



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

## **Ústav techniky prostředí**

**KLIMATIZACE DATACENTER**

**AIR-CONDITIONING OF DATACENTERS**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2018**

**Džagar ERDENEČULÚN**

Studijní program: B2342 TEORETICKÝ ZÁKLAD STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
Studijní obor: 2301R000 Studijní program je bezoborový  
Vedoucí práce: doc. Ing. Vladimír Zmrhal Ph.D



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Klimatizace datacenter“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Vladimíra Zmrhala Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne:

Džagar Erdenečulún

.....



## Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Vladimíru Zmrhalovi Ph.D., za odborné vedení a užitečné rady při zpracování této práce.

Dále bych chtěl poděkovat své přítelkyni slečně Michaelle Voborské, že mi pomáhala s přepisováním textů a měla se mnou trpělivost.

---

## Anotační list

Jméno autora: ***Džagar ERDENEČULÚN***

Název BP: *Klimatizace datacenter*

Anglický název: *Air conditioning of datacenter*

Rok: *2017/2018*

Studijní program: *B2342 Teoretický základ strojního inženýrství*

Obor studia: *2301R000 Studijní program je bezoborový*

Ústav: *Ústav techniky prostředí*

Vedoucí BP: *doc. Ing. Vladimír Zmrhal Ph.D.*

Bibliografické údaje: počet stran 36

počet obrázků 44

Klíčová slova: *klimatizace, datové centrum, server, systém, zařízení, energie, úspora, efektivita*

Keywords: *air conditioning, data center, server, system, units, energy, savings, efficiency*

Anotace:

*Bakalářská práce se zaměřuje na klimatizaci datových center. Vysvětluje a popisuje základní princip klimatizace a jejich použití. Dále se práce zabývá jednotlivými systémy chladicích zařízení a jejich efektivitou.*

Abstract:

*Bachelor thesis focuses on air conditioning of datacenter, which explains the basic functions of AC and their usage. After that, it deals with the individual cooling systems and their efficiency.*



## Obsah

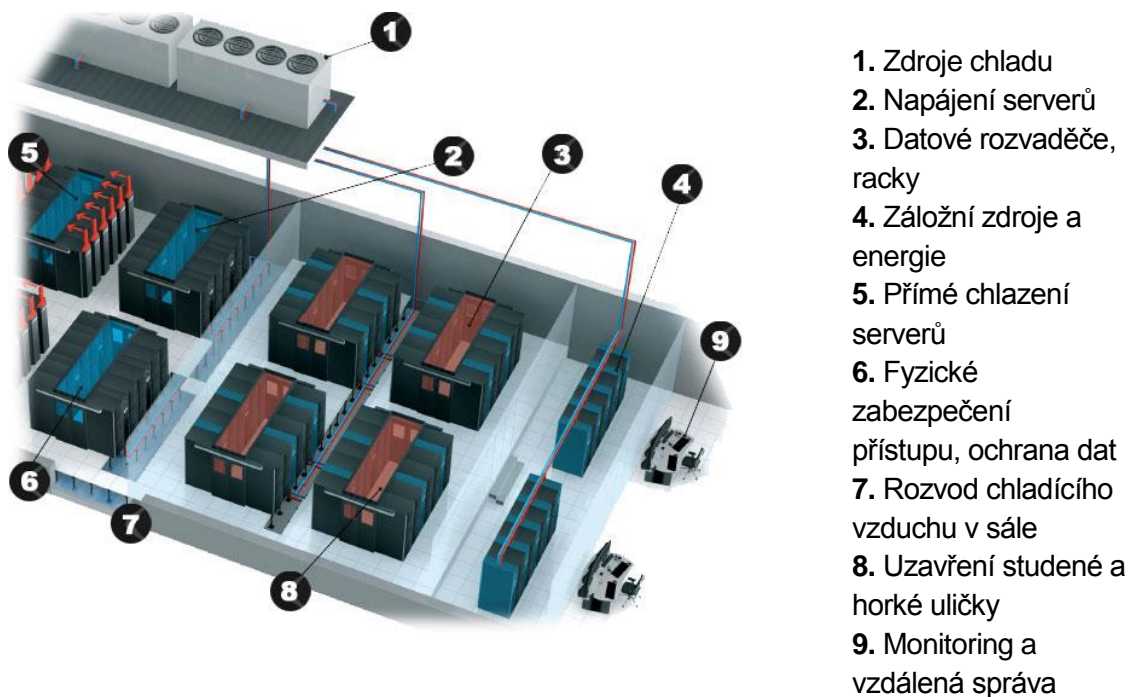
1.	ÚVOD.....	7
2.	DATOVÉ CENTRUM.....	8
2.1.	Indikátor energetické efektivity – PUE.....	9
2.2.	Historie.....	11
3.	SYSTÉMY CHLAZENÍ DATACENTER.....	13
3.1	Konvektivní systémy s přívodem vzduchu podlahou.....	13
3.2	Dostupné chladicí systémy.....	16
3.3	Způsoby volného chlazení.....	19
3.3.1	Přímé volné chlazení.....	19
3.3.2	Nepřímé volné chlazení.....	23
3.3.3	Dynamické nepřímé volné chlazení.....	25
3.3.4	Adiabatické chlazení.....	27
3.3.5	Chlazení rozvaděčů.....	30
3.3.6	Skříňové chlazení.....	32
4.	ZÁVĚR.....	34
5.	LITERÁRNÍ ZDROJE.....	35

## 1. ÚVOD

V dnešním hektickém světě si málokdo dokáže představit život bez přístupu k rychlým užitečným informacím, které nám poskytují například naše osobní počítače, nebo chytré telefony. Nejsou to jenom informace, ale i bankovní transakce, nákupy, sociální sítě a mnoho dalších možností. Funkce jsou přístupné kdykoliv a kdekoliv s připojením do počítačové sítě. Tyto údaje, služby či programy jsou uloženy v datacentrech, neboli v serverovnách. Přesněji v místnostech v řadových skříních tzv. „rack“, a pracují nepřetržitě. Bohužel skříně mají tendenci se zahřívat a generují teplo. Důsledkem je nízký výkon a značná spotřeba energie. Proto se nežádoucí tepla musí odvádět pomocí klimatizací. Nestačí pouze samotná chladicí jednotka, ale hlavně další zařízení, které například udržují stálou vlhkost, nebo čistí vzduch pomocí filtračních jednotek proti prachovým usazeninám. Přidáním těchto zařízení k serverovnám značně zvyšujeme spotřebu elektrické energie, proto se v poslední době firmy zaměřují na úspornější a efektivnější řešení k ochlazování.

## 2. DATOVÉ CENTRUM

Pro provozovatele datových center je v současné době nejdůležitějším tématem energetická účinnost. Nepřetržitý růst moderních technologií vede k celosvětově vyšší poptávce po výpočetním výkonu. Stupňuje to nejen spotřebu energie u stávajících datových center, ale také konkurenční tlak kladený ostatními, nově vytvořenými serverovými podniky. Nejúčinnější způsob využití energie se zásadou „eko“ datových center se stal hlavní konkurenční předností [1].



Obr.1 Příklad infrastruktury datového centra [2]

Nepřetržitý bezpečný a bezproblémový provoz je věda. Kvalitní datová centra musí především obsahovat:

- **Čisté bezprašné prostředí** - Jakákoliv nečistota je pro servery škodlivá, nečistoty značně snižují životnost zařízení. Je důležité mít filtrační systémy.
- **Elektrické napájení** - Datová centra spotřebují velké množství energie, proto je potřeba mít kvalitní rozvody a výkonné a spolehlivé jističe. Výpadek elektřiny by

neměl příliš vadit. Základem je vlastnit UPS<sup>1</sup>, které za milisekundu po výpadku začnou dodávat záložní energii, avšak energii nelze dodávat příliš dlouho. Proto jako další zálohu je nutné mít dieselové agregáty. Dokud je dostatečná zásoba nafty, mohou jet nepřetržitě.

- **Kvalitní připojení do sítě Internet.** - Připojení musí být velmi rychlé a co nejkvalitnější. Je třeba, aby připojení byla redundantní, tj. počítá se s možností poruchy a mít další přepínatelné záložní připojení v případě výpadku elektrické energie. Počítá se s poruchami síťových zařízení, které je nutno minimálně jedno záložní vlastnit
- **Zdvojená podlaha.** - V datových centrech je vše zapojeno do stovek či tisíců kabelů, které nesmějí překážet a musí mít formální úpravu. Proto je důležitá zdvojená podlaha či strop, v jejichž útrokách nalezneme veškeré kabelové vedení v úhledných svazcích, lišt, či kabelových roštů.
- **Hašení** – Zničená zařízení nejsou ty největší škody, ale hlavně ztráta uložených dat v úložném zařízení. Při požáru jsou k dispozici stabilní hasicí zařízení, které obsahují speciální plyn, zajišťující méně škod. Prostor se zaplní plynem, čímž udusí plameny.
- **Klimatizace.** Zařízení přeměňují elektrické energie na teplo. Vhodným umístěním klimatizace se musí odvádět teplý vzduch z místnosti a vyměnit za vzduch studený [3].

Pro správné fungování datového centra, musí být zajištěno optimální prostředí pro komunikační a informační technologie. Nároky kladené na chlazení a napájení se v průběhu celého roku neustále mění [2].

## 2.1. Indikátor energetické efektivity – PUE

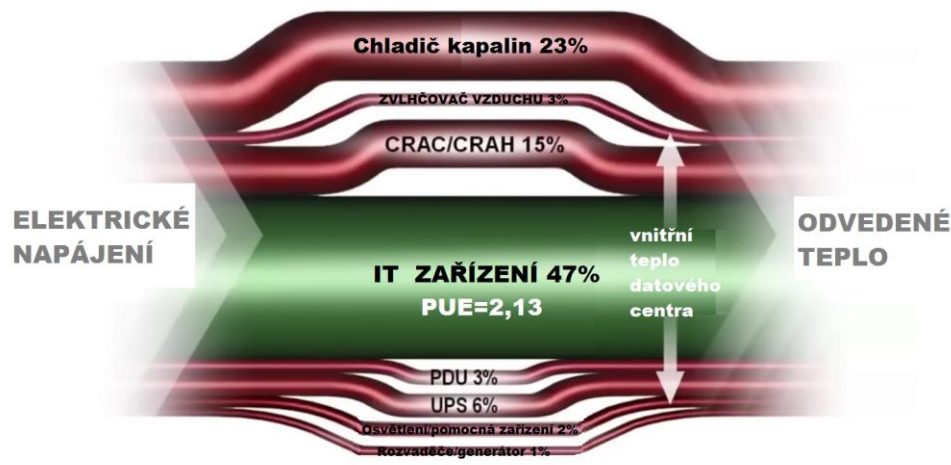
Indikátor energetické efektivity (neboli z anglického překladu „Power usage effectiveness“ dále PUE), je měření efektivity elektrické energie datových center, jako jsou

---

<sup>1</sup> UPS: (Uninterruptible Power Supply/Source): je zařízení, které zajišťuje souvislou dodávku elektrické energie pro spotřebiče, které nesmějí být neočekávaně vypnuty. Termín „zdroj nepřerušovaného napájení“ odpovídá české normě ČSN EN 62040.[10]



napájení a chladicí zařízení. PUE neměří efektivitu vybavení informační technologie, ale spíše měří celkové režijní náklady, které jsou spotřebovány zařízením a vybavením.



Obr.2 Příklad znázornění PUE

Zjednodušeně kolik z celkové energie je využito na spotřebu vybavení (hardware) a další systémy viz. Obr. 3.

$$PUE = \frac{\text{Total Facility Energy}}{\text{IT Equipment Energy}} = \frac{\text{Celková spotřeba energie}}{\text{Spotřeba IT}}$$

Obr.3 Výpočet PUE

Ideální hodnota PUE je 1.0, kde by byla veškerá energie využita přímo na provoz samotného IT vybavení. Nejhorší koeficient 3.0 a více, kde je efektivita velmi nežádoucí. Moderní datová centra mají PUE obvykle na hodnotě kolem 1,6. Největší část na „zvyšování“ PUE koeficientu v datovém centru směrem ke zhoršení efektivity má chlazení, které je samozřejmě energeticky velmi náročné. Přitom hodnota PUE ve výsledku přímo ovlivňuje cenu elektrické energie pro spotřebitele. Koeficientem se násobí reálná spotřeba hardwaru. Snižováním, neboli ke zlepšení koeficientu PUE je možné dosáhnout poměrně všedními opatřeními. Příkladem je přesunutí chladících jednotek blíže k serverům, nebo pečlivé vyvážání kabelového vybavení. Dále vhodné uložení rackových skříní, nebo využití okolního vzduchu k ochlazování. Tato opatření přispívají k optimalizaci proudění vzduchu a zabrání nežádoucího míchání studeného a teplého vzduchu, což zlepšuje efektivitu energie chlazení a tudíž i zvyšování hodnotu PUE. Inverzní hodnota koeficientu PUE je pak méně

rozšířená metrika DCiE (Data Center Infrastructure Efficiency), za níž stojí sdružení The Green Grid, jež vyjadřuje celkovou spotřebu IT vybavení vydělenou celkovou spotřebou datového centra[4].

## 2.2. Historie

První generace datových center v začátcích kolem roku 1989, hostila ještě klasické servery vložené v klimatizovaných skříních. Energetické požadavky i PUE byly obrovské. Dosahovaly hodnoty PUE 2,0, neboli spotřebovaly dvakrát tolik energie co samotné servery na jejich chlazení a další zařízení.

V Microsoftu přišli v roce 2004 s druhou generací, což vedlo k vzestupu v oblasti stavby datových center. S masivní poptávkou počítačů v domácnosti vzrostly i nároky na jeho online služby, jako jsou například e-mail nebo herní sítě. Převážně nastaly nové faktory, jako jsou například rychlost budování datových center a snižování provozních výdajů. Jedním z posledních datových center druhé generace Microsoftu bylo Quincy ve státě Washington. Rozkládá se v rozloze přibližně 10 fotbalových hřišť a má kolem desetitisíce serverů. Chlazení je řešeno vzduchotechnikou v podlaze a celkový příkon centra je 27 MW. Jedna z předností je, že toto centrum je plně napájeno z obnovitelných zdrojů a to konkrétně z vodní elektrárny.

V rámci změny struktury výstavby, zkrácení doby stavby a redukci nákladů vznikla třetí generace. Přišly návrhy serverů umístěnými v ISO kontejnerech. S inovací se objevil jedinečný systém chlazení pomocí venkovního vzduchu. Tento systém chlazení zvyšuje efektivitu chladicího systému až o 50 %. Například v kombinaci s irským chladným podnebím velkou část roku vůbec není nutné klimatizační jednotky zapínat. Datové centrum je pak napájeno z nedalekých větrných elektráren a díky tomu kleslo PUE na hodnotu 1,25.

V roce 2010 přišla čtvrtá generace datových center, která posunula úroveň ještě výše. Využila zkušeností s ISO kontejnery i vzduchové chlazení. Tyto kontejnery používají připravené plug and play součásti. Tyto součásti lze lehce vyměnit a vyrobit na objednávku a současně u více dodavatelů. Kontejnery se sestavují přímo u výrobce, což výrazně redukuje balicí materiál a současně zrychluje připojení IT packu do datového centra. Tyto kroky snížily celkové náklady vlastnictví o 30 až 50 % vůči předchozím generacím. Zařízení



IT packy navíc přímo obsahují vlastní chladicí systémy a UPS<sup>2</sup>. V datovém centru se pak napojí jen na napájení. PUE u těchto datových center dosahuje 1,15 až 1,20 [5].

---

<sup>2</sup> UPS: (Uninterruptible Power Supply/Source): je zařízení, které zajišťuje souvislou dodávku elektrické energie pro spotřebiče, které nesmějí být neočekávaně vypnuty. Termín „zdroj nepřerušovaného napájení“ odpovídá české normě ČSN EN 62040.[10]

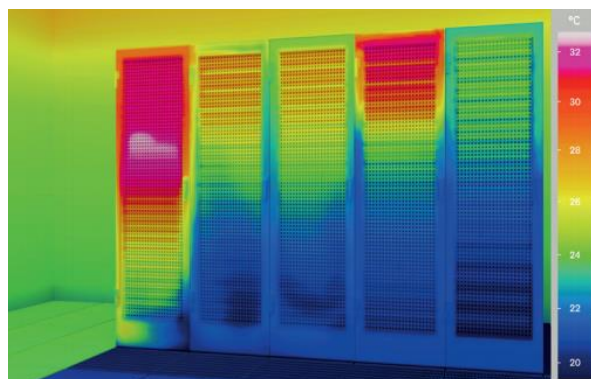
### 3. SYSTÉMY CHLAZENÍ DATACENTER

Výpočetní technologie se v současnosti zahušťují na neustále menší ploše serveroven. Důsledkem je, že tento výkon je skoro kompletně přeměňován na teplo. V průběhu několika let provozu, bez využití efektivních energetických řešení, by se mohla zvednout pořizovací cena a náklady na provoz veškerých technologií v datových centrech [9].

#### 3.1 Konvektivní systémy s přívodem vzduchu podlahou

Důležitým prvkem jsou zdvojené podlahy nebo stropy, které jsou určeny pro technologické prostory, jako jsou například pracovny, počítačové haly a telefonní centrály. Prostory pod podlahou umožňují nejen rozvádět vzduch z klimatizace, nebo ve vzduchotechnice, ale dále elektrické vedení, protipožární zabezpečovací systémy, zařízení pro automatická hašení a další podobné důležité instalace. Prostor nabízí možnost vysoké variability pro instalaci.

Podlahy se skládají ze čtverců z MDF (medium density fiberboard), neboli z druhu dřevotřísky. Desky jsou uloženy na ocelové konstrukci. Výška podlahy je variabilní a nosnost závisí na typu ocelových konstrukcí. Povrch desek může být laminátový, nebo je pod podlahovou krytinou hliníková folie. Dále se zde používají antistatické, nebo nevodivé materiály jako jsou například dřevěné parkety, guma, koberec, PVC, keramické či žulové dlažby a další [6].



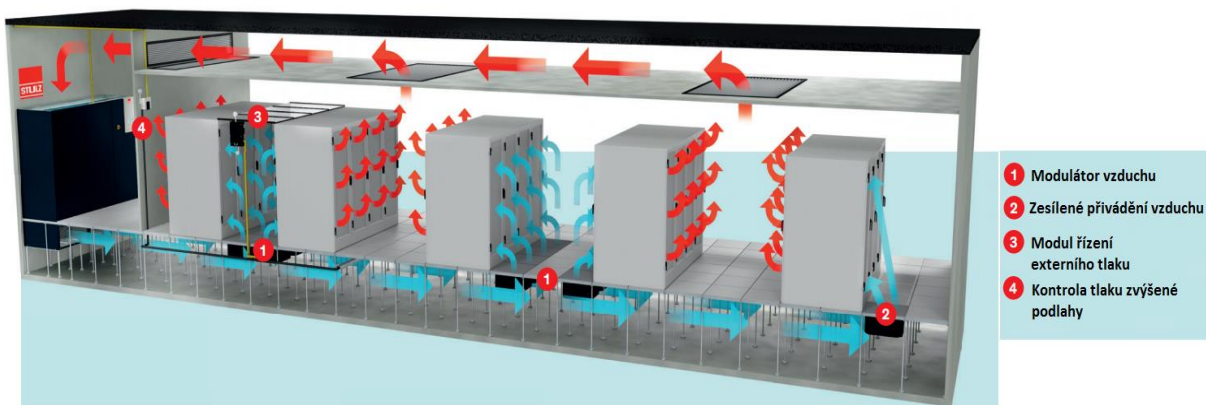
Obr.4 Termoanalýza kritických míst datové skříně [7]

Při teplotní analýze (Obr. 4) zjistíme, že datové skříně mohou mít různé teplotní rozdíly. Na různých místech při ochlazování probíhá nadměrné, nebo naopak nedostatečné ochlazování. Může to vést k přehřátí skříně a následně zvýšení provozních nákladů. Efektivního řešení dosáhneme přidáním dodatečného větracího ventilátoru, který dokáže nasměrovat přivedený studený vzduch libovolným směrem díky žaluziím umístěných před vrtulí. V různé výšce jsou teplotní senzory, které regulují otáčky ventilátoru. Zvyšujícím se teplem se zvyšuje i chod ventilátoru. Tento přístroj je nainstalován do mřížky mezi další zdvojené podlahy pod skříně [7].



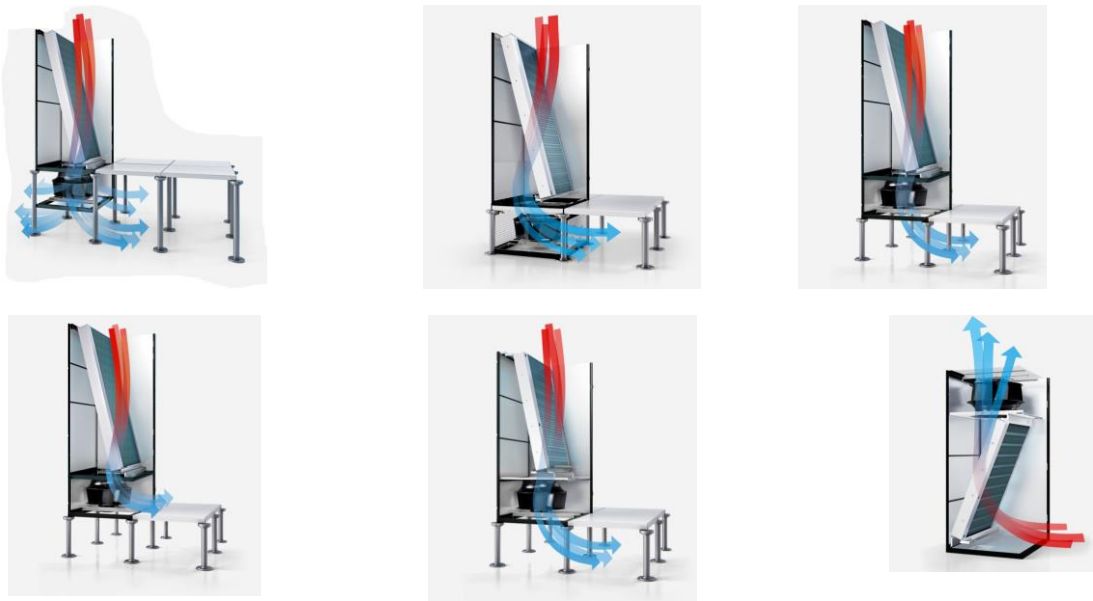
**Obr.5** Řešení chlazení kritických míst datových skříní [7]

Při projektování datových center se počítá z tepelné zátěže zařízení vztahující se na plochu místnosti v m<sup>2</sup>. Používají se takřka výlučně klimatizační jednotky sálového typu a zdvojenou podlahu pro distribuce vzduchu.



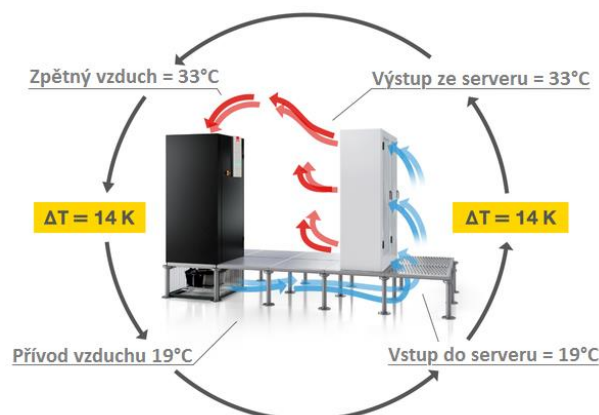
**Obr.6** Termoanalýza kritických míst datové skříně [7]

Je důležité zvolit správnou výšku zdvojené podlahy a zásadně dbát na orientaci umístění datových skříní. Rozmísťujeme systémem „studené“ a „teplé uličky“. Pomocí distribučních elementů osazených pod podlahy přivádíme ochlazený vzduch do studené uličky. Teplý vzduch je horem odváděn z teplých uliček. Odtah tepelné zátěže lze vyřešit zdvojeným stropem, tím se dá zvýšit účinnost systému [1].



**Obr.7** Možnosti instalace výměníku a větráku do vyvýšených podlah [8]

Teplotní rozdíl mezi přivodním vzduchem ze serverových skříní a klimatizačních systémů je známý jako  $\Delta T$  (Obr. 8). Pro optimální provoz a zajištění maximálních úspor serverových skříní je důležité, aby  $\Delta T$  klimatizačních jednotek byl přizpůsoben  $\Delta T$  serverových skříní [8].



**Obr.8** Schéma teplotních rozdílů [8]

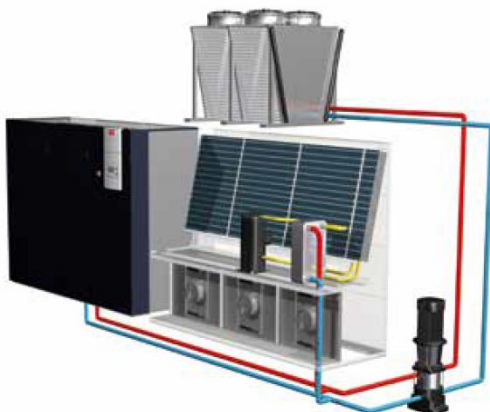


## 3.2 Dostupné chladicí systémy

V různých specializacích jako jsou například farmacie, optika, laboratoře, nebo i operační sály, musejí zařízení vyhovovat vysokým nárokům na nejrůznější bakterie, prachové částice a další škodliviny. Dále jsou nároky kladeny na ustálenou teplotu a vlhkost v místnosti. Zde jsou systémy chladících zařízení, které jsou doposud dostupné [9].



**Obr.9 A Systém**  
*Kompresorové chlazení*



**Obr.10 G Systém (Glycol)**  
*Odvod tepla pomocí nemrznoucí směsi*

Tento chladicí obvod klimatizace je kompresorové chlazení na základě přímého výparu. Dále obsahuje výparník, expanzní ventil a kondenzátor, který je umístěn externě. Venkovní vzduch je vháněn ventilátorem skrz výparník. Tím se ochlazuje vzduch v místnosti a teplo se přenese do chladiva.

Obdobný systém jako kompresorové chlazení (Systém A). Rozdílem je, že teplo z přímého výparu je odváděn pomocí chladiva z nemrznoucí směsi, které cirkuluje v uzavřeném obvodu. Kapalina vede skrz integrovaný kondenzátor a teplo se předává do vnějšího prostoru prostřednictvím externího suchého chladiče.



**Obr.11 GE Systém (Glycol, Indirect Free Cool)**  
*Hybridní G Systém s nepřímým volným chlazením*



**Obr.12 CW Systém (Cooled Water)**  
*Chlazení pomocí kapaliny*



**Obr.13 CW2 Systém (Cooled Water 2)**  
*Chlazení pomocí kapaliny s vestavěnou redundancí*

Hybridní chladicí systém klimatizace, kombinuje G systém s nepřímým volným chlazením. Tudíž využívá chlazení volné a kompresorové. Je tedy energeticky nejúspornější systém. Systém GE se přepíná do úsporného režimu v závislosti na vnější venkovní teplotě. Vnější vzduch je pak využit jako Dynamické volné chlazení.

Tato jednotka je řízena bez vlastního chladicího obvodu, ale potřebuje samostatný zdroj výroby chladicí vody tzv. chiller. Vzduch přiváděný ventilátorem protéká skrz přímý chladicí výměník, kde teplo je odváděno pomocí směsi vody a glykolu. Chiller, neboli chladič, odebírá teplo z této směsi a spolu s klimatizační jednotkou jsou navzájem propojeny uzavřeným okruhem.

Systémy se zvýšenými stupni spolehlivosti a zabezpečení vyžadují druhou nezávislou dodávku chlazené vody, neboli chilleru. V jednotce jsou dva redundantní systémy CW, a proto šetří místa v datových centrech.





**Obr.14 ACW Systém**  
CW Systém s redundatním A systémem

V jedné klimatizační jednotce jsou dva nezávislé chladicí systémy CW a A, které zajišťují maximální spolehlivost. Při poruše hlavního CW systému automaticky zajistí odvod tepla A systém bez přerušení.



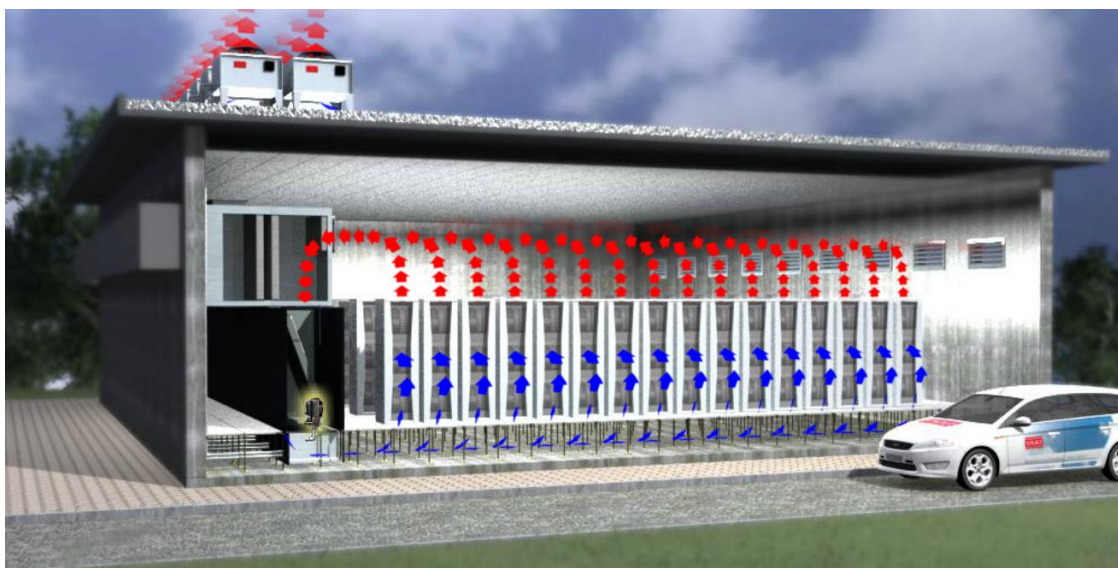
**Obr.15 GCW Systém**  
CW Systém s redundantním G systémem [10]

Obdobně jako předešlý ACW systém, akorát je tento systém kombinací G (chladicí kapalina) a CW systému.[10]

### 3.3 Způsoby volného chlazení

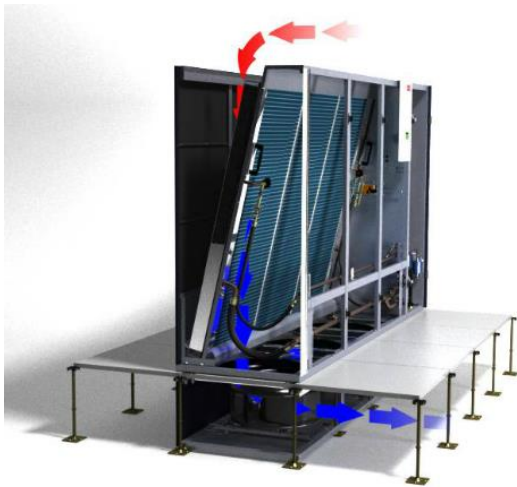
#### 3.3.1 Přímé volné chlazení

Další systém chlazení je přímé volné chlazení. DFC neboli Direct Free Cooling je využíván pomocí nízkých venkovních teplot pro produkci chladu. Zejména v chladných obdobích bez nutnosti používání chlazení s kompresorem. Provoz je tedy energeticky velmi nenáročný, protože práci při tomto chlazení konají pouze ventilátory. Nasávaný vzduch vstupuje skrz lamelový výměník, ve kterém proudí nemrznoucí kapalina. Tento výměník své teplo odevzdává do vzduchu a ochlazuje se. Standartní kompresorové chlazení je energeticky velice nevýhodné, protože, při práci fungují spolu s ventilátory i kompresory. Spotřebovávají několikanásobně více energie než samotné ventilátory [11].



**Obr.16 DX (Kompresorové chlazení) s cirkulací vzduchu  
při venkovní teplotě 25°C a výše [9]**

Simulace chlazení na Obr.16 zobrazuje, že vzduch je cirkulován. Jestliže teplota venkovního prostředí vzroste nad 25°C, systém přímého volného chlazení automaticky zvolí energeticky náročnější kompresorový chladicí systém DX, neboli režim přímé výměny (direct exchange mode). Při zvýšení teplot v místnosti se aktivuje kompresor a chlazení probíhá skrz výměník [9].

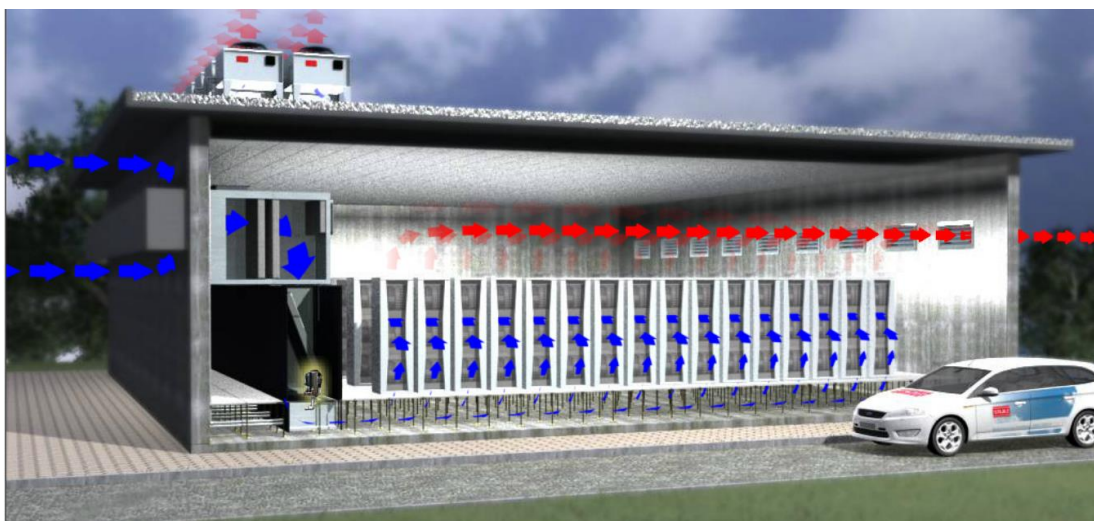


**Obr.17** Kompresorové chlazení s cirkulací vzduchu  
při venkovní teplotě nad 25°C [9]



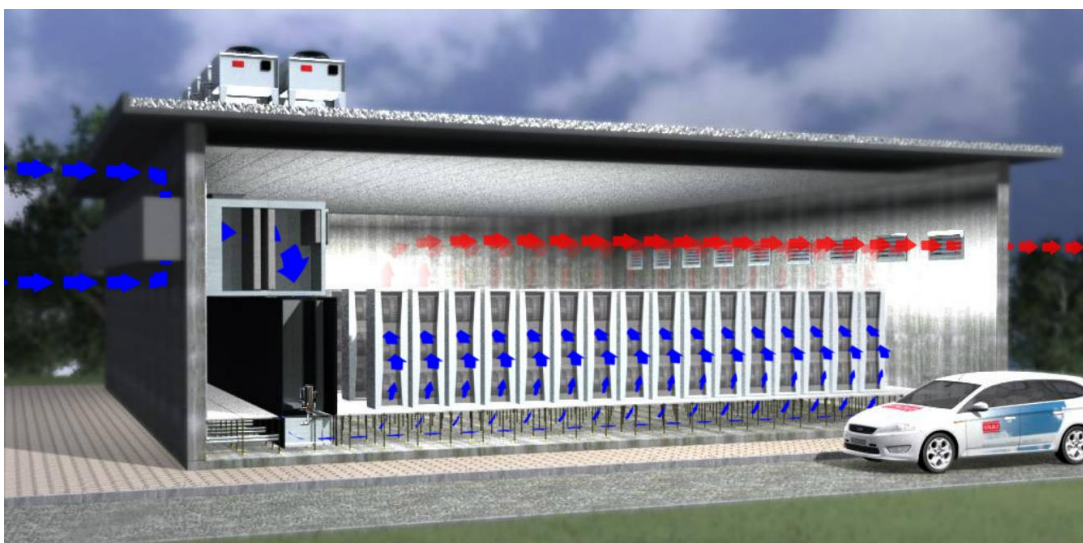
**Obr.18** Schéma kompresorového režimu  
[12]

V kompresorovém režimu DX, nebo v systému ochlazování pomocí chlazené vody v oběhovém systému zkr. CW (cooled water), je tepelný výměník přepnut do šikmé polohy (Obr.17 a Obr.18). Ve výměníku proudí ochlazená voda, nebo nemrznoucí směs z venkovního chladiče. Skrze výměník proudí vzduch, který je nasáván pomocí ventilátoru, a dále distribuuje studený vzduch pod zdvojenou podlahu [12].



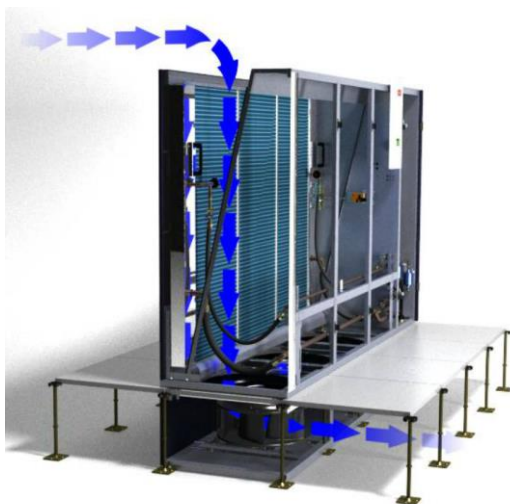
**Obr.19** Smíšené, neboli kompresorové a volné chlazení při venkovní teplotě 19°-24°C [9]

Pohybuje-li se venkovní teplota mezi 19°C až 24°C, systém aktivuje smíšený režim (Obr.19). To znamená, že kompresorové chlazení funguje zároveň s volným chlazením.



**Obr.20** Přímé volné chlazení při venkovní teplotě 18°C [9]

Jestliže venkovní teplota klesne na 18°C (Obr. 20), zapne se režim přímého volného chlazení. Při tomto režimu se automaticky přepne tepelný výměník do vzpřímené polohy (Obr.21 a Obr.22). Kompresor je vypnut. Filtrovaný vzduch poté může volně proudit beze ztrát pod zdvojenou podlahou. To přináší ještě větší efektivitu [12].



**Obr.21** Přímé volné chlazení při venkovní teplotě 18°C [9]



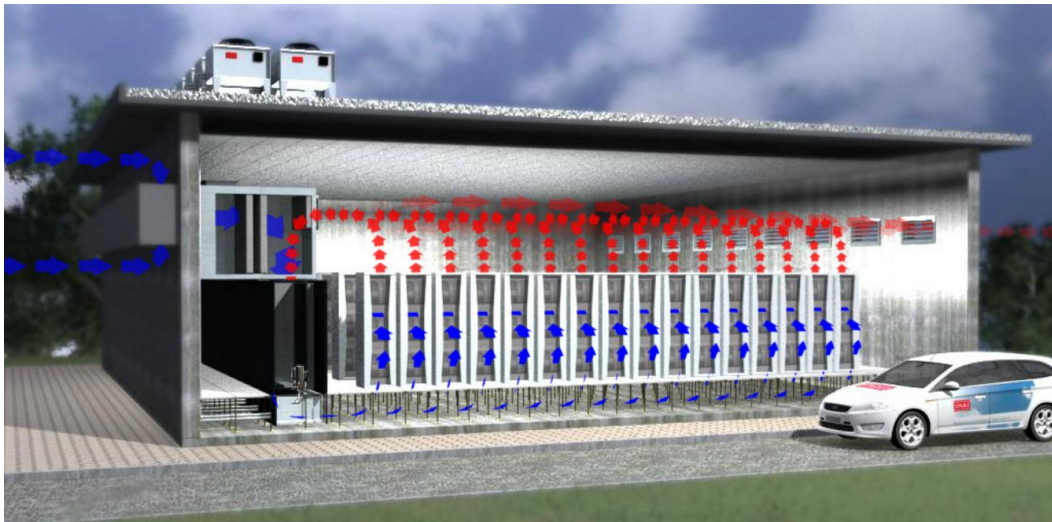
**Obr.22** Schéma v režimu volného chlazení [12]

U přímého volného chlazení v datovém centru se využívá pro udržení nízké teploty vzduch zvenčí. Vzduch je filtrován. Tento způsob chlazení přináší obrovské úspory.

Tento režim může způsobit také potíže. Do místnosti se dostává nejen velké množství

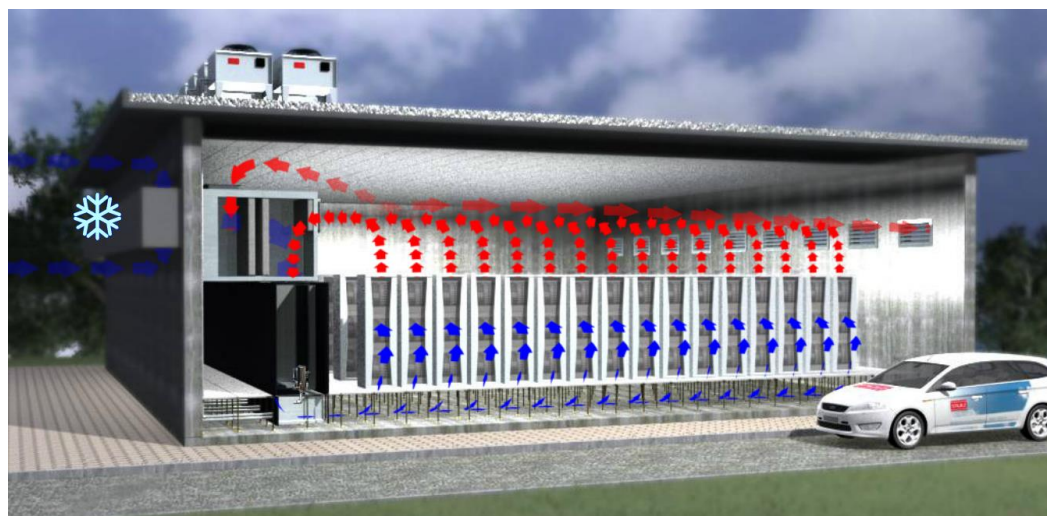


vnějšího vzduchu, ale zároveň i vlhkost. Proto musí být stanoveno časové rozmezí pro přivádění provozní teploty a vlhkosti. Vzroste-li venkovní teplota nad teplotu vhodnou pro přímé chlazení, úlohu chlazení přebírá integrovaný kompresorový režim, nebo jiný režim pro zdroje chladu [13].



**Obr.23** Přímé volné chlazení s cirkulací vzduchu při venkovní teplotě  $1^{\circ}$ - $17^{\circ}\text{C}$  [9]

Při venkovní teplotě v rozmezí  $1^{\circ}\text{C}$  a  $17^{\circ}\text{C}$  se zapne režim volného chlazení s částečnou cirkulací vnitřního prostředí (Obr 23). Chladnější venkovní vzduch se smísí s teplejším vnitřním vzduchem a udržuje se stálá teplota. Kompresor je stále vypnut. Průtok vzduchu se zvyšuje díky ventilaci [9].



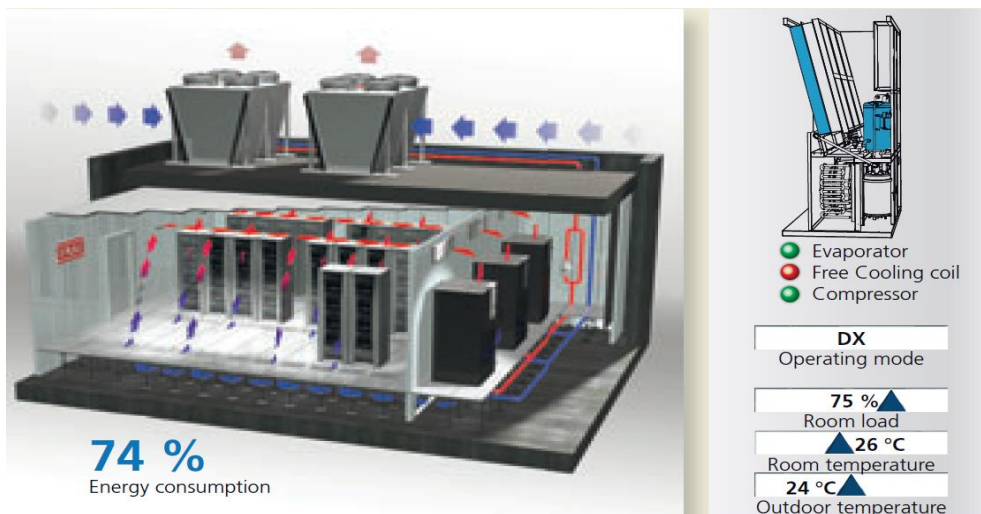
**Obr.24** Chlazení s protimrazovou ochranou a cirkulací vzduchu při venkovní teplotě  $0^{\circ}$ - $18^{\circ}\text{C}$  [9]

Když venkovní teplota klesne pod bod mrazu, zapne se režim recyklovaného vzduchu s protimrazovou ochranou. Tato ochrana je ve filtračním systému, který predehřívá chladný venkovní vzduch [9].

### 3.3.2 Nepřímé volné chlazení

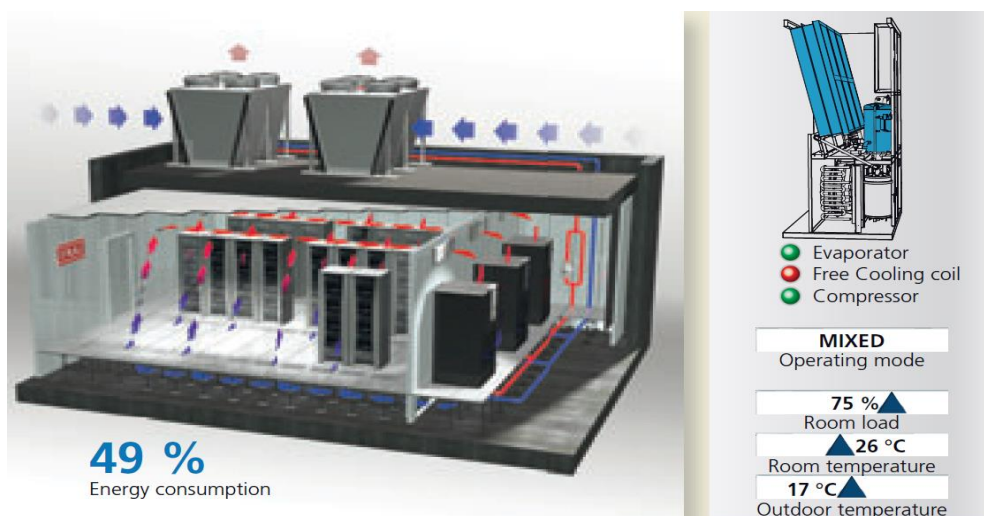
Nepřímé volné chlazení datových center je systém, kde se používá směs vody a glykolu. Oproti přímému volnému chlazení, se při činnosti nepoužívá žádný venkovní vzduch. Tím odpadají problémy s vlhkostí v prostoru datového centra, filtrací prachu a dalších nečistot. Systémy a zařízení klimatizace lze nakonfigurovat, tak aby byly požadavky chlazení co nejúčinnější [13].

Zde jsou znázorněny čtyři provozní režimy a spotřeba energie chladících zařízení. Místnost datového centra je zaplněna při 75% a pokojová teplota je 26°C.



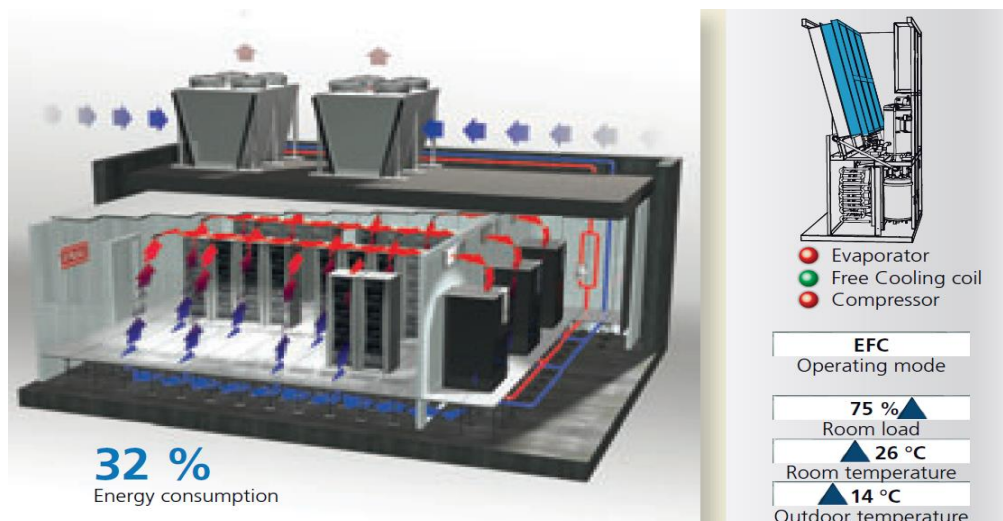
Obr.25 DX-Kompresorové chlazení

Jak je vidět na Obr.25, jestli venkovní teplota stoupne nad 24°C, režim volného chlazení automaticky zvolí energeticky náročnější režim, a to režim kompresorového chlazení. Spotřeba energie je okolo 74% [14]



**Obr.26** Smíšené – Kompresorové a volné chlazení

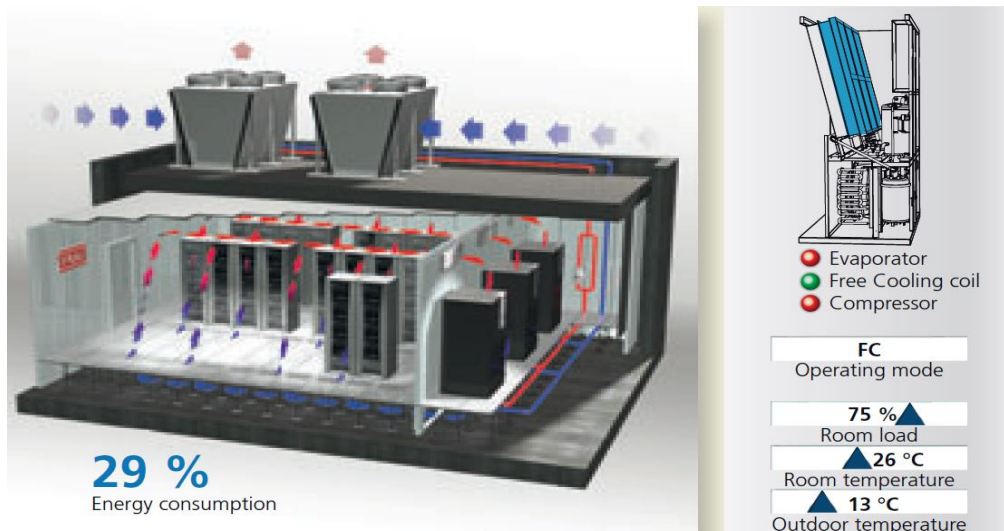
Když je venkovní teplota v rozmezí mezi 16°C a 23°C, systém aktivuje smíšený režim. Jinými slovy, kompresor je propojen společně s volným chlazením. Čím vyšší je povolená pokojová teplota, tím vyšší je podíl volného chlazení. Spotřeba energie činí přibližně kolem 49%.



**Obr.27** Rozšířené volné chlazení

Jestliže venkovní teplota leží někde mezi 14°C a 15°C, aktivuje se rozšířené volné chlazení, což je další chladicí výměník před výparníkem. Kompresor je zcela vypnut a průtok vzduchu je v tomto režimu maximální. Spotřeba energie činí přibližně kolem 32%.





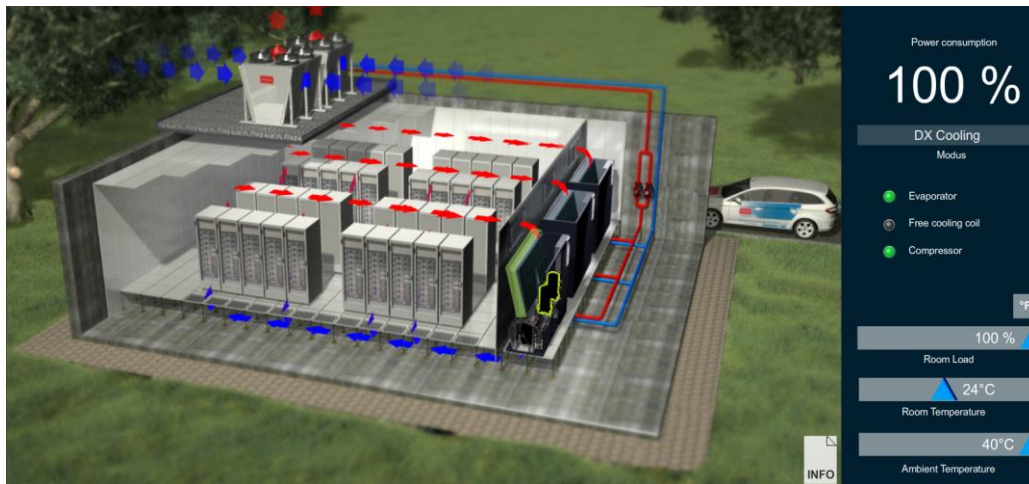
Obr.28 Volné chlazení

Jestliže venkovní teplota klesne pod 13°C, pracuje čistě nákladově nejefektivnější režim volného chlazení. Není nutné použít kompresor. Spotřeba energie činí přibližně kolem 29% [14].

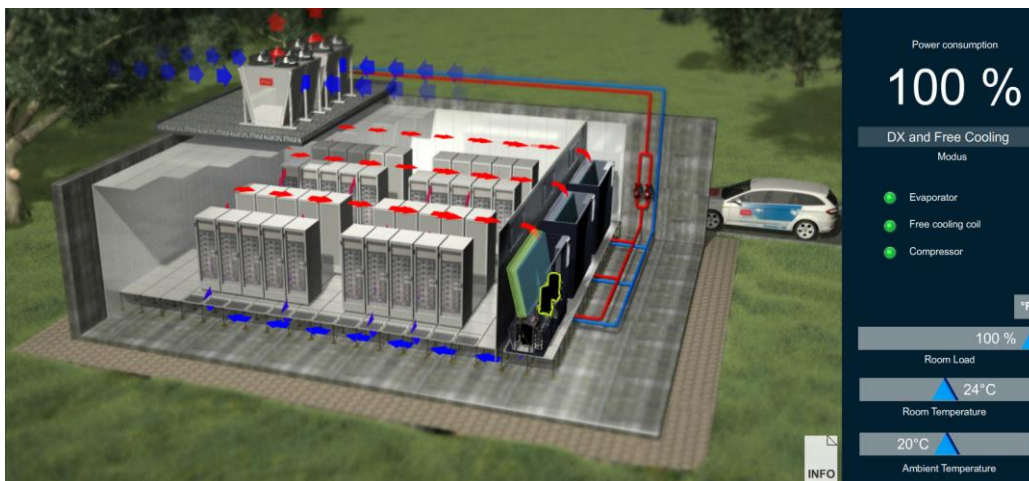
### 3.3.3 Dynamické nepřímé volné chlazení

Pro zdokonalení účinnosti chlazení existuje dynamické nepřímé volné chlazení. V jednotce se využívá systém, který řídí režimy chlazení na základě aktuální tepelné zátěže v místnosti datových center. Skutečnou tepelnou zátěž lze odvádět pomocí teplotního rozdílu mezi ochlazovanou místností a ochlazenou vodou. Pro srovnání s ostatními systémy značně stupňuje provozní hodiny v úsporném režimu. Pro ještě větší energeticky úspornější systém má další úsporný provozní režim, a to rozšířené volné chlazení. Zařízení pracuje pomocí suchého chladiče a čerpadla s proměnnými otáčkami. Prodlužuje dobu chlazení a snižují se tím výrazně provozní náklady. Toto dynamické řízení omezuje na minimum kompresorové chlazení. Celý systém pracuje dynamicky, to znamená, že vykonává činnost bez předem zadaných parametrů a zvolí vždy ten energeticky nejúčinnější systém. Mezi výhody dynamického nepřímého chlazení patří systém, který volí provozní režim dle aktuální tepelné zátěže v ochlazované místnosti. Účinnost kompresorového chlazení stoupá se smíšeným režimem. Energetická úspora je až 60%. Zde (Obr.29, Obr.30, Obr.31), jsou příklady chlazení při zaplněné místnosti, při odlišné venkovní teplotě [13].

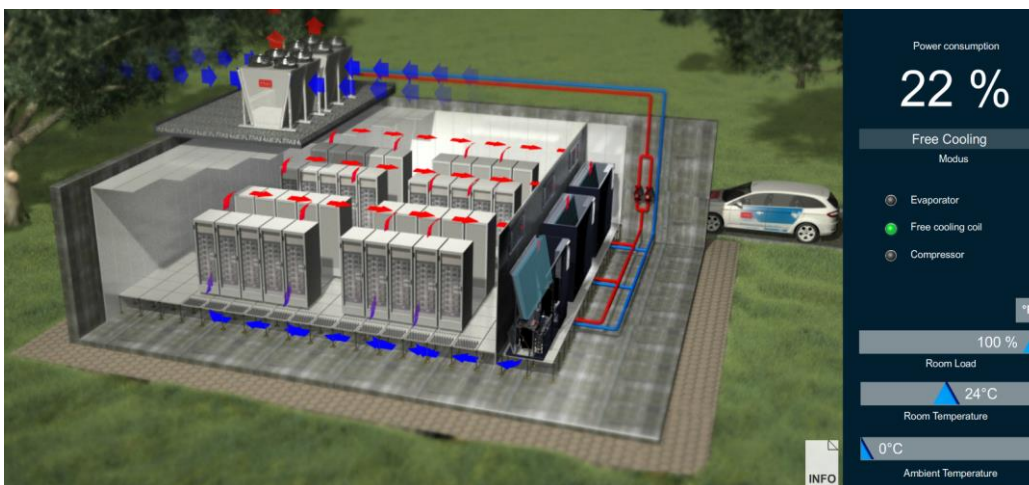




Obr.29 Kompresorové chlazení při venkovní teplotě 40°C



Obr.30 Kompresorové a volné chlazení při venkovní teplotě 20°C



Obr.31 Volné chlazení při venkovní teplotě 0°C [9]

### 3.3.4 Adiabatické chlazení

Adiabatické chlazení využívá princip odpařování vody. Teplo, které je nutné pro odpařování vody je odebíráno z teplého vzduchu v místnosti datového centra.



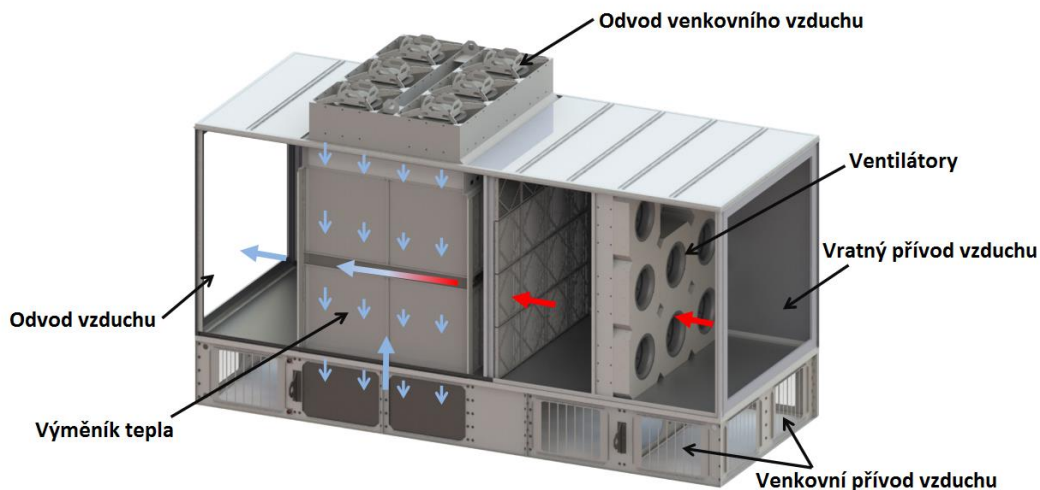
**Obr.32** Příklad instalace adiabatického systému chlazení datových center [15]

Existují i různé způsoby odpařování. Jedním z nich je odpařování pomocí ultrazvukového zvlhčovače, který vytvoří velmi drobné vodní kapky. Dále s pomocí rozstřikovacího systému, anebo se vzduch prožene skrz navlhčené podložky. Systém vlhkých podložek se suchými chladiči je nejpoužívanější. Způsob ovládní systému je velice jednoduchý, ale zvyšuje spotřebu ventilátoru, kterou způsobují odpory při proudění vzduchu. Rozprašovací systémy se běžně používají v chladicích věžích a ultrazvukové nalezneme v leteckém průmyslu. Existují dva typy tohoto chlazení, a to přímé a nepřímé adiabatické chlazení [15].

Přímé adiabatické chlazení je režim, jehož přiváděný venkovní vzduch se předchlazuje adiabatickým vlhčením. Následkem se výrazně zvyšuje podíl volného chlazení a omezuje kompresorový provoz. Energetická účinnost se tak zvyšuje

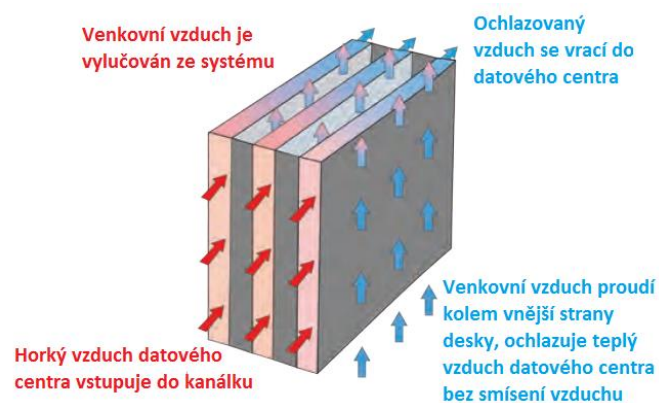
Nepřímé adiabatické chlazení zvlhčuje venkovní vzduch před vstupem do vzduchového výměníku a tím snižuje jeho teplotu. Proto teplý vzduch z vnitřního prostoru

může být lépe odváděn pomocí venkovního vzduchu. Energetická účinnost chlazení se zvyšuje díky cirkulaci vnitřního vzduchu přes výměník. Vnitřní cirkulační vzduch se nemísí s vnějším vzduchem [13].



**Obr.33** Zařízení nepřímého adiabatického chlazení [15]

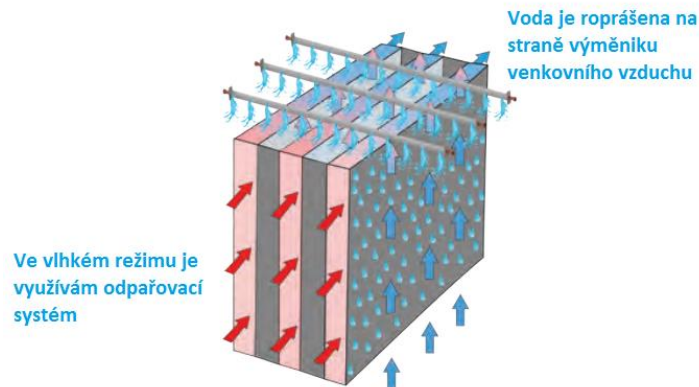
Během chladné sezóny je venkovní vzduch schopen zchladiť vzduch v datovém centru bez pomoci odpařovacího systému. I když je venkovní teplota mírně teplá až studená, může být použita pouze pro chlazení vzduchu v datovém centru. Suchý režim (Obr.34) se s větší pravděpodobností může používat každý večer, i v průběhu léta.



**Obr.34** Suchý režim

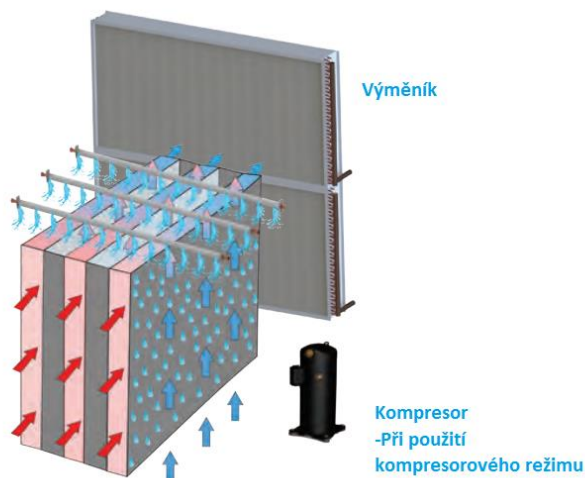
Systém odpařování je využit v průběhu teplé sezóny. Režim mokrého provozu (Obr.35) platí, když je teplota okolí vyšší. Vyžaduje to poměrně suché odpařovací chlazení, jež účinně snižuje teplotu vzduchu.





**Obr.35 Mokrý režim**

V extrémní povětrnostní situaci se používají systémy kompresorové DX, nebo chlazenou vodu CW. Tento pomocný režim se používá, jestliže jsou okolní teplota či vlhkost velmi vysoké. DX a CW systém snižuje účinnost chlazení při odpařování a potřebuje „upravit“ chlazení z tohoto systému.

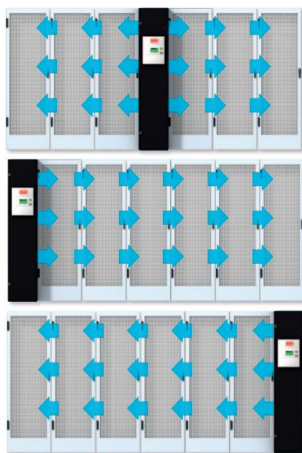


**Obr.36** Pomocný režim kompresorové DX a chlazené vody CW

Adiabatické systémy jsou nejlépe realizovány v suchých klimatických oblastech, ale v dnešní době se používají takřka kdekoliv. Provozní náklady mohou být drahé, jelikož odpařovací zařízení nejsou levná a voda není zadarmo. Při recyklaci vody se vyžaduje požadavek na posouzení rizika proti chorobám, jako je například legionela. Průběžně se kontroluje sterilizace a úroveň údržby. Je nutno pečlivě zvážit použití adiabatického systému [15].

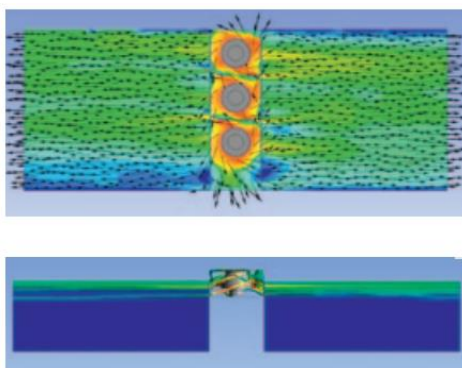
### 3.3.5 Chlazení rozvaděčů

Nové klimatizační řešení, v němž vzduch vede horizontálně. Jednotlivé jednotky jsou umístěny přímo mezi servery. Toto chlazení značně zlepšuje průtok vzduchu, protože chladný vzduch je přiváděn do dvou směrů, a to přes boční výstup a zároveň rovnoměrně před datové skříně. V blízkosti skříně vedou krátké proudy vzduchu a převážně se vylučuje smíšení horkého a studeného vzduchu, což přispívá k vyšší účinnosti [16].



Obr.37 Pomocný režim kompresorové DX a chlazené vody CW

V závislosti na velikosti jednotky může zařízení dodávat chladný vzduch až pro šest serverových skříní. Díky horizontálnímu výstupu vzduchu ve dvou směrech vytváří zařízení rovnoměrný proud vzduchu směřující přímo před rozvaděče. Lamely výfuku jednotky zajišťují, že chladný vzduch se drží přímo u serverových rozvaděčů a nevznikají žádné turbulence.



Výstupní rychlost vycházející z ventilátoru je velmi vysoká, což je červená oblast na obrázku. Vně datových skříní jsou lamely, které zajišťují rovnoměrně rozprostřené vyfouknutí vzduchu v celém prostoru.

Vizualizace pohledu ze shora znázorňuje proudění vzduchu přímo před serverové rozvaděče.

Obr.38 Vizualizace proudění vzduchu [13]



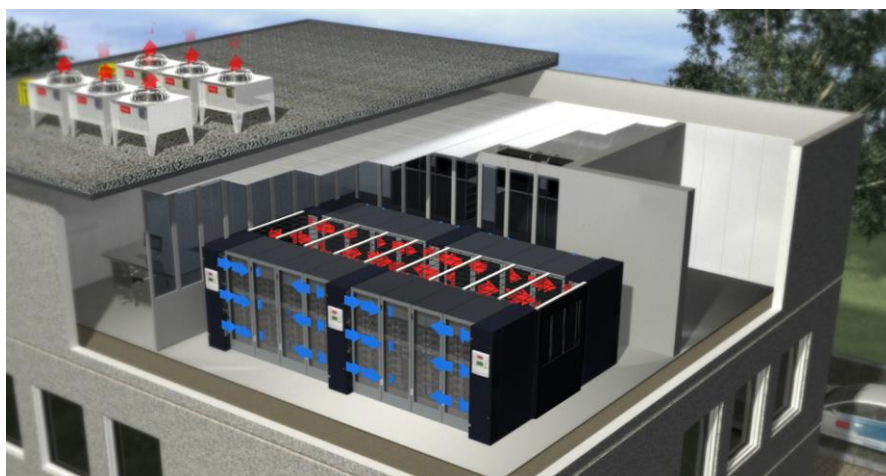
**Obr.39** DX – Kompresorový režim



**Obr.40** CW – Režim chlazené vody

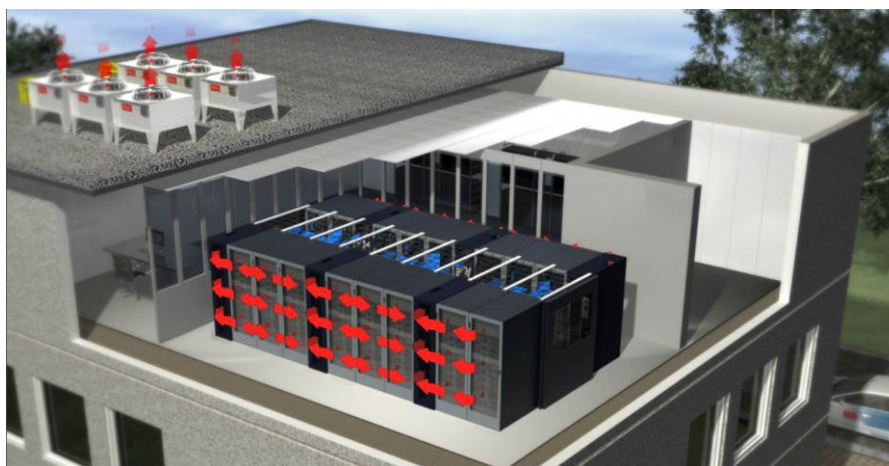


**Obr.41** GE – Nepřímé volné chlazení s nemrznoucí kapalinou



**Obr.42** Horká ulička

Pro uzavřené horké uličky se především používají jednotky s bočním výfukem.



**Obr.43** Studená ulička [16]

Střídavě rozmístěné jednotky s výfukem dopředu se používají pro studené uzavřené uličky. Zajišťují optimální přívod vzduchu protějším rozvaděčům [13].

### 3.3.6 Skříňové chlazení

Na zadní dveře serverového regálu je montován výměník tepla s ventilátorem. Kombinované chladící zařízení přináší úsporu místa. Generované teplo je odváděno přímo u zdroje. Do místnosti datového centra se takto nedostává žádný teplý vzduch. Zajišťuje tím optimální využití prostoru. Je to ideální řešení pro zatížené zařízení a pro prostory bez





zdvojených podlah.



**Obr.44** Skříňové chlazení

Instalace je velmi jednoduchá. Zadní dveře skříně jsou nahrazeny rámem a zařízení může být snadno instalováno [17].



## 4. ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá klimatizací datových center. Konkrétně řeší způsoby chlazení a porovnává rozdíly nejrůznějších systémů, které jsou dostupné. Cílem těchto zařízení je co nejlépe odvádět tepelné zátěže ze sálajících serverových skříní. Výrobci klimatizací využívají nejrůznější fyzikální systémy pro proudění tepelných zátěží, jako jsou zdvojená podlaha, nebo zdvojený strop ke snížení provozních nákladů. Zaměřují se na chlazení datových skříní jak pro malé a střední firmy, tak i pro sálové chlazení velkých datacenter. Neméně efektivní je chlazení pomocí kompresoru. Nejúčinnějším systémem chlazení je volné chlazení, neboli freecooling. Tento účinný systém lze kombinovat i s ostatními režimy chlazení, na základě venkovních teplot. Efektivita a ekologický způsob chlazení se staly pro výrobce klimatizací hlavní prioritou.

## 5. LITERÁRNÍ ZDROJE

- [1] *VELKÁ DATACENTRA: Freecooling* [online]. Praha: Laka CZ, 2018 [cit. 2018-01-08]. Dostupné z: <http://www.laka.cz/faq/velka-datacentra/>
- [2] *DATOVÉ CENTRUM A NON-IT INFRASTRUKTURA: CO VŠE NON-IT INFRASTRUKTURA ZAHHRNUJE?* [online]. PRAHA: COMPLETE CZ, spol. s r.o. | Topinfo CMS, 2018 [cit. 2018-01-16]. Dostupné z: <http://www.datacentra.cz/cz/dc-datove-centrum-infrastruktura>
- [3] *Co je to serverovna?: Co musí obsahovat kvalitní serverovna?* [online]. Hluboká nad Vltavou: WEDOS Internet, 2010 [cit. 2018-01-08]. Dostupné z: <https://datacentrum.wedos.com/a/7/co-je-to-serverovna.html>
- [4] *Vinšová, M. - Inteligentní budovy* [online]. Jak zvýšit efektivitu datových center? [21.09.2012]. Dostupné z: <http://inbudovy.cz>
- [5] *Datová centra Microsoftu jsou dnes hlavně o efektivitě a nízkém PUE: Datová centra v začátcích* [online]. 5. 4. 2012: Best Online Media, 2012 [cit. 2017-12-29]. Dostupné z: <http://www.businessit.cz/> ISSN 1805-0522
- [6] *LakaCZ: ZDVOJENÉ PODLAHY* [online]. Praha: © 2018 Laka CZ, 2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://www.laka.cz/zdvojene-podlahy/>
- [7] *LakaCZ: ZDVOJENÉ PODLAHY* [online]. Praha: © 2018 Laka CZ, 2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: [http://www.laka.cz/wp-content/uploads/STULZ\\_Airflow\\_Management\\_Brochure\\_0916\\_en.pdf](http://www.laka.cz/wp-content/uploads/STULZ_Airflow_Management_Brochure_0916_en.pdf)
- [8] *CYBERAIR 3PRO CW: Innovative chilled water cooling for data centers. Made in Germany.* [online]. Německo: © 2018 STULZ, 2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.stulz.de/en/cyberair-3pro-cw/>
- [9] *LakaCZ: PŘESNÁ KLIMATIZACE* [online]. Praha: © 2018 Laka CZ, 2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://www.laka.cz/presne-klimatizace/>

- [10] *CYBERAIR 3 DX: Advances in energy efficient closed-circuit air conditioning* [online]. Německo: © 2018 STULZ, 2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.stulz.de/en/cyberair-3-dx/>
- [11] *Klimatizace a chlazení: Co je to vlastně Free cooling?* [online]. Praha: CIATIK TRADE, 2012 [cit. 2017-12-30]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/klimatizace-a-chlazení/>
- [12] *CyberAir DFC<sup>2</sup>: Direct Free Cooling for Data Centers: Energy-efficient, reliable and available around the world* [online]. South Africa Pty. Ltd.: © 2018 STULZ, 2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://za.stulz.com/products/precision-ac/cyberair-dfc2/>
- [13] *LakaCZ: PŘESNÉ KLIMATIZACE* [online]. Praha: © 2018 Laka CZ, 2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: [http://www.laka.cz/wp-content/uploads/STULZ\\_Whole\\_Range\\_Data\\_Center\\_Cooling\\_Brochure.pdf](http://www.laka.cz/wp-content/uploads/STULZ_Whole_Range_Data_Center_Cooling_Brochure.pdf)
- [14] *LakaCZ: PŘESNÉ KLIMATIZACE* [online]. Praha: © 2018 Laka CZ, 2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: [http://www.laka.cz/wp-content/uploads/STULZ\\_Indirect\\_Free\\_Cooling\\_DFC\\_Brochure.pdf](http://www.laka.cz/wp-content/uploads/STULZ_Indirect_Free_Cooling_DFC_Brochure.pdf)
- [15] *STULZ IECE: Indirect Evaporative Cooling Equipment (STULZ leCE) embodies STULZ' commitment to efficiency.* [online]. Německo: © 2018 STULZ, 2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <https://www.stulz-usa.com/en/precision-cooling-outdoor/indirect-evaporative-cooling-equipment/>
- [16] *Laka CZ: Chlazení rozvaděčů rack* [online]. Praha: © 2018 Laka CZ, 2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: <http://www.laka.cz/chlazení-rozvadecu-rack/>
- [17] *Laka CZ: Chlazení rozvaděčů rack* [online]. Praha: © 2018 Laka CZ, 2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z: [http://www.alexclimalland.ro/wp-content/uploads/2017/07/STULZ\\_CyberRack\\_Brochure\\_0212\\_en.pdf](http://www.alexclimalland.ro/wp-content/uploads/2017/07/STULZ_CyberRack_Brochure_0212_en.pdf)