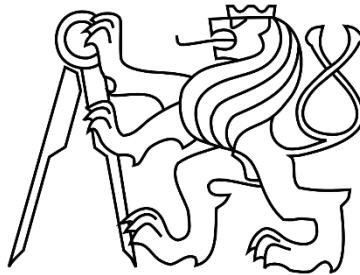


České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh chlazení datového centra a vzduchotechniky
přilehlých kanceláří

Autor: Bc. Petr Mísař

Vedoucí práce: Ing. Daniel Adamovský, PhD.

Rok obhajoby: 2018/2019



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Mísař Jméno: Petr Osobní číslo: 424357
Zadávací katedra: katedra technických zařízení budov
Studijní program: Budovy a prostředí
Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Návrh chlazení datového centra a vzduchotechniky přilehlých kanceláří
Název diplomové práce anglicky: Design of data centre cooling and ventilation of neighboring offices

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte prováděcí projekt chlazení datového centra s přilehlými kancelářemi. Stanovte základní vstupní údaje pro návrh. Navrhněte všechny součásti předmětných soustav vč. zdroje chladu, distribuční soustavy, aj. Zpracujte výkresovou dokumentaci, technickou zprávu a výpis prvků. V rozšiřující části zpracujte rešerši na téma chlazení datových center.

Seznam doporučené literatury:


Hruša, P. Optimalizace projektu datových center, diplomová práce, ČZU, 2016.
ASHRAE 2011, Thermal Guideline Classes for Data processing Environments.
ANSI-TIA/EIA 942A, Data centre certification.

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Daniel Adamovský, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 2.10.2018

Termín odevzdání diplomové práce: 6.1.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


Podpis vedoucího práce



Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

2.10.2018

Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že diplomovou práci na téma „Návrh chlazení datového centra a vzduchotechniky přílehlých kanceláří“ jsem vypracoval samostatně a veškerou použitou literaturu a další prameny jsem řádně označil a uvedl v příloženém seznamu.

V Praze dne:

Podpis.....

Poděkování:

Touto cestou bych rád poděkoval panu Ing. Danielu Adamovskému, PhD. za jeho ochotu, trpělivost, připomínky a cenné rady, které mi během vedení mé práce poskytoval.

Obsah

A.	TEORETICKÁ ČÁST	1
A.1	Úvod.....	2
A.2	Datová centra	2
A.2.1	Charakteristika datového centra.....	3
A.2.2	Standardy datových center.....	3
A.2.3	Technologie.....	4
A.2.4	Tepelná zátěž a relativní vlhkost.....	5
A.2.5	Energetická náročnost.....	6
A.2.5.1	Možnosti úspor.....	7
A.2.6	Hodnocení energetické náročnosti	7
A.2.6.1	PUE - Power usage effectiveness	7
A.2.6.2	DCiE (Data Center Infrastructure Efficiency)	9
A.2.7	Návrhová kritéria	9
A.3	Vnitřní architektura datových sálů.....	9
A.3.1	Teplé a studené uličky	10
A.3.1.1	Otevřené uličky.....	10
A.3.1.2	Uzavřené uličky	10
A.3.2	Distribuce vzduchu do jednotlivých uliček.....	11
A.3.2.1	Zdvojená podlaha.....	11
A.3.2.2	In-row jednotky.....	12
A.3.2.3	Cooltop jednotky.....	12
A.4	Chladicí systémy.....	13
A.4.1	Zdroje chladu	14
A.4.1.1	Kompresorové chlazení	14
A.4.1.2	Volné chlazení (free cooling).....	16
A.4.2	Distribuce chladu	18
A.4.2.1	Chladicí média	18

A.4.3	Využití chladících systémů v datových centrech.....	20
A.4.3.1	DX systém – přímý výpar chladiva	20
A.4.3.2	Přímý free cooling chladivem.....	21
A.4.3.3	DW systém – vodní chlazení	22
A.5	Aktuální trendy a technologický vývoj.....	23
A.5.1	Kryptoměny	24
A.5.1.1	Technologie pro těžení kryptoměn	24
A.5.1.2	Chlazení	25
B.	VÝPOČTOVÁ ČÁST – PROJEKT VZDUCHOTECHNIKY.....	27
B.1	Bilance průtoku vzduchu	28
B.2	Výpočet tepelné zátěže	28
B.2.1	Produkce tepla lidmi Q_l	28
B.2.2	Produkce tepla svítidly Q_{sv}	29
B.2.3	Produkce tepla technologiemi.....	30
B.2.4	Produkce tepla od elektronického vybavení Q_e	30
B.2.5	Prostup tepla oknem konvekcí Q_{ok}	30
B.2.6	Prostup tepla oknem radiací Q_{or}	31
B.2.7	Celková tepelná zátěž	31
B.3	Návrh koncových spotřebičů chladu.....	31
B.4	Dimenzování a výpočet tlakových ztrát.....	31
B.4.1	Tlakové ztráty třením $\Delta p_{tř}$	31
B.4.2	Tlaková ztráta vřazenými odpory Δp_m	32
B.4.3	Celková tlaková ztráta Δp_z	32
B.5	Výpočet hluku v potrubí	33
C.	VÝPOČTOVÁ ČÁST – PROJEKT CHLAZENÍ.....	34
C.1	Výpočet tepelné zátěže	35
C.2	Bilance provozních režimů chladicí jednotky.....	35
C.3	Návrh kondenzační jednotky	36

C.4	Bilance zásobování vodou pro adiabatické chlazení	38
Závěr		40
Použité zdroje.....		41
Seznam použitých zkratk a označení		44
Seznam obrázků a tabulek		45
Seznam příloh		47

Anotace:

Tato diplomová práce se zabývá návrhem chlazení datového centra a vzduchotechniky přilehlých kanceláří. V teoretické části je obecně rozebrána problematika chlazení datových center a jsou představeny různé možnosti chlazení. Výsledkem výpočtové části je návrh systému chlazení a vzduchotechniky včetně potrubních rozvodů a distribuce vzduchu. Projektová dokumentace je zpracována ve stupni dokumentace pro provedení stavby.

Klíčová slova: datové centrum, chlazení, vzduchotechnika, tepelná zátěž, zdroj chladu, adiabatické chlazení, volné chlazení

Annotation:

This diploma thesis deals with design of data centre cooling and ventilation of neighboring offices. In the theoretical part, the issue of cooling of data centres is generally discussed and various possibilities of cooling are introduced. The outcome of a computational part is design of cooling and ventilation systems including piping and air distribution. The project documentation is processed at the level of documentation for realisation of construction.

Keywords: data centre, cooling, ventilation, thermal load, source of cold, adiabatic cooling, free cooling

Návrh chlazení datového centra a vzduchotechniky
přilehlých kanceláří

A. TEORETICKÁ ČÁST

A.1 Úvod

Teoretická část této práce charakterizuje datová centra v návaznosti na chladicí systémy používané pro technologické chlazení. V prvních kapitolách je vysvětleno, co je to datové centrum, jaké technologie se do datových center umísťují a jaké požadavky jsou na datová centra kladeny. Hlavní část této práce tvoří rozbor možných způsobů chlazení datových center a jejich integrace do vnitřní architektury datových sálů. Představeny jsou běžné způsoby chlazení s ohledem na maximální možnou efektivitu a úsporu energie. V závěrečných kapitolách je pak pojednáno o nových technologiích v oblasti IT a s nimi spojený rozvoj netradičních nových metod chlazení, které se dostávají na trh. Cílem této části je zpracovat ucelený přehled o možnostech chlazení datových center, který bude vodítkem pro zpracování projektové části této práce.

A.2 Datová centra

Datová centra jsou prostory o různé velikosti sloužící k ukládání počítačových technologií a technologií spojených s jejich provozem. Jedná se tak především o ukládání počítačových serverů, telekomunikačních technologií a různých informačních technologií. Datovým centrem může být prostor o velikosti jednoho datového rozvaděče až po celé budovy, kde jednotlivé technologie zabírají podlahovou plochu celých pater. [1]



Obrázek 1: DC7 - Datové centrum T-mobile [2]

A.2.1 Charakteristika datového centra

Hlavním specifikem těchto prostor je nepřetržitý provoz technologií, čímž jsou kladeny vysoké nároky na řešení dílčích systémů spojených s jejich provozem. Velmi často jsou v datových centrech uložena kritická data, a musí tak být zajištěna jejich maximální bezpečnost. Dostupnost takto důležitých dat může dosahovat rozsahu od 99.671 % až 99.995 % (jinými slovy nedostupnost od maximálně 28 hodin až po 26 minut za rok). Především se jedná o zajištění napájení, ochranu proti vyhoření či krádeži nebo zabezpečení objektu proti povodním. Požadavky na takové zabezpečení definují normy, především pak ANSI-TIA/EIA 942A. [3]

„Seznam vybraných používaných bezpečnostních prvků:

- *Požární ochrana – detekce požáru, protipožární dveře a další protipožární opatření*
- *Ochrana proti vyplavení a povodním – umístění datového centra mimo záplavové zóny a další protipovodňová opatření*
- *Konektivita a připojení k internetu – vysoká úroveň připojení na páteřní síť internetu a jištění výpadku připojení*
- *Nepřetržitě elektrické napájení – ochrana proti výpadku elektřiny, záložní zdroj napájení*
- *Fyzické zabezpečení prostor – přístup do prostor, autorizace osob, zajištění proti vniknutí neoprávněných osob nebo proti poškození či jinému útoku*
- *Bezpečnostní monitoring – 7 dní v týdnu, 24 hodin denně, bezpečnostní kamery, detektory pohybu, indikátory dveří, CCTV“ [3]*

A.2.2 Standardy datových center

Aby bylo možné popsat, jakých parametrů mají datová centra dosahovat, rozdělila norma ANSI-TIA/EIA 942A datová centra do 4 kategorií. Tyto kategorie zároveň slouží jako vodítko pro zákazníky, kteří tak mají garantovanou určitou kvalitu nabízené služby v podobě bezpečného uložení jejich dat. Jednotlivé kategorie jsou označeny TIER I až TIER IV, přičemž nejméně bezpečná jsou datová centra spadající do TIER I.

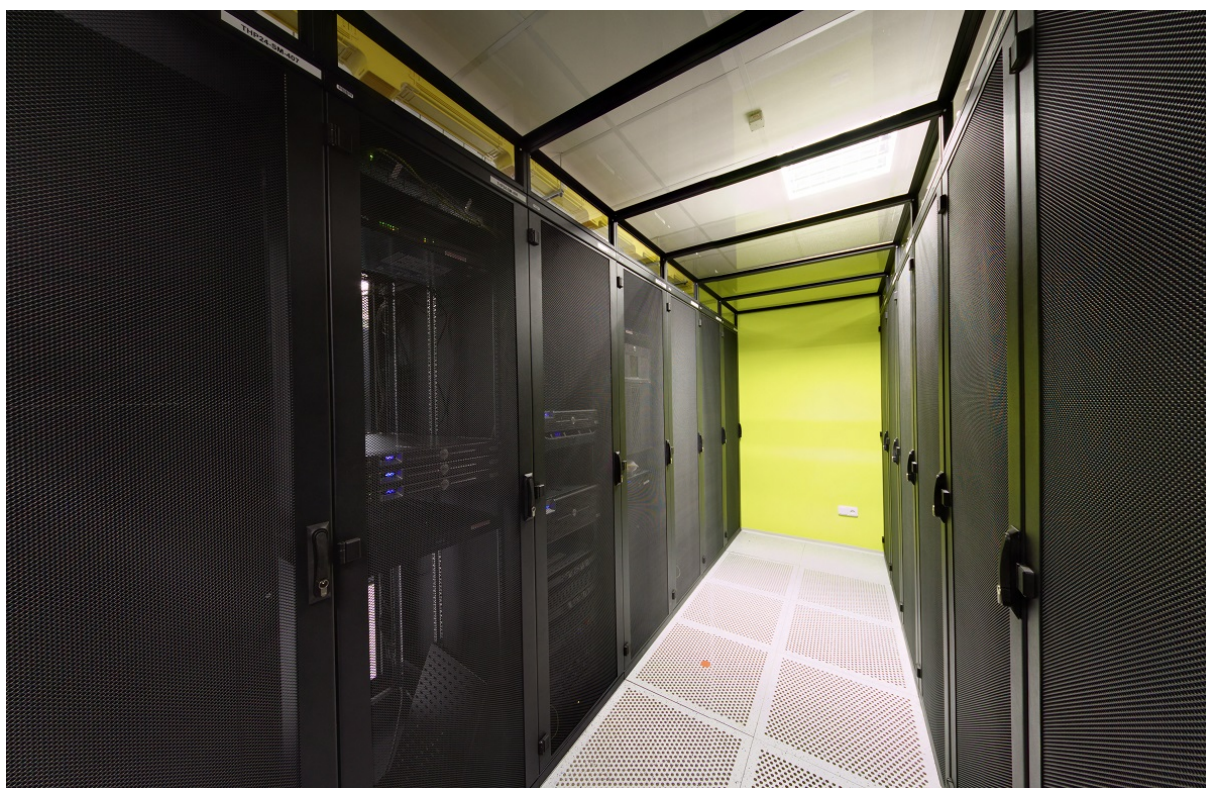
- TIER I.: Datové Centrum bez redundantních prvků, garantuje 99,6 % dostupnost (průměrná doba výpadku je 28,8 hodiny za rok).
- TIER II.: DC s jediným napájecím a chladícím distribučním procesem, který má na sebe navázanu podporu redundantních prvků. DC poskytuje 99,7 % dostupnost a průměrná doba výpadku je 22,0 hodin za rok.
- TIER III.: DC obsahující záložní bezpečnostní systém, resp. více aktivních napájecích a chladících prvků, a to včetně redundantních komponent, dostupnost dosahuje minimálně 99,98 % (průměrná doba výpadku je 1,6 hodiny za rok).

- TIER IV: Nejlépe zabezpečené DC, nalezneme v něm více aktivních napájecích a chladících prvků, včetně redundantních komponent a systémy prevence výpadků s dostupností 99,99 % (průměrná doba výpadku je 15 minut za rok). [4]

Certifikace datových center podle ANSI-TIA/EIA 942A se ale zabývá pouze technologickými částmi, resp. jejich redundancí a s tím spojenou spolehlivostí. Dále už ale neřeší zabezpečení na úrovni fyzické. Nijak tedy neurčuje, že musí být datové centrum zajištěno proti vniknutí cizí osoby nebo třeba proti přírodní katastrofě. Pro tento typ certifikace tak lze využít například evropského standardu datových center IRMS DataCenter Certification. [5]

A.2.3 Technologie

Jak již bylo řečeno v předcházejí kapitole, datové centrum je prostor pro ukládání technologií. Co si ale pod pojmem počítačové technologie představit? Jedná se nejčastěji o počítačové servery – tedy diskové uložiče s kabeláží propojené přes switche. Tyto servery musí být napájeny elektrickou energií, při čemž téměř 100 % celkového elektrického příkonu přetransformují na energii tepelnou. Jednotlivé servery se nejčastěji vyrábí v typizovaných velikostech o výšce násobcích jednotky „U“, přičemž 1U = 1,75 palce = 44,45 mm. Nejčastěji používaná šířka serverů v České Republice je 19 palců, tedy 483 mm.



Obrázek 2: Technologie umístěna do racků [2]

Pro mechanickou ochranu, snadnou montáž a lepší prostorovou organizaci technologií se servery ukládají do racků. Jedná se skříně, které jsou konstruovány přesně na standardní velikost serverů, přičemž nejvíce se využívají racky o šířce 19 palců a výšce 42 U (1970 mm). Pro odvedení tepelné zátěže jsou servery vybaveny malými ventilátory podobnými ventilátorům ve stolních počítačích.

A.2.4 Tepelná zátěž a relativní vlhkost

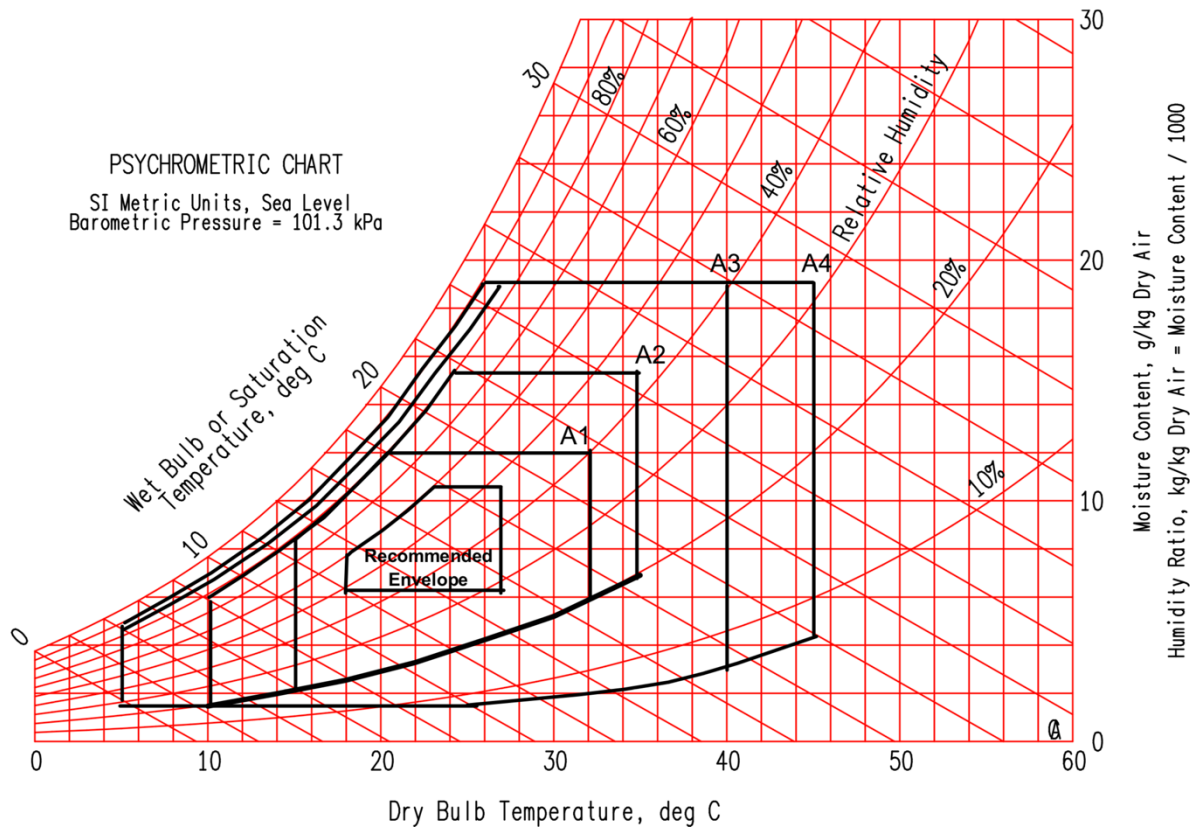
Stejně jako zajištění bezpečnosti v oblasti napájení nebo třeba ochrany proti krádeži je nezbytně nutné zajistit efektivní a stabilní systém chlazení. Dnešní technologie jsou oproti minulosti velmi výkonné, dosahují velmi malých rozměrů a do běžného racku se vejdou až desítky počítačových serverů. To přináší výhodu jak pro zákazníky, kteří jsou schopni svá důležitá data shromažďovat na jednom místě, tak pro majitele datových center, kteří pronajímají zákazníkům jednotlivé racky. Běžně se tak pohybuje tepelný výkon racků do 10 kW/m². To při běžném rozmístění technologií v místnosti tvoří tepelnou zátěž zhruba 2-3 kW na m² podlahové plochy. [6]

Vývoj technologií ale nepokročil jenom v otázce jejich vlastního výkonu, ale také v teplotních rozmezech, za jakých jsou schopny efektivně fungovat. Stále ale platí, že čím nižší teplota v místnosti je, tím efektivněji dokáží dané technologie pracovat (tzn. s menší spotřebou elektrické energie, nižší poruchovostí nebo třeba schopností rychleji zpracovávat matematické výpočty). Správný návrh datového centra je tedy o bilanci provozních teplot z pohledu efektivnosti fungování technologií a efektivnosti chlazení. Zatímco počítačové servery pracují lépe za nižších teplot, pro chlazení jsou výhodnější teploty vyšší. Optimální teplota je závislá na mnoha parametrech. Vhodné rozmezí teplot ale stanovují některé normy, při čemž nejběžněji se používá americká směrnice ASHRAE. Ta udává teploty v rozmezí 18-27 °C. Oproti teplotním rozsahům používaným v minulosti tak došlo k nárůstu využitelné teploty až o 8 °C. [6]

Kromě ideálního rozmezí teplot musí být dodržována také relativní vlhkost. Ta se obdobně jako teplota významně podílí na životnosti zařízení a účinnosti jeho provozu. Pro splnění standardů ASHRAE je nutné dodržet obě kritéria zároveň. Dále pak směrnice udává jednotlivé kategorie podle požadavků právě na teplotu a vlhkost.

Classes (a)	Equipment Environmental Specifications							
	Product Operations (b)(c)					Product Power Off (c) (d)		
	Dry-Bulb Temperature (°C) (e) (g)	Humidity Range, non-Condensing (h) (i)	Maximum Dew Point (°C)	Maximum Elevation (m)	Maximum Rate of Change (°C/hr) (f)	Dry-Bulb Temperature (°C)	Relative Humidity (%)	Maximum Dew Point (°C)
Recommended (applies to all A classes, evaluate ITE metrics in this paper for conditions outside this range)								
A1 to A4	18 to 27	5.5°C DP to 60% RH and 15°C DP						
Allowable								
A1	15 to 32	20% to 80% RH	17	3050	5/20	5 to 45	8 to 80	27
A2	10 to 35	20% to 80% RH	21	3050	5/20	5 to 45	8 to 80	27
A3	5 to 40	-12°C DP & 8% RH to 85% RH	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 85	27
A4	5 to 45	-12°C DP & 8% RH to 90% RH	24	3050	5/20	5 to 45	8 to 90	27
B	5 to 35	8% RH to 80% RH	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29
C	5 to 40	8% RH to 80% RH	28	3050	NA	5 to 45	8 to 80	29

Tabulka 1: Kategorie datových center dle ASHRAE 2011 Thermal Guideline Classes [7]



Graf 1: Graf kategorií datových center dle ASHRAE 2011 Thermal Guideline Classes [7]

A.2.5 Energetická náročnost

Vývoj technologií a jejich zvyšující se výkon, ale nemá přímý vliv pouze na podružné systémy zajišťující jejich provoz na úrovni datového centra, ale také na samotnou výrobu elektrické

energie. Například pouze datová centra ve Spojených státech amerických spotřebují ročně 90 miliard kWh elektrické energie. Pro lepší představu, na výrobu takového množství elektrické energie je potřeba přibližně 34 uhelných elektráren. Aktuálně dle dostupných dat tvoří spotřeba elektrické energie datovými centry asi 3 % z celkové spotřeby elektrické energie na zemi. Nejnovější výzkumy navíc potvrzují exponenciální růst ve výstavbě nových technologických budov a předpokládají, že právě provoz informačních technologií bude jedním z největších spotřebitelů energie vůbec. [8][9]

A.2.5.1 Možnosti úspor

Jak zabránit rozšiřující se energetické náročnosti na provoz informačních technologií je otázkou velmi aktuální a je jedním ze zásadních parametrů určujících kvalitu daného centra. Energetická náročnost je přímo spojena s finanční náročností na provoz, a právě tento aspekt je často pro provozovatele datového centra ještě důležitější než například ochrana životního prostředí. Cílem tedy je minimalizovat příkony jednotlivých zařízení, optimalizovat řízení provozu centra a využívat obnovitelné zdroje energie.

Co se týče chlazení, vzniká v této oblasti veliký prostor pro úspory. Provoz nevhodně řešeného systému chlazení a ventilace může spotřebovat více energie než všechny informační technologie. Požadovaných úspor lze dosáhnout například využitím volného chlazení v co možná největší míře, vhodným rozmístěním technologií sestavených do tzv. teplých a studených uliček, použitím moderních chladících prvků se schopností měnit otáčky motoru nebo třeba propracovaným systémem měření a regulace. [10] Jednotlivé části jsou podrobně vysvětleny v dalších kapitolách této práce.

A.2.6 Hodnocení energetické náročnosti

Abychom mohli hodnotit energetickou náročnost, je nutné definovat určité ukazatele, které jsou jednoznačně definované a dá se podle nich tedy objektivně porovnat energetická náročnost jednotlivých datových center. Těchto ukazatelů existuje celá řada a každý ukazatel se zaměřuje na jinou oblast efektivity provozu.

A.2.6.1 PUE - Power usage effectiveness

Nejběžněji se dnes pro hodnocení datových center používá hodnota PUE, vyvinutou sdružením The Green Grid. Jedná se o jednoduché vyjádření energetické efektivity datového centra. Hodnota PUE je podílem celkového příkonu datového centra ku energii potřebné na provoz IT technologií. Čím nižšího PUE je tedy dosaženo, tím energeticky efektivněji je datové centrum provozováno. V ideálním případě by samozřejmě hodnota PUE dosahovala hodnoty 1,0. [11]

$$PUE = \frac{\text{celkový příkon datového centra}}{\text{energie potřebná pro IT zařízení}}$$

Běžná hodnota PUE, kterou dnes datová centra dosahují je kolem 1,1 až 1,5. Tato hodnota je pro provozovatele důležitým faktorem pro získání nových zákazníků. Ti potom mají jistotu, že je datové centrum provozované maximálně efektivně a díky nižšímu PUE klesá i cena za pronájem racku. Například jeden z nejznámějších provozovatelů datových center v České republice TTC Teleport vypočítává pro zákazníky cenu za pronájem racku dle následující metodiky:

Cena kolokační služby (pronájmu prostoru) se zpravidla skládá:

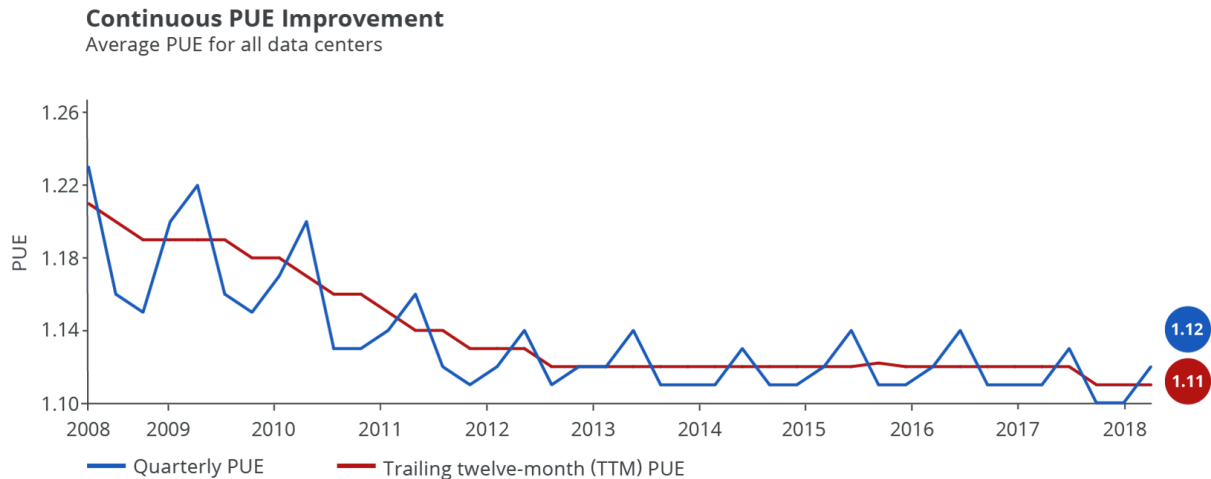
- z jednorázového (instalačního poplatku),
- z měsíční ceny za rackovou pozici (pravidelný paušální měsíční poplatek),
- z ceny skutečně spotřebované elektrické energie (pohyblivá složka ceny).

Matematický vztah pro výpočet pohyblivé složky ceny:

*Účtovaná cena za 1 kWh [Kč] = nákupní cena poskytovatele za 1 kWh [Kč] * PUE (měsíční)*
[12]

Z důvodu maximální efektivity provozu tak často najdeme v provozních řádech jednotlivých provozovatelů datových center pokyny, jakým způsobem se na sále musí zákazník chovat, aby svým chováním a provozováním technologie tuto efektivitu nesnižoval. Z provozního řádu TTC Teleport se jedná například o minimalizaci pobytu osob na sále, zajištění správného průtoku vzduchu přes technologie (nebránit volném prostoru pro nasávání a výfuk vzduchu), udržování čistoty, dodržování maximálního elektrického příkonu racků apod. [13]

Jedním z největších majitelů datových center je společnost Google. Tato společnost klade velký důraz na efektivitu provozu těchto center a může se pyšnit jedním z nejnižších PUE vůbec. Google sbírá data o PUE vlastních datových center od roku 2008 a tento ukazatel jim jednoznačně napovídá, kde mají potenciál k ušetření provozních nákladů. V součtu tak všechna centra Googlu dosahují průměrného ročního PUE 1,11. V případě, že bychom se ale zaměřili na ta nejmodernější z nich, nalezneme u nich hodnoty PUE kolem 1,06. [14]



Graf 2: Průměrná hodnota PUE pro data centra Google [14]

A.2.6.2 DCiE (Data Center Infrastructure Efficiency)

Občas se v praxi využívá také hodnocení dle DCiE. Tato hodnota je inverzní hodnotou k PUE a představuje účinnost infrastruktury datového centra. [11]

$$DCiE = \frac{\text{energie potřebná pro IT zařízení}}{\text{celkový příkon datového centra}} = \frac{1}{PUE}$$

Jedná se o podíl energie potřebné pro IT zařízení ku celkovému příkonu datového centra. Čím je tedy hodnota DCiE vyšší, tím účinnější infrastruktura datového centra je.

A.2.7 Návrhová kritéria

Prvním kritériem při návrhu chlazení datového centra je volba kategorie datového centra dle ANSI-TIA/EIA 942A, které chceme pomocí návrhu dosáhnout. Ta nám například určuje, jaké redundance bychom v systému chlazení měli dosáhnout. Dalším bodem je určení tepelné zátěže prostoru. Systém chlazení se zpravidla dimenzuje na 100 % příkonu technologických zařízení. Tedy je-li například v sále příkon všech serverů 100 kW, chlazení musí být dimenzováno na 100 kW chladicího výkonu. Posledním zásadním kritériem je volba teplotního spádu chlazení a určení limitů vlhkosti (tyto hodnoty vycházejí z doporučení ASHRAE 2011 Thermal Guideline Classes). Při volbě návrhových teplot by mělo být přihlédnuto také k přesným typům technologií použitých v daném datovém sále. To však často v průběhu projekčních prací není známo.

A.3 Vnitřní architektura datových sálů

V předchozích kapitolách bylo pojednáno o technologiích, jejich shromažďování do jednotlivých racků a nutnosti tyto technologie chladit kvůli jejich vysokému tepelnému výkonu.

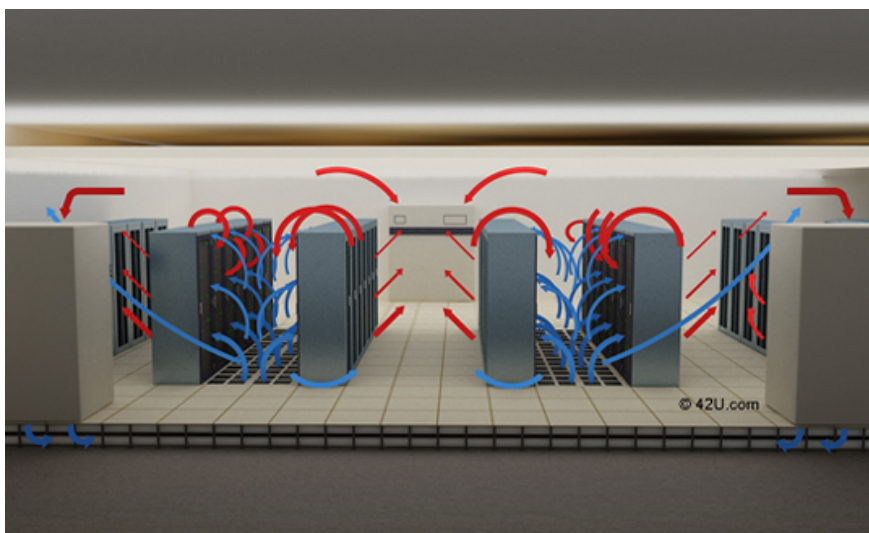
Principem chlazení těchto zařízení je přivést studený chladicí vzduch do prostoru nasávání ventilátorů jednotlivých serverů a jakmile vzduch projde skrze server, kde se ohřeje, tak ho odvézt od zařízení pryč.

A.3.1 Teplé a studené uličky

Aby se vzduch v místnosti volně nemíchal a byl distribuován k jednotlivým rackům co možná nejefektivněji, umísťují se racky do uliček. Racky jsou postaveny čely k sobě, při čemž na jedné straně nasávají studený chladicí vzduch a na druhou stranu ohřátý vzduch vyfukují. Šířka takto vytvořených uliček se dle ANSI-TIA/EIA 942A doporučuje 1,2m (2 dlaždice zdvojené podlahy). [15]

A.3.1.1 Otevřené uličky

Prvním systémem, který se začal v souvislosti se skládáním racků do uliček používat, je systém otevřených chladících uliček. V principu se jedná pouze o vytvoření studené a teplé uličky, jak je popsáno v kapitole výše, při čemž veškerá distribuce vzduchu je závislá na ventilátorech jednotlivých serverů. Ty si vzduch nasávají a distribuují ho do teplé uličky. Tento systém je velmi jednoduchý a nevyžaduje žádné další náklady. Nevýhodou je nežádoucí míchání vzduchu, ke kterému dochází především, když racky nejsou plně obsazeny. Některé ventilátory potom nejsou v provozu a může docházet k promíchání studeného a teplého vzduchu. To má neblahý vliv na efektivitu chlazení a energetickou účinnost celého systému. [15]

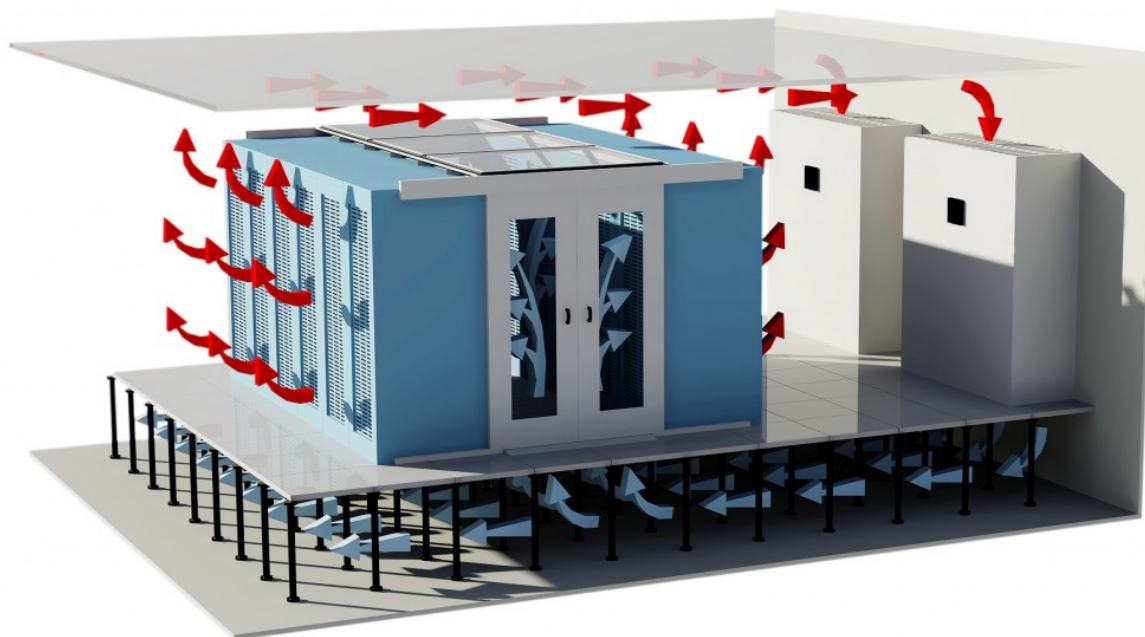


Obrázek 3: Otevřené uličky [16]

A.3.1.2 Uzavřené uličky

Aby se tomuto efektu zabránilo, začaly se využívat uličky uzavřené. Ze studené nebo teplé uličky se vytvoří uzavřený prostor a vzduch je distribuován přímo k technologiím bez nežádoucího úniku nebo promíchání vzduchu. V případě využití studené uzavřené uličky je ve

zbytku sálu vyfukovaný teplý vzduch a v případě uzavřené teplé uličky je zbytek sálu vyplněn studeným chladícím vzduchem. Rozhodnutí, zda využít uzavřené studené nebo teplé uličky, je závislé na mnoha faktorech (tepelný výkon, plocha místnosti, typ technologií, teplota chladícího a vyfukovaného vzduchu) a není jednoznačně dáno, který systém je efektivnější. [15]



Obrázek 4: Uzavřená studená ulička [17]

A.3.2 Distribuce vzduchu do jednotlivých uliček

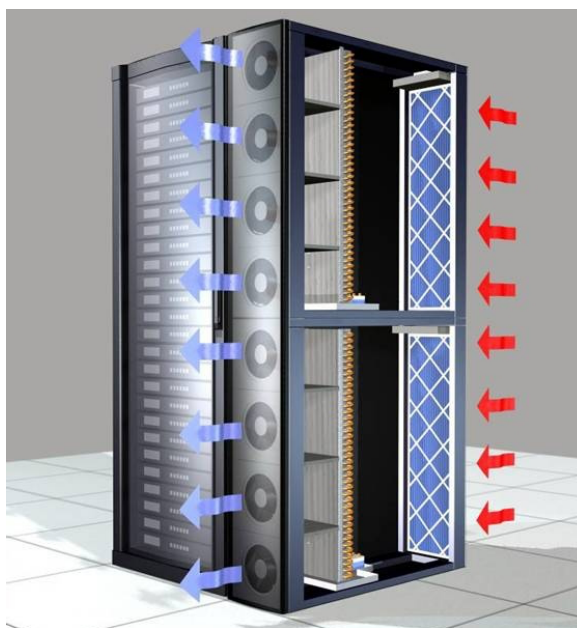
Jakým způsobem dostat chladící vzduch do studených uliček je přímo navázáno na typ zvolených chladících jednotek. Vhodná volba těchto jednotek je základním předpokladem pro správné fungování systému. Výběr vhodného řešení je závislé především na prostorových možnostech sálu, požadovaném chladícím výkonu nebo typu chlazených technologií.

A.3.2.1 Zdvojená podlaha

Jednoznačně nejrozšířenějším typem distribuce vzduchu do studených uliček je využití zdvojené podlahy sálu. V sálech je tento prostor často budován pro vedení veškerých instalací. Podlaha je tvořena ocelovým roštem s rastrem 600 x 600 mm, na kterém jsou umístěny jednotlivé dlaždice. Pro tento typ distribuce vzduchu se používají sálové CRAC jednotky s výfukem do zdvojené podlahy. Ty bývají často umístěny po obvodu místnosti. Teplý vzduch ze sálu je nasáván v horní části chladící jednotky, v jednotce se ochladí a dále je vyfukován do zdvojené podlahy. V místě studené uličky jsou osazeny perforované dlaždice, kterými se vzduch dostává přímo před nasávání technologií. Celý proces je patrný z obrázku 4. [15]

A.3.2.2 In-row jednotky

Další možností, jak studený vzduch přivést do studené uličky je využití chladících in-row jednotek (používá se i označení mezi racková jednotka). Na rozdíl od systému se zdvojenou podlahou, kde dochází k vertikálnímu proudění vzduchu, u použití in-row jednotek vzduch cirkuluje v horizontálním směru. Tyto jednotky jsou vyráběny ve velikostech odpovídající standardním rozměrům rack skříní. To umožňuje umístit jednotku přímo do řady racků. Toto řešení se tak často využívá v případech nízké světlé výšky sálu nebo v sálech, kde není vybudována zdvojená podlaha. Nevýhodou je menší chladicí výkon jednotek z důvodu jejich kompaktních rozměrů nebo třeba nutnost vézt potrubí s chladícím médiem do prostoru sálu (jednotka není umístěna po obvodu místnosti, ale v prostoru mezi racky). Další nežádoucí efekt může nastat tehdy, že jsou v jedné uličce instalovány různé typy technologií. V racku, který přímo sousedí s in-row jednotkou, může být instalován výrazně silnější ventilátor než ve zbylé části a může tak docházet ke „strhávání“ chladícího vzduchu, který se nedostane k ostatním technologiím, které se následně mohou přehřívat. To vede k nutnosti instalovat větší počet méně výkonných jednotek. [15]



Obrázek 5: In-row jednotka [18]

A.3.2.3 Cooltop jednotky

Posledním standardně používaným systémem distribuce vzduchu do studených uliček je pomocí jednotek cooltop. Tyto jednotky se instalují přímo nad racky a nezabírají tak žádnou podlahovou plochu. Ta může být využita pro další IT technologie, čímž dochází k výraznému zvýšení rentability datového centra. Jednotky vyfukují vzduch přímo k technologiím. Chladicí vzduch tak nemusí překonávat žádné výrazné překážky a dlouhé vzdálenosti. Další zásadní

výhodou je, že v sále nemusí být vybudována zdvojená podlaha. Co se týče nevýhod, stejně jako u jednotek in-row, je nutné dovézt chladicí médium přímo k jednotkám, které jsou rozmístěny někde v prostoru sálu.



Obrázek 6: Jednotka cooltop [19]

A.4 Chladicí systémy

V kapitole o vnitřní architektuře datových sálů byly představeny různé typy jednotek, které zajišťují distribuci chladícího vzduchu k rackům. Všechny tyto jednotky jsou vybaveny výměníkem, přes který pomocí ventilátorů proudí vzduch nasávaný ze sálu. Cílem jednotlivých chladících systémů je vytvořit chlad a dopravit ho pomocí chladícího média do výměníku dané jednotky. Typický obraz proudění vzduchu sálovou CRAC jednotkou s výfukem vzduchu do zdvojené podlahy je na obrázku 7.



Obrázek 7: Proudění vzduchu v sálové CRAC jednotce [20]

A.4.1 Zdroje chladu

Prvním krokem k ochlazení vzduchu v datovém sálu je výroba chladu. Výroba dostatečného množství chladu je základním předpokladem pro správné fungování celého systému. Chlad můžeme získat na základě několika principů.

- Adsorpce – tvorba chladu pomocí adsorpce kapaliny do tuhé látky
- Absorpce – tvorba chladu pomocí roztoku obsahující chladivo a zdroje tepla
- Kompresorový okruh – využití změn skupenství chladiva pro získání chladu
- Volné chlazení – využití chladného klima ve venkovním prostředí

V aplikacích pro chlazení datových center se využívají převážně poslední dva zmíněné způsoby.

A.4.1.1 Kompresorové chlazení

Základním systémem v chladících zařízeních je tzv. kompresorový okruh. Jedná se o cyklicky se opakující proces proudění chladiva, které pomocí změny tlaku a skupenství přijímá a odebírá teplo. Soustava obsahuje čtyři základní prvky, kterými jsou výparník, kondenzátor, expanzní ventil a kompresor. Kompresorový okruh lze rozdělit na čtyři fáze.

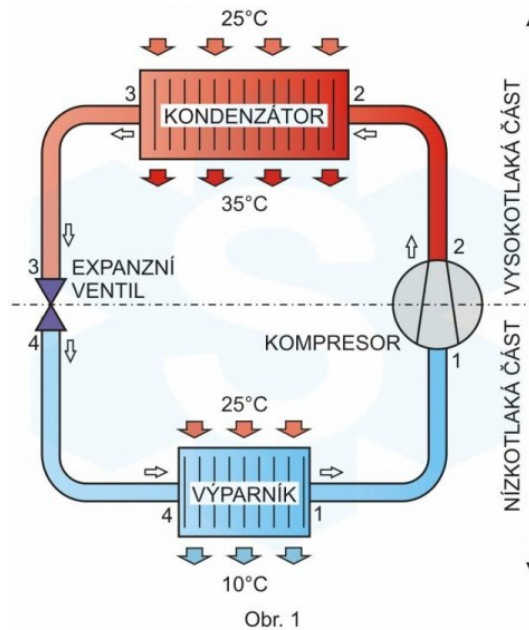
Fáze 1 – komprese: Jak již název napovídá, hlavní úlohu v této fázi hraje kompresor. Ten má za úkol stlačit páry chladiva proudící z výparníku na vysoký tlak. Jedná se o energeticky nejnáročnější část celého okruhu, a proto výrobci kladou vysoký důraz na jejich účinnost. Kompresor bývá umístěn buď v exteriéru nebo je součástí vnitřní jednotky. Nevýhodou

umístění kompresu do vnitřní jednotky je jeho hlučnost. V běžných instalacích pro chlazení obytných prostor je proto toto řešení nevhodné a kompresor je zásadně součástí kondenzační jednotky. To ale neplatí pro technologické chlazení, kde nejsou kladeny přísné požadavky na hluk v místnostech. S výhodou tak může být kompresor součástí vnitřní jednotky, kde je méně namáhán klimatickými změnami a vlivy z venkovního prostředí. [21]

Fáze 2 – kondenzace: Kondenzátor nebo kondenzační jednotka (v případě, že obsahuje i kompresor) slouží k ochlazení stlačených par chladiva, které díky vysokému tlaku dokážou zkondenzovat i za vysokých venkovních teplot. Vhodná návrhová kondenzační teplota není více než o 10 °C vyšší než teplota vzduchu. Standardní návrhová teplota vzduchu je 35 °C. Kondenzační teplotu lze nejvíce ovlivnit velikostí teplosměnné plochy výměníku kondenzátoru. Při zvětšení této plochy dochází k výraznějšímu ochlazení par chladiva a kondenzační teplota proto klesá. V případě využívání chladicí jednotky i v zimním období může kondenzační teplota klesnout až k hodnotě výparné teploty, což zapříčiní vypnutí jednotky kvůli nízkému tlaku v systému (okruh se podchládí). Naopak při malé teplosměnné ploše (často způsobené nečistotami nebo nevhodným návrhem) nebo extrémně vysoké venkovní teplotě může dojít k výpadku jednotky na vysoký tlak. [21]

Fáze 3 – škrcení: Ve třetí fázi prochází zkapalněné chladivo expanzním ventilem. Tento ventil tvoří velice úzký prostor, který zapříčiní rozstříkávání chladiva do výparníku, čímž se výrazně snižuje tlak. [21]

Fáze 4 – vypařování: Poslední fází je vypařování chladiva. Kvůli nízkému tlaku se chladivo dokáže i při relativně nízké okolní teplotě (pokojová teplota 20 °C) vypařovat. Při tomto procesu odebírá teplo vzduchu, který proudí přes výparník a výrazně ho tak ochlazuje. V naprosté většině běžných aplikací je teplota výparníku nižší, než je teplota rosného bodu. Tím dochází ke kondenzaci vodní páry na povrchu výparníku. Vzhledem k tomu, že je výparník umístěn v interiéru, je nutné tento kondenzát odvézt do kanalizace. [21]

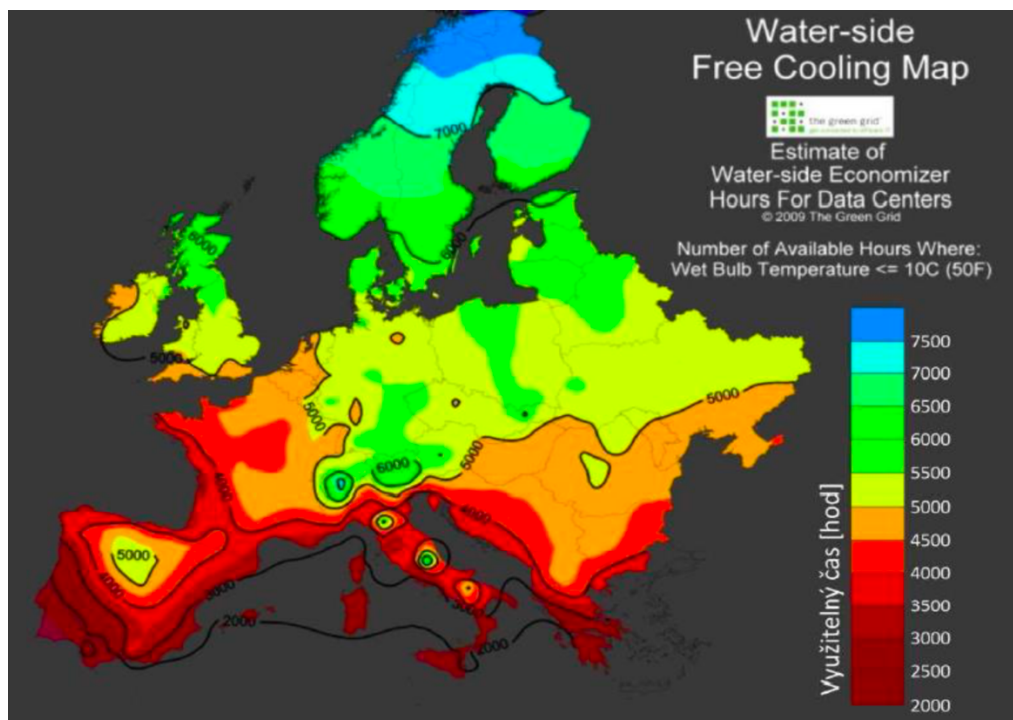


Obrázek 8: Kompresorový cyklus [21]

A.4.1.2 Volné chlazení (free cooling)

Jak již bylo napsáno v prvních kapitolách této práce, specifíkem datových center je jejich nepřetržitý provoz. Vzhledem k tomu, že průměrná roční teplota v České Republice dosahuje zhruba 8 °C, dochází k velkému potenciálu využití jako zdroje tepla venkovní chladný vzduch. Dalším faktorem, který nás motivuje k využití venkovního vzduchu jako zdroje chladu, je vývoj informačních technologií a jejich schopnost efektivně pracovat i za vyšších teplot.

Principem je ochladit vzduch v datovém sálu, který je přiváděn k technologiím, a to s maximální možnou energetickou účinností. V případě, že nevyužíváme kompresorové chlazení (tedy není v provozu kompresor, který je největším spotřebitelem elektrické energie), dochází k výrazným energetickým úsporám. Na mapě Evropy publikované sdružením The Green Grid lze vidět počet hodin v průběhu roku, kdy teplota nepřekračuje 10 °C. [22] V České Republice je tato hodnota přibližně 5 300 hodin v roce. Při použití běžného teplotního spádu vhodného k využití free coolingu (zhruba 14/18 °C) je možné chladit bez použití kompresorového cyklu zhruba 2/3 roku.



Obrázek 9: Teplotní mapa Evropy pro využití freecooling [22]

Vzhledem k přímé závislosti na venkovní teplotě nelze tento systém nazvat plnohodnotným zdrojem chladu jako například kompresorový okruh. V případě, že se teplota venkovního vzduchu blíží požadované teplotě v interiéru, musí dojít k sepnutí kompresoru a free cooling v těchto podmínkách nelze využít.

- **Přímý free cooling**

Principem tohoto způsobu chlazení je nasávání venkovního chladného vzduchu přímo do vnitřní jednotky. Toto řešení lze aplikovat například v jednotkách CRAC, které pomocí speciálního nástavce umí přivádět venkovní vzduch a míchat ho se vzduchem cirkulačním. Toto řešení je velmi přímočaré a jednoduché, avšak skýtá několik problémů. V systému se musí například zajistit filtrace velkého množství venkovního vzduchu, nastávají problémy s udržením vlhkosti vnitřního vzduchu, který je přímo ovlivněn vzduchem venkovním nebo hrozí například nasátí kouře nebo jiného znečištění z venkovního prostoru.

- **Nepřímý free cooling**

Principiálně se jedná o podobné řešení jako u přímého free coolingu – tedy zdrojem chladu je opět venkovní chladný vzduch. V tomto případě ale není vzduch přiváděn přímo do vnitřní jednotky, ale ochlazuje teplotnosné médium, které po ochlazení proudí do výměníku vnitřní jednotky a teprve zde dochází k předání chladu cirkulujícímu vzduchu. Do systému je tak nutné přidat další výměník a rozvody chladicího média, ale vyhneme se problémům spojeným s přímým nasáváním venkovního vzduchu do sálu jako v případě přímého free coolingu.

A.4.2 Distribuce chladu

Další fází v procesu chlazení je přenést chladicí výkon ze zdroje chladu do koncové chladicí jednotky. K tomu se využívají různá chladicí média a potrubní rozvody. Ať už je v daném systému využito libovolného způsobu distribuce, je nutno potrubí tepelně izolovat. Izolace slouží ke snížení tepelných ztrát přestupem tepla z potrubí do okolního prostředí, a především pro zabránění průniku vodní páry k povrchu potrubí. Vzhledem k nízkým teplotám proudícího chladicího média by vodní pára na povrchu potrubí kondenzovala.

A.4.2.1 Chladicí média

V závislosti na použitém zdroji chladu a celkové koncepci chlazení se volí také teplotně odolné médium. V částech systémů, kde není využito kompresorového chlazení, se využívá chladicí vody nebo směsi vody a nemrznoucí kapaliny (v případě venkovních potrubních rozvodů). Tou bývá propylenglykol nebo etylenglykol a jejich koncentrace ve směsi s vodou se pohybuje kolem 35 % s ohledem na minimální návrhovou venkovní teplotu.

Pro kompresorové okruhy jsou využívány různé druhy chladiv, které dokáží měnit své skupenství a pracovat ve velkém rozsahu tlaků. Problémem aktuálně používaných chladiv je jejich dopad na životní prostředí a přísné požadavky pro jejich používání a manipulaci. Tato chladiva podléhají nařízení Evropského parlamentu a rady (EU) č. 517/2014 o fluorovaných skleníkových plynech, které určuje, jakým způsobem má být s chladivem zacházeno.

- **Kontrola těsnosti zařízení**

Jedním z bodů nařízení je předpis o kontrole těsnosti zařízení. Ten provozovateli určuje, jak často má být tato kontrola provedena. Četnost kontrol těsnosti zařízení je přímo závislá na parametru GWP - Global warming potential (potenciál globálního oteplování) a limitem pro kontroly těsnosti je obecně množství 5 tun ekvivalentu CO₂ fluorovaného chladiva. Kontrolu musí provádět zaškolená certifikovaná osoba.

Chladivo	GWP	5 tun ekv. CO ₂ [kg]	50 tun ekv. CO ₂ [kg]	500 tun ekv. CO ₂ [kg]
R-410A	2088	2.39	23.9	239
R-407C	1774	2.82	28.2	282
R134a	1430	3.50	35.0	350
R-32	675	7.41	74.1	741
CO ₂ (R-744)	1	5 000.00	50 000.0	500 000

Tabulka 2: Hodnoty GWP a ekvivalentní množství chladiv

Ekvivalentní hmotnost náplně chladiva se zjistí podle vztahu:

$$m_{x-CO_2} = m_x \cdot GWP_x,$$

kde:

m_x - hmotnost fluorovaného chladiva [kg];

GWP_x - potenciál globálního oteplování [-].

Dle hmotnosti náplně chladiva a podle toho, zda je v rámci zařízení instalován systém detekce chladiva je určována četnost kontrol.

Obsah chladiva [tun ekvivalentu CO ₂]	Systém detekce úniku	Četnost kontrol [měsíce]
5-50	ne	12
5-50	ano	24
50-500	ne	6
50-500	ano	12
500 a více	ne	3
500 a více	ano	6

Tabulka 3: Četnost kontrol zařízení

- **Uvádění na trh a kontrola použití**

Jedním ze zásadních bodů nařízení č. 517/2014 je časové omezení uvádění některých zařízení na trh EU. Přehledně toto omezení zobrazuje tabulka 4.

Výrobky a zařízení	Datum zákazu	
Chladicí a mrazicí zařízení pro domácnost s HFC s GWP 150 a vyšším	1. ledna 2015	
Chladicí a mrazicí zařízení pro komerční použití (hermeticky uzavřená)	s HFC s GWP 2500 a vyšším	1. ledna 2020
	s HCF s GWP 150 a vyšším	1. ledna 2022
Stacionární chladicí zařízení s GWP 2500 a vyšším, jehož provoz je na těchto plynech závislý s výjimkou zařízení určeného pro chlazení pod $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$	1. ledna 2020	
Sdružené centrální chladicí systémy pro komerční použití s výkonem vyšším než 40 kW a chladivem s GWP vyšším než 150, s výjimkou primárního okruhu kaskádních zařízení, kde je povoleno GWP do 1500	1. ledna 2022	
pokojevé klimatizační zařízení (pro přemístování mezi místnostmi), s chladivem s GWP 150 nebo vyšším	1. ledna 2020	
Dělené klimatizační jednotky s vnitřní jednotkou s náplní menší než 3 kg chladiva s GWP 750 a vyšším	1. ledna 2025	

Tabulka 4: Časová omezení uvádění na trh v EU pro jednotlivé kategorie výrobků

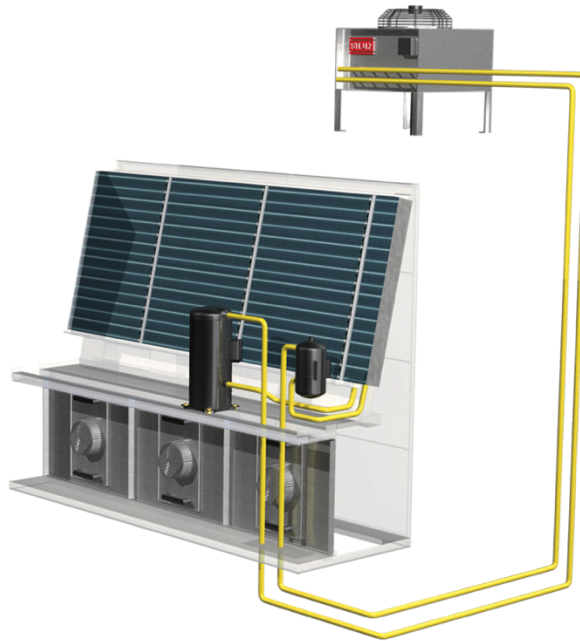
Je patrné, že se EU snaží omezovat používání neekologických chladiv. Nepředvídatelný vývoj na trhu s chladivy jak z pohledu legislativy, tak z pohledu cen, je jednou ze zásadních nevýhod ryze chladivových systémů chlazení. U větších instalací je tak často jako teplotnosné médium využita voda.

A.4.3 Využití chladících systémů v datových centrech

V předchozích kapitolách bylo pojednáno o vnitřních koncových chladících jednotkách, o zdrojích chladu a o možnostech distribuce chladu pomocí různých teplotnosných médií. Otázkou zůstává, jakým způsobem jednotlivé prvky zakomponovat do celkové koncepce chlazení tak, aby bylo finální řešení efektivní, ekologické a ekonomicky výhodné. V následujících kapitolách budou představeny komplexní chladící systémy včetně všech jejich součástí.

A.4.3.1 DX systém – přímý výpar chladiva

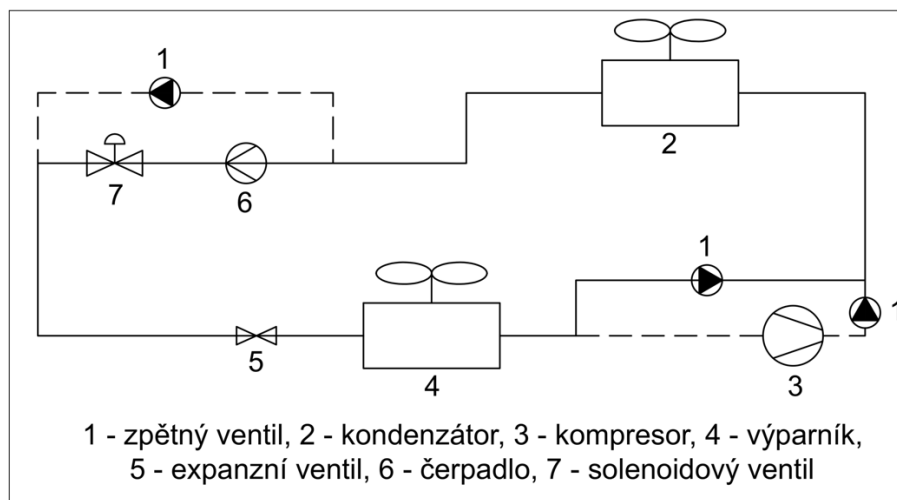
Nezákladnější aplikací je využití přímého ochlazení vzduchu přes výparník. Tento způsob je obdobný menším domovním aplikacím a nevyžaduje žádné další doplňkové zařízení. Součástí vnitřní jednotky je výměník, ve kterém proudí chladivo a tvoří přímo výparník kompresorového okruhu. Hlavní výhodou je jednoduchost celého řešení a absence dalších zařízení jako jsou čerpadla a různé armatury. Za určitou nevýhodu můžeme považovat velké množství chladiva v systému. Potrubní trasa s chladivem musí vést z vnitřní jednotky až k venkovnímu kondenzátoru, což může být u větších aplikací desítky metrů. Tento fakt je při aktuálně rostoucích cenách chladiva velmi pádným argumentem pro zvolení systému jiného. Další nevýhodou je pak nulová možnost využití volného chlazení, což má v předpokládaném nepřetržitém provozu datového centra výrazné dopady na ekonomiku i ekologii provozu. Pro menší chladící výkony a krátké vzdálenosti mezi vnitřní jednotkou a venkovním kondenzátorem je ale především z důvodu nízkých investičních nákladů toto řešení zajímavé.



Obrázek 10: Jednotka přímého výparu chladiva [20]

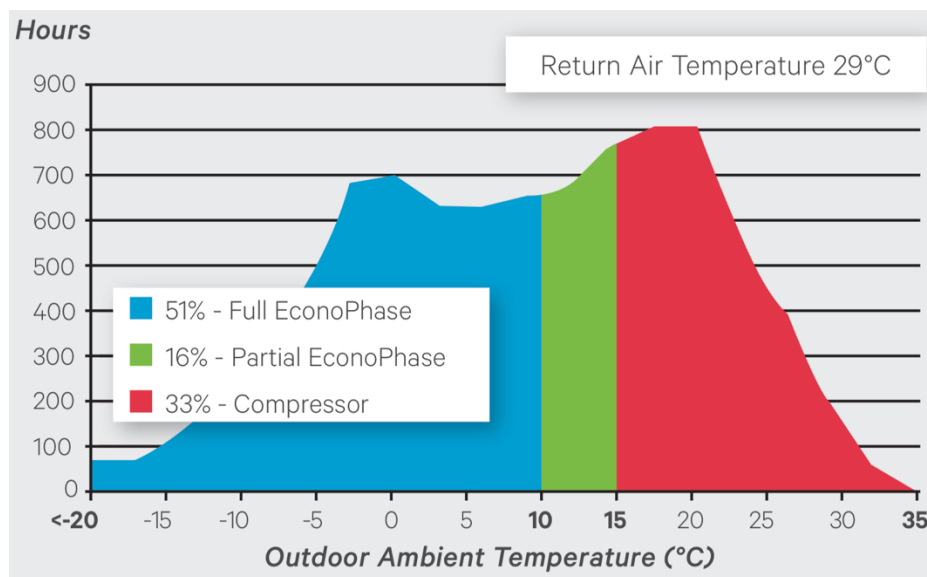
A.4.3.2 Přímý free cooling chladivem

Tento systém je založen obdobně jako řešení DX na přímém výparu chladiva. V celé aplikaci není využito žádného jiného chladicího média, ale i přesto je možné využívat volného chlazení. Okruh je doplněn o by-pass a čerpadlo, které zajišťuje oběh chladiva v případě, že není v provozu kompresor.



Obrázek 11: Okruh přímý free cooling chladivem

V případě, že je venkovní teplota dostatečně nízká, dochází ke kondenzaci par chladiva i bez využití kompresoru. Dle podkladů společnosti Vertiv, která nabízí toto řešení pod názvem Econophase, je možné využívat čistě chladivový free cooling zhruba v jedné polovině celého roku (pro teplotu nasávaného vzduchu ze sálu 29 °C). Uváděná energetická úspora pro provoz, kdy není kompresor v provozu, je 66 %. [23]



Obrázek 12: Časová možnost využití Econophase [23]

Obecně ale tento systém není příliš rozšířen a mnoho výrobců ho nenabízí. Pro využití volného chlazení se tak častěji přistupuje k vodnímu chlazení.

A.4.3.3 DW systém – vodní chlazení

V případě vodního chlazení hlavní výměník vnitřní jednotky nefunguje jako výparník kompresorového okruhu (nedochází k fázové změně), ale je do něj přivedena voda nebo směs vody a glykolu. Aby mohl být vzduch ze sálu chlazen pomocí výměníku s vodou, musí chladicí systém obsahovat více zařízení. Těmi jsou čerpadla, pojistné armatury (expanzní nádoby, pojistné ventily) nebo třeba akumulární nádoba. Nedílnou součástí je výrobek ledové vody. Takovému zařízení se říká chiller a jeho základem je opět kompresorový cyklus. Na straně výparníku nedochází k přenosu tepla mezi chladivem a vzduchem, ale mezi chladivem a primárním vodním okruhem napojeným na vnitřní jednotky. Na straně kondenzátoru dochází k odebrání tepla chladivu.

Chillery se provádějí v několika variantách podle způsobu chlazení kondenzátoru:

- **Kompaktní chiller chlazený vzduchem**

Jedná se o kompaktní venkovní zařízení, kdy je celý kompresorový okruh umístěn uvnitř chilleru. Kondenzátor je ochlazován pomocí proudícího venkovního vzduchu. Na straně výparníku musí být z důvodu venkovní instalace napojen okruh s glykolovou směsí. Jedná se o velmi jednoduchou konstrukci, jejíž hlavní výhodou je ušetření místa ve strojovně objektu. Určitou nevýhodou je jeho hlučnost a vysoká hmotnost. Ta je často limitující s ohledem na časté instalace na střechách objektů.

- **Chiller s odděleným kondenzátorem**

Na rozdíl od kompaktního chilleru se jedná převážně o vnitřní zařízení. Základem pro tuto aplikaci je tedy dostatečné místo ve strojovně, do které se z pravidla umísťují veškeré armatury i s chillerem. Jediným prvkem v exteriéru je venkovní kondenzátor. Dochází tak k výraznému ušetření hmotnosti na venkovním zařízení a taktéž k nižší hlučnosti. Hlavní nevýhodou je větší objem chladiva v systému, čímž se vytrácí hlavní výhoda použití vodního systému namísto přímého výparu chladiva. Proto je tento způsob využíván spíše zřídka.

- **Vodou chlazený chiller**

Jedná se o řešení nejvíce používané pro velké chladicí výkony. Všechny části kompresorového okruhu jsou umístěny ve strojovně chlazení, při čemž kondenzátor je chlazen sekundárním glykolovým okruhem. Nejvíce se toto řešení využívá v návaznosti na nepřímý free cooling. V případě, že je nízká venkovní teplota, sekundární okruh nechladí kondenzátor, ale chladí přímo vodu v primárním okruhu. Jakmile venkovní teplota stoupá, regulace chilleru spíná kompresor a voda ze sekundárního okruhu začíná chladit kondenzátor. Voda v sekundárním okruhu je ochlazována venkovním vzduchem.

K ochlazení sekundárního glykolového okruhu slouží následující zařízení:

- **Suchý chladič** – nejjednodušší zařízení, glykolové směsi je odebíráno teplo ve výměníku, přes který proudí venkovní vzduch. Chladicí výkon je závislý na ploše a konstrukci výměníku.
- **Otevřená chladicí věž** – glykolová směs je rozstříkována do prostoru otevřené věže, kde se dostává do přímého kontaktu s okolním vzduchem. Část směsi se odpařuje a předává teplo proudícímu vzduchu. Nevýhodou je nutnost vodu po tomto procesu upravovat.
- **Uzavřená chladicí věž** – glykolová směs se nedostává do přímého kontaktu se vzduchem, ale na trubkový systém je nastříkována voda, která se odpařuje a tím dochází k ochlazení média. Uzavřený systém pro nastříkování vody je chlazen venkovním vzduchem.
- **Adiabtický chladič** – principiálně se jedná o suchý chladič, který je vybaven dalším výměníkem voda/vzduch, přes který proudí venkovní vzduch a předchlazuje se před vstupem do hlavního výměníku pro chlazení glykolové směsi.

A.5 Aktuální trendy a technologický vývoj

V prvních kapitolách této práce byly popsány běžně využívané technologie, jejich charakteristika a způsoby ukládání do datových sálů. Vývoj těchto technologií je extrémně

rychlý a v návaznosti na to se musí přizpůsobovat i systémy chlazení. Jedním z aktuálních trendů v oblasti IT a financí je tzv. těžba kryptoměn. Důvodů, proč je toto téma zajímavé z pohledu chlazení, je několik.

A.5.1 Kryptoměny

Kryptoměny jsou virtuální peníze vyskytující se pouze ve formě dat, která jsou uložena na různých discích serverů po celém světě. Na rozdíl od běžných měn jako je třeba česká koruna nebo euro neexistuje ve fyzické podobě. V dnešní době to vlastně není tak nepředstavitelné. I běžně používané měny jsou z naprosté většiny uloženy na různých účtech a kontech a reálná hodnota fyzických peněz je také minimální. Kryptoměny navíc nejsou regulované žádným finančním subjektem a není možné dostat do oběhu větší obnos financí, než byl vytvořen při vzniku dané měny, čímž je zabráněno například inflaci. Asi nejvíce rozšířenými měnami jsou Bitcoin, Ethereum nebo Litecoin. [24]

A.5.1.1 Technologie pro těžení kryptoměn

Jak ale například takový Bitcoin získat? Trh s kryptoměnami nemá žádný centrální bod a tvoří ji síť mnoha a mnoha počítačů. Tyto počítače zpracovávají určité výpočty a algoritmy, čímž společně verifikují a provádějí jednotlivé transakce. Za toto úsilí obdrží každý účastník určité množství dané měny (jinak řečeno měnu vytěží). Hlavním specifikem těchto zařízení z pohledu chlazení je jejich tepelný výkon v poměru k velikosti zařízení. Jestliže klasická datová centra dosahují tepelného výkonu zhruba 3 kW/m^2 podlahové plochy, datová centra specializující se na těžbu kryptoměn vykazují tepelný výkon při plném obsazení racků přibližně 12 kW/m^2 podlahové plochy. Takové datové centrum tedy vyžaduje především obrovské množství elektrické energie pro zajištění provozu těžařských technologií. [24][25]



Obrázek 13: Technologie pro těžbu kryptoměn [26]

Dalším důležitým faktorem pro návrh chlazení jsou pracovní podmínky těchto zařízení a jejich životnost. Ta je samozřejmě přímo spojená s podmínkami, za kterých je dané zařízení provozováno. Výkonné počítače určené pro těžbu kryptoměn dokáží pracovat ve vysokých teplotách (klidně i přes 40 °C), při čemž jejich životnost je výrazně nižší než u běžných serverů.

A.5.1.2 Chlazení

S extrémně vysokou tepelnou zátěží způsobenou výkonnými počítači je spojen také požadavek na obdobný chladicí výkon. U větších datových center specializujících se čistě na těžbu kryptoměn může potřebný chladicí výkon přesahovat i 10 MW. Uchladit takovou zátěž běžnými postupy pomocí chladného vzduchu je téměř nemožné (pro běžnou návrhovou teplotu 18-27 °C). Existují tedy v podstatě dva základní přístupy, jak řešit takto vysokou tepelnou zátěž.

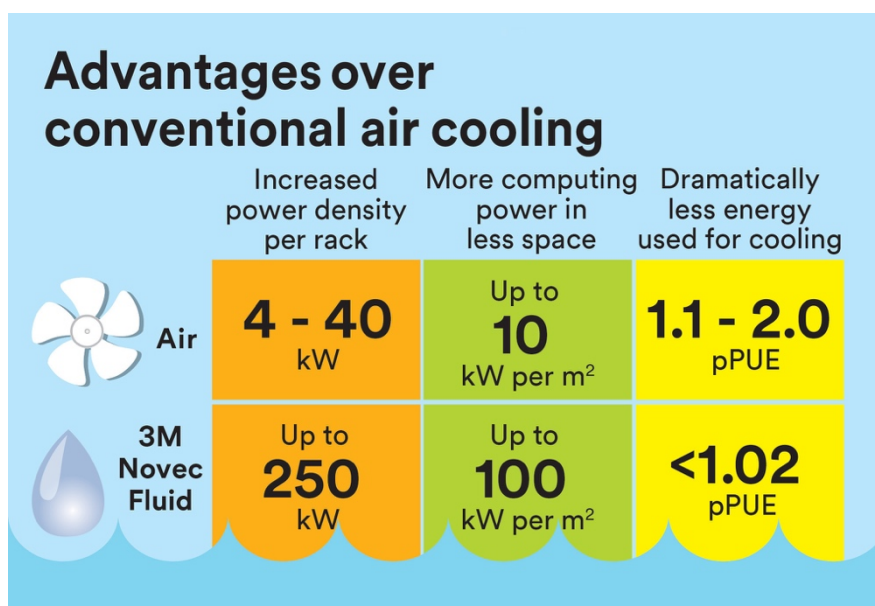
- **Chlazení pouze venkovním vzduchem**

Tento přístup využívá vlastnosti těžařských počítačů, a to jejich schopnost provozu i za velmi vysokých teplot. V principu tak není využito žádného strojního chlazení, ale pouze velkého průtoku venkovního vzduchu. Technologie v letních měsících pracuje při velmi vysokých teplotách, což negativně ovlivňuje jejich účinnost a životnost. Z ekonomického hlediska je ale tato varianta často výhodnější než zajišťovat chlazení o značném výkonu.

- **Chlazení pomocí speciální tekutiny**

Druhým přístupem je docílit ideálních teplot pro provoz technologií. Vzhledem k velké tepelné zátěži ale není efektivní využívat chladícího vzduchu. Pro uchlazení koncentrovaného tepelného výkonu na malém prostoru se využívá speciální nevodivá a ekologická kapalina. Do

„lázně“ s touto kapalinou jsou vnořeny těžařské technologie. Na jejich povrchu díky zvýšené teplotě dochází k odparu dané kapaliny (teplota varu kapaliny se pohybuje okolo 61 °C), čímž dochází k ochlazení. Páry stoupají na kondenzátor umístěný přímo nad kapalinou, kde páry zkondenzují a volně padají zpět do vodní lázně. Tímto principem je dosaženo k výrazným úsporám na chlazení, což snižuje PUE datového centra. Výrobce této kapaliny uvádí dosažení hodnoty PUE menší než 1,02. [27]



Obrázek 14: Výhody chlazení pomocí kapaliny 3M Novec Fluid [27]

Návrh chlazení datového centra a vzduchotechniky
přílehlých kanceláří

**B. VÝPOČTOVÁ ČÁST – PROJEKT
VZDUCHOTECHNIKY**

B.1 Bilance průtoku vzduchu

Přívod čerstvého vzduchu do jednotlivých místností byl stanoven na základě počtu osob nebo na základě násobnosti výměny vzduchu (pro místnosti, kde není stanoven předpokládaný počet osob). Pro kancelářské místnosti bylo stanoveno množství čerstvého vzduchu na osobu na 50 m³/h. Pro ostatní prostory, kde není kladen nárok na soustředění a práci osob je hodnota snížena na 30 m³/h. V místnostech hygienického zázemí je čerstvý vzduch počítán na základě počtu a typu zařizovacích předmětů. Celková bilance systému je navržena jako rovnotlaká.

Dále byly v bilanci stanoveny chladicí výkony VZT jednotek a dopočítány potřebné chladicí výkony indukčních jednotek. Pro výpočet vzduchotechniky je uvažována venkovní teplota 35 °C a teplota interiéru 26 °C. VZT jednotka přivádí primární vzduch o teplotě 18 °C.

$$Q_{vzt} = V_p \cdot \rho \cdot c \cdot (t_i - t_p)$$

kde:

V_p – průtok přiváděného vzduchu [m³/h];

ρ – měrná hmotnost vzduchu, uvažováno 1,188 [kg/m³];

c – měrná tepelná kapacita vzduchu, uvažováno 1010 [J/kgK];

t_p – teplota přiváděného vzduchu [°C];

t_i – teplota interiéru [°C].

Tabulka bilance VZT systému včetně jednotlivých průtoků vzduchu a vypočítaných výkonů VZT jednotek a indukčních jednotek je součástí příloh B.

B.2 Výpočet tepelné zátěže

Ve výpočtu tepelné zátěže jsou zahrnuty tepelné zisky od osob, osvětlení, vnitřního vybavení a vnější tepelné zisky prostupem tepla okny. Ve výpočtu jsou zanedbány tepelné zisky prostupem tepla vnějšími obvodovými konstrukcemi. Vzhledem k charakteru objektu jsou tyto plochy v porovnání s plochami oken velmi malé a přispívají do celkové sumy tepelné zátěže minimálně. Tepelné zisky od prostupu tepla okny radiací jsou uvažovány pro nejnepříznivější hodinu v průběhu dne, čímž je návrh předdimenzován a je tak vyvážena nepřesnost kvůli zanedbání vnějších obvodových konstrukcí.

B.2.1 Produkce tepla lidmi Q_l

Do tepelných zisků od osob v místnosti se zahrnuje pouze citelné teplo produkované osobou. Výpočtová teplota v místnostech pro letní stav je 26 °C. Pro práci v kanceláři byla zvolena hodnota pro činnost: sedící, mírně aktivní – tedy 62 W. Pro výpočet je poté stanoven celkový

počet mužů a žen, při čemž metabolické teplo ženského těla je počítáno jako 85% podíl ze základní hodnoty 62 W.

$$Q_l = 62 \cdot (i_m + 0,85 \cdot i_z)$$

kde:

i_m – počet mužů v místnosti [-];

i_z – počet žen v místnosti [-].

Činnost	Metabolické teplo	Teplota vzduchu	
		26 °C	
		Citelné teplo (W)	Vodní pára (g/h)
Sedící, odpočívající	115	62	79
Sedící, mírně aktivní	140	62	116
Stojící, lehce pracující	150	60	134
Chodící, procházející se	160	64	143
Lehce pracující u stolu	230	66	244
Pomalou tancující	260	77	273

Tabulka 5: Produkce tepla lidmi

B.2.2 Produkce tepla svítidly Q_{sv}

Tepelná zátěž od svítidel vychází z tabulky 6. Vzhledem k aktuálnímu vývoji technologie svícení ale nebyly využity přímo hodnoty z tabulky dle využití dané místnosti. Moderní svítidla dosahují výrazně nižší produkce tepla a ve výpočtu je uvažováno se součinitelem současnosti $c_1=0,7$. Z tohoto důvodu je hodnota do výpočtu snížena na 12 W/m².

$$Q_{sv} = c_1 \cdot c_2 \cdot A_m \cdot 12$$

kde:

c_1 – koeficient současnosti, uvažován 0,7 [-];

c_2 – odsávání vzduchu v blízkosti svítidel, uvažován 1,0 [-];

A_m – plocha místnosti [m²].

Pracoviště	Intenzita osv.	žárovky	zářivky
	[lx]	[W/m ²]	[W/m ²]
Skladiště, byty, restaurace, divadla	120	20 - 30	7 - 9
Učebny, pokladny	250	40 - 55	13 - 18
Kanceláře, výpočetní střediska, výzkum	500	75 - 105	25 - 35
Výstavy, obchodní domy, jemná montáž	750	115 - 160	38 - 53
Montáž elektroniky, retuš	1000		50 - 70
Nejnáročnější jemná montáž, elektronika	1500		75 - 105
Hodinářství, subminiaturní elektronika	2000		100 - 140
Televizní studia	nad 2000		nad 140

Tabulka 6: Hodnoty produkce tepla svítidel

B.2.3 Produkce tepla technologiemi

V kancelářských prostorech není uvažováno s žádnými tepelnými zisky od technologií. Běžné kancelářské vybavení je zahrnuto v následující části.

B.2.4 Produkce tepla od elektronického vybavení Q_e

V tepelných ziscích od elektronického vybavení je zahrnut počítač a monitor pro každého pracovníka v kanceláři. Pro počítač je počítáno s hodnotou 40 W na kus, pro monitor s hodnotou také 40 W na kus.

$$Q_e = c_1 \cdot c_2 \cdot (40 \cdot i_p + 40 \cdot i_m)$$

kde:

c_1 – koeficient současnosti, uvažován 0,7 [-];

c_2 – odsávání vzduchu v blízkosti svítidel, uvažován 1,0 [-];

i_p – počet počítačů [-];

i_m – počet monitorů [-].

B.2.5 Prostup tepla oknem konvekcí Q_{ok}

Pro výpočet tepelných zisků je uvažováno s venkovní teplotou 32 °C. Součinitel prostupu tepla oknem byl zvolen 1 W/m²K.

$$Q_{ok} = k_o \cdot S_o \cdot (t_e - t_i)$$

kde:

k_o – součinitel prostupu tepla [W/m²K];

S_o – plocha okna včetně rámu [m²];

t_e – teplota exteriéru [°C];

t_i – teplota interiéru [°C].

B.2.6 Prostup tepla oknem radiací Q_{or}

Pro výpočet tepelné zátěže prostupem tepla radiací je uvažováno vždy s nejnepříznivější hodinou pro danou světovou stranu. Plocha okna ozářená sluncem je pro běžná vertikální okna odhadnuta na 80 % plochy okna včetně rámu. Objekt bude osazen vnějšími žaluziemi, které výrazně snižují tepelné zisky od radiace. Stínící součinitel tedy dosahuje hodnoty 0,13.

$$Q_{or} = S_{os} \cdot I_o \cdot c_o \cdot s$$

kde:

S_{os} – plocha okna ozářená sluncem [m²];

I_o – intenzita sluneční radiace [W/m²];

c_o – korekce na čistotu atmosféry [-];

s – stínící součinitel [-].

B.2.7 Celková tepelná zátěž

Celková tepelná zátěž je součtem všech dílčích tepelných zátěží popsaných v kapitolách výše. Výsledný chladicí výkon musí je vždy větší než celková tepelná zátěž dané místnosti.

$$Q = Q_l + Q_{sv} + Q_e + Q_{ok} + Q_{or}$$

Vypočtené tepelné zátěže pro jednotlivé místnosti jsou součástí příloh B.

B.3 Návrh koncových spotřebičů chladu

Návrh indukčních jednotek byl proveden pomocí volně přístupného software výrobce Trox - TROX Easy Product Finder. Selekce jednotlivých jednotek jsou součástí dokumentace projektu vzduchotechniky.

B.4 Dimenzování a výpočet tlakových ztrát

Potrubní trasa je navržena s cílem efektivního proudění vzduchu v potrubí. Tzn. vhodně zvolené dimenze potrubí tak, aby nedocházelo k nadměrné emisi hluku, a aby byly zároveň dimenze potrubí ekonomicky a prostorově přijatelné. Rychlosti proudění vzduchu v potrubí ve většině případů nepřesahují 4 m/s. Hraniční hodnota, která není překročeno v žádném případě je 5 m/s.

B.4.1 Tlakové ztráty třením Δp_{tr}

Tlaková ztráta třením je počítána dle následujících vztahů, které se různí pro kruhové a čtyřhranné potrubí.

Čtyřhranné potrubí

$$\Delta p_{tř} = \lambda \cdot \frac{l \cdot U}{4 \cdot S} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

Kruhové potrubí

$$\Delta p_{tř} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho$$

kde:

ρ – měrná hmotnost vzduchu, uvažováno 1,188 [kg/m³];

l – délka úseku potrubí [m];

U – Obvod průtočného průřezu [m];

S – průtočná plocha [m²];

λ – součinitel tření [-];

w – střední rychlost proudění [m/s];

d – průměr průtočného průřezu [m].

Součinitel tření (λ) je závislý na Reynoldsově čísle (Re). Vzhledem k charakteru potrubní sítě je proudění uvažováno jako turbulentní. Poté platí, že hodnota součinitele tření vychází z následujících rovnic.

$$\text{Pro } \varepsilon = \frac{k}{d} \leq \frac{30}{Re^{0,875}} \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \log(Re \cdot \sqrt{\lambda}) - 0,8$$

$$\text{Pro } \varepsilon = \frac{k}{d} \geq \frac{30}{Re^{0,875}} \quad \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,14 - 2 \log(\varepsilon)$$

B.4.2 Tlaková ztráta vřazenými odpory Δp_m

Tlakové ztráty vřazenými odpory byly stanoveny na základě rychlosti proudění vzduchu v daném úseku, měrné hmotnosti vzduchu, a především součinitele vřazeného odporu. Tento součinitel je pro každý kus stanoven zvlášť. Výchozím podkladem pro stanovení součinitele vřazeného odporu byla literatura Větrání a klimatizace; Székelyová Marta, 2006. [28] Tlaková ztráta koncových elementů byla stanovena na základě podkladů výrobců a selekce jednotek.

$$\Delta p_m = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \xi \cdot w^2$$

kde:

ξ – součinitel vřazeného odporu [-].

B.4.3 Celková tlaková ztráta Δp_z

Celková tlaková ztráta v potrubí se součtem tlakové ztráty třením a tlakové ztráty vřazenými odpory. Ventilátor je dimenzován na nejnepříznivější část potrubní trasy.

$$\Delta p_z = \Delta p_{tř} + \Delta p_m$$

Součástí příloh B jsou tabulky s výpočty tlakových ztrát jednotlivých úseků potrubí.

B.5 Výpočet hluku v potrubí

Výpočet hluku v potrubní síti byl proveden pomocí volně dostupného doplňku do Excel – Akustika 2016 dostupného z webu projekční kanceláře Qpro (www.qpro.cz). Posouzena byla dvě nejnejpříznivější místa. Limitní hodnotou pro posouzení hladiny akustické tlaku je 40 dB. Akustické posouzení je součástí příloh B.

Návrh chlazení datového centra a vzduchotechniky
přilehlých kanceláří

C. VÝPOČTOVÁ ČÁST – PROJEKT CHLAZENÍ

C.1 Výpočet tepelné zátěže

Tepelná zátěž byla stanovena na základě elektrického příkonu jednotlivých racků v datových sálech. Předpokládaná tepelná zátěž je 4,28 kW na jeden rack. Při počtu 210 racků v jednom sále vychází výsledná tepelná zátěž na sál 898,8 kW. Vzhledem k vysokému tepelnému výkonu technologií byly při výpočtu tepelné zátěže zanedbány tepelné zisky z ostatních částí. V porovnání s tepelnými zisky od technologií by tyto hodnoty byly zanedbatelné a ve výpočtu se tedy standardně neuvažují.

Datový sál 1 - západ

Počet racků (i)	210	ks
Tepelná zátěž na jeden rack (Q _i)	4,28	kW
Celková tepelná zátěž (Q ₁)	898,8	kW

Datový sál 2 - východ

Počet racků (j)	210	ks
Tepelná zátěž na jeden rack (Q _j)	4,28	kW
Celková tepelná zátěž (Q ₂)	898,8	kW

$$Q = Q_1 + Q_2 = Q_i \cdot i + Q_j \cdot j$$

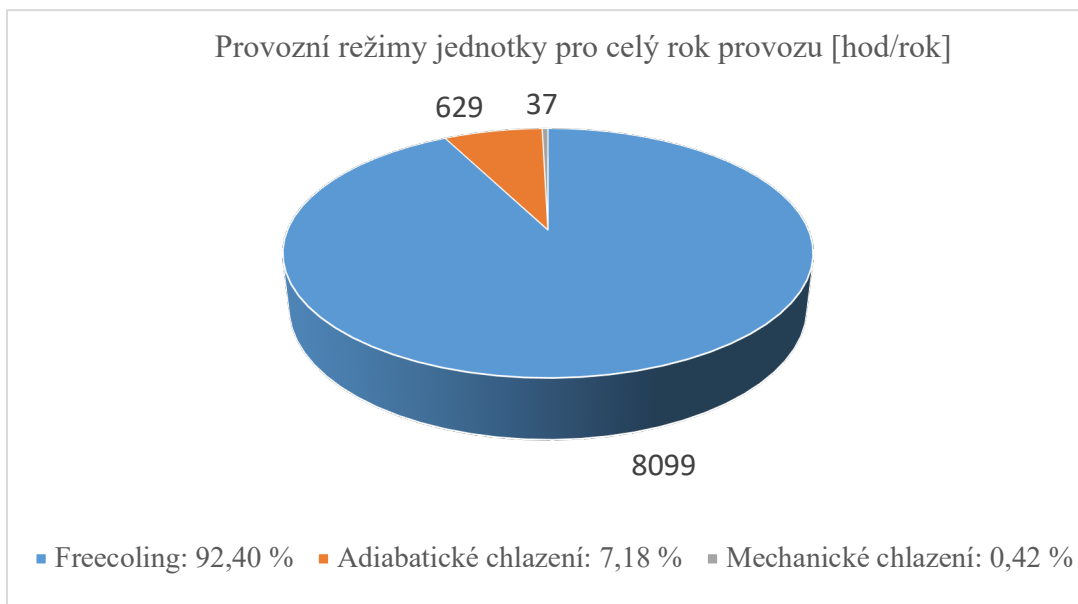
Na celkovou tepelnou zátěž je navrženo 20 kusů chladicích jednotek o dílčích chladicích výkonech cca 100 kW. Jednotky budou pracovat v režimu redundance n+1 pro každý sál. Tedy 9 jednotek je uvažováno pro trvalý provoz a jedna jednotka je záložní.

C.2 Bilance provozních režimů chladicí jednotky

Chladicí jednotky mohou pracovat ve třech různých režimech:

- volné chlazení,
- volné chlazení v kombinaci s adiabatickým režimem,
- adiabatické chlazení v kombinaci s mechanickým chlazením.

Následující bilance zobrazuje, v jakém režimu v závislosti na venkovních podmínkách jednotka pracuje. Pro výpočet byla využita klimatická data pro město Praha. Vzhledem k faktu, že průměrné teploty jsou v Praze vyšší než ve Veselí nad Lužnicí, je tato nepřesnost na straně bezpečnosti návrhu. Výpočet je proveden pro teplotu nasávaného vzduchu ze sálu 35 °C a teplotu přiváděného vzduchu do sálu 23 °C.



Obrázek 15: Graf využití provozních režimů chladicí jednotky Hoval ServeCool SWP

Výsledky provozního režimu vycházejí z výpočetního softwaru výrobce Hoval SECA (ServeLine Efficiency Calculator).

C.3 Návrh kondenzační jednotky

Výpočet potřebného výkonu kondenzační jednotky byl proveden na základě hodinových klimatických dat pro město České Budějovice. Data o teplotě a příslušné vlhkosti vzduchu byla seřazena od nejvyšších k nejnižším. Dále byla v tabulce výrobce vnitřní jednotky zvolena nejnepříznivější kombinace teploty a vlhkosti pro získání limitního výkonu vnitřní jednotky v provozu freecooling v kombinaci s adiabatickým chlazením. Nejméně příznivá kombinace teploty a vlhkosti vzduchu je: teplota $t = 34,7 \text{ °C}$ a příslušná vlhkost $19,9 \text{ g/kg}$. Při těchto parametrech venkovního vzduchu dosahuje vnitřní chladicí jednotka v režimu freecooling a adiabatické chlazení chladicího výkonu 50 kW .

Čerstvý vzduch																					
t \ x	0,1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
≤18	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103
19	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	100	100	100	100	100	100	100
20	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	100	96	94	94	94	94	94	94
21	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	100	94	91	88	88	88	88	88
22	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	96	91	88	85	82	82	82	82
23	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	100	94	91	85	82	79	77	77	77
24	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	96	94	88	85	79	77	73	70	70
25	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	100	96	91	88	82	79	77	70	67	65
26	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	100	94	91	85	82	77	73	70	65	62
27	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	100	96	91	88	82	79	77	70	67	65	62
28	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	100	94	91	85	82	79	73	70	67	62	59
29	103	103	103	103	103	103	103	103	103	103	96	94	88	85	79	77	73	67	65	62	59
30	103	103	103	103	103	103	103	103	103	100	96	91	88	82	79	73	70	67	65	59	56
31	103	103	103	103	103	103	103	103	103	100	94	88	85	82	77	73	70	65	62	59	56
32	103	103	103	103	103	103	103	103	100	96	91	88	82	79	77	70	67	65	62	56	53
33	103	103	103	103	103	103	103	103	100	94	91	85	82	79	73	70	67	62	59	56	53
34	103	103	103	103	103	103	103	103	96	94	88	85	79	77	73	67	65	62	59	56	50
35	103	103	103	103	103	103	103	100	96	91	88	82	79	73	70	67	65	59	56	53	50
36	103	103	103	103	103	103	103	100	94	88	85	82	77	73	70	65	62	59	56	53	50
37	103	103	103	103	103	103	100	96	91	88	82	79	77	70	67	65	62	56	53	50	47
38	103	103	103	103	103	103	100	94	91	85	82	77	73	70	67	62	59	56	53	50	47
39	103	103	103	103	103	103	96	94	88	85	79	77	73	67	65	62	59	56	50	47	44
40	103	103	103	103	103	100	96	91	88	82	79	73	70	67	65	59	56	53	50	47	44
41	103	103	103	103	103	100	94	88	85	82	77	73	70	65	62	59	56	53	47	44	41
42	103	103	103	103	100	96	91	88	82	79	77	70	67	65	62	56	53	50	47	44	41
43	103	103	103	103	100	94	91	85	82	79	73	70	67	62	59	56	53	50	47	44	38
44	103	103	103	103	96	94	88	85	79	77	73	67	65	62	59	53	50	47	44	41	38
45	103	103	103	100	96	91	88	82	79	73	70	67	65	59	56	53	50	47	44	41	38

Legenda: t = teplota čerstvého vzduchu v °C
x = vlhkost čerstvého vzduchu v g/kg

Tabulka F7: Chladicí výkon (kW) volného a adiabatického chlazení (Q_e)

Tabulka 7: Chladicí výkon volného a adiabatického chlazení jednotky Hoval

Tabulka zobrazuje hodnoty pro teplotu nasávaného vzduchu ze sálu 35 °C a teplotu přiváděného vzduchu do sálu 23 °C. Venkovní kondenzační jednotka by tak mohla být navržena na chladicí výkon cca 50 kW tak, aby zajistila chybějící chladicí výkon v nejnepříznivějším bodě v průběhu roku.

Vzhledem k zajištění maximální bezpečnosti provozu datového centra je ale kondenzační jednotka navržena na plný výkon vnitřní chladicí jednotky (tj. 100 kW). V případě poruchy ventilátorů freecoolingu nebo v případě poruchy čerpadel vodního systému pro adiabatické chlazení bude zajištěn plný výkon mechanickým chlazením.

C.4 Bilance zásobování vodou pro adiabatické chlazení

Pro režim adiabatického chlazení musí být zajištěn přívod vody. Kvalitativní parametry vody jsou dány výrobcem zařízení a jsou součástí technické zprávy projektu. Pro zajištění přívodu vody budou sloužit podzemní retenční nádrže. Pro případ nedostatku vody v nádržích bude jako záložní zdroj sloužit vodovodní řad. Následující bilance zohledňuje srážkové úhrny a akumulaci srážkové vody v retenčních nádržích v porovnání se spotřebou vody pro adiabatický proces.

Spotřeba vody pro adiabatický režim byla stanovena na základě měsíčního rozložení potřeby vody dané výrobcem jednotky a celkové roční spotřeby vody určenou výpočtem pro danou lokalitu a podmínky.

- Plocha střechy stávající budovy pro zadržení srážkové vody $S_1 = 553 \text{ m}^2$
- Plocha střechy nové budovy pro zadržení srážkové vody $S_2 = 1540 \text{ m}^2$
- Počet jednotek $n = 18 \text{ ks}$

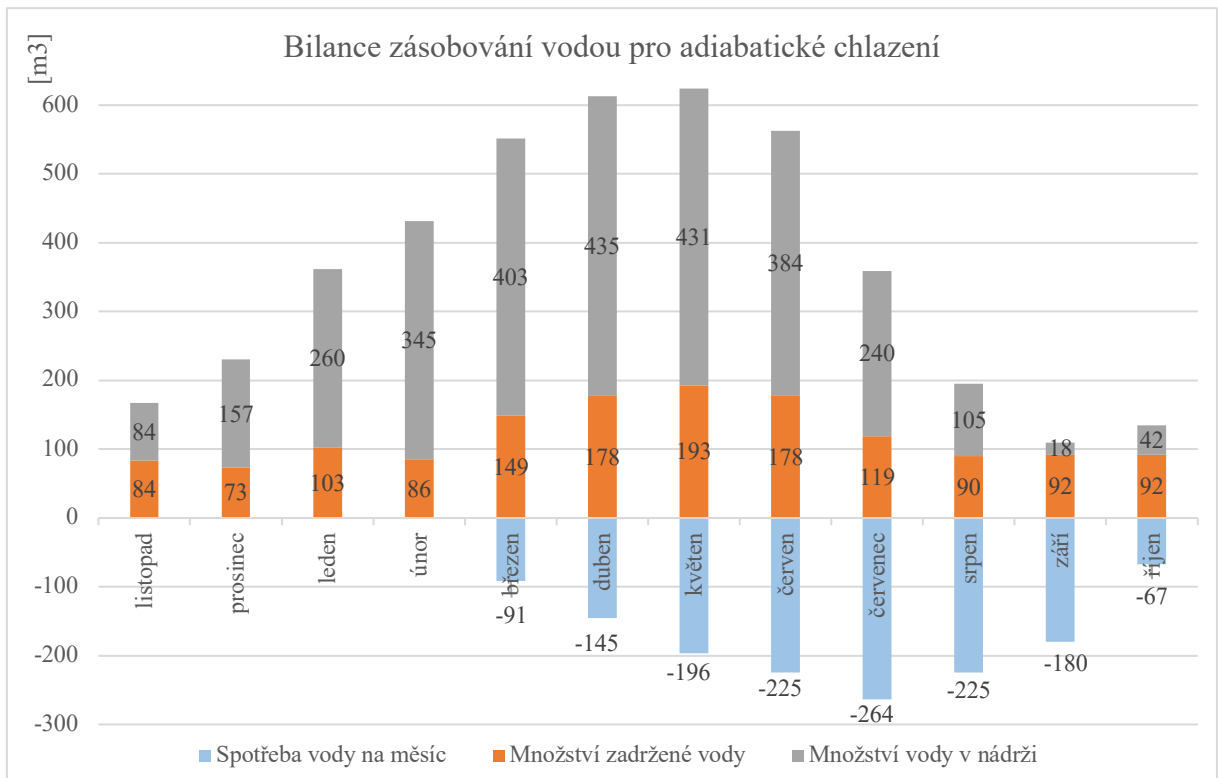
		leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec
Srážky průměrný rok 1981-2010	[l/m ²]	40	35	49	41	71	85	92	85	57	43	44	44
Množství zadržené vody	[m³]	84	73	103	86	149	178	193	178	119	90	92	92
Hodinová spotřeba vody pro 1 jednotku	[l/h]	0	0	61	97	131	150	176	150	120	45	0	0
Měsíční spotřeba vody pro 1 jednotku	[m ³]	0	0	5,1	8,1	10,9	12,5	14,7	12,5	10,0	3,7	0	0
Spotřeba vody na měsíc	[m³]	0	0	91	145	196	225	264	225	180	67	0	0

Tabulka 8: Výpočet spotřeby vody pro adiabatické chlazení

Podklady výrobce udávají hodinové spotřeby vody pouze pro oblast Německa. Pro bezpečný návrh byly tedy uvažovány maximální hodnoty z následující tabulky.

Měsíc	Spotřeba vody (l/h)							
	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen
Maximum	61	97	131	150	176	150	120	45
Střední spotřeba	47	69	86	95	102	86	74	34
Minimum	30	25	30	25	30	25	25	25

Tabulka 9: Spotřeba vody pro odpařovací chlazení vztahovaná na jednotku ServeCool



Obrázek 16: Graf spotřeby vody pro adiabatické chlazení

Velikost retenčních nádrží je dimenzována na celoroční zadržené množství srážkové vody. Voda bude v objektu využívána také pro jiné účely, než je chlazení datových sálů a v případě částečného zatížení sálů tak bude zajištěn částečný odběr vody jinými provozy.

Celková velikost retenčních nádrží bude 1436 m³. Tento objem bude rozdělen do pěti samostatných propojených nádrží.

Závěr

Výsledkem diplomové práce je projekt chlazení datového centra ve 3. NP a projekt vzduchotechniky přílehlých kanceláří v 4. a 5. NP. Projekty jsou zpracované na úrovni projektu pro provedení stavby. Součástí diplomové práce je také teoretická část, která pojednává o možnostech chlazení datových center. Srovnává výhody a nevýhody jednotlivých přístupů a nabízí obecný teoretický přehled o problematice chlazení datových center.

V projektu chlazení je zvoleno vhodné řešení pro konkrétní datové centrum. Finálním řešením je využití chladicích jednotek využívající volné chlazení vzduch-vzduch a adiabatického chlazení. Součástí projektu je výpočtová část, kde byly stanoveny výkony jednotek na základě tepelné zátěže sálů, byly navrženy vhodné kondenzační jednotky a dále byla zpracovaná rozvaha zásobování vodou pro adiabatický režim. Nedílnou součástí celého projektu je výkresová dokumentace, výkaz výměr a technická zpráva, která podrobně popisuje celý navržený systém a definuje požadavky na ostatní profese.

V projektu vzduchotechniky přílehlých kanceláří je využito indukčních jednotek, které zajišťují přísun čerstvého vzduchu a zároveň chlazení kancelářských prostor. Ve výpočtové části byla zpracovaná bilance množství přiváděného a odváděného vzduchu, dále byly vypočítány tepelné zátěže jednotlivých místností, navrženy koncové distribuční prvky a nadimenzována potrubní síť na základě tlakových ztrát a akustických parametrů. Obdobně jako v projektu chlazení je součástí práce technická zpráva, výkaz výměr a výkresová dokumentace.

Použité zdroje

- [1] „Datová centra Conteg - Výrobce IT a prům. rozvaděčů a syst. řešení pro datová centra". [Online]. Dostupné z: <https://www.conteg.cz/design-datovych-center>. [Viděno: 13-srp-2018].
- [2] „DC7: moderní datové centrum - T-Mobile.cz". [Online]. Dostupné z: <https://www.t-mobile.cz/podnikatele-firmy/blog/dc7-moderni-datove-centrum>. [Viděno: 01-zář-2018].
- [3] ManagementMania, „Datové centrum (Data Centre)", *ManagementMania.com*. [Online]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/datove-centrum-data-centre>. [Viděno: 13-srp-2018].
- [4] „TIA-942 Data Center Certification | Tier Level | TIA-942.org". [Online]. Dostupné z: http://www.tia-942.org/content/162/289/About_Data_Centers. [Viděno: 14-srp-2018].
- [5] „Jsou datacentra s TIER certifikací opravdu bezpečnější? – ITBIZ – Vaše jednička mezi nulami". [Online]. Dostupné z: <https://www.itbiz.cz/clanky/jsou-datacentra-s-tier-certifikaci-opravdu-bezpecnejsi>. [Viděno: 14-srp-2018].
- [6] „Datové centrum: jak zajistit efektivní chlazení?", *iDNES.cz*, 18-led-2016. [Online]. Dostupné z: https://sdeleni.idnes.cz/datove-centrum-jak-zajistit-efektivni-chlazení-f5d-tec_sdeleni.aspx?c=A160112_144138_tec_sdeleni_ahr. [Viděno: 14-srp-2018].
- [7] „Thermal Guidelines for Data Processing Environments, 3rd edition". ASHRAE, 2012.
- [8] R. Danilak, „Why Energy Is A Big And Rapidly Growing Problem For Data Centers", *Forbes*. [Online]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2017/12/15/why-energy-is-a-big-and-rapidly-growing-problem-for-data-centers/>. [Viděno: 14-srp-2018].
- [9] „Data centres of the world will consume 1/5 of Earth's power by 2025", *Data Economy*. [Online]. Dostupné z: <https://data-economy.com/data-centres-world-will-consume-1-5-earths-power-2025/>. [Viděno: 14-srp-2018].
- [10] „Martin Petrovka: chlazení datacentra může spotřebovat víc energie než všechny ICT technologie dohromady – ITBIZ – Vaše jednička mezi nulami". [Online]. Dostupné z: <https://www.itbiz.cz/clanky/martin-petrovka-chlazení-datacentra-muze-spotrebovat-vic-energie-nez-vsechny-ict-technologie-dohromady>. [Viděno: 14-srp-2018].
- [11] „Jak maximalizovat efektivitu provozu datového centra?", *ICT manažer - informace pro váš efektivnější byznys*. [Online]. Dostupné z: <http://www.ictmanazer.cz/2011/10/jak>

maximalizovat-efektivitu-provozu-datoveho-centra/. [Viděno: 26-srp-2018].

[12] „Obchodní model TTC TELEPORT“, *TTC-TELEPORT*. [Online]. Dostupné z: <https://www.ttc-teleport.cz/obchodni-model/>. [Viděno: 26-srp-2018].

[13] „Provozní řád TTC TELEPORT“, *TTC-TELEPORT*. [Online]. Dostupné z: <https://www.ttc-teleport.cz/ke-stazeni/>. [Viděno: 26-srp-2018].

[14] „Efficiency: How we do it – Data Centers – Google“. [Online]. Dostupné z: <https://www.google.com/about/datacenters/efficiency/internal/>. [Viděno: 26-srp-2018].

[15] „Podporovaná uspořádání datových sálů Conteg - Výrobce IT a prům. rozvaděčů a syst. řešení pro datová centra“. [Online]. Dostupné z: <https://www.conteg.cz/usporadani-mistnosti>. [Viděno: 26-srp-2018].

[16] „Hot/Cold Aisle Containment Solution“, *INAX Technology Limited*. [Online]. Dostupné z: <http://www.inaxtech.com/hotcold-aisle-containment-solution.html>. [Viděno: 26-srp-2018].

[17] „Advantages of Hot Aisle vs Cold Aisle Containment“, *Source UPS*, 02-pro-2015. [Online]. Dostupné z: <https://www.sourceups.co.uk/hot-aisle-vs-cold-aisle-containment/>. [Viděno: 26-srp-2018].

[18] „Row Based Cooling - Premier Solutions Co. Premier Solutions Co.“ [Online]. Dostupné z: <http://www.premiersolutionsco.com/data-center-cooling-solutions/inrow-pic/>. [Viděno: 26-srp-2018].

[19] „Data center cooling unit“, *RITM Industry*. [Online]. Dostupné z: <http://ritmindustry.com/catalog/electric-cabinet-air-conditioning/data-center-cooling-unit-4/>. [Viděno: 26-srp-2018].

[20] LAKA, cz, „Soubory ke stažení“, *Laka CZ*. [Online]. Dostupné z: <http://www.laka.cz/ke-stazeni/>. [Viděno: 28-srp-2018].

[21] „CHLADÍCÍ OKRUH - PRINCIP FUNKCE“. [Online]. Dostupné z: <https://www.schiessl.cz/stranka-chladici-okruh-princip-funkce-118>. [Viděno: 29-srp-2018].

[22] „Green Grid Offers Free Cooling Map for Europe“, *Data Center Knowledge*, 06-říj-2009. [Online]. Dostupné z: <https://www.datacenterknowledge.com/archives/2009/10/06/green-grid-offers-free-cooling-map-for-europe>. [Viděno: 29-srp-2018].

[23] „Liebert PDX | Server Room Cooling Systems“. [Online]. Dostupné z:

<https://www.vertivco.com/en-emea/products-catalog/thermal-management/room-cooling/liebert-pdx-direct-expansion-floor-mount-cooling-unit-from-15-to-165-kw/#/downloads>. [Viděno: 03-zář-2018].

[24] „Co je kryptoměna a jak funguje“, *Kryptomagazin.cz*. [Online]. Dostupné z: <https://kryptomagazin.cz/co-je-kryptomena/>. [Viděno: 10-zář-2018].

[25] A. Control, „Publications“, *Allied-Control.com*. [Online]. Dostupné z: <http://www.allied-control.com/immersion-cooling/publications>. [Viděno: 10-zář-2018].

[26] FRANK crypto, „Frank crypto e-shop“, *frankcrypto.com*. [Online]. Dostupné z: <https://frankcrypto.com/product/coindriller-zcash-gpu-mining-rig-6750-sols-360-mhs-9x-gtx1080ti-crypto-miner/>. [Viděno: 10-zář-2018].

[27] „3M Novec 7100 Fluid Used in World’s Largest Two-Phase Immersion Cooling Project“, *3M News | United States*. [Online]. Dostupné z: <https://news.3m.com/press-release/company/3m-novec-7100-fluid-used-worlds-largest-two-phase-immersion-cooling-project>. [Viděno: 10-zář-2018].

[28] M. Székyová, K. Ferstl, a R. Nový, *Větrání a klimatizace*. Bratislava: Jaga, 2006.

Seznam použitých zkratek a označení

Zkratky

- VZT – vzduchotechnika
- NP – nadzemní podlaží
- DC – datové centrum
- IT – informační technologie
- EU – Evropská unie

Fyzikální veličiny

- c – měrná tepelná kapacita [J/kgK]
- S – plocha [m²]
- t – teplota [°C]
- w – rychlost [m/s]
- ρ – měrná hmotnost [kg/m³]
- V – objemový průtok [m³/h]
- l – délka [m]
- p – tlak [Pa]
- ξ – součinitel místního odporu [-]
- Re – Reynoldsovo číslo [-]
- Q – výkon [W]

Seznam obrázků a tabulek

Obrázky

Obrázek 1: DC7 - Datové centrum T-mobile [2]	2
Obrázek 2: Technologie umístěna do racků [2]	4
Obrázek 3: Otevřené uličky [16]	10
Obrázek 4: Uzavřená studená ulička [17]	11
Obrázek 5: In-row jednotka [18]	12
Obrázek 6: Jednotka cooltop [19]	13
Obrázek 7: Proudění vzduchu v sálové CRAC jednotce [20]	14
Obrázek 8: Kompresorový cyklus [21]	16
Obrázek 9: Teplotní mapa Evropy pro využití freecooling [22]	17
Obrázek 10: Jednotka přímého výparu chladiva [20]	21
Obrázek 11: Okruh přímý free cooling chladivem.....	21
Obrázek 12: Časová možnost využití Econophase [23].....	22
Obrázek 13: Technologie pro těžení kryptoměn [26]	25
Obrázek 14: Výhody chlazení pomocí kapaliny 3M Novec Fluid [27]	26
Obrázek 15: Graf využití provozních režimů chladicí jednotky Hoval ServeCool SWP	36
Obrázek 16: Graf spotřeby vody pro adiabatické chlazení	39

Tabulky

Tabulka 1: Kategorie datových center dle ASHRAE 2011 Thermal Guideline Classes [7].....	6
Tabulka 2: Hodnoty GWP a ekvivalentní množství chladiv	18
Tabulka 3: Četnost kontrol zařízení	19
Tabulka 4: Časová omezení uvádění na trh v EU pro jednotlivé kategorie výrobků.....	19
Tabulka 5: Produkce tepla lidmi	29
Tabulka 6: Hodnoty produkce tepla svítidly	30
Tabulka 7: Chladicí výkon volného a adiabatického chlazení jednotky Hoval	37
Tabulka 8: Výpočet spotřeby vody pro adiabatické chlazení	38

Tabulka 9: Spotřeba vody pro odpařovací chlazení vztažená na jednotku ServeCool 38

Seznam příloh

B. VÝPOČTOVÁ ČÁST – PROJEKT VZDUCHOTECHNIKY

- B.01 Bilance průtoku vzduchu
- B.02 Výpočet tepelné zátěže
- B.03 Dimenzování a výpočet tlakových ztrát
- B.04 Výpočet hluku v potrubí

C. VÝPOČTOVÁ ČÁST – PROJEKT CHLAZENÍ

Součástí výpočtové části projektu chlazení nejsou žádné přílohy.

D. PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE VZDUCHOTECHNIKY

- D.1.01 Technická zpráva
- D.1.02 Výkaz výměr
- D.2.01 Půdorys 4.NP
- D.2.02 Půdorys 5.NP
- D.2.03 Půdorys střechy
- D.2.04 Pohledy na VZT jednotky
- D.2.05 Řezy
- D.3.01 Technické listy

E. PROJEKTOVÁ DOKUMENTACE CHLAZENÍ

- E.1.01 Technická zpráva
- E.1.02 Výkaz výměr
- E.2.01 Půdorys 3.NP
- E.2.02 Půdorys 4.-5.NP
- E.2.03 Půdorys střechy
- E.2.04 Řez A-A'
- E.2.05 Schéma chlazení
- E.3.01 Technické listy