení z celkové spotřeby datového centra. [19]

Podle procent různých elektrických zařízení v datovém centru je struktura spotřeby energie zobrazená dole.



Obrázek 3 Rozpis spotřeby energie datového centra [9] [19]

Podle struktury spotřeby energie datového centra můžeme kombinovat s hodnotou PUE a získat následující vzorec:

$$PUE = \frac{T}{I} = \frac{(I + C + P + A)}{I}, \quad (2.3)$$

kde T je celková spotřeba energie datového centra,

I je spotřeba energie IT zařízení,

C je spotřeba energie klimatizačního systému,

P je spotřeba energie UPS,

A je spotřeba energie osvětlovacího systému. [9]

2.4.1. Systém IT zařízení

IT zařízení jsou primární částí každého datového centra. Jak jsem uvedl výše, spotřebovávají přibližně polovinu energie, ale v dnešní době se mohou u těch nejmodernějších datových center, dostat klidně až na 90 % z celkové spotřebované energie. Do IT zařízení řadíme například servery, které spotřebovávají přibližně 80 % energie z IT zařízení. Dalších 20 % připadá na úložiště a zařízení síťové komunikace. [9]

2.4.2. Klimatizační systém

Z celkové spotřeby klimatizačního systému můžeme uvažovat přibližně 70 % spotřeby chladičím systémem a zbylých 30 % spotřebované ventilačním systémem. [9]

2.4.3. UPS (Uninterruptible Power Supply)

Datová data jsou velmi citlivá na nečekané vypnutí, proto je nutné mít nepřerušované napájení. K tomuto se využívá právě UPS (uninterruptible power supply) neboli zdroj nepřerušovaného napájení, který slouží jako baterie, která je při normálním provozu plně nabitá a teprve při výpadku hlavního zdroje napájení začne využívat uloženou energii z akumulátoru. [20]



Obrázek 4 Uninterruptible Power Supply [21]

3 KLIMATIZACE

Klimatizace jsou obecně zařízení, která kontrolují a zároveň upravují vzduch k potřebám zadavatele. V datovém centru se jedná o současnou regulaci teploty, vlhkosti a pohybu vzduchu [22]. Skládají se z jednotlivých komponent, jako jsou ventilátory, filtry vzduchu nebo chladiče vzduchu. [23]

3.1 Historie klimatizace

Horký, nedýchatelný vzduch není záležitostí jen letních dnů 21. století, trápili se tím již naši předci ve starověkém Římě. Římané, u kterých můžeme registrovat první pokus o vytvoření jakési klimatizace, si poradili s problematikou horkého vzduchu akvadukty, které vedly studenou vodu i přes celá města. [24]

Pokud bychom hledali zařízení, které se alespoň trochu podobá klimatizacím dnešní doby, našli bychom ho v roce 1902. Tohoto roku nainstaloval americký inženýr Willis Carrier, zaměstnanec strojírenské firmy Buffalo Forge, první chladicí zařízení [24]. Willis vycházel z objevu britského vědce Michaela Faradaye, který v roce 1820 přišel se zjištěním, že stlačený čpavek v kapalném stavu při postupném vypouštění dokáže chladit. Carrier posunul tento objev o krok vpřed. Nahradil toxický čpavek bezpečnějším chladicím médiem. Důležitý zlom nastal ve chvíli, kdy se celá konstrukce chladicí jednotky zmenšila tak, aby se dala umístit na každou budovu.

Předtím, než se klimatizace mohla umístit přímo do domácnosti, musel projít další změnou výběr chladicího média. Nepříliš bezpečné směsi nahradil freon. [25]

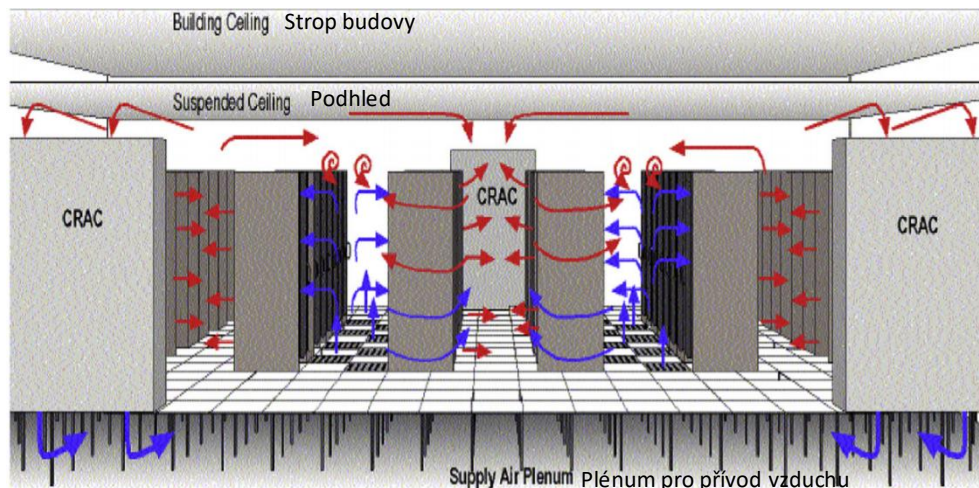
4 SYSTÉMY CHLAZENÍ DATACENTRA

4.1 Vyvýšená podlaha

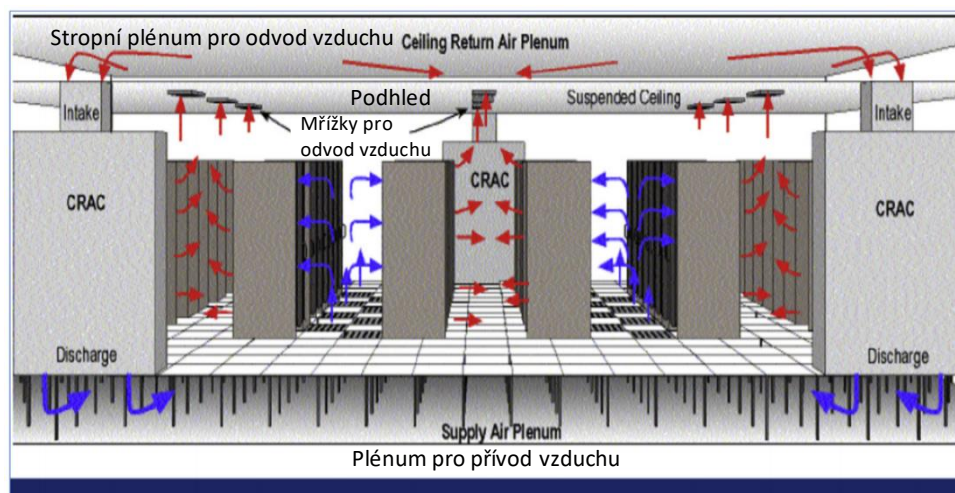
V dnešní době využívá většina datových center k distribuci studeného vzduchu, který ochlazuje serverové skříně, prostor pod vyvýšenou podlahou. Vyvýšení podlahy se pohybuje přibližně od 0,305 m až do 0,914 m, v závislosti na zařízení. [26]

Studený vzduch je poháněn z klimatizace počítačové místnosti (CRAC) do prostoru pod podlahou a dále je veden skrz perforované dlaždice přímo k jednotlivým serverovým skříním. Dělají se různé druhy propustnosti, ale podle [27] se ideálně jedná o propustnosti od 25 do 30 %. Zbylé dlaždice jsou plné, aby se zamezilo volnému pohybu chladného vzduchu místností. [27]

Prostor pod vyvýšenou podlahou se nevyužívá pouze pro přívod vzduchu, ale jsou tu také vedeny například napájecí kabely, protipožární systémy, popřípadě trubice s chladicí kapalinou. Jedná se o takzvané in-rack chlazení, kdy je chladicí kapalina vedena přímo na výstup serverových skříní pro vyšší účinnost chlazení. Tyto komponenty ve vyvýšené podlaze tvoří značné překážky v distribuci studeného vzduchu. [28]



Obrázek 5 Recirkulace teplého vzduchu a obtok studeného vzduchu [27]



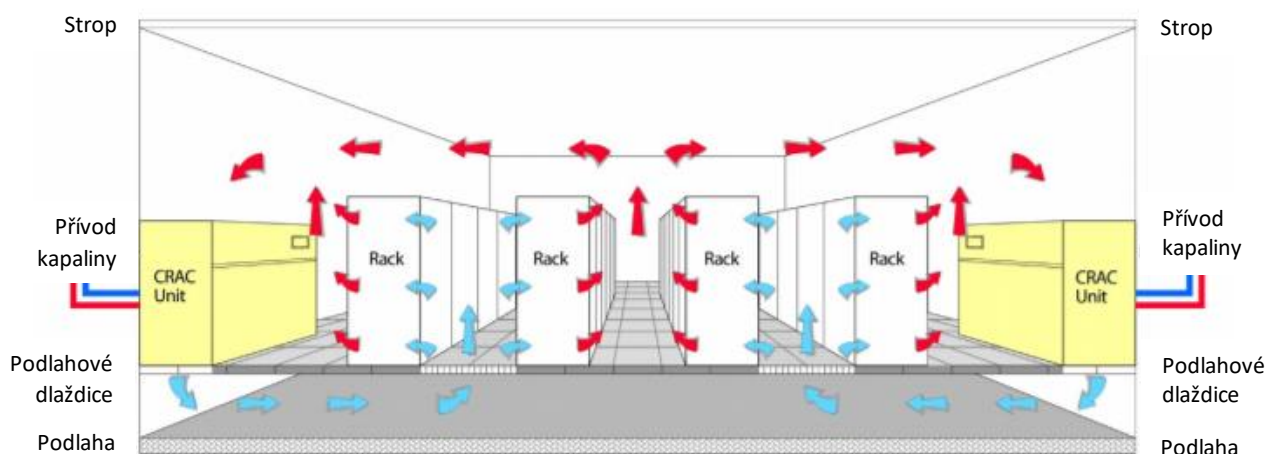
Obrázek 6 Systém podlahová distribuce vzduchu [27]

4.2 Jednotky CRAC

Jednotka CRAC (z anglického názvu computer room air conditioning a tedy v překladu klimatizace serverové místnosti) vede ochlazený vzduch pomocí ventilátorů, nejčastěji pod vyvýšenou podlahou. Jak bylo řečeno výše, vzduch je protlačován skrz perforované dlaždice přímo ke vstupu do serverové skříně (neboli „RACK“).

RACKy jsou instalovány do dlouhých uliček, které jsou ještě děleny na teplé a studené. Studené uličky se nacházejí u vstupu do serverových skříní, kde se také nachází perforované dlaždice. Servery nacházející se v RACKu produkují více než 99 % svého výkonu ve formě tepla, které je předáváno procházejícímu studenému vzduchu [27]. Ohřátý vzduch je veden ven ze serverových skříní na zadní straně. Tento prostor mezi zadními stranami serverových skříní je již zmíněná teplá ulička.

Dále ohřátý vzduch recirkuluje zpět do jednotky CRAC, kde je opět ochlazen pomocí výměníku tepla. Uvnitř klimatizační jednotky prochází skrz spirály, kterými proudí chladicí kapalina. Ta je do výměníku hnána pomocí čerpadel. Po ochlazení vzduchu je vedena zpět do chladiče nebo chladicí věže. [12]



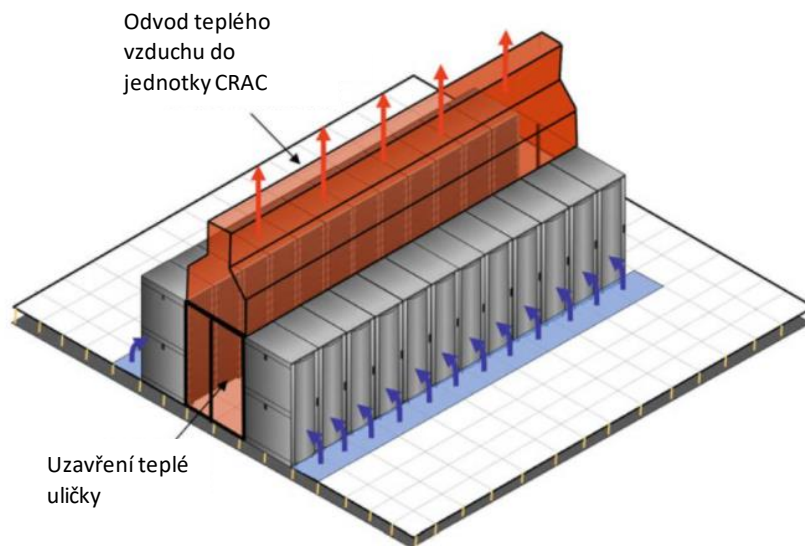
Obrázek 7 Zdvojená podlaha datového centra s nastavením teplé a studené uličky [12]

4.3 Teplá a studená ulička

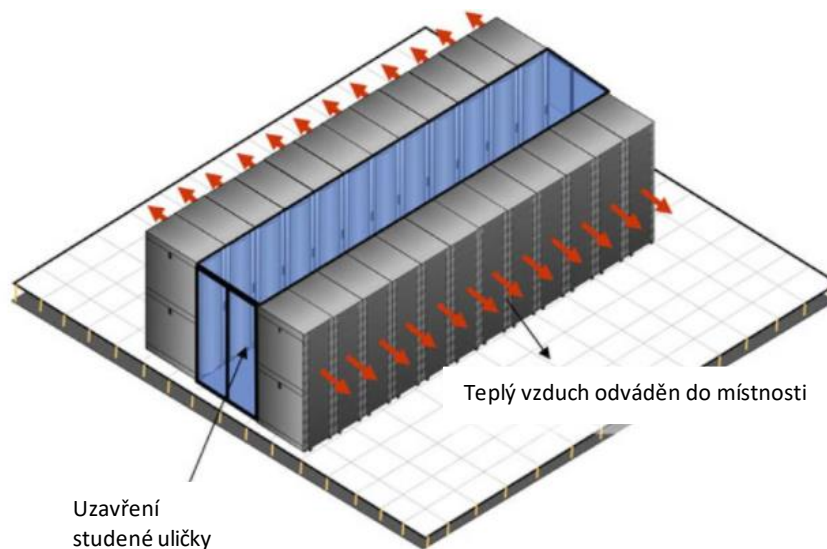
Pro vyšší účinnost jsou serverové skříně instalovány do dlouhých řad, které tvoří uličky. Tyto uličky se dělí na teplé a studené, abychom zvýšili efektivitu proudění vzduchu, který odvádí teplo od jednotlivých serverů.

Hlavními problémy, se kterými se potýká distribuce a odvod vzduchu v datových centrech je recirkulace teplého vzduchu, která se vyznačuje jako míšení teplého vzduchu, který je vypouštěn ze zadní strany serverových skříní (výstup), a nově přiváděného studeného vzduchu na přední stranu serverové skříně (vstup), což zapříčiňuje zvyšování teploty vzduchu na vstupu, kde k tomuto jevu dochází. Kvůli recirkulaci vzduchu se na serverech objevují místa s vyšší teplotou. Dalším problémem může být obtok studeného vzduchu, což znamená, že přiváděný studený vzduch neprochází skrz servery, které se mají tímto vzduchem ochlazovat. Tento jev je většinou způsoben nadměrným přívodem studeného vzduchu k serverovým skříním.

U některých datových center můžeme vidět uzavření teplé (Obrázek 8) nebo studené (Obrázek 9) uličky, díky čemuž dojde k zamezení recirkulace a také následnému míšení teplého a studeného vzduchu na vstupu. [27]



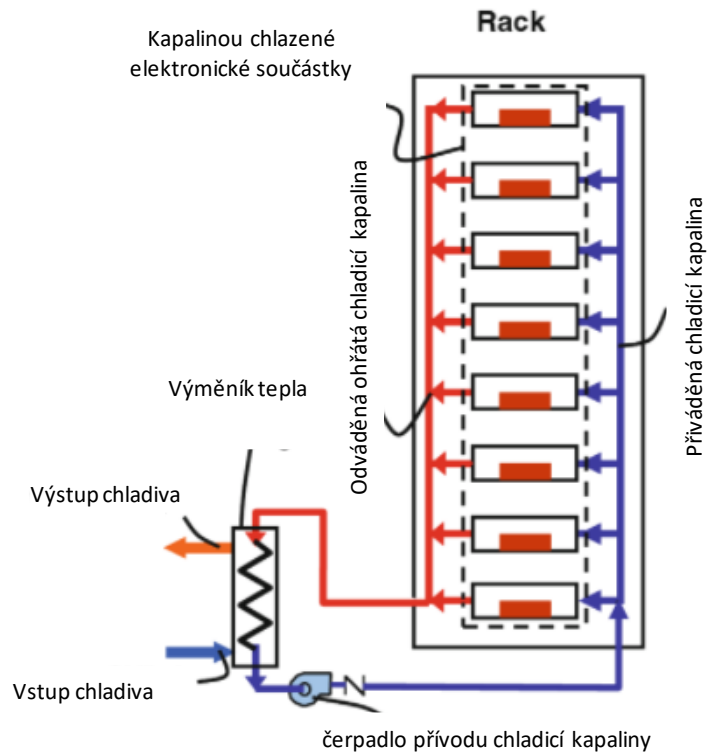
Obrázek 8 Uzavřená teplá ulička [3]



Obrázek 9 Uzavřená studená ulička [3]

4.4 In-rack cooling

Pro vyšší tepelnou zátěž můžeme využít takzvaný in-rack cooling. V tomto případě jsou na výstup každého RACKu nainstalovány trubice, kterými protéká chladicí kapalina. Vzduch, který proudí skrz serverové skříně a odvádí generované teplo od serverů, je ihned po opuštění skříně ochlazován. [12]



Obrázek 10 Způsob zapojení in-rack coolingu [3]

4.5 Free cooling (Volné chlazení)

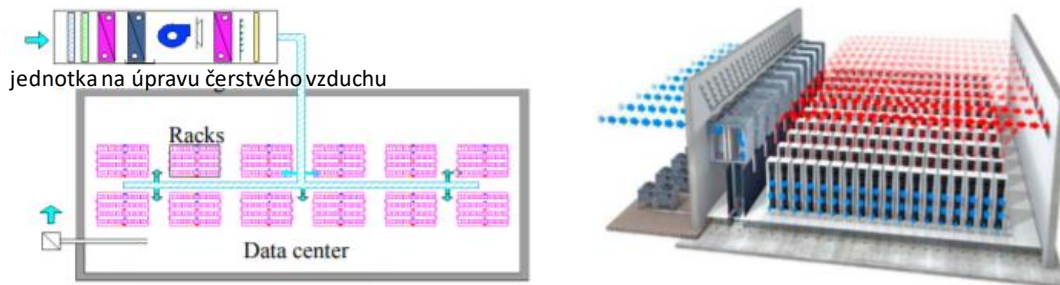
Free cooling, neboli volné chlazení, je ideálním způsobem pro zvýšení účinnosti chlazení. Jedná se o využití nízkých venkovních teplot vzduchu, kterými můžeme ochladit chladicí kapalinu, s kterou následně chladíme ohřátý vzduch v datovém centru, nebo můžeme ochlazovat přímo datové skříně. Ideální teplota vody ve výměníku je například 14/18 °C nebo 6/12 °C. Pokud je teplota venkovního vzduchu nižší, může docházet k volnému chlazení. Po vyřazení kompresorů, které za normálních podmínek plní funkci chlazení, dojde ke snížení spotřeby energie a zároveň ke snížení nákladů, protože energii spotřebovávají pouze ventilátory. Zásadně je to znát u nepřetržitých provozů, jako jsou například datová centra. [29]

4.5.1. Technologie volného chlazení

V první řadě můžeme volné chlazení rozdělit do dvou principů:

4.5.1.1. Přímé chlazení

Jedná se o druh volného chlazení, u kterého je vháněn studený venkovní vzduch přímo do ochlazované místnosti. U tohoto způsobu bohužel vzniká problém s určitými parametry venkovního vzduchu. Těmi zásadními jsou například vlhkost vzduchu nebo přítomnost různých nečistot. Pokud takto ochlazujeme citlivá zařízení, jako je například servery v datových centrech, je nutné instalovat různé odvlhčovací zařízení, filtry nebo jiné čističe vzduchu. [30] Tímto způsobem roste účinnost chlazení, bohužel nutnost instalace těchto zařízení, která jsou zde navíc oproti ostatním systémům, se projevuje na provozních nákladech. [31]



Obrázek 11 Systém přímého chlazení [30]

4.5.1.2. Nepřímé chlazení

U nepřímého chlazení dochází k výměně tepla ve výměníku, tím je zamezeno vniknutí vlhkosti či jiných nečistot do datového centra a je tak jednodušší udržet požadované parametry vzduchu. V porovnání s přímým chlazením se jedná o méně účinný systém, proto je většinou zapojován paralelně s mechanickým zdrojem chladu. [31]

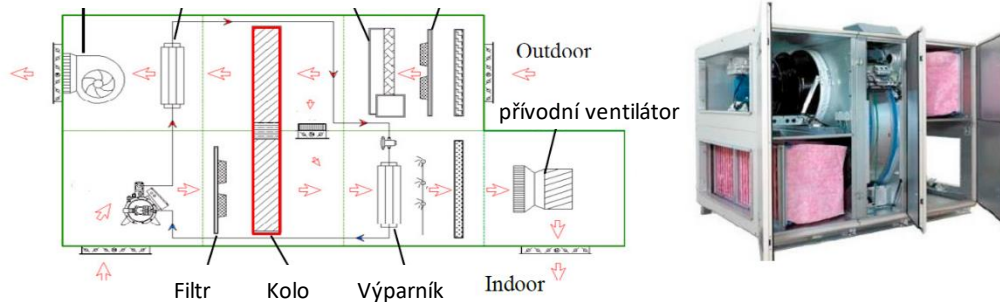
Dále jsou uvedeny 3 druhy nepřímého chlazení:

Rotační výměník

Výměna tepla probíhá mezi venkovním a vnitřním vzduchem.

Vnitřní ohřátý vzduch předává teplo rotačnímu výměníku, odkud je odváděno venkovním studeným vzduchem pryč, a poté je opět distribuován zpět do datového centra. [30]

Odsávací ventilátor Kondenzátor Čistič vzduchu Filtr

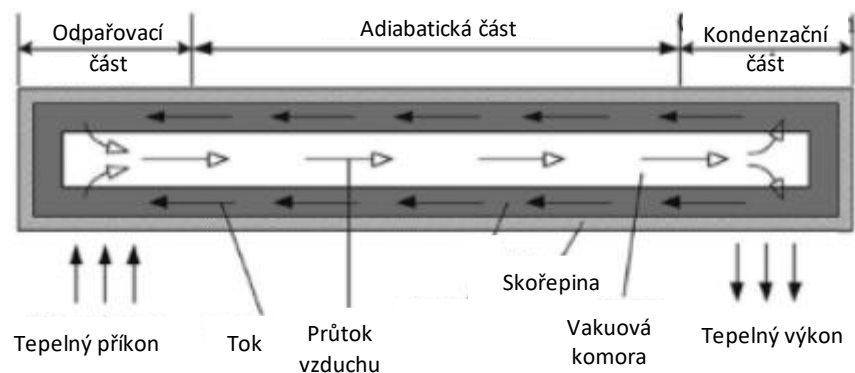


Obrázek 12 Volné chlazení pomocí rotačního výměníku [30]

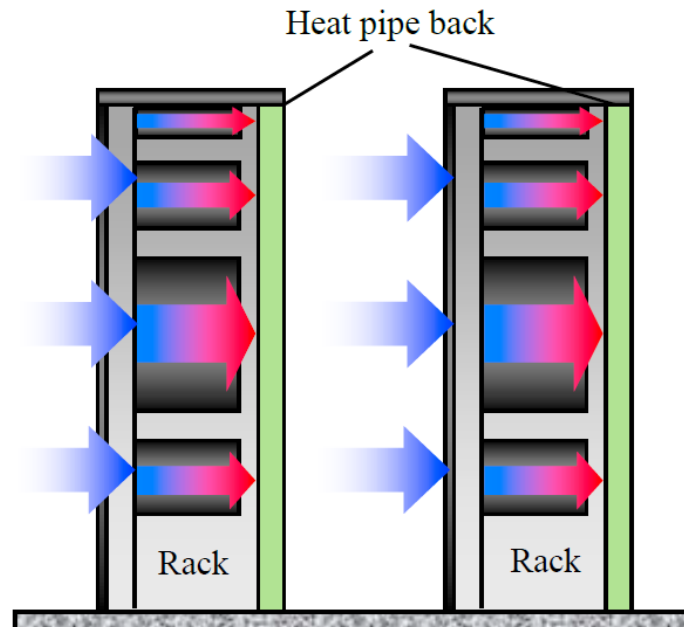
Volné chlazení vestavěné do jednotky

Jde o princip instalace free coolingového výměníku, v podobě tepelných trubíc (heat pipes), přímo na zadní stranu serverové skříně, kde jsou uloženy do desky, což vytváří velmi příznivé podmínky pro přenos tepla mezi serverovými skříněmi a zdrojem chladu. Ke zvýšení účinnosti přenosu tepla, se zde využívají materiály s fázovou změnou (PCM: materiály, které absorbují nebo uvolňují teplo při tání nebo tuhnutí) [32]. [30]

Podle [30] roste účinnost oproti klasickým výměníkům 3× až 5×, což znatelně snižuje hodnotu PUE.



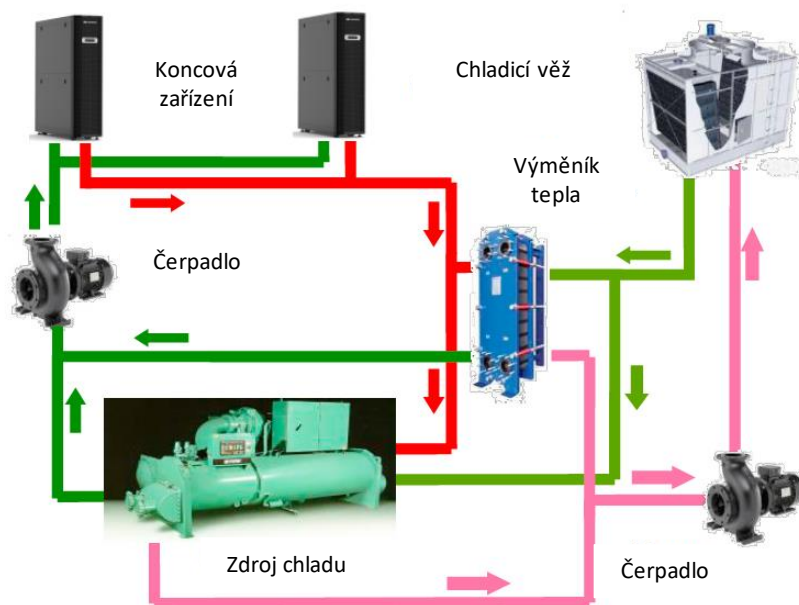
Obrázek 13 Schéma tepelné trubice [33]



Obrázek 14 Vestavěný výměník do serverové skříně [30]

Volné chlazení na bázi vody

Teplo se v tomto systému předává z ohřátého vzduchu, který proudí od serverů, do chladicí kapaliny, která ho následně předá do studeného venkovního vzduchu. Tento systém je podrobněji vysvětlen v kapitole 7. [30]



Obrázek 15 Schéma volného chlazení na bázi vody [30]

5 Analýza objektu

5.1 Popis objektu

Datacentrum, pro které je navrhována klimatizace, se nachází ve druhém podlaží administrativní budovy. Budova má celkem 3 podlaží. S výstavbou datového centra bylo počítáno již při plánování této budovy, z tohoto důvodu byla vybrána železobetonová konstrukce. Hlavními aspekty volby této konstrukce byla velká únosnost, která je potřebná z důvodu velké hmotnosti zařízení. Celková rozloha datového sálu je 143 m^2 . Strojovna chlazení a místnost pro UPS se nachází o podlaží níže. Z důvodu polohy datového sálu se budou venkovní chladicí jednotky nacházet na střeše objektu.

5.2 Výpočet tepelné zátěže

Každé zařízení v datovém centru produkuje teplo, které je potřeba odvést, k čemuž slouží právě chladicí systémy. Největší produkce tepla jde primárně od serverů, u kterých můžeme říct, že na každý 1 W výkonu serveru je potřeba 1 W chladicího výkonu. Další elementy, se kterými musíme počítat jako s nežádoucími zdroji tepla jsou například další IT zařízení, která slouží k chodu či zabezpečení datového centra, prostupující teplo z okolního prostředí (pokud se datový sál nachází přímo pod střechou či u vnější stěny budovy, musíme uvažovat například i vliv slunečního záření) nebo také napájecí zdroje, jako je například osvětlení nebo UPS). Dalším zdrojem mohou být také lidé, i když se v datovém centru vyskytují jen v malém či nulovém počtu. [34]

5.3 Tepelná zátěž místnosti vlivem okolí

Pro stanovení tepelné zátěže datové haly vlivem okolí je v první řadě důležité spočítat součinitel prostupu tepla, který udává, kolik tepla pronikne 1 m^2 konstrukce na 1 K z okolních místností. [35]

5.3.1. Výpočet součinitele prostupu tepla

Podle součinitele prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] se hodnotí tepelné vlastnosti stavební konstrukce, jehož vztah lze vyjádřit jako

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d}{\lambda} + R_{se}}, \quad (5.1)$$

kde součet složek ve jmenovateli udává tepelný odpor, který udává míru odporu prostupu tepla z jednoho prostředí, odděleného konstrukcí, do prostředí druhého.

R_{si} [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$] je odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce,

R_{se} [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$] je odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce,

d [m] je tloušťka konstrukce a λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] je součinitel vodivosti materiálu. [36]

Předpisy související s výpočtem a hodnocením prostupu tepla stavební konstrukce v České republice je řada norem ČSN EN ISO 6946 nebo ČSN 73 0540:

- ČSN 73 0540-1 Tepelná ochrana budov – Část 1: Terminologie
- ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky
- ČSN 73 0540-3 Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty
- ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody [37]

5.3.2. Výpočet součinitele prostupu tepla pro obvodovou stěnu

Materiál	Tloušťka d [m]	Součinitel vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
Omítka vápenocementová	0,005	0,99
Železobeton	0,300	1,43

Omítka vápenocementová	0,005	0,99
------------------------	-------	------

Tabulka 5.1 Složení konstrukce obvodové stěny [38]

Z charakteru polohy datové haly je odpor při přestupu tepla na vnitřní i vnější straně konstrukce pro vodorovný směr tepelného toku, dle ČSN EN ISO 6946, roven hodnotě $0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ [39].

$$U_{obs} = \frac{1}{R_{si} + \sum \frac{d}{\lambda} + R_{se}} = \frac{1}{0,13 + \left(\frac{0,005}{0,99} + \frac{0,300}{1,43} + \frac{0,005}{0,99} \right) + 0,13} = 2,08 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

5.3.3. Výpočet součinitele prostupu tepla pro podlahu

Materiál	Tloušťka d [m]	Součinitel vodivosti $\lambda [\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}]$
Železobeton	0,300	1,43
Omítka vápenocementová	0,005	0,99

Tabulka 5.2 Složení podlahové konstrukce [38]

Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce pro směr tepelného toku dolů je stanoven dle ČSN EN ISO 6946 na hodnotu $0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$, na vnější straně je roven $0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ [39].

$$U_p = \frac{1}{0,17 + \left(\frac{0,300}{1,43} + \frac{0,005}{0,99} \right) + 0,04} = 2,35 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

5.3.4. Výpočet součinitele prostupu tepla pro stropní konstrukci

Složení stropní konstrukce:

Materiál	Tloušťka d [m]	Součinitel vodivosti $\lambda [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
Keramická dlažba	0,010	1,3
Cementové lepidlo	0,010	1,16
Železobeton	0,300	1,43
Omítka vápenocementová	0,005	0,99

Tabulka 5.3 Součinitele vodivosti [38]

Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce pro směr tepelného toku nahoru je stanoven dle ČSN EN ISO 6946 na hodnotu $0,10 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$, na vnější straně je roven $0,04 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$ [39].

$$U_s = \frac{1}{0,10 + \left(\frac{0,010}{1,30} + \frac{0,010}{1,16} + \frac{0,300}{1,43} + \frac{0,005}{0,99} \right) + 0,04} = 2,82 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

5.3.5. Výsledné součinitele prostupu tepla

Tabulka 5.4 shrnuje výsledky součinitelů všech počítaných konstrukcí.

Typ konstrukce	Součinitel prostupu tepla $U [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
Obvodová stěna	2,08
Podlaha	2,35
Strop	2,82
Dveře funkční plné	1,20

Tabulka 5.4 Součinitele prostupu tepla

5.3.6. Tepelný tok

U výpočtu prostupu tepla stavební konstrukcí datového centra počítáme, z důvodu absence oken, pouze s netransparentním materiálem stěn.

$$Q = U \cdot S \cdot (t_i - t_e) \quad (5.2)$$

Tento vzorec udává množství tepla, které projde skrz stavební konstrukci z teplejšího prostoru do prostoru studenějšího, kde tepelný tok při prostupu tepla je značen jako $Q [W]$, $S [m^2]$ Ochlazovaná část stavební konstrukce, $t_i [^\circ C]$ je vnitřní návrhová teplota a $t_e [^\circ C]$ a značí vnější návrhovou teplotu. [23]

Z důvodu, že se datové centrum nachází uprostřed administrativní budovy a je obklopeno kanceláři, bereme jako vnější návrhovou teplotu 20 °C. Tato teplota je brána jako vnitřní výpočtová teplota pro kanceláře a zasedací místnosti dle ČSN EN 12831-1 [40].

Pro námi branou vnitřní výpočtovou teplotu volíme 19 °C, což je teplota na vstupu do serverových skříní. Tuto teplotu jsme zvolili dle ASHRAE (viz dále).

	Šířka [mm]	Délka [mm]	Výška [mm]
Rozloha DC	13000	11000	4000
Dveře	1300	–	2000

Tabulka 5.5 Rozměry datového centra a vstupních dveří

Plocha, přes kterou prostupuje teplo konstrukcí z okolí do datové haly byla vypočtena z daných rozměrů na 189,4 m², ke které můžeme přičíst plochu dveří, která činí 2,6 m², a získáme tak celkovou plochu obvodového pláště. Plocha stropu a podlahy je 143,0 m².

Typ konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [W . m ⁻² . K ⁻¹]	Plocha [m ²]	Vnitřní výpočtová teplota [°C]	Vnější výpočtová teplota [°C]
Obvodové stěny	2,08	189,4	19	20
Podlaha	2,35	143,0	19	20
Strop	2,82	143,0	19	20
Dveře	1,20	2,6	19	20

Tabulka 5.6 Shrnutí parametrů pro výpočet tepelné zátěže [40]

5.3.7. Tepelná zátěž obvodových stěn

$$Q_{obs} = U_{obs} \cdot S \cdot (t_i - t_e) = 2,08 \cdot 189,4 \cdot (19 - 20) = -394 \text{ W}$$

Záporná teplota nám vyšla z toho důvodu, že se jedná o tepelný zisk. Okolní místnosti jsou teplejší než datový sál, a proto dochází k přenosu tepla do datové místnosti a ne naopak.

5.3.8. Tepelná zátěž podlahy

Datové centrum se nachází v druhém podlaží administrativní budovy, proto bude přijímat teplo od kanceláří a zasedacích místností z patra pod ním.

$$Q_p = U_p \cdot S \cdot (t_i - t_e) = 2,35 \cdot 143 \cdot (19 - 20) = -337 \text{ W}$$

5.3.9. Tepelná zátěž stropní konstrukce

Také nad se nacházejí další místnosti vytápěné dle ČSN EN 12831 na 20 °C.

$$Q_s = U_s \cdot S \cdot (t_i - t_e) = 2,82 \cdot 143 \cdot (19 - 20) = -403 \text{ W}$$

5.3.10. Tepelná zátěž dveří

Průchozí prostor do datového centra oddělují protipožární a protihlukové dveře, které mají velmi nízký součinitel tepelné vodivosti, díky čemuž se dají považovat za dobrou tepelnou izolaci.

$$Q_d = U_d \cdot S \cdot (t_i - t_e) = 1,2 \cdot 2,6 \cdot (19 - 20) = -3 \text{ W}$$

5.3.11. Výsledné tepelné zátěže

Typ konstrukce	Tepelné zátěže [W]
Obvodové stěny	-394
Podlaha	-337
Strop	-403
Dveře	-3
Celkem	-1137

Tabulka 5.7 Výsledné tepelné zátěže

Záporné teploty nám vyšly z toho důvodu, že se jedná o tepelné zisky. Okolní místnosti jsou teplejší než datový sál, a proto dochází k přenosu tepla směrem do datové místnosti a ne naopak.

5.4 Tepelná zátěž osob

Jak jsme si řekli již dříve, v datovém centru se většinu času lidé nenacházejí, ale pro jistotu započítáme tepelnou zátěž od 3 osob. To je počet, který je reálný, aby nastal při jakékoli údržbě či opravě zařízení.

Každý organismus je zdrojem energie, tak to platí i pro člověka. Této uvolněné energii z lidského organismu se říká energetický výdej, je značený Q_m , a je závislý na intenzitě fyzické činnosti člověka.

K tomu, abychom získali energii, která přestupuje z povrchu lidského těla do okolí, musíme využít vztah (5.3), ze kterého plyne, že energetický výdej se dělí na dvě části.

$$Q_m - N = Q \quad (5.3)$$

Kde $N [W]$ je část energetického výdeje, která se spotřebuje na fyzickou činnost člověka, $Q [W]$ je druhá část, která je námi požadovaný parametr, tedy část, která přestupuje z povrchu člověka do okolí. Také ho můžeme nazývat energetický tok, který se dá vypočítat dle vztahu:

$$Q = q \cdot S, \quad (5.4)$$

kde $S [m^2]$ je povrch lidského těla. [23]

K výpočtu povrchu člověka je zapotřebí znát hmotnost a výšku, jak ukazuje následující vztah

$$S = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot h^{0,725}, \quad (5.5)$$

kde $m [kg]$ je hmotnost člověka a $h [m]$ je jeho výška. [23]

Předem nelze určit, kdo bude datové centrum navštěvovat, proto zavedeme průměrné hodnoty výšky a hmotnosti dle Ústavu zdravotnických informací a statistik České republiky [41], kde průměrná výška u mužů v roce 2010 byla přibližně 178 cm a hmotnost 82 kg. U žen to bylo 165 cm výšky a 69 kg hmotnosti.

Protože energie, která přestupuje z povrchu lidského těla do okolí je přímo úměrná ploše povrchu těla, jak ukazuje vztah (5.4), využijeme pro náš případ mužské hodnoty, protože výsledná energie vyjde vyšší, než by tomu bylo u ženských hodnot, a proto bude výhodnější k návrhu klimatizace.

Pomocí následujících vztahů získáme všechny potřebné veličiny k výpočtu energetického toku.

$$N = n \cdot S \quad (5.6)$$

$$n = \mu \cdot q_m \quad (5.7)$$

$$Q_m = q_m \cdot S \quad (5.8)$$

- $n [W \cdot m^{-2}]$ je měrný výkon (fyzická činnost)
- $\mu [-]$ je mechanická účinnost
- $q_m [W \cdot m^{-2}]$ je měrný energetický tok

Pro naše účely využijeme hodnoty dle normy ČSN EN ISO 7730 /L7/, kde jsou zadány hodnoty měrného energetického toku a mechanické účinnosti, a tak dopočítáme potřebný energetický tok Q . [23]

Pro stání a lehkou práci lze z dané normy vyčíst hodnoty $q_m = 93 W/m^2$ a $\mu = 0$ až $0,1$. Volíme $0,1$, abychom pokryli i pohyb. [23]

$$S_{lt} = 0,202 \cdot m^{0,425} \cdot h^{0,725} = 0,202 \cdot 82^{0,425} \cdot 1,78^{0,725} = 2 m^2$$

$$n = \mu \cdot q_m = 0,1 \cdot 93 = 9 W/m^2$$

$$N = n \cdot S = 9 \cdot 2 = 18 W$$

$$Q_m = q_m \cdot S = 93 \cdot 2 = 186 W$$

Dosažením do vztahu (5.3) získáváme výsledný energetický tok:

$$Q_{os} = 186 - 18,6 = 168 \text{ W}$$

V našem případě počítáme se 3 osobami v datové hale, proto předchozí výsledek vynásobíme 3 a vyjde nám, že energetická zátěž od osob $Q_{3os.} = 504 \text{ W}$.

5.5 Tepelná zátěž osvětlení

Podle A. Bhatia můžeme průměrně počítat s tepelnou zátěží $21,5 \text{ W/m}^2$.

Pokud to vynásobíme plochou daného datového centra, vyjde nám tepelná zátěž osvětlení $Q_{svě} = 3075 \text{ W}$. [34]

5.6 Tepelná zátěž serverů

V datovém centru je navrženo 32 serverových skříní (dále jen RACK), kdy každá má výkon 7,5 kW, ve 4 řadách po 8 skříních. Na celé datové centrum to tedy dává 240 kW.

Tabulka 5.8 obsahuje rozměry každého RACKu.

Šířka [mm]	Výška [mm]	Délka [mm]
610	2000	1220

Tabulka 5.8 Rozměry datové skříně (RACK) [28] [42]

5.6.1. Celkové tepelné zisky místnosti

Celkové tepelné zisky místnosti vypočítáme součtem všech tepelných zátěží

$$Q_{cm} = Q_{obs} + Q_p + Q_s + Q_d + Q_{3os.} + Q_{svě} \quad (5.9)$$

$$Q_{cm} = 394 + 337 + 403 + 3 + 502 + 3572 = 5211 \text{ W}$$

5.7 Přídavný chladicí výkon

Žádné zařízení není bezporuchové, proto je důležité mít také záložní chladicí jednotky, kdyby náhodou jedna z nich přestala pracovat. V datovém centru je důležité, aby provoz probíhal bez přerušení. Každá chvíle bez chladicí jednotky může zapříčinit zvýšení teploty, které může dále způsobit poruchu serverů. Dále, kvůli každé údržbě, by bylo nutné odstavit celé datové centrum, z tohoto důvodu se k chladicím jednotkám přidá další jednotka navíc, abychom předešli těmto problémům.

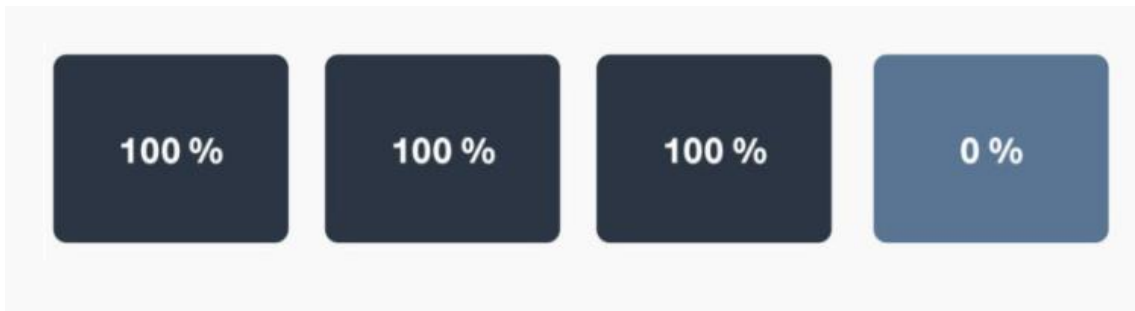
Počet jednotek, které je potřebné dodat, závisí na daném datovém centru a daném rozpočtu. Minimálně je nutné mít $n + 1$ redundanci, což znamená, že je do datového sálu nainstalováno o jednu jednotku navíc. [43]

V našem případě budou využity jednotky s integrovanými redundancemi. To znamená, že v jedné jednotce se nachází 2 oddělené okruhy, z toho jeden je vypnutý nebo v takzvaného režimu standby (pokud je v tomto režimu, jedná se o aktivní redundanci). [44]

Rozdíl mezi aktivní a pasivní redundancí je následující:

5.7.1. Pasivní redundance

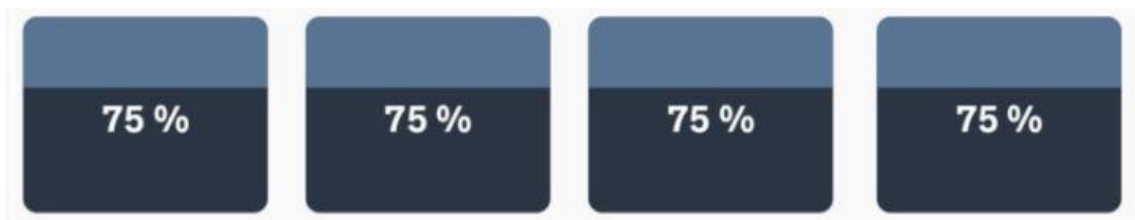
V tomto případě je jednotka, která je v systému navíc, vypnuta a ostatní klimatizační jednotky jsou nastaveny na plný výkon. [45]



Obrázek 16 Rozložení výkonu pasivní redundance [45]

5.7.2. Aktivní redundance

Rozložením průtoku mezi všechny jednotky, to znamená i mezi jednotkou, která je u pasivní redundance vypnuta, docílíme nejen snížení spotřeby energie celého systému, ale také budeme mít dostatečný výkon v případě výpadku či údržby jedné z jednotek. [45]



Obrázek 17 Rozložení výkonu aktivní redundance [45]

5.8 Celkový souhrn tepelné zátěže datového centra

V datovém centru jsou kromě serverů využívány také další IT zařízení, jako je například stolní počítač k řízení všech potřebných systémů nebo síťové přepínače (ethernet switch), které jsou nainstalovány ke každému RACKu. Shrnutí všech IT zařízení a celkového chladičového výkonu, potřebného k odvodu tepla, se nachází v Tabulka 5.9. [34]

	Výkon na jednotku [W]	Počet jednotek [-]	Výkon [W]
Serverové skříně (RACK)	7500	32	240000
32 RACK = 32 Ethernet Switch	204	32	6528
Router	240	6	1440
Počítač	500	1	500
Klimatizační jednotka	2300	2	4600
CRAC s integrovanou redundancí	2900	2	5800
Tepelná zátěž místnosti	1137	1	1137
Světla (na m^2)	21,5	143 m^2	3075
Obsluha	168	3	504
Celková tepelná zátěž DC			263584

Tabulka 5.9 Celkové tepelné zátěže datového centra

5.9 Potřebný chladicí výkon

Podle [43] je potřebný chladicí výkon přibližně 1,3x větší než námi vypočítaný, kvůli neuvažovaným tepelným zátěžím.

$$Q_{po.chlad.výkon} = 1,3 \cdot Q_{celk.zátěž} \quad (5.10)$$

$Q_{po.chlad.výkon}$ je potřebný chladicí výkon [W]

$Q_{celk.zátěž}$ je celková tepelná zátěž datového centra [W]

$$Q_{po.chlad.výkon} = 1,3 \cdot 263584 = 342659 \text{ W}$$

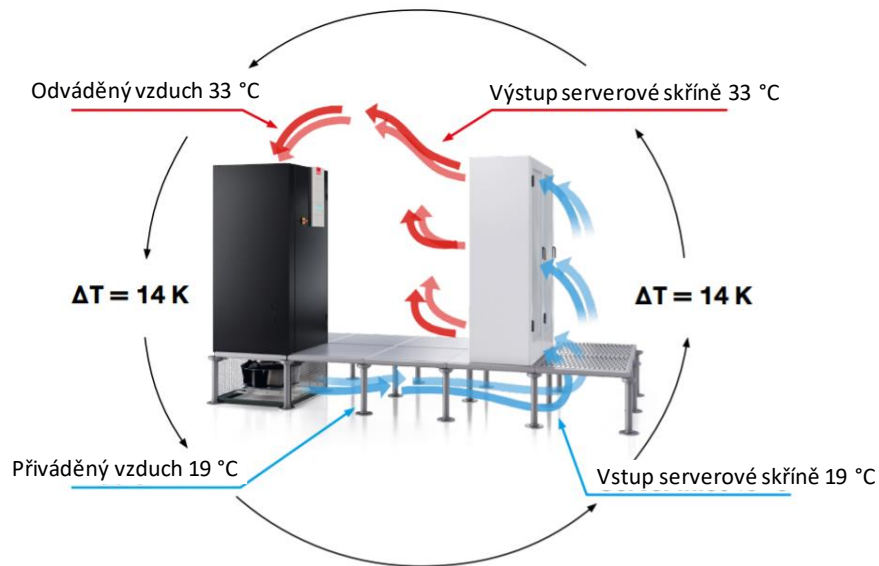
6 Návrh chladicího systému

Pro náš případ datového centra jsme zvolili klimatizační jednotky chlazené vodou s výměníkem tepla od firmy STULZ, doplněné vyvýšenou podlahou. K chlazení vody nám slouží chiller, taktéž od firmy STULZ, který bude situován na střeše budovy. Obrázek 18 nám ukazuje zapojení využitého systému. Dále jsme ke zvýšení efektivity vybrali systém teplé a studené uličky. Teplé uličky jsme vybrali, aby byly uzavřeny a předešli jsem tak recirkulaci teplého vzduchu. [45]

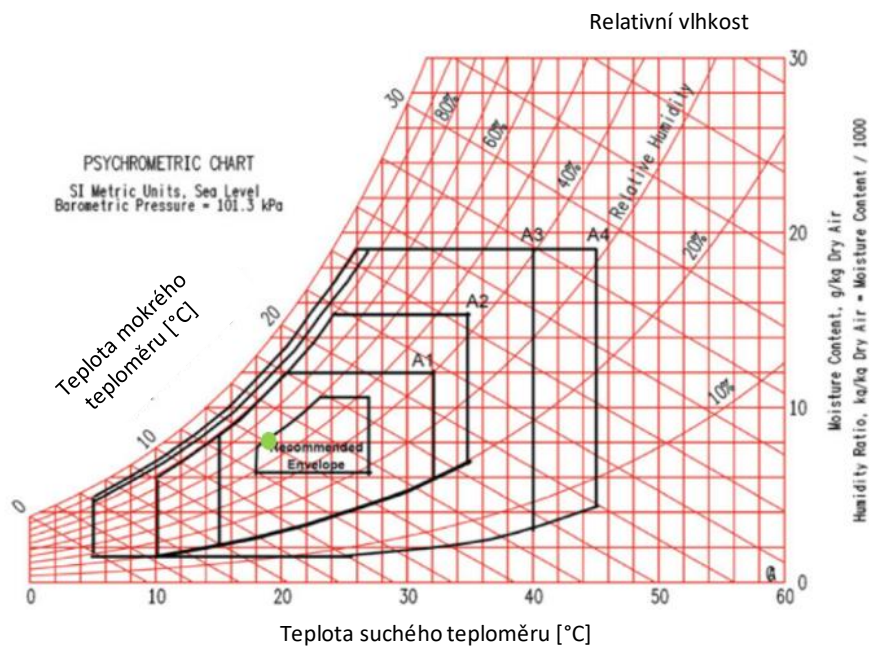


Obrázek 18 Zapojení chladicího systému [45]

K výběru tohoto systému jsme došli na základě požadovaných parametrů vzduchu uvnitř datového centra. Parametry na vstupu, a tedy parametry studené uličky, jsme zvolili doporučené hodnoty, dle ASHRAE (the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), na 19 °C a relativní vlhkost vzduchu 50 až 60 %. Teplá ulička bude mít teplotu 33 °C a cca 30 % relativní vlhkosti. [3]



Obrázek 19 Schéma teplot a teplotních rozdílů v datovém centru [44]



Obrázek 20 ASHRAE směrnice parametrů vzduchu na vstupu do serverových skříní (2011) [3]

- Recommended Envelope – oblast, ve kterém jsou, podle ASHRAE, systémy nejspolehlivější a energeticky nejúčinnější – námi definovaný systém vyhovuje doporučeným hodnotám
- Parametry námi přiváděného vzduchu [3]

6.1 Návrh klimatizační jednotky

Tyto jednotky slouží k ochlazení vzduchu uvnitř datového centra. Ohřátý vzduch proudí skrz klimatizační jednotky, kde se ochladí a následně je dopravován ke vstupu serverových skříní. [22]

6.1.1. CyberAir 3PRO ASR CW

Jednotka CyberAir 3PRO ASR CW je chlazená vodou, kde teplotní spád této vody je 6 °C/12 °C, a je instalována s integrovaným výměníkem tepla. Vybrali jsme typ ASR (Air conduction front), kdy je jednotka upravena pro součinnost s vyvýšenou podlahou s nastavením přímého jednosměrného proudu ochlazeného vzduchu. [45]



Obrázek 22 Zapojení klimatizační jednotky CyberAir 3PRO CW [45]

CyberAir 3PRO ASR CW (1 vodou chlazený okruh)	Model 1040
Průtok vzduchu [$m^3 \cdot s^{-1}$]	5,69
Chladicí výkon [kW]	117
Teplotní spád vody [$^{\circ}C$]	6/12

Hlučnost [<i>dBA</i>]	53
EER – koeficient energetické účinnosti [<i>kW.kW⁻¹</i>]	50,7
AER – koeficient proudění vzduchu [<i>W.m⁻³.h⁻¹</i>]	0,11
Spotřeba energie jednotky [<i>W</i>]	2300
Spotřeba energie ventilátoru [<i>W</i>]	2255
Rozměry (šířka x výška x délka) [<i>mm</i>]	1750 x 2495 x 890

Tabulka 6.1 parametry klimatizační jednotky [44]

6.1.2. CyberAir 3PRO ASR CW2

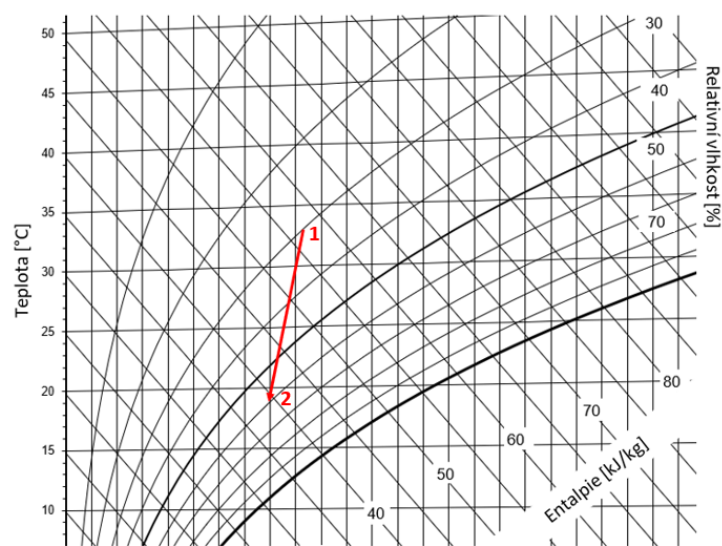
Jak bylo zmíněno výše, v datovém centru by se měla nacházet klimatizační jednotka navíc, kvůli poruchám či údržbě, aby byl možný nepřerušovaný provoz. Z tohoto důvodu jsme zbylé 2 klimatizační jednotky zvolili CyberAir 3PRO ASR CW2, které mají 2 oddělené, na sobě nezávislé, okruhy. Tímto získáme větší flexibilitu k údržbě zařízení a také možnost využít aktivní i pasivní redundanci. Tato jednotka je taktéž chlazena vodou s teplotním spádem 6°C/12°C. [45] [44]



Obrázek 23 Zapojení klimatizační jednotky CyberAir 3PRO CW2 [45]

CyberAir 3PRO ASR CW2 (2 vodou chlazené okruhy)	Model 1080
Průtok vzduchu [$m^3 \cdot s^{-1}$]	6,47
Chladicí výkon [kW]	118
Teplotní spád vody [$^{\circ}C$]	6/12
Hlučnost [$dB(A)$]	56
EER – koeficient energetické účinnosti [$kW \cdot kW^{-1}$]	40,7
AER – koeficient proudění vzduchu [$W \cdot m^{-3} \cdot h^{-1}$]	0,12
Spotřeba energie jednotky [W]	2900
Spotřeba energie ventilátoru [W]	2796
Rozměry (šířka x výška x délka) [mm]	2200 x 2495 x 890

Tabulka 6.2 parametry klimatizační jednotky [44]

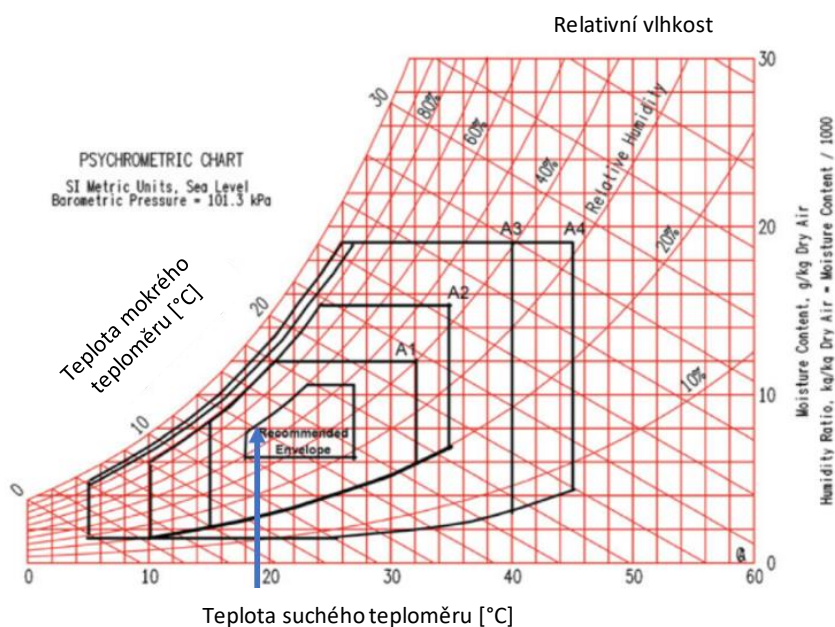


Obrázek 24 Návrh klimatizační jednotky

Vzduch, který proudí od serverových skříní, kde byl ohřát na teplotu 33 °C při relativní vlhkosti 30 %, prochází chladicí jednotkou, kde je ochlazen na 19 °C. Tento vzduch, který má relativní vlhkost 59 %, je opět vháněn k serverům, aby je ochladil.

Výpočty byly provedeny softwarem od firmy C.I.C Jan Hřebec s.r.o. [46]

Tyto hodnoty v pořádku splňují doporučené parametry, podle definic od ASHRAE, jak ukazuje Obrázek 25.



Obrázek 25 Parametry vzduchu na výstupu z CRACu [3]

6.1.3. Shrnutí chladicích výkonů

	Chladicí výkon na jednotku [kW]	Počet jednotek [—]	Chladicí výkon [kW]
CyberAir 3PRO ASR CW	117	2	234
CyberAir 3PRO ASR CW2	59	2	118
Okruhy redundance	59	2	118
Celkový chladicí výkon $Q_{celk.chl.výkon}$ [kW]			352

Celkový chladicí výkon s redundancí $Q_{celk.redundance}$ [kW]	470
Potřebný chladicí výkon $Q_{po.chlad.výkon}$ [kW] vypočtený z (5.10)	343

Tabulka 6.3 Celkový chladicí výkon [44]

Tabulka 6.3 nám ukazuje souhrn chladicích výkonů, kde je vidět, že námi vybraný klimatizační systém je z hlediska výkonu dostačující, protože

$$Q_{celk.chl.výkon} > Q_{po.chlad.výkon}$$

U jednotek CyberAir 3PRO ASR CW2 počítáme pouze s polovičními výkony, protože vždy jeden okruh je brán jako námi požadovaná redundance.

6.2 Návrh zdroje chladu (Chilleru)

Chladicí voda, která ochlazuje vzduch výměníky v klimatizační jednotce se ochlazuje právě v chilleru. Ty se v tomto případě nacházejí na střeše budovy.

Pro naši instalaci jsme zvolili zařízení opět od firmy STULZ. Schéma zapojení ukazuje Obrázek 18.

Námi zvolené jednotky mají zabudovaný free cooling, takže se jejich účinnost odvíjí od venkovních teplot. [47]



Obrázek 26 Střešní chladicí jednotka [47]

7 CyberCool 2

Zvolená jednotka **EQO 4992 ASF**. [47]

E – screw compressor (šroubový kompresor)

Q – quiet (tichý)

O – outdoor (venkovní)

499 – Chladicí výkon

2 – dva okruhy

A – air cooled (vzduchem chlazený)

S – standard

F – with FC (s free coolingem)

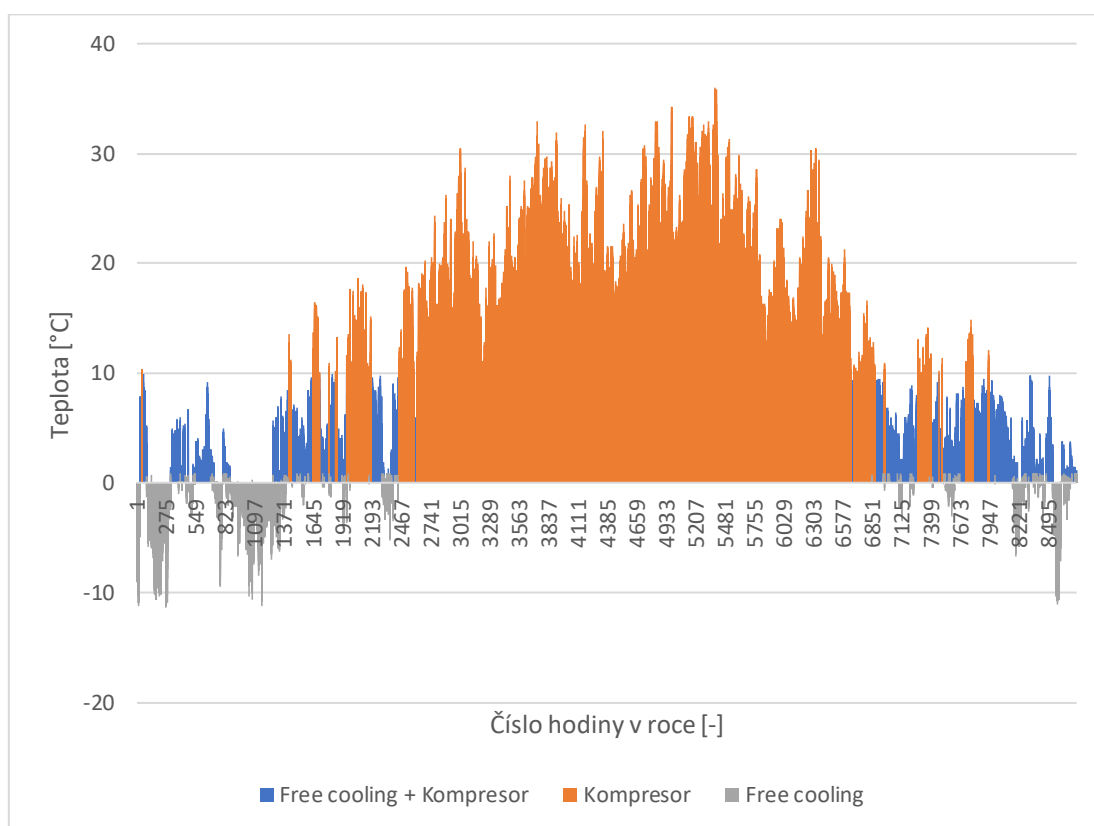
Model	4702
Chladicí výkon chilleru [<i>kW</i>]	499
Kapacita free coolingu [<i>kW</i>]	456
Celková spotřeba energie [<i>kW</i>]	123
Spotřeba energie kompresoru [<i>kW</i>]	105,2
Spotřeba energie ventilátorů [<i>kW</i>]	11,3
EER – koeficient energetické účinnosti [<i>kW.kW⁻¹</i>]	4,07
Teplota pro 100 % free cooling [<i>°C</i>]	1
Hlučnost [<i>dBA</i>]	73
Rozměry (šířka x výška x délka) [<i>mm</i>]	2300 x 2500 x 9480

Tabulka 7.1 CyberCool 2 [47] [48]

7.1.1. Energetická účinnost

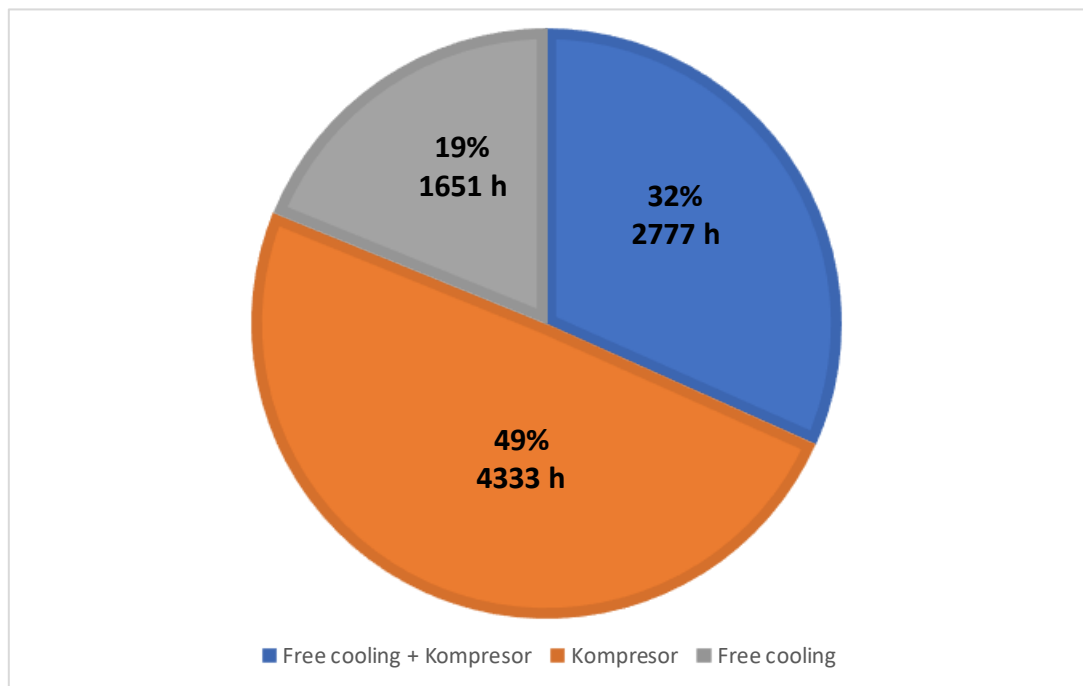
Obrázek 27 nám ukazuje graf průměrných hodinových teplot z roku 2003 naměřených v místě Praha Ruzyně. Tato data byla získána od vedoucího bakalářské práce. Graf je rozlišen 3 barvami, které nám udávají, zda chiller pracuje pouze ve free coolingovém režimu, ve smíšeném režimu, kdy se stále využívá free cooling, ale chybějící výkon obstarává kompresor nebo v čistě kompresorovém režimu, kdy je venkovní teplota příliš vysoká pro využití volného chlazení.

Podle firmy STULZ a dle parametrů námi vybraného chilleru, je možné využívat volné chlazení na 100 %, pokud venkovní teplota nepřesáhne 1 °C. Tyto dny (teploty) jsou v grafu znázorněny šedivou barvou. Free cooling zcela ztrácí využití, pokud venkovní teplota přesáhne 10 °C, v tomto případě se využívá chlazení pouze pomocí kompresoru a v grafu je to značeno oranžovou barvou. [47]



Obrázek 27 Průměrné hodinové teploty z roku 2003

Pro lepší přehlednost byl vytvořen graf poměru počtu hodin, kdy je během roku možné využít pouze free cooling, smíšený režim a kompresorový režim.



Obrázek 28 Poměry využití volného chlazení a kompresoru

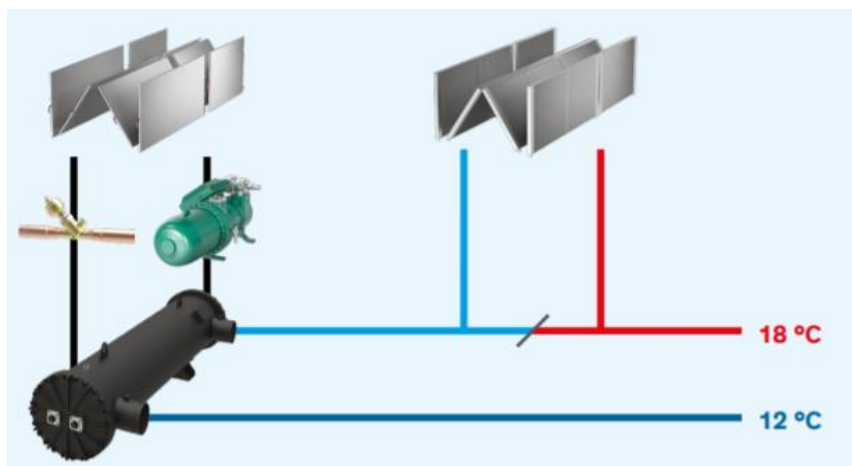
Free cooling

Obrázek 29 ukazuje zapojení, pokud je venkovní teplota menší než 1 °C. V tomto režimu je snížena spotřeba energie chladicí jednotky o 105,2 kW, díky odpojenému kompresoru. Celková spotřeba energie jednotky během free coolingu je tedy 17,8 kW. To znamená 173685 kW/h ušetřené spotřeby energie za rok. [48]

Obrázek 29 Free cooling [47]

7.1.1.1. Smíšený režim

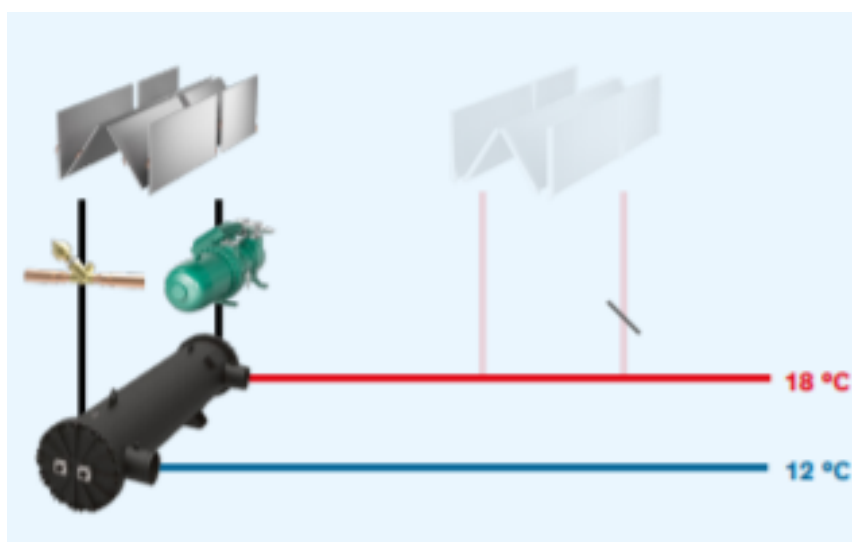
Přibližně třetinu času v roce bude chladicí výkon zastávat smíšený režim. Pokud budeme chtít dále zvýšit účinnost, měli bychom se zaměřit na zefektivnění tohoto režimu. Firma STULZ řeší tento úkol například využitím celého povrchu výměníku bez nutnosti regulace otáček ventilátoru. [47]



Obrázek 30 Smíšený režim (free cooling + kompresor) [47]

7.1.1.2. Kompresorový režim

V tomto režimu dochází k největší spotřebě energie, protože není možné využít free cooling, proto i zde je snaha o snížení spotřeby energie kompresoru účinným řízením kondenzačního tlaku. [47]



Obrázek 31 Kompresorový režim [47]

7.1.2. Výpočet spotřeby energie chladicí jednotky

7.1.2.1. S využitím volného chlazení

	Spotřeba energie [kW]	Počet hodin v roce [h]	Roční spotřeba energie [kW.h]
Free cooling	17,8	1651	29388
Smíšený režim	84,1	2777	233546
Kompresorový režim	123,0	4333	532959
Celkem	224,9	8761	795893

Tabulka 7.2 Spotřeba energie chladicí jednotky s využitím volného chlazení [48]

7.1.2.2. Bez volného chlazení

Celkem bez free coolingu	123	8761	1077603
--------------------------	-----	------	---------

Tabulka 7.3 Spotřeba energie chladicí jednotky bez využití volného chlazení [48]

7.1.3. Porovnání

Porovnáme-li Tabulka 7.2 a Tabulka 7.3 zjistíme, že díky volnému chlazení můžeme v našich teplotních podmínkách ušetřit přibližně 26 % spotřebované energie.

Pokud budeme uvažovat průměrnou cenu elektrické energie z roku 2020, kdy stála 4,71 Kč za kWh [49], snadno vypočítáme, že ročně ušetříme zavedením chladicí jednotky s volným chlazením přibližně 1,3 mil. Kč.

8 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo obecně shrnout možné aplikace klimatizace datového centra z hlediska efektivity a snížit celkovou spotřebu. K té jsme došli například free coolingem, který využívá nízkých venkovních teplot.

V praktické části jsme navrhli chladicí zařízení, umístěné v datové hale, a zdroj chladu, který je situován na střeše objektu. Pro snížení recirkulace teplého vzduchu byly zavedeny studené a teplé uličky, kde teplé uličky jsou uzavřené. K přímé distribuci vzduchu jsme zvolili systém vyvýšené podlahy. Zde jsme zvolili podle [27] výšku podlahy na 60 cm. Perforované dlaždice, skrz které proudí vzduch do studených uliček mají zvolenou průchodnost 25 %. Všechna vybraná zařízení jsou od firmy STULZ a byla vybrána na základě výpočtů tepelných zisků a ztrát. Dvě chladicí jednotky byly vybrány s integrovanou redundancí, abychom snížili riziko úplného výpadku chladicích jednotek.

Zdroj chladu byl vybrán CyberCool 2 s podporou free coolingu. Výpočty jsme ověřili, že využitím tohoto systému lze v našem podnebí ušetřit přibližně 1,3 mil Kč za rok za elektrickou energii.

9 Citovaná literatura

- [1] KAMIYA, George. Data Centres and Data Transmission Networks. In: *lea.org* [online]. Paris: IEA, 2020 [cit. 2021-06-28]. Dostupné z: <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>
- [2] Datové centrum (Data Centre). In: *Managementmania.com* [online]. Wilmington, 2017 [cit. 2021-06-23]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/datove-centrum-data-centre>
- [3] YOGENDRA, Joshi a Kumar PRAMOD, ed. *Energy Efficient Thermal Management of Data Centers*. 1. New York: Springer, 2012. ISBN 978-1-4419-7123-4.
- [4] The evolution of the data center. In: *Caverntechnologies.com* [online]. Lenexa: Cavern Technologies, 2021 [cit. 2021-06-23]. Dostupné z: <https://caverntechnologies.com/the-evolution-of-the-data-center/>
- [5] WOODS, Jack. The evolution of the data center : Timeline from the Mainframe to the Cloud. In: *Siliconangle.com* [online]. Palo Alto: SiliconANGLE Media, 2014 [cit. 2021-06-23]. Dostupné z: <https://siliconangle.com/2014/03/05/the-evolution-of-the-data-center-timeline-from-the-mainframe-to-the-cloud-tc0114/>
- [6] PRAMATAROV, Martin. The History of Data Centers. In: *Cloudware.bg* [online]. Sofia: Neterra, 2018 [cit. 2021-06-23]. Dostupné z: <https://blog.cloudware.bg/en/the-history-of-data-centers/?fbclid=IwAR2oAa35AWXdeQEjBHvzGtePR1OyC1CRtvu4hV0T1iVBkK9XaqSYiLvp-CY>
- [7] AVELAR, Victor. *PUE: A COMPREHENSIVE EXAMINATION OF THE METRIC* [online]. , 11-14 [cit. 2021-06-23]. Dostupné z: https://datacenters.lbl.gov/sites/all/files/WP49-PUE%20A%20Comprehensive%20Examination%20of%20the%20Metric_v6.pdf

- [8] URBAN, František. Největší datová centra světa dnes a zítra – 3. díl. In: *Dc-nn.com* [online]. Manchester: Averia, 2017 [cit. 2021-06-23]. Dostupné z: <https://www.dc-nn.com/nejvetsi-datova-centra-sveta-dnes-a-zitra-3-dil/>
- [9] LI, Zhengang a Yongliang LIN. Energy-saving study of green data center based on the natural cold source. *2013 6th International Conference on Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering* [online]. 1. IEEE, 2013, , 355-358 [cit. 2021-06-23]. ISBN 978-1-4799-0245-3. Dostupné z: doi:10.1109/ICIII.2013.6703591
- [10] AVELAR, Victor, Dan AZEVEDO a Alan FRENCH, ed. *PUE: A Comprehensive Examination Of The Metric* [online]. In: . *The Greed Grid, 2012*, s. 11-14 [cit. 2021-06-23]. Dostupné z: <https://www.thegreengrid.org/en/resources/library-and-tools/237-PUE%3A-A-Comprehensive-Examination-of-the-Metric>
- [11] SCHMIDT, R., K. KARKI a S. PATANKAR. Raised-floor data center: perforated tile flow rates for various tile layouts. In: *The Ninth Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena In Electronic Systems (IEEE Cat. No.04CH37543)* [online]. IEEE, 2004, s. 571-578 [cit. 2021-06-23]. ISBN 0-7803-8357-5. Dostupné z: doi:10.1109/ITHERM.2004.1319226
- [12] BARROSO, Luiz André a Urs HÖLZLE, Mark D. HILL, ed. *The Datacenter as a Computer: An Introduction to the Design of Warehouse-Scale Machines* [online]. 1. Mountain View: Morgan & Claypool, 2009 [cit. 2021-06-23]. ISBN 9781598295573. ISSN 1935-3243. Dostupné z: doi:10.2200/S00193ED1V01Y200905CAC006
- [13] SAWEHLI, Abdurraouf a Beh XIANG. *Data Center Infrastructure (DCI)*. Kuala Lumpur, 2018. Assignment. Asia Pacific University of Technology & Innovation (APU).
- [14] DIEKMANN, Bella, ed. Azure datacenters: a look behind the scenes. In: *Agiles.com* [online]. Hamburg: Agiles, 2020 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://agiles.com/en/blog-azure-datacenters/>
- [15] JAUREGUALZO, Enrique. PUE: The Green Grid metric for evaluating the energy efficiency in DC (Data Center). Measurement method using the power demand. In: *2011 IEEE 33rd International Telecommunications Energy*

- Conference (INTELEC)* [online]. IEEE, 2011, s. 1-8 [cit. 2021-06-23]. ISBN 978-1-4577-1250-0. Dostupné z: doi:10.1109/INTLEC.2011.6099718
- [16] Inside Microsoft's New Quincy Cloud Farm. In: *Datacenterknowledge.com* [online]. San Francisco: Informa USA, 2011 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://www.datacenterknowledge.com/inside-microsofts-new-quincy-cloud-farm>
- [17] KENNEDY, Patrick. Microsoft Project Natick Gen 3 Undersea Azure AZ. In: *Servethehome.com* [online]. Loyolan Ventures, 2020 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://www.servethehome.com/microsoft-project-natick-gen-3-undersea-azure-az/>
- [18] Efficiency. In: *Google.com* [online]. Mountain View: Google, 2021 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://www.google.com/about/datacenters/efficiency/>
- [19] PUE: Power usage effectiveness. In: *Flexential.com* [online]. Charlotte: Flexential, 2021 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://www.flexential.com/system/files/file/2020-01/PUE-power-usage-effectiveness.PDF>
- [20] SIVAMANI, D., R. RAMKUMAR, A. NAZAR ALI a D. SHYAM. Design and implementation of highly efficient UPS charging system with single stage power factor correction using SEPIC converter. In: *Materials Today: Proceedings* [online]. Rajalakshmi Nagar: Elsevier, 2021, , s. 1809-1819 [cit. 2021-06-24]. ISSN 22147853. Dostupné z: doi:10.1016/j.matpr.2020.08.744
- [21] Uninterruptible Power Supplies. In: *Datacenter.legrand.com* [online]. Limoges: Legrand, 2018 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://datacenter.legrand.com/en/our-offer/efficiency/reduce-power-losses/uninterruptible-power-supplies>
- [22] CHO, Jinkyun, Taesub LIM a Byungseon Sean KIM. Measurements and predictions of the air distribution systems in high compute density (Internet) data centers. In: *Energy and Buildings* [online]. Seoul: Elsevier, 2009, , s. 1107-1115 [cit. 2021-06-24]. ISSN 03787788. Dostupné z: doi:10.1016/j.enbuild.2009.05.017

- [23] NOVÝ, Richard. *Technika prostředí*. Vyd. 2., přeprac. V Praze: Nakladatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-010-3492-5.
- [24] ENBRA. Klimatizace: ochlazují už 116 let, jaká je jejich historie a vize do budoucna?. In: *Asb-portal.cz* [online]. Praha: Jaga, 2018 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/technicka-zarizeni-budov/vetrani-a-klimatizace/klimatizace-ochlazuji-uz-116-let-jaka-je-jejich-historie-a-vize-do-budoucna?fbclid=IwAR3AxzlyPpto2Mr4y37ija8ciG45YV9IYbrjGtleat6rFulBL0LsDtqUrmQ>
- [25] Historie klimatizací. In: *Klimabott.cz* [online]. Hodonín: Klimabott, 2021 [cit. 2021-03-24]. Dostupné z: <https://klimabott.cz/klimablog/historie-klimatizaci>
- [26] FULPAGARE, Yogesh a Atul BHARGAV. Advances in data center thermal management. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. Ahmedabad: Elsevier, 2015, , s. 981-996 [cit. 2021-06-24]. ISSN 13640321. Dostupné z: doi:10.1016/j.rser.2014.11.056
- [27] NADA, S.A. a M.A. SAID. Comprehensive study on the effects of plenum depths on air flow and thermal managements in data centers. In: *International Journal of Thermal Sciences* [online]. Benha: Elsevier, 2017, , s. 302-312 [cit. 2021-06-24]. ISSN 12900729. Dostupné z: doi:10.1016/j.ijthermalsci.2017.09.001
- [28] SAMADIANI, Emad, Jeffrey RAMBO a Yogendra JOSHI. Numerical Modeling of Perforated Tile Flow Distribution in a Raised-Floor Data Center. In: *Journal of Electronic Packaging* [online]. Atlanta: ASME, 2010, [cit. 2021-06-24]. ISSN 1043-7398. Dostupné z: doi:10.1115/1.4001589
- [29] Co je to vlastně Free cooling?: Free coling CIAT s maximální efektivitou a úsporami. In: *Vetrani.tzb-info.cz* [online]. Praha: CIATIK, 2012 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/8799-co-je-to-vlastne-free-cooling>
- [30] ZHANG, Yin, Zhiyuan WEI a Mingshan ZHANG. Free cooling technologies for data centers: energy saving mechanism and applications. In: *Energy Procedia* [online]. Chengdu: Elsevier, 2017, , s. 410-415 [cit. 2021-06-24]. ISSN 18766102. Dostupné z: doi:10.1016/j.egypro.2017.12.703

- [31] DARAGHMEH, Hafiz M. a Chi-Chuan WANG. A review of current status of free cooling in datacenters. In: *Applied Thermal Engineering* [online]. Hsinchu: Elsevier, 2017, , s. 1224-1239 [cit. 2021-06-24]. ISSN 13594311. Dostupné z: doi:10.1016/j.applthermaleng.2016.10.093
- [32] SKACH, Matt, Manish AURORA, Chang-Hong HSU, Qi LI, Dean TULLSEN, Lingjia TANG a Jason MARS. Thermal Time Shifting: Decreasing Datacenter Cooling Costs with Phase Change Materials. In: *IEEE Internet Computing* [online]. Michigan: IEEE, 2017, s. 34-43 [cit. 2021-06-24]. ISSN 1089-7801. Dostupné z: doi:10.1109/MIC.2017.265103852
- [33] YUAN, Xiaolei, Xuetao ZHOU, Yiqun PAN, Risto KOSONEN, Hao CAI, Yang GAO a Yu WANG. Phase change cooling in data centers. In: *Energy and Buildings* [online]. Shanghai: Elsevier, 2021, , s. 4 [cit. 2021-06-24]. ISSN 03787788. Dostupné z: doi:10.1016/j.enbuild.2021.110764
- [34] BHATIA, A. HVAC Cooling Systems for Data Centers. In: *Cedengineering.com* [online]. Woodcliff Lake: Continuing Education & Development, 2021 [cit. 2021-06-11]. Dostupné z: <https://www.cedengineering.com/userfiles/HVAC%20Cooling%20Systems%20for%20Data%20Centers%20R1.pdf>
- [35] Součinitel prostupu tepla. In: *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2021 [cit. 2021-06-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/315-soucinitel-prostupu-tepla>
- [36] Tepelný odpor R. In: *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2021 [cit. 2021-06-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/312-tepelny-odpor-r>
- [37] Prostup tepla stavební konstrukcí. In: *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Praha: Topinfo, c2001-2021 [cit. 2021-06-06]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci>
- [38] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov: Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1994.

- [39] ČSN EN ISO 6946. *Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla: Výpočtové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [40] ČSN 12831-1. *Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu: Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [41] LÁCHOVÁ, Jitka a Šárka DAŇKOVÁ. Evropské výběrové šetření o zdravotním stavu v ČR - EHIS CR: Aktuální informace. In: *Uzis.cz* [online]. Praha: Ústavu zdravotnických informací a statistiky České republiky, 2010 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: https://www.uzis.cz/sites/default/files/knihovna/70_10.pdf
- [42] SAMADIANI, Emad a Yogendra JOSHI. Proper Orthogonal Decomposition for Reduced Order Thermal Modeling of Air Cooled Data Centers. In: *Journal of Heat Transfer* [online]. Atlanta: The American Society of Mechanical Engineers, 2010, [cit. 2021-06-30]. ISSN 0022-1481. Dostupné z: doi:10.1115/1.4000978
- [43] How to Calculate Cooling Requirements for a Data Center. In: *Dataspán.com* [online]. Farmers Branch: DataSpan, 2019 [cit. 2021-06-24]. Dostupné z: <https://dataspán.com/blog/how-to-calculate-cooling-requirements-for-a-data-center/>
- [44] CyberAir 3PRO CW. In: *Stulz.de* [online]. Hamburg: STULZ, 2021 [cit. 2021-06-11]. Dostupné z: https://www.stulz.co.uk/fileadmin/user_upload/Final/STULZ_NL/Other/STULZ_CyberAir_3PRO_CW_Brochure_2001_EN.pdf
- [45] *CyberAir 3PRO CW* [online]. Hamburg: STULZ, 2021 [cit. 2021-06-11]. Dostupné z: <https://www.stulz.co.uk/en/products/detail/cyberair-3pro-cw/>
- [46] HŘEBEC, Jan. *HX diagram* [software]. In: . Dobříš: CIC, c2017-2021 [cit. 2021-06-30]. Dostupné z: <http://www.cic.cz/ke-stazeni/>
- [47] CyberCool 2. In: *Stulz.de* [online]. Hamburg: STULZ, 2021 [cit. 2021-06-12]. Dostupné z:

https://www.stulz.de/fileadmin/user_upload/products/Brochures_Manuals/CyberCool_2/STULZ_CyberCool_2_broschure_1804_EN.pdf

- [48] CyberCool 2: Original instructions. In: *Rafstjorn.is* [online]. Hamburg: STULZ, 2018 [cit. 2021-06-12]. Dostupné z: https://rafstjorn.is/wp-content/uploads/2018/11/STULZ_CyberCool2-EA_G41_0718_en.pdf
- [49] Cena 1 kWh. In: *Energie123.cz* [online]. energie123.cz, c2011-2021 [cit. 2021-06-12]. Dostupné z: <https://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>

Obrázek 1 Americké datové centrum ENIAC [4]	11
Obrázek 2 Hodnoty PUE pro všechna velká datová centra Google [18].....	16
Obrázek 3 Rozpis spotřeby energie datového centra [9] [19]	17
Obrázek 4 Uninterruptible Power Supply [21]	18
Obrázek 5 Recirkulace teplého vzduchu a obtok studeného vzduchu [27].....	20
Obrázek 6 Systém podlahová distribuce vzduchu [27]	20
Obrázek 7 Zdvojená podlaha datového centra s nastavením teplé a studené uličky [12]	21
Obrázek 8 Uzavřená teplá ulička [3]	22
Obrázek 9 Uzavřená studená ulička [3]	22
Obrázek 10 Způsob zapojení in-rack coolingu [3].....	23
Obrázek 11 Systém přímého chlazení [30]	24
Obrázek 12 Volné chlazení pomocí rotačního výměníku [30]	25
Obrázek 13 Schéma tepelné trubice [33]	25
Obrázek 14 Vestavěný výměník do serverové skříně [30].....	26
Obrázek 15 Schéma volného chlazení na bázi vody [30]	26
Obrázek 16 Rozložení výkonu pasivní redundance [45]	39
Obrázek 17 Rozložení výkonu aktivní redundance [45].....	39
Obrázek 18 Zapojení chladicího systému [45]	41
Obrázek 19 Schéma teplot a teplotních rozdílů v datovém centru [44].....	42
Obrázek 20 ASHRAE směrnice parametrů vzduchu na vstupu do serverových skříní (2011) [3].....	42
Obrázek 21 Jednotka CyberAir 3PRO ASR [31]	43
Obrázek 22 Zapojení klimatizační jednotky CyberAir 3PRO CW [45]	43
Obrázek 23 Zapojení klimatizační jednotky CyberAir 3PRO CW2 [45]	44
Obrázek 24 Návrh klimatizační jednotky	45

Obrázek 25 Parametry vzduchu na výstupu z CRACu [3].....	46
Obrázek 26 Střešní chladicí jednotka [47]	47
Obrázek 27 Průměrné hodinové teploty z roku 2003.....	49
Obrázek 28 Poměry využití volného chlazení a kompresoru.....	50
Obrázek 29 Free cooling [47]	50
Obrázek 30 Smíšený režim (free cooling + kompresor) [47]	51
Obrázek 31 Kompresorový režim [47]	51